

Nikolsky, A. - On the methodology of the analysis of tonal organization of Jaw Harp music.

The report, presented at the International Scientific-Practical Conference in memory of V.V. Mazepus, "Systemic methods of the research on musical culture," 31/X-1/XI 2017, Novosibirsk State Conservatory named after Glinka, Novosibirsk, Russia.

Abstract

This paper presents a new method for analyzing the tonal organization of Jaw Harp music - following the general approach that was offered in the overview "Prolegomena of modal organization of Jaw Harp music on the example of the articulatory degrees of 'talking' Yakut khomus." Based on this overview, 10 hypothetical statements were put forward. To test them, the procedure of defining the "timbral classes" in sound recordings of Jaw Harp music by means of defining the following 5 acoustic parameters was formulated: 1) intensity of the lowest 11 harmonics (representing the "harmonic mode"), 2) the extent of their deviation from the just tuning, 3) relative stability of their position in pitch, 4) stability of their dynamic relation to the lower harmonic, and 5) identification of the dominant harmonic. The specificity of Jaw Harp articulation is evaluated by the analysis of all 5 parameters across 3 versions of the same articulation: in singing, speaking, and Jaw Harp playing. Their comparison displays harmonicity values for each version and reveals the principal harmonic oppositions between the phonemes. Statistic analysis of the received data allows for inferring 4 indices that together characterize a phonemic system in regards to its relative harmonicity: 1) index of purity of tuning, 2) index of stability of tuning, 3) index of dynamic evenness of the harmonic series, and 4) index of adherence to the sign of amplitude difference between 2 adjacent harmonics.

Multiple reproductions of each articulation by a few performers, who have passed the test of successful recognition of sound recordings of their own articulations, increases the reliability of the results. The amount of standard deviation from the mean value of each of the inferred indices allows to confirm if the dominant harmonic was correctly identified for each of the "timbral classes," and which of these classes feature the strongest harmonic oppositions. All findings can be conveniently displayed with the help of 2 types of diagrams: 1) "absolute" harmonic profile of a "timbral class" (reflecting the absolute intensity levels of all 11 harmonics as well as their variability), and 2) its "relative" dynamic profile (reflecting the dynamic coupling between the adjacent harmonics and the consistency of their pair relations). The combination of both diagrams provides an easy way to visually represent the most important points of similarity and difference between a few Jaw Harp articulations. This method of analysis was tested on the comparison of 5 performances of the vowel "A" by 3 Jaw Harp players, which has confirmed all 10 initial assumptions. In conclusion, the comparative analysis of two recordings of the same text (in the style of "talking khomus") by I. Alekseyev, made in 1991 and 2017, demonstrated that despite 26 year laps in recording they generally share the same tonal organization.

А.В. Никольский

К методам анализа тоновой организации варганной музыки

Доклад, представленный на Международной научно-практической конференции памяти В.В.Мазепуса, "Системные методы изучения музыкальной культуры," 31/X-1/XI 2017, Новосибирская Консерватория им. Глинки, Новосибирск.

Аннотация

Данная работа представляет новый метод для выявления тоновой организации варганной музыки – реализуя общий подход, предложенный в обзоре «Прологемена тоновой организации варганной музыки на примере использования артикуляционных ступеней в "говорящем" якутском хомусе». На его основе были выделены 10 гипотетических положений о свойствах варганных артикуляций. Для их проверки была сформулирована процедура определения "тембровых классов" посредством установления значений 5 акустических параметров в спектральном анализе звукозаписей артикуляций: 1)

интенсивность нижних 11 "ладовых" гармоник, 2) величина их отклонений по звуковысотному положению от нормативного натурального строя, 3) относительная стабильность их звуковысотного положения, 4) стабильность их динамического отношения к низлежащей соседней гармонике, и 5) определение доминирующей гармоник. Специфика варганной артикуляции выявляется анализом указанных 5 параметров в 3 вариантах: звукозаписи этой артикуляции в исполнении на варгане, ее пении и выговаривания. Их сравнение выявляет степени общей гармоничности каждой артикуляции для каждой из 3 форм вокализации и определяет ключевые гармонические оппозиции между их фонемами. Статистический анализ полученных данных позволяет вывести 4 индекса, в совокупности характеризующих фонемическую систему на предмет ее сравнительной гармоничности: 1) индекс чистоты строя, 2) индекс стабильности строя, 3) индекс динамической ровности гармонического ряда, и 4) индекс постоянства динамического отношения между 2 соседними гармониками. Многократное воспроизведение каждой артикуляции несколькими исполнителями, успешно прошедшими тест распознавания звукозаписей своих собственных артикуляций на слух, увеличивает надежность полученных результатов. Величина стандартного отклонения от среднего значения установленных индексов позволяет подтвердить правильность определения доминирующих гармоник каждого из "тембровых классов" и их наиболее сильные оппозиции - они должны иметь наименьшее стандартное отклонение. Полученная информация наглядно демонстрируется при помощи 2 диаграмм: 1) "абсолютного" гармонического профиля определенного тембрового класса (отражающего абсолютный уровень интенсивности всех 11 гармоник и их вариативность) и 2) его "относительного" динамического профиля (отражающего динамическое сопряжение гармоник относительно друг друга и постоянство сохранности их парных отношений). Сопоставление двух названных профилей предоставляет наглядный метод быстрого визуального установления сходства и различия ведущих акустических характеристик в конфигурациях гармоник при варганных артикуляциях. Предложенный анализ опробован на сравнении 5 исполнений гласной "А" тремя варганистами, подтверждая все 10 искомых гипотетических положений. В заключение, сравнительный анализ двух записей одного и того же текста в стиле "говорящего хомуса" И.Е. Алексеевым, 1991 и 2017 года, демонстрирует общую сохранность их тоновой организации, несмотря на 26-летний перерыв.

Алексей Викторович Никольский (род. 1964), музыковед и композитор, закончил Московскую Консерваторию за год до распада СССР. Идя по стопам своего учителя Эдисона Денисова, он проявил серьезный интерес к устной музыке. Ещё первокурсником участвовал в фольклорной экспедиции в Молдавию. Глубокое впечатление на него произвели консерваторские лекции фольклориста Вячеслава Щурова, но ещё большее влияние оказали исследования по сравнительной этномузыкологии Дживани Михайлова, под руководством которого Алексей изучал музыкальные культуры Ближнего и Дальнего Востока. Курс музыкально-теоретических систем Юрия Холопова пробудил в нём внимание к систематическому музыковедению, которое позднее он получил возможность изучать в University of California Лос-Анжелеса, куда он приехал после работы композитором в резиденции Orquesta de Baja California в Мексике.

С музыкой варганов Алексей близко познакомился в процессе подготовки двух больших эссе по проблемам генезиса и эволюции тоновой организации. Эти статьи были заказаны ему одним из ведущих специалистов по когнитивным наукам Леонидом Перловским (Harvard University) для посвящённого музыке отдельного выпуска швейцарского журнала "Frontiers in Psychology". После их публикации Алексей был приглашён руководством журнала в качестве редактора специального выпуска, посвящённого эволюции музыки и призванного соединить усилия исследователей различных дисциплин: теории музыки, этномузыкологии, археологии, психоакустики, нейрофизиологии, детской эпистемологии, эволюционной биологии, этологии, лингвистики и информатики. Именно по этому поводу мною была сформирована группа исследователей музыки якутского хомуса для экспериментально-акустического изучения её тоновой организации. Исследование заняло 2 года и обнаружило целый ряд важных закономерностей, которые будут полностью изложены в готовящейся Алексеем монографии. Разработанный им метод анализа тоновой организации приложим и к другим формам «тембровой» музыки и может быть предложен вниманию музыковедов уже сейчас. Этот метод и предлагается в данной статье.

Эдуард Алексеев (Бостон).

Варган это один из немногих музыкальных инструментов, чья музыка продолжает составлять загадку в отношении ее тоновой организации. Фундаментальное противоречие между обилием различным существующих конструкций варгана и удивительно единообразным, легко узнаваемым

звуком варгана подметил еще Ола Леданг (*Ledang 1972*). Это противоречие само по себе свидетельствует в пользу присутствия некоего стандарта акустической организации варганного звука – стандарта органологического по своей природе, поскольку характерность варганного звучания сохраняется в совершенно независимых друг от друга культурах, от Северной Америки до Папуа-Новой Гвинеи. Было бы логично ожидать, что акустические свойства варганного музыкального звука определяют организацию тонов музыкальных произведений, сочиняемых варганистами - наподобие того, как акустические свойства, скажем, натурального рога определяют организацию исполняемой на нем музыки.

Данная статья представляет собой формулировку метода, способного выявить принципы тоновой организации варганной музыки – реализуя общий подход, предложенный в статье «Прологомена тоновой организации варганной музыки на примере использования артикуляционных ступеней в «говорящем» якутском хомусе».

1. Гипотеза

На основании сведений о существовании звуковысотной дифференциации и категоризации артикуляций гласных звуков на варгане (Алексеева 1986; И. Алексеев 1988; Оготоев 1988; Ихтисамов 1988; Мазепус 1989; Добжанская 1991; Шишигин 1995; Загретдинов 1997; *Morgan 2008; Trias 2010; Rai 2012*) акустических исследований певческих и речевых гласных (Ржевкин 1928; *Bartholomew 1934; Wolf, Stanley and Sette 1935; McGinnis, Elnick and Kraichman 1951; Ржевкин 1956; Морозов 1964; Sundberg 1970; Sundberg 1973; Sundberg 1974; Морозов 1977; Schutte and Miller 1985; Sundberg, Gramming, and Lovetri 1993; Sundberg 1995; Titze and Story 1997; Weiss, Brown, and Moris 2001; Cleveland and Sundberg 2001; Borch and Sundberg 2002; Sundberg and Romedahl 2009; Leino, Laukkanen, and Radolf 2011; Dong, Kong, and Sundberg 2014; Saruhan, Guclu, and Ertugrul 2017*), а также имеющихся данных об акустических особенностях варганного звукоизвлечения (*Leipp 1963; Crane 1968; Ledang 1972; Adkins 1974; Dournon-Taurelle and Wright 1978; Мазепус 1989; Ларионов и Семенов 1991; Trias 2010; Kolltveit 2016*), можно предположить следующее:

1. Артикуляции гласных звуков составляют основу варганной музыки;
2. Существует ограниченный набор гласных фонем, присутствующих в родном языке варганиста, и этот набор является исходным строительным материалом соответствующей варганной музыки;
3. Варганные гласные акустически отличаются от певческих и речевых гласных;
4. Варганные гласные отличаются от певческих отсутствием «певческой форманты» (около 3 кГц), а также и «кантри», «актерской» или «дикторской» формант (около 4 кГц) – т.е. каждая гласная артикуляция на варгане имеет свою собственную форманту, высотное положение которой, вместе с амплитудой и шириной полосы частот, характеризуют одну только данную гласную;
5. Варганные гласные отличаются от **певческих** отсутствием различий в акустических свойствах тона, генерированного обладателями разного по тесситуре типа голосов (например, мужских или женских);
6. Варганные гласные отличаются от **речевых** значительно бóльшим числом динамически выделенных гармоник, которые образуют более сложные и разнообразные рисунки динамического профиля – в целом, увеличивая **фонические** контрасты между варганными и речевыми гласными;

7. Варганные гласные отличаются от речевых также общим сходством их «гармонической основы» (1-5я гармоники), в то время как их «гармонический остаток» (гармоники выше 6-7й) заметно разнится по рисункам динамического профиля и настройке гармоник;
8. Каждый из гласных звуков, артикулированных на варгане, обладает собственным устойчивым и характерным профилем «гармонического остатка», в котором звуковысотное положение динамического пика получает значение «варганной форманты»;
9. Гласные артикуляции на варгане образуют «тембровые классы», аналогичные «звуковысотным классам» певческих ладов. Каждый «тембровый класс» занимает определенную по звуковысотному положению **ступень «артикуляционной гаммы»** – на манер ступеней ладовой гаммы;
10. В отдельно взятой культуре вокальные системы¹ варганной игры и вербального языка родственны. Демонстрацией этого служит соотношение гласных артикуляций на варгане и в речи (в нашем конкретном случае – на якутском хомусе и в якутском языке). Эти артикуляции следуют одним и тем же принципам (подтверждением может служить сингармонизм гласных якутского языка).

2. Метод

В качестве основы тоновой организации варганной музыки предлагается принять систему фонематических артикуляций. Набор «простых» артикуляций, образованных гласными фонемами, и «сложных» артикуляций, образованных комбинациями гласных и согласных фонем, составляют искомый строительный материал для произведения варганной музыки – материал, организация которого превосходит по важности не только ладовую звуковысотность, но и натуральную обертоновую шкалу, осуществляясь в первую очередь по шкале фонематической (Оготоев 1988).

