

УДК 591.582(091)

ВЛИЯНИЕ НЕЙРОХРОНАКСИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РАУЛЯ ЮССОНА (RAOUL HUSSON) НА РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ГОЛОСООБРАЗОВАНИЯ В СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ (1950–1970-е ГОДЫ)

© 2024 г. А. А. Никольский

Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН

ул. Балтийская, 14, Москва, 125315 Россия

E-mail: bobak@list.ru

Поступила в редакцию 13.11.2023 г.

После доработки 14.01.2024 г.

Принята к печати 14.08.2024 г.

Обсуждается влияние нейрохронаксической теории фонации французского физиолога Рауля Юссона (Raoul Husson, 1901–1967) на развитие исследований голосообразования в Советском Союзе, главным образом в 1950–1970-е годы. Юссон противопоставил нейрохронаксическую теорию традиционной миоэластической теории голосообразования. Миоэластическая теория рассматривает голосовые складки как автоколебательную систему. Колебания вызывает энергия потока воздуха. Согласно концепции Юссона, колебания голосовых связок не зависят от подсвязочного давления. Частота колебаний голосовых связок соответствует частоте импульсации, поступающей по возвратному нерву. Для объяснения высокой частоты колебания голосовых связок Юссон использовал “Залповый принцип” (Volley principle) Вевера. Согласно этому принципу, активность каждого последующего нервного волокна приходится на рефрактерную фазу предыдущего волокна. Отклики всех нервных волокон суммируются в общее колебание высокой частоты. В 1950–1970-е годы советские физиологии приняли активное участие в проверке новой концепции, предложенной Юссоном. Они пришли к выводу, что в работе голосового аппарата участвуют оба механизма, миоэластический и нейрохронаксический. Но по возвратному нерву осуществляется не прямое управление колебаниями голосовых связок, а косвенное. Н.И. Жинкин назвал эту систему управления “кодовый принцип”, когда на голосовые связки поступает команда об изменении их физических характеристик, меняющих свойства автоколебательной системы.

DOI: 10.31857/S0044459624040039, EDN: UTUDKD

Предлагаемая статья, по сути, представляет собой продолжение сообщения, посвященного влиянию французской научной школы на развитие биоакустики в Советском Союзе, опубликованного ранее в “Журнале общей биологии” (Никольский, 2023а). Нейрохронаксическая теория, предложенная французским физиологом и математиком Раулем Юссоном (Raoul Husson, 1901–1967), является частью одного из наиболее актуальных разделов биоакустики, голосообразования. В качестве модельного объекта Юссон исследовал вокальную речь (певческий голос). Но, как справедливо заметил Хербст (Herbst, 2016), механизмы фонации, свойственные человеку, с оговорками, учитывая разнообразие строения голосового тракта зверей, могут быть

экстраполированы и на механизмы голосообразования наземных млекопитающих.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ И КРИТИКА НЕЙРОХРОНАКСИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РАУЛЯ ЮССОНА

Рауль Юссон, выдвинув в своей диссертации (Husson, 1950) новаторскую теорию голосообразования, создал интригу. Он противопоставил предложенную им теорию общепризнанной миоэластической теории голосообразования (Ржевкин, 1936; Fant, 1960; Фант, 1964; Сорокин, 1985; Titze, 2006). Сознвая значимость концепции, Юссон эмоционально подчеркивал, что, начиная с его диссертации (Husson, 1950), проблема

происхождения колебаний голосовых связок должна быть пересмотрена (Husson, 1957, p. 23): “...le problème de la génèse de la vibration des cordes vocales a d  être repris *ab ovo*...”. С этого момента (*ab ovo*), по мнению Юссона, начинается эпоха новых исследований фонации.

Созданная Юссоном интрига была рано замечена советскими биологами. Один из ярких представителей Ленинградской школы физиологов Владимир Петрович Морозов (1929–2021), много сделавший для изучения *биофизических* механизмов фонации (Морозов, 1977), пишет (Морозов, 1967, с. 83): “Исследования Р. Юссона ... несомненно имеют большое *прогрессивное* значение в развитии *физиологии* фонации: они приковывают внимание ученых к этой важной проблеме, *стимулируют новые поиски* и уже сегодня объясняют то, что трудно объяснить со старых позиций” (курсив мой. — А.Н.). Правда, спустя много лет В.П. Морозов посчитал нейрохронаксическую теорию недостаточно убедительной, выступив с критикой в адрес своего коллеги по цеху Е.А. Рудакова, одного из главных проводников научного наследия Юссона в нашей стране (Морозов, 2002, с. 16): “И даже такой, безусловно, компетентный инженер-акустик, как Е.А. Рудаков, находясь в плену концепции Юссона...” Но, как нередко бывает, сам В.П. Морозов попал в плен миоэластической концепции, которая, судя по тенденциозному цитированию,

оказалась удобной для обоснования развиваемой им теории резонанса (Морозов, 2002).

Суть нейрохронаксической теории в следующем. Собственно голосовой аппарат человека (и других наземных млекопитающих), как устройство, генерирующее *основную частоту* голоса, представлен парной голосовой складкой, которую физики рассматривают в качестве автоколебательной системы. Автоколебательные системы — это системы, к которым не подводятся колебания (Горелик, 1959). И напротив, концепция Юссона утверждает, что к голосовым связкам колебание подводится. Частота этого колебания, подводимого по возвратному нерву, соответствует частоте *основного тона* голоса субъекта фонации.

Голосовая складка образована голосовой связкой, голосовой мышцей и узкой щелью голосового аппарата (Самусев, 2023). Все другие структуры голосового тракта (