Звуковысотные отношения между фонемными «кирпичиками» в тоновой конструкции варганной музыки остаются вторичными по отношению к их фонологическим контрастам – следуя модели «фонетической шкалы» речи: $a > \text{æ} > \varepsilon > i$, открытой в 1929 году Сапиром (*Sapir 1929*) и расширенной Ньюманом до 8 базовых гласных фонем: $\text{ɔ} = o > u = a > \text{æ} > \varepsilon > e > i$ (*Newman 1933*). Более развернутые идеофонические шкалы, выведенные современными лингвистами, включающие и дифтонги (*Svantesson and Tayanin 2003*), отражают фонематическую специфику различных языков, соотнося их фонемы по «музыкальному принципу». По словам известного специалиста по просодии, Питера Ладефогед, каждая гласная речи функционирует как отдельный музыкальный инструмент: гласные сохраняют свои звуковысотные отношения, кто бы их не произносил, бас или сопрано, в верхнем или нижнем регистре – очень даже похоже на то, как «До» и «Ре» сохраняют свои звуковысотные отношения, какой бы инструмент их ни играл (*Ladefoged and Disner 2012, 32*). Однако, в отличие от звуковысотной гаммы музыки, фонематические гаммы управляются не отношениями **фундаментальных тонов** звуков, а отношениями их **формант** - резонансных пиков, наблюдающихся в спектральной картине звука (*Fant 1960, 32*). Относительное регистровое положение первой и второй формант определяет звуковысотные характеристики большинства гласных (*Carlson, Granstrom, and Fant 1970*). Высотное положение гласной фонемы в «фонематической гамме» задается главным образом положением второй форманты и ее расстоянием от первой (*Zsiga 2013*).

¹ Термин «вокальная система» здесь употребляется как категория фонетики и обозначает систему гласных звуков определенного языка.

Аналогичным образом, варганные артикуляции образуют высотные соотношения не своими фундаментальными тонами, а формантами – которые отличаются от речевых формант тем, что их регистровая позиция привязана к **строго определенным гармоникам** натурального ряда. Качество речевой гласной практически полностью решается тем, какая из ближайших к фундаментальному тону гармоник оказывается наиболее громкой во всем спектре (*Gramming and Sundberg 1988*). При этом, какая именно гармоника получает эту роль, остается неважным для категоризации гласных. Форманта и певческих, и разговорных гласных как правило вовлекает группу гармоник, зачастую попадая между соседними гармониками – так что известное непостоянство гармонического содержания форманты выполняет функцию «клея», склеивающего гармоники воедино – увеличение постоянства в выделении определенной гармоники растворяет этот «клей», приводя к вычленению этой гармоники в компонент, отдельный от фундаментального тона (*Sundberg 1994*). И речь, и пение в музыкальных системах, основанных на звуковысоте, полагаются на фокусирование на фундаментальном тоне, используя выделение гармоник как второстепенное средство артикуляции – только с той разницей, что речь квантифицирует движение основного тона как непрерывное, тогда как пение – как дискретное, требующие инкрементации и категоризации в интервалы определенной величины. Варганные же гласные определяются именно выделением строго определенных конфигураций гармоник (Trias 2010).

От певческих гласных варганные отличаются отсутствием универсальной «певческой форманты» (*Sundberg 1970*), которая придает единообразие всем певческим гласным путем сплавления определенных речевых гласных формант в единый комплекс. В этом отношении варганные гласные следуют речевым гласным, каждая из которых отличается своим особым звуковысотным расположением форманты. От речевых гласных варганные отличаются зависимостью не просто от специфической для данной гласной форманты, но от особой конфигурации составляющих форманту гармоник. Речевые гласные редко выдерживаются по высоте, так что период гласного звука не имеет гармонической структуры (что не мешает узнаванию этой гласной) – и полагаются на выделение фундаментального тона (A. de Cheveigné and Kawahara 1999). Варганные гласные же обладают гораздо более длинным натуральным рядом и полагаются на выделение нескольких избранных гармоник в ущерб другим избранным гармоникам.

Для выявления гармонической структуры каждой из варганных гласных, что должно позволить дальнейшее определение варганных слогов и слогосочетаний, целесообразно ограничиться измерениями лишь нижних 11 гармоник. Экспериментальные исследования установили верхний порог чувствительности к изменению отдельно взятой гармоники по высоте в районе 10-12 гармоник (*Bernstein, Oxenham, and Penagos 2003*). Что еще более существенно, 11-я гармоника представляет самую высокую «ноту» в варганной мелодике песенного типа, доступную большинству исполнителей и не представляющей технической трудности для них.² Разумно ожидать, что раз ухо варганиста привычно к распознаванию 11-й гармоники в контексте исполнения мелодии, то оно должно быть приспособлено к узнаванию изменений этой гармоники по высоте и громкости и в контексте гласных артикуляций непесенных форм варганной музыки.

Базирование варганной музыки на артикуляциях гласных звуков может быть установлено путем сравнительного акустического анализа звука, представляющего «натуральное» звучание варгана и звуков «искусственных» артикуляций. Похожая идея руководила опытами Оле Леданга, в которых сопоставлялось звучание варгана, изолированного от рта исполнителя, со звуком гласных артикуляций варганиста (*Ledang 1972*). Однако недостаток этого подхода состоял в том, что щелчки по язычку покоящегося на плоскости варгана не типичны для традиционной варганной музыки, и акустические

² Эта цифра представляется вполне консервативной оценкой в свете того, что отдельные варганные традиции характеризуются использованием вплоть до 13 гармоник (Эмсгаймер 1986).

параметры звуков, произведённых такими щелчками, не могут быть приняты за характеристики «натурального» звучания варгана. Так, Ихтисамов предупреждал, что варганный звук кардинально меняется, как только исполнитель приближает инструмент к губам – вплоть до понижения звука на октаву (Ихтисамов 1988).

«Чистый» (аутентичный) звук того или иного варгана, репрезентативный для данной традиции варганной игры, может быть извлечён без участия рук – посредством только лишь «пневматического» возбуждения его язычка. Такое звукоизвлечение можно зафиксировать в исполнении нескольких варганистов на нескольких варганах и вывести среднее значение настройки и динамики каждой из 11-ти нижних гармоник. Именно они служат в качестве «варганного лада» при создании варганных «мелодий», доступные даже неискусенным варганистам. Поскольку при пневматическом звукоизвлечении варганный звук отражает резонаторные свойства компонентов, мало изменяющихся по конфигурации вокального аппарата (в первую очередь, гортани), установление динамических и высотных значений каждой из 11-ти гармоник отразит закономерности, имеющие основополагающее значение для характеристики варганного звука. Стремясь придать той или иной гласной артикуляции желаемые фонемические характеристики, варганист модифицирует в «аутентичном», исходном для него звукоизвлечении те или иные динамические и высотные параметры гармоник и тем самым показывает, какие из этих параметров являются для него значимыми. Поэтому полученный профиль настройки и динамики гармоник может служить эталоном для определения специфики профилей каждой из варганных артикуляций.

Отличие варганных гласных от речевых и певческих может быть определено путем измерения звуковысотного положения и амплитуды каждой из нижних 11-ти гармоник каждой из гласных артикуляций якутского языка в трёх разных видах звукообразования на хомусе, в произнесении и при пении в тон хомусу. Привлечение гласных именно якутского языка целесообразно для уяснения соответствия между языком и традицией игры на варгане, присущего конкретному языковому сообществу, в котором варганная игра традиционно занимала доминирующее место в прежней инструментальной культуре и достигает расцвета в современной. Культурная общность принципов вокализации на варгане и языковой фонетики обеспечивает возможность установить как отличия, так и связи между вокальной системой речи и артикуляционной системой варганной музыки. Сравнение варганных, речевых и песенных вариантов каждой из гласных позволяет выявить форманты каждой варганной гласной и выяснить, насколько гармонический состав варганных формант отличается от гармонического состава гласных, произнесенных и спетых одним и тем же исполнителем.

Наличие «тембровых классов» в вокальной системе хомусной музыки может быть подтверждено звукозаписью каждой из гласных артикуляций и проверкой способности хомусиста опознать на слух собственную артикуляцию. В случае подтверждения такой способности, сравнение отклонений по амплитуде и настройке каждой из 11-ти нижних гармоник в исполнении на варганах различной конструкции позволит определить, какие именно динамические и звуковысотные конфигурации гармоник служат признаком каждого из «тембровых классов». Разница в настройке варганов не должна служить препятствием для такого сравнительного анализа. Она может быть преодолена путем определения высотных значений не по абсолютному, а по относительному уровню. Различия же по звуковысотному положению определенной гармоник между рядами различных по высоте фундаментальных тонов могут быть схвачены измерением отклонений интервала между соседними гармониками натурального ряда от нормативного чистого строя.

Таким образом, тембровый класс может быть охарактеризован в четырёх ракурсах:

1. Конфигурация *динамического профиля* нижних 11-ти «ладовых» гармоник, образованного вершинами и впадинами уровня интенсивности соседних гармоник;

2. Конфигурация *отклонений специфических гармоник по звуковысотному положению* от нормативного натурального строя;
3. Конфигурация гармоник по *относительной стабильности их звуковысотного положения* – гармоника, сохраняющие минимальные отклонения от среднего значения, тем самым приобретают определяющее значение для узнавания гармонического профиля данной гласной артикуляции, тогда как сильно меняющиеся гармоника несут второстепенную нагрузку;
4. Конфигурация гармоник по *стабильности их динамического отношения к низлежащей соседней гармонике* – те гармоника, которые неизменно громче соседней, маскируют тихие гармоника и получают роль ориентира при воспроизведении гармонического профиля определенной гласной.

В совокупности эти четыре аспекта выявляют гармоника, в данном гармоническом профиле «доминирующие» (Moore, Glasberg, and Shailer 1984). Гармоника, отличающиеся большей интенсивностью по сравнению с соседними и существенным отклонением от нормативного натурального строя, становятся более заметными и приобретают доминирующую роль в профиле, способствуя узнаванию соответствующей гласной артикуляции при продуцировании и слушании варганной музыки. К критериям «доминирования» примыкает и стабильность в настройке. Она предопределяет использование такой постоянной по высоте гармоника в качестве «референтной пометки» при восприятии звуковысотных отношений между звуками варганной «мелодии».

И напротив, гармоника, характеризующиеся сочетанием наименьшей интенсивности, большего соответствия натуральному строю и значительных флуктуаций по звуковысоте и динамике, становятся наименее значимыми в гармоническом профиле гласной артикуляции. В противоположность «доминирующим» гармоникам, их можно назвать «подчинёнными».

Взаимодействие названных четырёх аспектов организации гармоник образует суммарный ракурс, способный характеризовать тембровый класс. Вершины динамического профиля гармоник, приходящиеся на гармоника одних и тех же номеров, при условии их высокого динамического и высотного постоянства, образуют **нижнюю варганную форманту** данной гласной артикуляции. Определение этой форманты и составляет пятую, в дополнение к перечисленным четырем, важную характеристику тембрового класса:

5. Выявление того, *какие из нижних 11-ти гармоник систематически образуют динамический пик*, отличаясь высоким уровнем интенсивности. Такая гармоника (или группа гармоник) кардинальна для слухового узнавания гармонического профиля.

Соответственно, контраст между соседними по рядности максимально «доминирующими» и максимально «подчинёнными» гармониками становится важнейшим маркером гармонического профиля, позволяющим отличать один профиль от другого и квалифицировать его как более или менее заметный по сравнению с другими. Такой подход позволяет сформулировать вокальную систему варганной музыки, где одни гласные артикуляции получают ведущую роль, тогда как другие – роль поддерживающую.

Названные 5 параметров полезны не только для сравнения профилей разных гласных артикуляций, но и для сравнения варганных, певческих и речевых вариантов одной и той же гласной артикуляции. Они позволяют увидеть, насколько уникальна организация варганного звука по «тембровым классам», и чем вокальная система якутского языка отличается от вокальной системы традиционной игры на якутском варгане.

Общее сравнение варганных, речевых и певческих гармонических профилей одной и той же гласной может быть произведено посредством выведения и последующего сравнения среднего арифметического значения четырёх параметров:

1. «расстроенности» (отклонения от натурального значения) всех ее гармоник;
2. разницы по амплитуде между каждыми составляющими всех пар соседних гармоник;
3. величины стандартного отклонения от натурального значения всех гармоник³; и
4. степени сохранности положительного или отрицательного динамического значения по отношению к низлежащей гармонике.

Эти средние арифметические значения можно рассматривать в их совокупности как показатель **общей гармоничности** вокальной артикуляции. Приближающиеся к нулю значения первых трёх параметров означают, что гармонический профиль:

- обладает низкой расстроенностью и, следовательно, высокой степенью соответствия натуральному строю – что можно квалифицировать как степень «**чистоты**»;
- сохраняет относительно ровный уровень динамического контура между 1-й и 11-й гармониками (большее угасание обычно характеризует тембры с бóльшим содержанием шумов, например, тембры ударных инструментов) – степень «**выдержки**»;
- отличается высокой стабильностью настройки гармоник - степень «**консервации**».

Четвертый параметр также отражает степень консервации – но только в отношении стабильности динамических характеристик. Чем ближе к 100% его среднее значение, тем определённое положительная или отрицательная динамическая функциональность гармоник ряда:

- положительные гармоники исполняют функцию вершины (прибавления интенсивности), а негативные гармоники – впадины (убавления интенсивности) в динамическом профиле натурального ряда данной артикуляции.

Высокие показатели чистоты, выдержки и консервации гармоник отражают преобладание гармоничности над негармоничностью спектра. Низкие же показатели свидетельствуют об обратном.

Более высокая гармоничность профиля является показателем преобладания музыкального аспекта «благозвучности»⁴ в организации вокальной артикуляции. Звук со значительным числом «чистых», хорошо выдержанных и постоянных по настройке гармоник обычно воспринимается как более богатый и приятный по тембру.

Малая гармоничность профиля отражает обилие отклонений обертонов от чистого строя, общую малочисленность гармоник, низкое постоянство динамических и характеристик гармоник натурального ряда по их строю. Если определенная гласная артикуляция систематически оказывается мало-

³ Этот параметр отличается от расстроенности тем, что последняя показывает насколько выше или ниже чистого строя, в среднем, оказывается определенная гармоника (точечная позиция) – тогда как стандартное отклонение по высоте показывает насколько широка полоса частот (включая и положительные, и отрицательные показатели), в пределах которой данная гармоника обычно меняется при разных исполнениях (регистровая позиция).

⁴ Понятия благозвучности и музыкальности здесь применяются с позиций академической, европейского склада музыкальной теории и практики – отражая произвольную оценку звуков, общепринятую в рамках культуры Западно-Европейских стран. В традиционной музыке многих других культур, акустически жесткие созвучия (80-165 центов) получают значение благозвучных - например, 2х-голосные *вэиу* с острова Флорес Папуа-Новой Гвинеи, описываемые певцами в качестве приятных «как колокольчик» (Messner 1981).

гармоничной, это свидетельствует о том, что ее звукопроизводство подчиняется не соображениям «благозвучности», а соображениям «контрастности». Критерий благозвучности или неблагозвучности обычно определяет восприятие музыки, тогда как критерий контрастности обычно превалирует в восприятии речи,⁵ где меньшая степень соответствия натуральному строю, неровность динамического контура и значительные вариации по стабильности настройки позволяют достичь большего числа контрастирующих модификаций звука.

Наоборот, руководство принципа «благозвучности» различные вокальные артикуляции более однородными – как это заключил ещё Ржевкин (Ржевкин 1928) и подтвердил в своих экспериментальных исследованиях Сундберг (*Sundberg* 1995). Предпочтение количества опций качеству «благозвучия» отвечает удобству различения фонем в потоке речи. Для чисто «музыкальной» манеры слушания такое узнавание второстепенно по сравнению с критерием «благозвучности», принятым соответствующей музыкальной культурой. Таким образом, увеличение контрастности и связанное с ним увеличение числа мало-гармоничных артикуляций, становится важнее распознавания слов и их лексических значений. Те же жанры музыки, для которых понимание словесного текста существенно, берут на вооружение мало-гармоничные артикуляции и заостряют контрасты между ними.

- Увеличение контрастности здесь надо рассматривать в контексте целостной вокальной системы – всего набора гласных артикуляций. Высокая гармоничность абсолютно всех гласных отражает главенство «музыкальности» (наиболее ярко выраженное в пении), тогда как высокая гармоничность некоторых гласных и низкая гармоничность других отражает первенство контраста (наиболее ярко выраженное в артикуляциях речи).

Гармоничность профиля становится заметнее, если не ограничивать акустическую характеристику каждой гласной артикуляции на варгане 11-ю гармониками, а принять во внимание все гармоники, динамические вершины которых выступают над уровнем шума. Более полные профили позволяют выявить не только одну (нижнюю) варганную форманту в качестве характеристики каждого гласного звука, но все задействованные форманты.

К сожалению, составление таблиц с перечнем динамических и звуковысотных характеристик всех гармоник каждой гласной артикуляции в исполнении нескольких варганистов на нескольких варганах в нескольких вариантах исполнения весьма трудоёмко: многие варганные гласные имеют до 86-ти хорошо различающихся гармоник – мы будем называть их «активными». Такой объём работы чрезмерен для данного исследования. В качестве разумной альтернативы можно базировать сравнение развернутого ряда «активных» гармоник каждой гласной артикуляции с развернутым рядом гармоник других артикуляций на основе визуального сопоставления их спектрограмм. Спектрограмма может быть снята только с одного образца той звукозаписи гласной артикуляции, которая максимальна близка типичной динамической и звуковысотной конфигурации 11-ти гармоник, характеризующей данную гласную.

Типичность значений может быть установлена путем вычисления среднего арифметического значения каждой из 11-ти гармоник гармонических профилей целого ряда исполнений одной и той же гласной артикуляции, а затем выбора той звукозаписи, профиль которой наиболее близок найденным средним значениям. Поскольку 11 нижних гармоник составили максимальное число гармоник, экспериментально подтвержденных в их способности быть замеченными при изменении отдельно

⁵ В «диафонических» стилях музыки (*Brandl* 2008), основанных на эстетическом предпочтении акустически диссонантных созвучий, это обобщение сохраняется, так как мало-гармоничные звуки систематически предпочитают высоко-гармоничным звукам, и в результате количественно над ними превалируют. В целом, слушатели предпочитают звуки с хорошим (по их мнению) качеством звукам плохого качества (*Fung* 1995).

взятой гармонике по высоте (Bernstein, Oxenham and Penagos 2003), правомерно принять эти 11 гармоник в качестве базы для определения гармонического профиля комплексного тона. Тогда отличие более высоких гармоник по их динамическим и звуковысотным характеристикам будет иметь второстепенное значение для гармонической окраски данного тона, а тон, чьи 11 нижних гармоник совпадут со средними значениями характерного профиля, станет достаточно представительным для данной гласной артикуляции.

Степень гармоничности комбинаций гласных артикуляций при варганной игре, произнесении и пении может быть установлена спектральным анализом соответствующих звукозаписей. Особо полезными здесь могут стать измерения спектрального «распространения» (*spectral spread*) (Marozeau et al. 2003), спектрального спада (*spectral rolloff*) (Scheirer and Slaney 1997), жёсткости (Vassilakis 2005) и общей периодичности спектрального состава звука (Alain de Cheveigné and Kawahara 2002).

После выявления гармонического профиля каждой из варганных гласных становится возможным анализ репрезентативного образца варганной музыки на предмет значимости его спектральных составляющих: возможно ли установить по акустическим параметрам каждого из отдельных артикулированных звуков их принадлежность к одному из «тембровых классов», и соответствует ли установленная таким способом принадлежность реальному звучанию данной артикуляции? В случае успеха открывается возможность сравнительного изучения просодии варганной, певческой и речевой артикуляций.

В отношении якутского языка наиболее обещающим выглядит перспектива сравнительного анализа исполнения в манере «говорящего хомуса», пения и выговаривания одного и того же текста. Законы сингармонизма, регулирующие взаимодействие гласных и согласных в слогосложении, и законы ударения слогов в слове вызывают особый интерес как конкретные свойства фонетики, которые могли сложиться не без влияния варганной игры.

Сравнительный гармонический и спектральный анализ одного и того же образца сингармонизма словосочетаний в варганном исполнении, произнесении и пении мог бы пролить свет на то, является ли тоновая организация варганной музыки прототипом сингармонизма вокальной системы якутского языка или же они основаны на разных акустических принципах, имеющих только поверхностное сходство. Ответ на этот вопрос позволил бы задаться и столь интригующим вопросом: сложилась ли вокальная система якутского языка под воздействием архаической традиции варганной музыки или же, наоборот, гласные артикуляции на варгане сложились под воздействием имитаций якутской речи в практике «говорящего хомуса»? А поскольку времена выработки приёмов «говорящего варгана» вряд ли установимы, доказательство непреложного сингармонического свойства слогообразования варганных артикуляций предоставило бы весомый аргумент в пользу формообразующего влияния варганной традиции на вокальную систему якутского языка.

3. Процедура исследования

Выбор варганистов для звукозаписи варганных артикуляций следует начать с тестирования их способности отличать на слух различные варганные артикуляции и узнавать каждую гласную артикуляцию. Для начала необходимо провести проверку общей чувствительности слуха варганиста. Причиной этого служит чрезвычайно высокая степень гармоничности варганной артикуляции, намного превышающая гармоничность певческой артикуляции, не говоря о речевой.

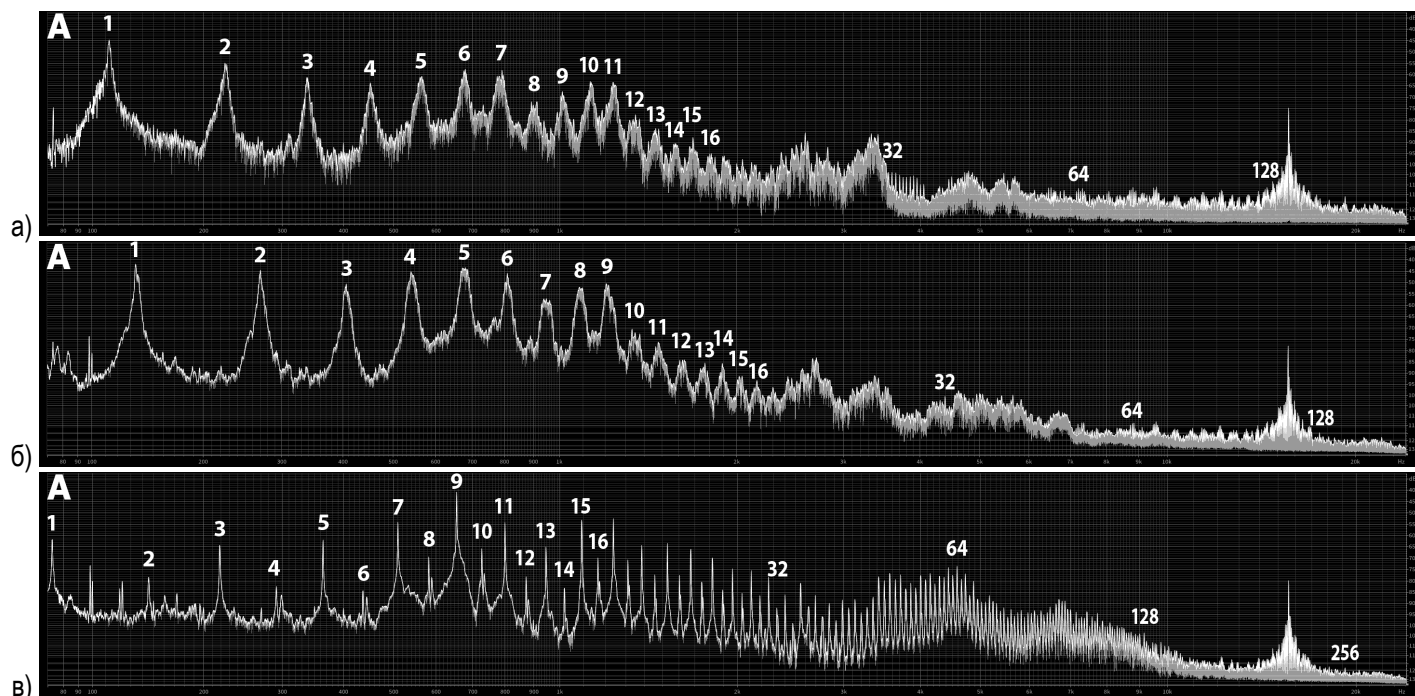


Рис. 1) Полный спектральный контур звукозаписи «А» в очень высоком разрешении (262144 выборка входного сигнала для блока быстрого преобразования Фурье): а) речевая версия (112.6 Гц), б) певческая версия в тон хомусу (134.8 Гц), в) варганная версия на хомусе (72.8 Гц). Номера обозначают расположение гармоник: №№ 1-16 подряд, а далее по октавам. Пик на 15.6 кГц является шумом. Все три демонстрации были записаны в идентичных условиях.⁶

Налицо колоссальное преимущество варгана по общему количеству активных гармоник: их ряд простирается без перерыва по крайней мере до 145-й гармоники (Рис.1в). Гораздо короче протяженность ряда активных гармоник в пении – он обрывается на 23-й гармонике (Рис.1б). Более высокая часть спектрального контура певческой «А» не позволяет различить систематически распределенных пиков. Еще короче речевая версия - всего лишь 19 гармоник (Рис.1а). Очевидно, что восприятие различий в варганных артикуляциях требует слышимости высоких частот. Ясность артикуляции имеет ещё большее значение для варганной музыки, чем для речи и пения, поскольку варганная музыка полагается больше на фонический символизм гласных, чем на лексическое значение слов, которое предоставляет дополнительный источник для корректировки невнятных артикуляций речи и пения посредством референции возможных фонетических транскрипций к определённому семантическому контексту. Варганная музыка, лишенная такого механизма корректировки, в гораздо большей степени зависит от чёткости артикуляции, определяемой высокочастотной частью спектра.

Вполне достаточно следовать процедуре простейшего аудиологического теста и предложить варганисту прослушать набор клипов с записью чистого тона максимальной амплитуды, настроенного на 15, 16, 17...50 Гц (для определения нижнего порога слышимости) и на 12, 13, 14...22 кГц (верхний порог). Если слух варганиста нормален (20 Гц – 20 кГц), можно переходить к следующему, более специфическому, тесту.

Поскольку варганы отличаются друг от друга по своей настройке и тембру, и изготовление абсолютно идентичных инструментов проблематично, то тестирование методом воспроизведения одним варганистом звукоизвлечения другого варганиста оказывается не-эффективным. Целесообразнее использовать один и тот же инструмент. Этого можно достичь при помощи

⁶ Измерение производилось на основе выборки 4-х последовательных звукоизвлечений с предпуском в 160 мсек и окончанием немедленно по затуханию звука сигнала.

звукозаписи. Сначала требуется записать исполнение варганистом всех гласных артикуляций – каждую по несколько раз – после чего перемешать клипы и предложить тому же варганисту прослушать звукозапись в наушниках (для избегания искажения сигнала в результате реверберации помещения) и определить, какой клип представляет какую гласную. Тест следует проводить с несколькими участниками и повторить несколько раз. Можно использовать несколько варганов различной конструкции. Это позволит получить более надежные данные для определения ведущих акустических признаков у каждой из артикуляций.

Результаты полезно записать для последующего анализа ошибок: какие именно артикуляции более трудны для узнавания. Для этого можно ввести **рейтинг узнавания**, вычисляя среднее арифметическое число общего числа узнанных гласных (при равенности общего числа клипов, представляющих каждую артикуляцию). Категоризация гласных по рейтингу позволит определить наиболее легко узнаваемые гласные, тем самым подсказывая, какие гласные являются основополагающими в варганной музыке. Кроме того, анализ ошибок покажет, какие гласные наиболее часто принимаются за другие гласные. Это позволит подступить к определению вокальной системы варганной музыки на основе идентификации наиболее сходных и наиболее контрастных артикуляций.

Записанные и верифицированные в ходе тестирования гласные артикуляции следует проанализировать с помощью компьютерных программ. Коммерческие программы имеют преимущество над бесплатными, условно-бесплатными и свободными программами, поскольку их производители имеют больше фондов для разработки и усовершенствования программы, что позволяет нанимать больше инженеров и более эффективно координировать их работу, собирая отклики от испытателей и пользователей программы, и адресуя их критические замечания.

На данный момент одной из наиболее точной и удобной для сбора данных частотного и спектрального анализов является программа с 10-летней историей развития *iZotope RX*. Её модуль, *Spectrum Analyzer*, предоставляет следующими параметрами настройки: размер блока быстрого преобразования Фурье (БПФ) — 131072 выборки входного сигнала, тип окна взвешивания БПФ — *Hahn*, нестыковка времени — *4x*, режим работы каналов аудио — *усреднение*, частотная шкала — 80 дБ/сек темпа затухания в расширенной логарифмической шкале, которая лучше логарифмической для показа нижних гармоник. Для дисплея спектрограммы можно задать минимальные и максимальные пороги, оптимальные для показа значащего аудио материала и игнорирования постоянного шумового фона (например, -71 дБ и -17 дБ) в шкале Мел (она лучше приспособлена для отражения звуковысоты в соответствии с тем, как ее воспринимает человеческое ухо). Алгоритм *RX* привязывания курсора к сетке автоматически определяет параметры частоты и амплитуды для пиков амплитуды спектрального контура с очень высокой точностью. Программа позволяет ручную выборку с точностью до 1 мсек в селективном режиме определенных полос частот.

Для каждого варганного тона требуется замерить частоту (в герцах) и амплитуду (в дБ FS — «*full scale*», т.е. принимая 0 за максимально допустимое значение). Разрешительная способность в 131072 сэмплов требует протяжённости звука в 2230 мсек, так что клипы артикуляций не должны быть короче. Выборка каждого клипа обязана иметь одинаковый предпуск и откат (скажем, 100 мсек), так как интервал времени, выбранный перед атакой сигнала и оставленный после его затухания, влияет на величину амплитуды, показанной программой, если разница превышает 20-30 мсек.

Снятые значения частоты и амплитуды нужно занести в специально созданную таблицу в программе *Microsoft Excel* (Таб.1).

Таб.1. Образец таблицы «Динамические и звуковысотные характеристики гласной артикуляции на варгане». Жёлтый цвет выделяет колонки, требующие заполнения при измерении гармоник. Курсивом помечены данные, остающиеся неизменными во всех таблицах.

A	B	C	D	E	F	G	H
Номер гармоники	Интервал от ФТ	Частота гармоники (Гц)	Интервал от нижней гармоники (ц)	Натуральный интервал от нижней гармоники (ц)	Отклонение от чистого строя (ц)	Амплитуда гармоники (дБ FS)	Разница по амплитуде от нижней гармоники (дБ)
1 (ФТ)	1	84.6				-63.7	
2	8	168.7	1,194.9	1,200.0	-5.1	-71.3	-7.6

Колонка “A” показывает номер гармоники, начиная с фундаментального тона.

Колонка “B” показывает название интервала, образованного между данной гармоникой и фундаментальным тоном (1 обозначает приму, а 8 – октаву).

Колонка “C” показывает в герцах величину установленной замером частоты для каждой из гармоник.

Колонка “D” подсчитывает величину интервалов между соседними гармониками, выраженную в центах.⁷ Она названа «Интервал от нижней гармоники».

Колонка “E” («Натуральный интервал от нижней гармоники») показывает нормативное расстояние в центах между соседними гармониками одного и того же натурального ряда.

Колонка “F”, названная «Отклонение от чистого строя», подсчитывает отличие найденной величины интервала между соседними гармониками от его нормативной для натурального ряда величины. Это отличие выражается положительным числом в случае, если настрой гармоники превышает нормативное чистое значение, и отрицательным числом, если настрой гармоники ниже нормативного. Отрицательные значения помечены красным цветом. Эта колонка важна для звуковысотной характеристики гармоники в гармоническом профиле гласной артикуляции. Гармоники, наиболее заметно отклоняющиеся от нормативных значений, заметнее выступают по отношению к соседним гармоникам, настрой которых близко соответствует чистому строю.

Следующие 2 колонки посвящены динамическим характеристикам гармоник.

Колонка “G” показывает величину амплитуды, установленной замером для каждой из гармоник. Показатели этой колонки получают цветовую градацию: самая интенсивная гармоника отмечена красным цветом, вторая по интенсивности гармоника помечена оранжевым цветом, а третья по интенсивности гармоника — жёлтым. Эти цвета позволяют увидеть конфигурацию динамического пика для гармонического профиля данной гласной артикуляции, помогая определить регистровое положение нижней варганной форманты.

Колонка “H”, названная «Разница по амплитуде от нижней гармоники», подсчитывает разницу по громкости между соседними гармониками. Положительное число отражает увеличение амплитуды, а отрицательное — её уменьшение. Эта колонка наиболее важна для динамической характеристики гармоники в гармоническом профиле гласной артикуляции. Гармоники, обладающие положительными значениями, рельефно выступают над гармониками с отрицательным значением. Чем больше положительное число, тем сильнее выделяется более громкая гармоника. Чем больше отрицательное число, тем менее гармоника заметна. Чем больше разница между соседними числами, тем сильнее динамический перепад между соседними гармониками, что должно привлекать слуховое внимание и иметь повышенное значение для узнавания данного гармонического профиля на слух.

⁷ Цент — единица частотного интервала, равная 1/1200 чистой октавы. Поскольку октава составляет отношение 2х1, отношение частот, разделённых дистанцией в 1 цент, равняется приблизительно 1.00058.

В дополнение к варганным гласным артикуляциям необходимо записать извлечение звука без участия удара по язычку — методом его пневматического возбуждения. Не каждый варган позволяет такое «самовозбуждение», поэтому выбор варганов для исследования должен исходить из этого критерия – по-крайней мере два варгана должны позволить самовозбуждение, чтобы можно было судить об общих акустических особенностях такого звукоизвлечения. Оно должно получить отдельную таблицу, оформленную по такому же принципу, что и гласные артикуляции на варгане.

Сравнение показателей, характеризующих самовозбуждение, с каждой из гласных артикуляций выявит, какие именно параметры определяются главным образом физическими свойствами варгана, а какие – конфигурацией вокального аппарата варганиста. Кроме внесения ясности в определения ступеней артикуляционной гаммы, анализ самовозбуждения позволит увидеть важные тоновые отличия между разными инструментами.

Те же самые варганисты, которые успешно пройдут тестирование и произведут звукозаписи гласных артикуляций на варгане, должны пропеть и выговорить те же самые гласные – в том же числе клипов, которое имело место при записи варганных артикуляций. Пение надо выдержать в тон каждому из использованных варганов. Говорение может быть на любой удобной звуковысоте. Необходимо попросить варганистов спеть в тон варгану одновременно с игрой на этом варгане («гибридная» артикуляция).

Не каждый варганист будет способен этого добиться, но данный прием традиционной варганной музыки особо ценен для сравнения певческих и варганных версий одних и тех же гласных. Акустические измерения покажут, к какой версии гибридная артикуляция окажется ближе – к варганной или певческой. В традиционной музыке многих народов Евразии звук музыкального инструмента воспринимается как его собственный «голос», аналогично индивидуальному голосу человека (Земцовский 1987), так что предпочтение «певческой» или «варганной» модели гласной в гибридном звукоизвлечении может служить показателем того, происходит ли варганная вокальная система от певческой (Шейкин 1996) или наоборот, варганная артикуляция послужила прообразом певческой (Ихтисамов 1988).

Произнесённые и спетые гласные будут замерены, следуя той же самой процедуре, что и варганные гласные. Одной из главных особенностей, отличающих пение и говорение гласных от варганных артикуляций, является присутствие **глиссандо** — плавного скольжения звука по высоте от начала до конца скольжения. Это скольжение движет не только звук в целом, но также и составляющие его гармоники — причём в разной степени. Одни гармоники могут скользить на гораздо больший звуковысотный интервал, чем другие, а отдельные гармоники могут даже полностью исключаться из скольжения.

Глиссандо может отличаться определённым звуковысотным контуром (восходящим, нисходящим или волнообразным), видимым на спектрограмме (Рис.2). Такое скольжение полностью отсутствует в отдельно произведенных гласных артикуляциях на варгане⁸ и потому характеризует специфические гласные артикуляции именно при говорении и, в меньшей мере, пении.

⁸ Дискретно выполненное глиссандо технически довольно трудно на варгане и требует развития особой техники исполнения (Кончев 2004). Такой относительно редкий приём варганной игры необходимо отличать от легкого натурального глиссандирования на согласных звуках при сменах некоторых слогов (Загреддинов 1997).

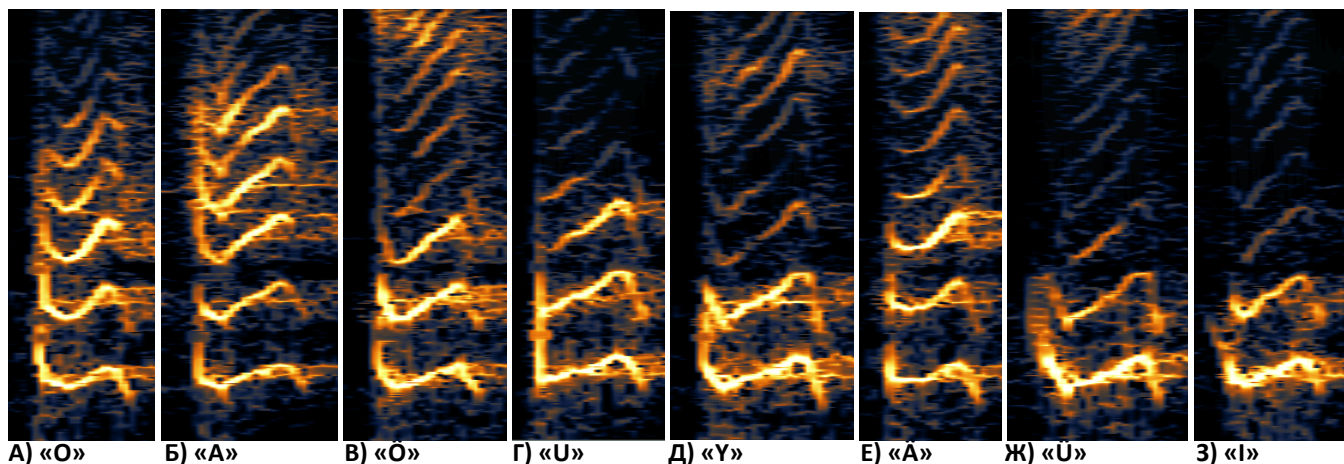


Рис. 2) Интонационный контур речевых якутских гласных. Вертикаль обозначает частоту, а горизонталь – время. Яркость желтого цвета передает интенсивность сигнала. Спектрограмма включает 8 нижних гармоник. Как видно, каждая гласная может быть охарактеризована уникальной комбинацией рисунка контура и числа активных гармоник.

Для замеров вокализаций со скольжением тона, значения снимаются с нижнего и верхнего краев динамических вершин, оказавшихся в наибольшей близости к нормативному местоположению гармоники, кратной нижней динамической вершине (Рис.3). В случае, если звуковысотные значения верхнего предела одной гармоники и нижнего предела соседней, более высокой гармоники пересекаются, графическая диспозиция пика и гармоническая кратность предоставляют критерий для определения звуковысотного значения. Если спектральный контур не обнаруживает заметных пиков в области следующей по порядковому номеру гармоники, замер натурального ряда прекращается.

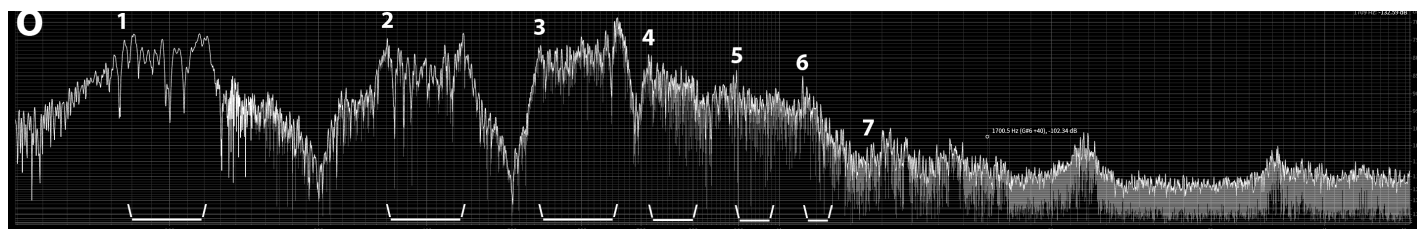


Рис. 3) Спектральный контур гласной «О» (Рис.2а). Вертикаль представляет амплитуду, а горизонталь – частоту. Цифры обозначают гармоники. Скобка внизу показывает зону глissандо каждой из гармоник, где обратная косая черта отмечает нижний порог глissандо, а косая черта - верхний порог. Отмеченные 6 гармоник ярко проступают на спектрограмме (Рис.2а). 7-я гармоника едва заметна на спектрограмме и сливается с шумовым фоном в спектральном контуре этой гласной артикуляции.

Для подсчетов замеров со скольжением тона задействуются три дополнительные колонки, вставленные после колонки “D” (Таб.2).

Таб.2. Образец таблицы «Гармонические характеристики гласной артикуляции в речи». Колонки, требующие заполнения при измерении гармоник, выделены желтым. Сокращения означают: гарм.=гармоника, интерв.=интервал, част.=частотный, НГ=нижняя гармоника, НП=нижний порог, ВП=верхний порог, СП=средний порог, отклон.=отклонение, ампл.=амплитуда, глiss.=глissандо.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Номер гарм.	Интерв. от ФТ	НП част. уровня гласной (Гц)	Интерв. между НП и НГ (ц)	ВП част. уровня гласной (Гц)	Интерв. между ВП и НГ (ц)	Интерв. между СП и НГ (ц)	Натуральный интерв. от НГ (ц)	Отклон. от чистого строя (ц)	Ампл. Гарм. (дБ FS)	Разница по ампл. от НГ (дБ)	Размер зоны глiss. (ц)
1 (ФТ)	1	179.0		220.0					-50.0		357.1
2	8	362.0	1,219.2	438.0	1,192.1	1,205.7	1,200.0	19.2	-52.0	-2.0	329.9
3	8 + 5	550.0	724.1	658.0	704.6	714.4	702.0	22.2	-50.0	2.0	310.4

Колонки “С” и “D” характеризуют нижний предел звуковысотного уровня измеряемой гармоник, тогда как колонки “E” и “F” характеризуют его верхний предел. В том случае, если гармоника не имеет глиссандо, то число в колонке “С” дублирует число в колонке “E”. Колонка “D” подсчитывает дистанцию в центах между нижним порогом данной гармоник и нижним порогом нижней соседней гармоник. Дополнительная колонка “G” подсчитывает среднее арифметическое значение между колонками “С” и “E”, показывая расстояние между серединными звуковысотными точками глиссандо данной и соседней нижней гармоник. Эта мера компенсирует за несоответствия между размерами глиссандо у разных гармоник, одни из которых могут иметь более значительный интервал частотного скольжения чем другие. В таких случаях измерение расстояния между центрами звуковысотной зоны глиссандо позволяет избежать чрезмерного колебания значений расстояния между нижними точками глиссандо соседних гармоник или между их верхними точками. «Отклонение от чистого строя» здесь устанавливается не в отношении краевых, а серединных значений глиссандо каждой из пар соседних гармоник. Остальные колонки остаются такими же, как и в предыдущем типе таблиц. Величина амплитуды берется от максимального значения интенсивности в пределах всего глиссандо, поскольку точное высотное местоположение динамического пика в рисунке глиссандо не имеет большого значения, а выступание гармоник определяется максимумом её интенсивности.

Относительный размер глиссандо и его распределение по разным гармоникам ряда могут иметь определяющее значение для категоризации отдельных певческих и разговорных гласных. Для отражения изменений в размере глиссандо разных гармоник (и разных артикуляций) добавлена колонка “L” («Размер зоны глиссандо»). Она конвертирует разницу между НП и ВП в центы.

Каждые 5 вариантов взятия каждой гласной на каждом из варганов суммируются в таблице, представляющей средние значения настройки и динамики каждой из 11 гармоник (Таб.3).

Таб.3. Образец усреднения значений гармонического профиля нескольких исполнений одной и той же гласной на варгане (одним отдельным исполнителем). СО=стандартное отклонение.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Номер гармоник	Интервал от ФТ	Средняя частота гармоник (Гц)	Средняя дистанция от нижней гармоник (ц)	Натуральный интервал от нижней гармоник (ц)	Среднее отклон. от чистого строя (ц)	Средняя амплитуда гармоник (дБ FS)	Средняя разница по амплитуде от НГ (дБ)	СО в настройке гармоник (ц)	Число клипов с тем же знаком ампл. разницы	Постоянство знака ампл. разницы (%)
1 (ФТ)	1	117.3				-27.7		17.75		
2	8	233.9	1,194.2	1,200.0	-5.8	-34.5	16.3	17.00	5	100
3	8 + 5	350.9	702.0	702.0	0.1	-37.3	10.9	0.27	5	100

Это усреднение получает ещё одну колонку: «Стандартное отклонение от среднего значения». Она отражает стабильность настройки каждой из гармоник во всех попытках воспроизведения данной гласной. От колонки “F” («Отклонение от чистого строя») эта колонка отличается тем, что принимает во внимание не только одну определённую величину в отношении чистого строя, но ряд величин — т.е. показывает в центах, насколько широка полоса частот, в пределах которой данная гармоника меняется при разном исполнении. Эта рубрика исключительно важна для определения доминирующей гармоник в гармоническом профиле специфической гласной артикуляции.

Гармоника, играющая ключевую роль в гармоническом профиле, должна обладать наименьшей вариативностью в настройке.⁹ И наоборот, гармоник, обладающие наибольшим диапазоном вариативности частотного значения, должны быть наименее важны для настройки данного профиля. Этот параметр «доминирования» отражён в таблице зелёной окраской, которая отмечает 4 самые

⁹ Это предположение вытекает из выводов, сделанных на основе изучения традиционных якутских песенных мелодий, которые основаны на принципах экмелики (Э. Алексеев 1976).

стабильные по настройке гармоник. Те из помеченных гармоник, которые одновременно существенно ниже или выше чистого строя и громче соседних гармоник, следует рассматривать как «доминирующие» (Moore, Glasberg, and Peters 1985) и характеризующие данную гласную артикуляцию на данном варгане.

Выводы Мура, Гласберга и Шэйлера (Moore, Glasberg, and Shailer 1984) можно принять в качестве критерия существенного отклонения по высоте и слышимости.¹⁰ Хотя их эксперименты проводились со звуковым сигналом в 200 Гц (что превышает типичную высоту основного тона варгана) и ограничивались лишь тремя испытуемыми, полученные в них результаты представляют полезный ориентир для определения, какая гармоника в гармоническом профиле варганной артикуляции оказывается выделенной. Более низкий настрой варгана предполагает, что цифры Мура, Гласберга и Шэйлера должны быть повышены — соответственно, их принятие в качестве критерия обеспечивает запас надёжности полученных результатов, так как заниженные для нашего контекста пороги делают итоговые результаты строже. Гармоника, удовлетворяющая установленным этими исследователями пределам, должна непременно оказаться в пределах слышимости отклонения гармоник от нормы в звуковом сигнале порядка 100 Гц (типичный настрой варгана). Поскольку нас интересуют именно 11 гармоник, ограничение опытов Мура, Гласберга и Шэйлера тоном, состоящим лишь из 12 гармонических компонентов, не имеет критического значения: они обнаружили, что изменение числа компонентов вызывает изменение порогов слышимости лишь для первого и последнего компонентов. Следовательно, установленные пороги для 2–11-й гармоник (Таб.4) должны быть вполне надёжными для наших целей.

Таб.4. Пределы слышимости отклонения гармоник по частоте и интенсивности в 12-компонентном комплексном тоне ФТ 200 Гц с равной интенсивностью компонентов (установлено в экспериментальном исследовании Мура, Гласберга и Шэйлера).¹¹

Номер гармоники	Интервал от ФТ	Частота гармоники (Гц)	Предел слышимого отклонения по высоте (ц)	Предел слышимого отклонения по интенсивности (дБ)
1 (ФТ)	1	200	15.5	2.1
2	8	400	8.6	2.1
3	8 + 5	600	5.8	1.5
4	2x8	800	8.6	1.6
5	2x8 + M3	1000	18.4	1.3
6	2x8 + 5	1200	27.5	2.1
7	2x8 + m7	1400	34.8	3.0
8	3x8	1600	32.0	2.3
9	3x8 + M2	1800	48.4	2.4
10	3x8 + M3	2000	62.3	2.6
11	3x8 + T	2200	54.0	3.0

Оставшиеся 2 колонки (“J” и “K”) добавлены в таблицу усреднения (№ 3) для отражения стабильности ещё одного аспекта динамической конфигурации гармоник — уточняющего колонку “G”, которая показывает среднее значение гармоник с наивысшей амплитудой. Колонка “J” в Таб. 3 — «Постоянство знака амплитудной разницы» — показывает максимальное число клипов звукозаписи, в которых определённая гармоника сохраняет своё положительное или отрицательное значение среди всех вариантов исполнения данной гласной артикуляции. Например, число 5 показывает, что 5 клипов

¹⁰ Величина порога отклонения отдельной гармоники по интенсивности порядка 2 дБ была также подтверждена для восприятия на слух гласных речи (Kakusho et al. 1971).

¹¹ Данные, представленные в таблице, основаны на диаграммах № 1 и № 3 в указанной публикации 1985 года. Оригинальные данные были утеряны. Однако правильность приведённых здесь данных подтверждена проф. Брайаном Муром в личной коммуникации со мной (А. Никольский).

содержат данную гармонику с положительным знаком (т.е. она превосходит по интенсивности соседнюю нижнюю гармонику) или отрицательным знаком (т.е. она уступает по интенсивности соседней нижней гармонике).

Высокая сохранность положительного или отрицательного значения составляет ещё один важный признак (в дополнение к наивысшей громкости), по которому один гармонический профиль может быть отличён от другого. Гармоника, всегда превосходящая соседнюю гармонику по амплитуде, должна быть в целом более заметна, чем гармоника, которая часто меняет свое значение от положительного (громче предыдущей) на отрицательное (тише предыдущей), и это может способствовать узнаванию определённого гармонического профиля.

Колонка "К" в Таб. 3 конвертирует количество клипов из колонки "J" в проценты общего числа анализируемых образцов данной гласной артикуляции - для удобства последующего сравнения результатов с соответствующим показателем пения и говорения. Пересчет в проценты позволяет соотносить результаты в тех условиях, когда число клипов, служащих в качестве образца для выведения среднего арифметического, меняется (скажем, от 5-ти для варганной игры до 6-ти для пения). Голубой цвет отмечает гармонику, самую постоянную по сохранению знака.

Усреднение певческих и разговорных гласных включает добавочную колонку «Средний размер зоны глиссандо» (Таб.5: "G"). Этот параметр отражает среднее значение высотной зоны, в пределах которой гармоника скользит (значение, выведенное по всем клипам конкретного исполнителя данной гласной артикуляции). Колонки же, связанные с конкретной частотой гармоник («Частота гармоник», «Дистанция от нижней гармоник» и «Натуральный интервал от нижней гармоник») исключены из таблицы № 5, поскольку каждая вокализованная гласная имеет свою собственную звуковысоту, что делает соотнесение конкретных частот в их звукопроизводстве бессмысленным. Среди многочисленных звукоизвлечений одной и той же гласной лишь соответствие гармоник чистому строю и стандартное отклонение в её настройке сохраняют смысл в усреднении результатов разных вокализаций одним и тем же исполнителем.¹²

Таб.5. Образец усреднения значений гармонического профиля нескольких исполнений одной и той же певческой или разговорной гласной (одним отдельным исполнителем).

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Номер гармоник	Интервал от ФТ	Среднее отклонение от чистого строя (ц)	Средняя амплитуда гармоник (дБ FS)	Средняя разница по амплитуде от НГ (дБ)	СО в настройке гармоник (ц)	Средний размер зоны глиссандо (ц)	Число клипов с одним знаком ампл. разницы	Постоянство знака амплитудной разницы (%)
1 (ФТ)	1		-32.1			70.1		
2	8	-1.0	-37.0	-4.9	7.14	58.5	4	67
3	8 + 5	1.3	-45.9	-9.0	7.81	40.4	5	83

Данные, усредненные из попыток одного и того же исполнителя воспроизвести одну и ту же артикуляцию, в свою очередь, требуют усреднения для всех участвующих в исследовании исполнителей. Это делает необходимым вычисление среднего арифметического для рубрики "F" «Стандартное отклонение в настройке гармоник». А средние показатели настройки и амплитуды гармоник каждой гласной артикуляции на каждом варгане, требуют дальнейшего усреднения.

Такие усреднения позволяют увидеть системные отличия гармонических профилей как отдельных исполнителей, так и варганов. Отдельный варганист может иметь свою характерную манеру вокализации, придавая всем артикуляциям какой-либо общий признак. Таким же образом, отдельный варган способен придать общий признак всем произведённым на нём артикуляциям.

¹² Сказанное относится лишь к "вокализациям" варганистов — не к их игре.

Гласные артикуляции речи, пения и пения в комбинации с варганной игрой также нуждаются в усреднении данных, полученных из усреднения показателей отдельных исполнителей, представленных в сводной таблице. Такая таблица также должна включить рубрику «Стандартное отклонение от среднего значения». В ее усреднениях следует принимать в расчёт не абсолютную звуковысоту гармоник (так как фундаментальный тон существенно разнится у голосов разного типа), а интервальная дистанция между соседними по ряду гармониками.

Для сравнения резюме пения, резюме произнесения и резюме варганного исполнения гласных для каждой из гармоник необходимо вывести средние значения 4-х наиболее важных параметров: отклонения от чистого строя (колонка "E"), его стандартного отклонения ("H"), амплитудной разницы между соседними гармониками ("G") и постоянства их знака по отношению к нижней гармонике ("I"). Средние величины этих параметров можно увидеть внизу таблицы (Таб.6), рассматривая их в качестве соответствующих индексов:

- **индекса чистоты строя** — среднее значение отклонения всех 11-ти гармоник от чистого строя (колонка "E"); этот индекс выражает степень общей гармоничности спектра звука, где 0 соответствует идеальной настроенности, положительные величины показывают общую тенденцию к завышению строя, и негативные — к занижению;
- **индекса стабильности строя** — среднее значение величин стандартного отклонения всех 11-ти гармоник (колонка "H"); этот индекс показывает степень устойчивости гармоник гармонического профиля — чем ниже индекс, тем стабильнее настройка;
- **индекса динамической ровности гармонического ряда** — среднее значение разницы по амплитуде между соседними по ряду гармониками среди всех 11-ти гармоник (колонка "G"); этот индекс отражает, является ли динамический профиль ровным (близким нулю), убывающим по громкости (отрицательные значения) или прибавляющим (положительные) — и до какой степени;
- **индекса постоянства динамического знака гармоники** — среднее значение соответствия положительного или отрицательного знаков средней разницы по амплитуде от нижней гармоники (колонка "I") — высокий показатель в комбинации с положительным знаком в колонке "G", в окружении негативных значений соседних гармоник означает выделение этой гармоники из всего натурального ряда.

Таб.6. Образец общего резюме гармонического профиля гласной артикуляции. Наиболее важные колонки E, F, G, H и I выделены **жирной** линией. Колонка «Частота гармоники» удалена, так как разные варганы настроены на различный ФТ, и важными являются не абсолютные звуковысотные уровни гармоник, а интервалы между гармониками.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Номер гармоники	Интервал от ФТ	Средняя дистанция от нижней гармоники (ц)	Чистый интервал от нижней гармоники (ц)	Среднее отклонение от чистого строя (ц)	Средняя амплитуда гармоники (дБ FS)	Средняя разница по амплитуде от НГ (дБ)	Среднее стандартное отклонение в настройке (ц)	Среднее постоянство знака ампл. разницы (%)
1 (ФТ)	1				-68.4		15.15	
2	8	1,200.2	1,200.0	0.2	-70.0	-1.6	22.27	87
3	8 + 5	701.8	702.0	-0.2	-58.6	11.4	15.77	93
4	2x8	500.0	498.0	2.0	-59.5	-0.8	6.40	67
5	2x8 + M3	385.5	386.3	-0.8	-50.3	9.2	3.57	93
6	2x8 + 5	314.1	315.6	-1.6	-53.7	-3.4	2.79	100
7	2x8 + m7	267.7	266.9	0.8	-48.1	5.6	2.39	87
8	3x8	231.8	231.2	0.6	-51.4	-3.3	1.23	93
9	3x8 + M2	202.8	203.9	-1.1	-50.3	1.1	1.02	93
10	3x8 + M3	183.7	182.4	1.3	-57.4	-7.1	2.47	80
11	3x8 + T	163.8	165.0	-1.2	-51.2	6.2	2.64	87
Среднее:				0.0		1.7	6.9	88.0
Ст. отклонение:				1.2		6.1	7.2	9.3

Эти 4 индекса в совокупности с показателем гармоник наивысшей амплитуды позволяют увидеть существенные различия между варганным, речевым и певческим претворением гласных и определить ведущие характеристики каждой из гласных артикуляций. В дополнение к индексам, величина стандартного отклонения от среднего значения этих четырёх параметров отражает разброс их значений.

- Стандартное отклонение **индекса чистоты строя** (“E”) выражает преобладающую меру расстроенности гармоник натурального ряда — относительно среднего значения, обозначенного величиной индекса.
- Стандартное отклонение **индекса стабильности строя** (“H”) показывает насколько гармоники натурального ряда варьируются по настрою — чем выше величина, тем дальше отклонение гармоник, и, следовательно, больше контраст гармоник по их относительной стабильности.
- Стандартное отклонение **индекса динамической ровности** (“G”) отражает насколько динамические уровни гармоник разнятся в среднем друг от друга — более высокие показатели отражают большую динамическую контрастность гармоник в профиле, тем самым свидетельствуя о большем выделении гармоник с положительным значением.
- Стандартное отклонение **индекса постоянства динамического знака** (“I”) показывает до какой степени динамически выступающие и проваливающиеся гармоники сохраняют своё положение — чем выше показатель, тем значительнее контраст между постоянными по динамическому уровню (сугубо положительному или сугубо отрицательному) и динамически непостоянными гармониками.

Удобный метод графической презентации профиля — это сводка 2-х его наиболее важных и часто меняющихся характеристик (Рис.4): стабильности настройки (оранжевая гистограмма со шкалой правой вертикали, озаглавленной «Вариативность») и интенсивности гармоник (голубой линейный график со шкалой левой вертикали, озаглавленной «Интенсивность»). Первая из них отражает широту полос частот, в пределах которой звуковысотные уровни гармоник колеблются при разных исполнениях данной вокальной артикуляции (в центах). Этот параметр представляет колонку «Среднее стандартное отклонение в настройке» предыдущей таблицы (Таб. 6, колонка “H”). Вторая характеристика показывает интенсивность гармоник (в дБ полной шкалы), представляя колонку «Амплитуда гармоник» (Таб. 6, колонка “F”). Её шкала начинается не от 0, а от –10 дБ, потому что ни один из записанных клипов не превышает –10 дБ полной шкалы.



Рис. 4) Образец гармонического профиля гласной артикуляции «А», произведённой на 3-х варганах тремя варганистами. Этот профиль соответствует таблице 5.

Кривая линейного графика позволяет легко заметить сходство и различие конфигураций динамических показателей гармоник, а столбцы гистограммы наглядно показывают, какие гармоники следует рассматривать как доминирующие в профиле (минимальный размер столбца), а какие — как наиболее неустойчивые, и потому малозначительные (максимальный размер столбца).

Дополнительной графической характеристикой профиля гласной артикуляции выступает репрезентация оставшейся пары параметров: «Динамическое сопряжение» соседних гармоник и «Постоянство знака» каждой из гармоник — их можно рассматривать как сугубо динамический профиль, характеризующий данный гармонический профиль (Рис.5).



Рис. 5) Образец динамического профиля гармоник гласной артикуляции «А», произведённой на 3-х варганах тремя варганистами. Эта диаграмма соответствует таблице 5.

«Динамическое сопряжение» представляет собой разницу по амплитуде между двумя соседними гармониками. Положительное значение образуется, когда более высокая гармоника превосходит по интенсивности нижнюю гармонику, а отрицательное — когда уровень интенсивности падает. Сличая Рис.2 и Рис.3, нетрудно заметить, что контур сопряжения близко напоминает контур интенсивности, но отличается от последнего выделением других гармоник: если гармонический профиль имеет 7-ю гармонику в качестве самой выступающей, то динамический профиль выделяет 3-ю гармонику. Это различие принципиально для понимания динамического сопряжения гармоник в профиле гармоник.

- «Интенсивность» гармонического профиля отражает, как именно гармоники **интегрированы** в динамическом отношении — какие гармоники обладают наивысшей интенсивностью в натуральном ряду. Местоположение нуля (0) в шкале здесь отражает общий максимум возможной интенсивности (100% громкости), и те гармоники ряда, которые наиболее приближаются к максимуму, становятся «доминирующими» в профиле. Ограниченность этой характеристики заключается в том, что отношения «тихих» гармоник сбрасываются со счетов, и присутствие характерного признака гармонического профиля, касающегося свойств «тихой» гармоники, может пройти незамеченным при анализе изолированной «интенсивности».
- «Динамическое сопряжение» динамического профиля отражает, как именно гармоники **дифференцированы** в динамическом отношении — насколько динамический уровень

одной гармонике отличается от соседней. Местоположение нуля (0) в шкале здесь отражает относительный динамический уровень фундаментального тона, представляя натуральный ряд как последовательность динамических скачков между 11-ю анализируемыми гармониками. Чем выше положительное число значения гармонике, тем более эта гармоника выступает по отношению к предыдущей гармонике и фундаментальному тону. Эта мера противоположна «интенсивности» в том, что она принимает в качестве ориентира не абсолютный максимум амплитуды, а относительный динамический уровень соседних по ряду гармоник.

На примере артикуляции «А» (Рис.4 и Рис.5) видно, что с точки зрения максимальной интенсивности гармоник 5, 7, 9 и 11 демонстрируют приблизительно одинаковое доминирование. «Динамическое сопряжение» предоставляет дополнительную информацию, уточняя, что 11-я гармоника имеет наивысший скачок интенсивности среди всех пар гармоник (13.3 дБ), а 3-я гармоника примыкает к «доминирующим» гармоникам в виду её наибольшего возвышения по отношению к фундаментальному тону и благодаря второму по величине динамическому скачку (13 дБ). Однако доминирование 3-й гармоники оказывается скомпрометированным её повышенной, по сравнению с 5-й, 7-й, 9-й и 11-й гармониками, вариативностью настройки (15.7 ц против, соответственно, 3.6, 2.4, 1.0 и 2.6 ц). Таким образом, совокупность двух диаграмм позволяет убедиться в отсутствии доминирования одной определённой гармоники, и в выделении **группы** нечётных гармоник, которая характеризуется постепенным затуханием динамики, когда 11-я гармоника вдруг выступает благодаря более значительному динамическому скачку (Рис.5).

Второй параметр, «постоянство знака», отражает степень выдержанности позитивного или негативного значения динамического сопряжения каждой из гармоник. Максимум 100% шкалы означает, что во всех записях данной артикуляции данная гармоника всегда громче соседней снизу. Такая гармоника приобретает более важное значение в гармоническом профиле. В примере с артикуляцией гласной «А» (Рис.5) наивысшим постоянством отличается 6-я гармоника (100%), которая имеет низкую амплитуду, но соседствует с 5-й гармоникой, комбинирующей высокую амплитуду с высоким постоянством знака (93%). Из такого сочетания следует, что данная пара гармоник характеризует динамический профиль варганной артикуляции «А». Вторая важная пара гармоник, образующая значительный динамический перепад — это 8-я и 9-я (также 93%). Указанные два динамических перепада (гармоники №№ 5–6 и 8–9) определяют гармонический профиль «А», где 8-я и 9-я гармоники обладают наивысшей точностью настройки, что свидетельствует об их доминирующей гармонической функции.

Сопоставление двух названных профилей предоставляет наглядный метод быстрого визуального установления сходства и различия ведущих акустических характеристик в конфигурациях гармоник при варганных артикуляциях. Использование таких профилей позволит составление коллекций обширной базы данных звукозаписей варганной музыки, следуя принципам системы кантометрики, разработанной Аланом Ломаксом (*Lomax 2004*).

Предложенные профили составляют удобную форму графической репрезентации тоновой организации отдельных варганных произведений — по аналогии с установлением лада музыкальной композиции посредством сравнения звуковысот, использованных автором для производства музыкальных структур. Акустические измерения, проведенные и статистически обработанные описанным в данной статье способом, способны выявить «артикуляционную гамму», послужившую основой для создания той или иной варганной композиции в рамках аутентичной традиционной варганной музыки, сохранившей свои принципы организации в неприкосновенности от тональной или модальной организации типичной «звуковысотной музыки».

4. Пример применения гармонических профилей

Репрезентация посредством гармонического профиля (Рис.4) вполне достаточна для адекватного представления ступеней «артикуляционной гаммы», использованной в варганном произведении или его секции – таким образом, чтобы можно было визуально отличить его от какого-либо другого варганного произведения/секции. В качестве иллюстрации внизу приводится начало двух версий осоухая в исполнении И. Е. Алексеева на разных хомусах: 1991 года (Рис.6а) и 2017 года (Рис.6б).





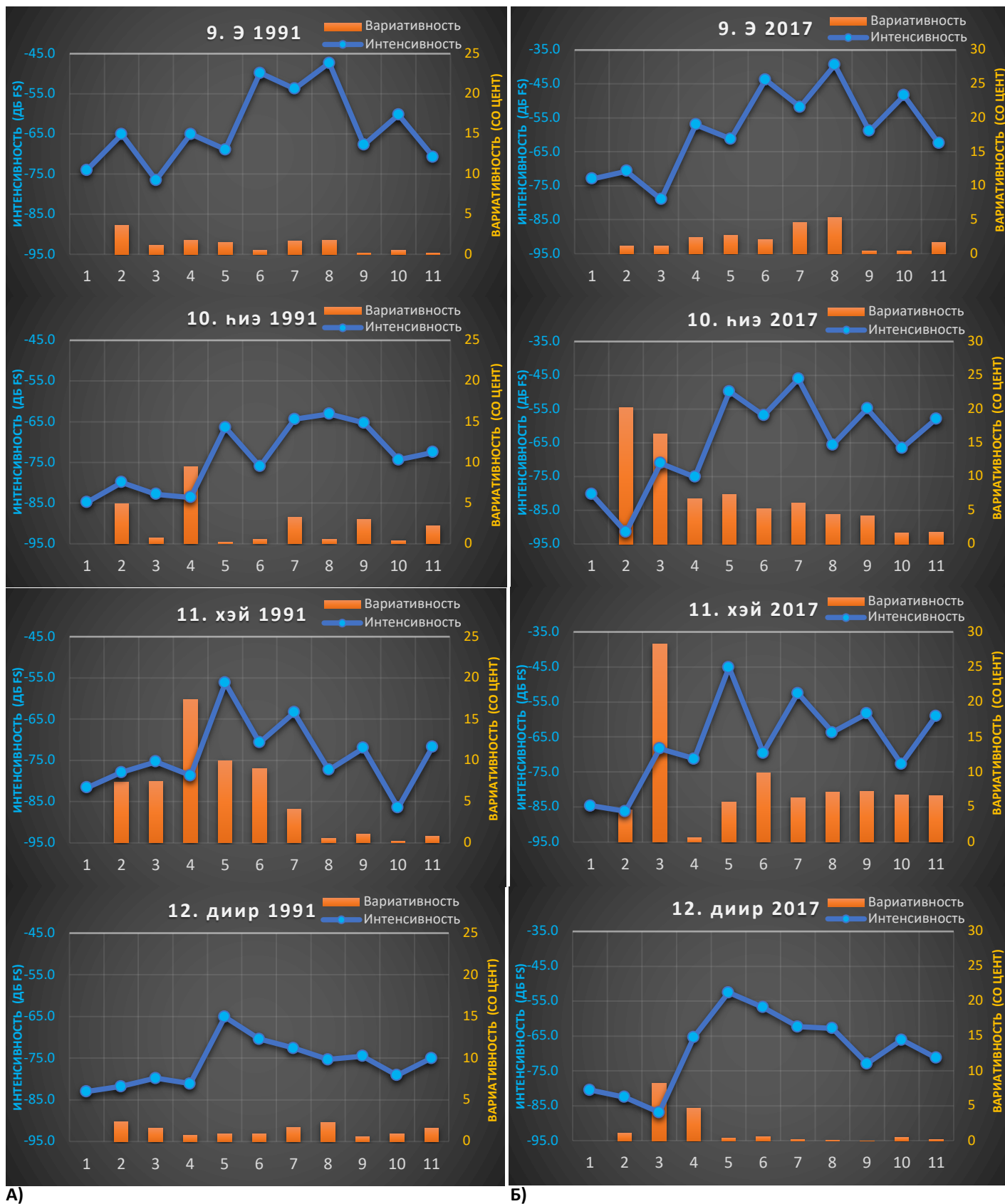


Рис. 6) Первые 12 артикуляций двух звукозаписей осоухая И.Е. Алексеевым: А) 1991 г., Б) 2017 г..

Начальное «О» очень близко между обеими версиями: подъем динамики к 5-й гармонике, выступ 7-й и 11-й гармоник. Второй («нуо») и третий («хай») слога не обнаруживают такого сходства контуров. Четвертый слог «дыыр» довольно сходен по конфигурации пиков 5-й, 7-й и 9-й гармоник. Пятый слог

похож по диспозиции гармоник №№ 1-6. Версия 2017 года сохраняет сходство между «О» 5-го и 1-го слогов. Шестой слог «нуо» также сохраняет отличия, имевшие место во втором слог. Седьмой слог «ха» заметно отличается в обеих версиях, но «й» его окончания практически идентичны по контуру. Так же весьма близки обе версии 9-й артикуляции («э»). Довольно похожа конфигурация вершин 5-й, 7-й, 9-й и 11-й гармоник в обеих версиях 10-й артикуляции («иэ»). Разительное сходство очевидно в версиях 11-й («хэй») и 12-й («диир») артикуляций.

Итого, лишь 4 из 12 артикуляций обнаруживают различия между гармоническими профилями. Это надо рассматривать как состоятельность предложенного подхода, где даже простейшее сличение профилей обеспечивает две трети категоризации звукового материала. Однако, такое сличение образует лишь начальную фазу анализа. Для установления причин различия гармонического состава в одних и тех же артикуляциях необходимо принять во внимание, насколько та или иная артикуляция, обнаруженная в варганном произведении, соответствует эталонной артикуляции на варгане. Здесь полезно взглянуть на усреднения отдельно записанных гласных артикуляций (Рис.7) – тех из них, которые оказались использованы в вышеприведенных слогах осоухая (Рис.6).



А)



Б)



В)



Г)



Д)

Е)

Рис. 7) Усреднения отдельных гласных артикуляций (из 5 попыток исполнения на том же хомусе, что был использован в осоухе 2017 г.): А) «О», Б) «У», В) «А», Г) «Ы», Д) «Э», Е) «И».

Сравнение отдельно сыгранных «О» (Рис.7а) и «У» (Рис.7б) показывает, что принципиальная деталь, их различающая, это диспозиция 9-й гармоники, более низкой у «О». В этом свете становится ясным, что артикуляция дифтонга во 2-м слове «нуо» версии 1991 года подчеркивает «о», тогда как версия 2017 года - «у». Это и ответственно за расхождения гармонического контура 2-го и 6-го слогов.

Отдельная гласная «А» (Рис.7в) отличается от «О» и «У» более низким положением 11-й гармоники. Именно такую конфигурацию вершин 5-й, 7-й, 9-й и 11-й гармоник мы видим в обеих версиях 3-го слова «хай». Впечатление же их различия пристраивается от более высокой интенсивности четных гармоник, особенно 6-й, в записи 2017-го года – видимо, вызванной огублением слова «хай» из-за недостатка контрастности в дикции по отношению к предыдущему огубленному слогу «нуо».

Гласная «Ы» (Рис.7г) отличается от «А» меньшей интенсивностью четных гармоник №№ 6-10 по сравнению с 4-й гармоникой. Это различие хорошо соблюдено в записи 1991 года, но отсутствует в записи 2017 года, которая опять-таки огубляет «дыр», делая его похожим на «О» - видимо в преддверии последующего слова «о», который аккуратно соответствует образцовому «О» (Рис.7а). Версия же 1991 года искажает «о» 5-го слова чрезмерным выделением 7-й и 9-й гармоник в результате форсировки удара по язычку (очевидного в спектрограмме). Этому же обязано и искажение в гармоническом составе «ха» 1991 версии (версия 2017 соблюдает образцовую артикуляцию «А»).

Как видим, анализ гармонических профилей требует непременно соотнесения артикуляций музыкального произведения с эталоном отдельных гласных артикуляций на том же самом инструменте.¹³ Также очевидна необходимость критического прослушивания звукозаписей на предмет четкости дикции. Как и в артикуляции пения, варганист может обладать различной степенью контроля дикции и допускать огрехи редукции той или иной артикуляции. В нашем примере запись 2017 года отличается меньшей ясностью дикции – видимо из-за возрастного ухудшения исполнителя по прошедшим 28 годам. Запись же 1991 года отличается повышенной акцентировкой ударов по язычку.¹⁴

Дополнительной необходимостью, как это вытекает из приведенного примера, является принятие во внимание контекста в артикуляциях слогов. Соседние слога способны влиять друг на друга, отдавая гармонический состав определенной артикуляции варганного произведения от эталонной артикуляции

¹³ Таким образом, для успешного анализа произведения желательно записать отдельные гласные до или после осуществления звукозаписи этого произведения.

¹⁴ Это, наверное, также имеет причину в возрастной разнице – более высокий энергетический тонус 48-летнего исполнителя в 1991 против 76 лет в записи 2017 года.

гласной. Эту ситуацию мы наблюдаем в отношении эталонных «Э» (Рис.7д) и «И» (Рис.7е), заметно отличающихся от их имплементации в 9-й, 11-й и 12-й артикуляций осухая (Рис.6).

Надо подчеркнуть, что эти затруднения и погрешности никоим образом не следует рассматривать как показатель фундаментальной несостоятельности гармонического спектрального анализа варганной музыки. Звуковысотный анализ обычного пения обнаруживает ничуть не менее значительные несовершенства, которые зачастую ускользают от внимания этномузыковеда, чрезмерно полагающегося на свою интуицию и принимающего определенную интерпретацию в нотации собранных звукозаписей в качестве единственно верной без должного изучения альтернатив (Э. Алексеев 1990). Тщательно выверенные акустические измерения звукозаписей, выполненные при помощи компьютерного обеспечения, зачастую обнаруживают систематические ошибки нотации в расшифровках песен, пользующихся авторитетом среди фольклористов – вплоть до искаженного представления о ладовой системе определенной музыкальной традиции – как это имеет место в отношении будто бы «хроматической» подоплеку литовской традиционной музыки (*Ambrazevičius and Wiśniewska 2008*). Ладовый анализ звуковысотной музыки кажется проще и недвусмысленнее гармонического спектрального анализа тембральной музыки лишь на первый поверхностный взгляд.

В целом, задача сравнительного изучения речевых, варганных и певческих фонем в определении характерных особенностей традиционной культуры, выдвинутая Э. Е. Алексеевым (Э. Алексеев 1991), требует интегрированного подхода и систематизированного сбора данных коллективными усилиями многих исследователей. Целесообразно принять за основу подход, предложенный Р. А. Загретдиновым в его «фонационных упражнениях» для обучения игре на кубызе (Загретдинов 1997). Полное описание тоновой организации специфической варганной традиции должно включать составление гармонических и динамических профилей следующих звуковых объектов:

1. отдельных гласных, употребляемых в этой традиции,
2. всех дифтонгов,
3. всевозможных слогов, соединяющих согласную с гласной,
4. слогов, соединяющих гласную с согласной,
5. слогов, где гласная обрамляется двумя согласными,
6. наиболее типичных слогосочетаний на одном ударе языка.

Опробование предложенного здесь метода этномузыковедами покажет, насколько типологически сходна тоновая организация варганная музыка разных традиций, и в каком отношении она находится к другим формам инструментальной и вокальной «тембровой музыки». Вторым, не менее важным, направлением исследований при помощи данного метода может быть установление отношения между вокальными системами языков и варганной музыки тех культур, которые сохранили варганную традицию. Здесь усилия лингвистов по изучению артикуляционно-акустической базы языков коренного населения Сибири (Селютина и пр. 2012) могут быть скоординированы с усилиями этномузыковедов по изучению тембральных форм музыки посредством предложенного в этой статье метода гармонического спектрального анализа. Этот метод способен схватить «музыкальный» аспект различных форм речи, таких как речитация или псалмодирование, и выявить рисунки тембровой организации их звукового материала, на основании чего могут быть выведены принципы употребления выявленных рисунков.

Анализ тембральной музыки вполне может производиться по аналогии с ладовым анализом звуковысотной музыки. Идентификация звукосочетаний комплексных звуков, преобладающих в данной композиции тембральной музыки, позволяет их сравнение на протяжении всей композиции и определение композиционных единиц, аналогичным ступеням лада. Такие выведенные «ступени»

могут быть сгруппированы в «гамму», а полученные гаммы предоставляют возможность сличение разных композиций и собирание базы данных касательно типологии тоновой организации тембральной музыки и контекста употребления каждого из установленных типов. Совокупность накопленной информации разрешит систематизацию «артикуляционных гамм» по аналогии с «ладовыми системами». Обретение остова категоризации и систематизации структур тоновой организации тембральной музыки сделает возможным последовательное сравнительное изучение тембральной и звуковысотной музыки, а также тембральной музыки и фонологических систем языка.

Библиография:

- Алексеев, И. Е. 1988. *Искусство Игры На Якутском Хомусе*. Якутск: Препринт.
- Алексеев, Э. Е. 1976. *Проблемы Формирования Лада (На Материале Якутской Народной Песни): Исследование*. Москва: Музыка.
- . 1990. *Нотная Запись Народной Музыка: Теория и Практика*. Москва: Советский композитор.
- . 1991. “Варган: Нераскрытые Исследовательские Перспективы.” / *Варган (Хомус) и Его Музыка. Материалы I Всесоюзной Конференции 1988*, под ред. Э. Е. Алексеева, 6–14. Якутск: Институт языка, литературы и истории при Академии наук СССР.
- Алексеева, Г. Г. 1986. “Заиграй Им, Хомус, Свою Песню.” / *Музыка России: Музыкальное Творчество и Музыкальная Жизнь Республик Российской Федерации*, под ред. А. Григорьевой, 8:321–32. Москва: Советский композитор.
- Добжанская, О. Э. 1991. “Чукотские Наигрыши На Рамном Варгане.” / *Варган (Хомус) и Его Музыка. Материалы I Всесоюзной Конференции 1988 Г.*, под ред. Э. Е. Алексеева, 52–58. Якутск: Институт языка, литературы и истории при Академии наук СССР.
- Загретдинов, Р. А. 1997. *Школа Игры На Кубызе: Учебно-Методическое Пособие*. под ред. Алкина М.С. and Зиновьевой Т.С. Уфа: Белая река.
- Земцовский, И.И. 1987. “Музыкальный Инструмент и Музыкальное Мышление (к Постановке Вопросы).” / *Народные Музыкальные Инструменты и Инструментальная Музыка*, под ред. И. В. Мациевского, 1:125–131. Москва: Советский композитор.
- Ихтисамов, Х. С. 1988. “К Проблеме Сравнительного Изучения Двухголосного Гортанного Пения И Инструментальной Музыка У Тюркских И Монгольских Народов.” / *Народные Музыкальные Инструменты И Инструментальная Музыка*, под ред. Е. Гиппиус, 2:197–216. Москва: Советский композитор.
- Кончев, В. Е. 2004. *Школа Игры На Алтайском Комусе*. Горно-Алтайск: Министерство Культуры и Кино Алтайской Республики.
- Ларионов, В.П., Я. С. Семенов. 1991. “Краткая Математическая Теория Якутского Хомуса.” / *Варган (Хомус) и Его Музыка. Материалы I Всесоюзной Конференции 1988 Г.*, под ред. Э. Е. Алексеева, 118–23. Якутск: Институт языка, литературы и истории при Академии наук СССР.
- Мазепус, В. В. 1989. “О Физических Основах Звукообразования При Игре На Варганах.” / *Музыкальная Этнография Северной Азии*, под ред. Ю. И. Шейкина, 10:155–61. Новосибирск: Новосибирская Консерватория им. Глинки.
- Морозов, Владимир П. 1964. “Развитие Физических Свойств Детского Голоса.” / *От Простого к Сложному: Элементы Развития Высшей Нервной Деятельности Ребенка: Экспериментальные Исследования*, под ред. Н. И. Казаркина, 97–106. Ленинград: Наука.
- . 1977. *Биофизические Основы Вокальной Речи*. Москва, Ленинград: Наука.
- Оготовев, П. П. 1988. “Проблема Нотации Якутского Хомуса.” / *Музыкальная Этнография Северной Азии*, под ред. Юрий И. Шейкина, 10:150–54. Новосибирск: Новосибирская Консерватория имени Глинки.
- Ржевкин, С. Н. 1928. *Слух и Речь в Свете Современных Физических Исследований*. Москва, Ленинград: Государственное Издательство.
- . 1956. “Некоторые Результаты Анализа Певческого Голоса.” *Акустический Журнал* 2 (2): 205–10.

- Селютина, И. Я., Н. С. Уртегешев, А. Ю. Летагин, А. И. Шевела, А. А. Добрина, Г. А. Эсенбаева, А. А. Савелов, М. В. Резакова, Ю. А. Ганенко. 2012. *Артикуляторные Базы Тюркских Этносов Южной Сибири (По Данным МРТ и Цифровой Рентгенографии)*. Вып. 41. Новосибирск: СО РАН.
- Шейкин, Ю. И. 1996. *Музыкальная Культура Народов Северной Азии*. Якутск: РДНТ.
- Шишигин, С. С. 1995. *Играйте На Хомусе*. Якутск: Министерство Культуры Республики Саха.
- Эмсгаймер, Эрнст. 1986. "Варганы в Сибири и Средней Азии." / *Проблемы Традиционной Инструментальной Музыки Народов СССР: Инструмент-Исполнитель-Музыка*, под ред. И. В. Мациевского, 80–94. Ленинград: ЛГИТМиК.
- Adkins, C. J. 1974. "Investigation of the Sound-producing Mechanism of the Jew's Harp." *The Journal of the Acoustical Society of America* 55 (3): 667–70. doi:10.1121/1.1914580.
- Ambrazevičius, Rytis, and Irena Wiśniewska. 2008. "Chromaticisms or Performance Rules? Evidence from Traditional Singing Pitch Transcriptions." *Journal of Interdisciplinary Music Studies* 2 (1/2): 19–31.
- Bartholomew, Wilmer T. 1934. "A Physical Definition of 'Good Voice-Quality' in the Male Voice." *The Journal of the Acoustical Society of America* 6 (1): 25–33. doi:10.1121/1.1915685.
- Bernstein, Joshua G., Andrew J. Oxenham, and Hector Penagos. 2003. "Pitch Discrimination of Diotic and Dichotic Tone Complexes: Harmonic Resolvability or Harmonic Number?" *The Journal of the Acoustical Society of America* 113 (6): 3323. doi:10.1121/1.1572146.
- Borch, Daniel Zangger, and Johan Sundberg. 2002. "Spectral Distribution of Solo Voice and Accompaniment in Pop Music." *Logopedics Phoniatrics Vocology* 27 (1): 37–41. doi:10.1080/140154302760146961.
- Brandl, Rudolf. 2008. "New Considerations of Diaphony in Southeast Europe." In *European Voices: Multipart Singing in the Balkans and the Mediterranean*, edited by Ardian Ahmedaja and Gerlinde Haid, 1:281–97. Vienna: Böhlau Verlag.
- Carlson, Rolf, Björn Granström, and Gunnar Fant. 1970. "Some Studies Concerning Perception of Isolated Vowels." *STL-QPSR* 11 (2–3): 19–35. <http://www.speech.kth.se/qpsr>.
- Cleveland, Thomas F., and Johan Sundberg. 2001. "Long-Term-Average Spectrum Characteristics of Country Singers During Speaking and Singing." *Journal of Voice* 15 (1): 54–60. doi:10.1016/S0892-1997(01)00006-6.
- Crane, Frederick. 1968. "The Jew's Harp as Aerophone." *The Galpin Society Journal* 21 (March). Galpin Society: 66. doi:10.2307/841429.
- de Cheveigné, Alain, and Hideki Kawahara. 1999. "Missing-Data Model of Vowel Identification." *The Journal of the Acoustical Society of America* 105 (6): 3497–3508. doi:10.1121/1.424675.
- de Cheveigné, Alain, and Hideki Kawahara. 2002. "YIN, a Fundamental Frequency Estimator for Speech and Music." *The Journal of the Acoustical Society of America* 111 (4): 1917–30. doi:10.1121/1.1458024.
- Dong, Li, Jiangping Kong, and Johan Sundberg. 2014. "Long-Term-Average Spectrum Characteristics of Kunqu Opera Singers' Speaking, Singing and Stage Speech." *Logopedics Phoniatrics Vocology* 39 (2): 72–80. doi:10.3109/14015439.2013.841752.
- Dournon-Taurelle, Geneviève, and John Wright. 1978. *Les Guimbardes Du Musée de l'Homme*. Paris: Institut d'Ethnologie, Muséum national d'Histoire naturelle.
- Fant, Gunnar. 1960. *Acoustic Theory of Speech Production: With Calculations Based on X-Ray Studies of Russian Articulations*. Paris, France: Mouton de Gruyter.
- Fung, C. Victor. 1995. "Music Preference as a Function of Musical Characteristics." *The Quarterly Journal of Music Teaching and Learning* 6 (3): 30–45.
- Gramming, Patricia, and Johan Sundberg. 1988. "Spectrum Factors Relevant to Phonetogram Measurement." *The Journal of the Acoustical Society of America* 83 (6). Acoustical Society of America: 2352–60. doi:10.1121/1.396366.
- Kakusho, O., H. Hirato, K. Kato, and T. Kobayashi. 1971. "Some Experiments of Vowel Perception by Harmonic Synthesizer." *Acta Acustica United with Acustica* 24 (4). S. Hirzel Verlag: 179–90.
- Kolltveit, Gjermund. 2016. "Jew's Harps of Bone, Wood and Metal How to Understand Construction, Classification

- and Chronology.” In *Studien Zur Musikarchäologie*, edited by R. Eichmann, J. Fang, and L.-C. Koch, 10:63–73. Rahden, Westfalia: Verlag Marie Leidorf GmbH.
- Ladefoged, Peter, and Sandra Ferrari Disner. 2012. *Vowels and Consonants*. 3rd ed. Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell.
- Ledang, Ola Kai. 1972. “On the Acoustics and the Systematic Classification of the Jaw’s Harp.” *Yearbook of the International Folk Music Council* 4 (1972): 95–103. <http://www.jstor.org/stable/767676>.
- Leino, Timo, Anne-Maria Laukkanen, and Vojtěch Radolf. 2011. “Formation of the Actor’s/Speaker’s Formant: A Study Applying Spectrum Analysis and Computer Modeling.” *Journal of Voice* 25 (2): 150–58. doi:10.1016/j.jvoice.2009.10.002.
- Leipp, Émile. 1963. “Un «vocoder» Mécanique: La Guimbarde.” *Annales Des Télécommunications* 18 (5–6). Springer-Verlag: 82–87. doi:10.1007/bf03011324.
- Lomax, Alan. 2004. *Alan Lomax: Selected Writings, 1934-1997*. Edited by Ronald Cohen. New York: Routledge.
- Marozeau, Jeremy, Alain de Cheveigné, Stephen McAdams, and Suzanne Winsberg. 2003. “The Dependency of Timbre on Fundamental Frequency.” *The Journal of the Acoustical Society of America* 114 (5): 2946–57. doi:10.1121/1.1618239.
- McGinnis, C. S., M. Elnick, and M. Kraichman. 1951. “A Study of the Vowel Formants of Well-Known Male Operatic Singers.” *The Journal of the Acoustical Society of America* 23 (4). Acoustical Society of America: 440–46. doi:10.1121/1.1906785.
- Messner, Gerald Florian. 1981. “The Two-Part Vocal Style on Baluan Island Manus Province, Papua New Guinea.” *Ethnomusicology* 25 (3): 433–46.
- Moore, Brian C. J., Brian R. Glasberg, and Robert W. Peters. 1985. “Relative Dominance of Individual Partial in Determining the Pitch of Complex Tones.” *The Journal of the Acoustical Society of America* 77 (5). Acoustical Society of America: 1853–60. doi:10.1121/1.391936.
- Moore, Brian C. J., Brian R. Glasberg, and Michael J. Shailer. 1984. “Frequency and Intensity Difference Limens for Harmonics within Complex Tones.” *The Journal of the Acoustical Society of America* 75 (2): 550–61. doi:10.1121/1.390527.
- Morgan, Deirdre Anne Elizabeth. 2008. “Organs and Bodies: The Jew’s Harp and the Anthropology of Musical Instruments.” Vancouver, Canada: University of British Columbia. doi:10.14288/1.0066561.
- Newman, Stanley S. 1933. “Further Experiments in Phonetic Symbolism.” *The American Journal of Psychology* 45 (1): 53–75. doi:10.2307/1414186.
- Rai, Wayan S. 2012. “Selected Articles. Mudra, Journal of Art and Culture 2004-2011.” In *Scale of Genggong and Its Relations to the Four Tone Slendro Tuning System in Bali*, edited by Indonesia Institute of the Arts, 10–15. Denpasar, Indonesia: Universitas Tarumanagara, UPT Penerbitan.
- Sapir, Edward. 1929. “A Study in Phonetic Symbolism.” *Journal of Experimental Psychology* 12 (132): 225–39. doi:10.1037/h0070931.
- Saruhan, Sahin, Ender Guclu, and Ali Ertugrul. 2017. “Spectrographic and Electroglottographic Findings of Religious Vocal Performers in Düzce Province of Turkey.” *Journal of Voice* 31 (7). doi:10.1016/j.jvoice.2017.03.007.
- Scheirer, Eric, and Malcolm Slaney. 1997. “Construction and Evaluation of a Robust Multifeature Speech/Music Discriminator.” In *1997 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, edited by Bob Werner, 2:1331–34. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press. doi:10.1109/ICASSP.1997.596192.
- Schutte, Harm K., and Richard Miller. 1985. “Intraindividual Parameters of the Singer’s Formant.” *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 37 (1): 31–35. doi:10.1159/000265776.
- Sundberg, Johan. 1970. “Formant Structure and Articulation of Spoken and Sung Vowels.” *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 22 (1). Karger Publishers: 28–48. doi:10.1159/000263365.
- . 1973. “The Source Spectrum in Professional Singing.” *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 25 (1–2). Karger Publishers: 71–90. doi:10.1159/000263672.
- . 1974. “Articulatory Interpretation of the ‘Singing Formant.’” *The Journal of the Acoustical Society of America*

- 55 (4): 838–44. doi:10.1121/1.1914609.
- . 1994. “Perceptual Aspects of Singing.” *Journal of Voice* 8 (2): 106–22. doi:10.1016/S0892-1997(05)80303-0.
- . 1995. “The Singer’s Formant Revisited.” *Quarterly Progress and Status Report* 36 (2–3): 83–96.
- Sundberg, Johan, Patricia Gramming, and Jeanette Lovetri. 1993. “Comparisons of Pharynx, Source, Formant, and Pressure Characteristics in Operatic and Musical Theatre Singing.” *Journal of Voice* 7 (4): 301–10. doi:10.1016/S0892-1997(05)80118-3.
- Sundberg, Johan, and Camilla Rømedahl. 2009. “Text Intelligibility and the Singer’s Formant—A Relationship?” *Journal of Voice* 23 (5): 539–45. doi:10.1016/j.jvoice.2008.01.010.
- Svantesson, Jan Olof, and Damrong Tayanin. 2003. “Sound Symbolism in Kammu Expressives.” In *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences. Barcelona*, edited by M. Solé, D. Recasens, and J. Romero, 2689–92. Barcelona, Spain: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Titze, Ingo R., and Brad H. Story. 1997. “Acoustic Interactions of the Voice Source with the Lower Vocal Tract.” *The Journal of the Acoustical Society of America* 101 (4): 2234–43.
- Trias, Sylvain. 2010. “Helmholtz and Coupled Resonators Acoustics In Jew’s Harp Playing.” Notodden, Norway: Telemark University College.
- Vassilakis, Pantelis N. 2005. “Auditory Roughness as Means of Musical Expression.” *Selected Reports in Ethnomusicology* 12: 119–44.
- Weiss, Rudolf, W. S. Brown, and Jack Moris. 2001. “Singer’s Formant in Sopranos: Fact or Fiction?” *Journal of Voice* 15 (4): 457–68. doi:10.1016/S0892-1997(01)00046-7.
- Wolf, S. K., D. Stanley, and W. J. Sette. 1935. “Quantitative Studies of the Singing Voice.” *Journal of the Acoustical Society of America* 6 (April): 255–66.
- Zsiga, Elizabeth C. 2013. *The Sounds of Language: An Introduction to Phonetics and Phonology*. Oxford UK: Wiley-Blackwell.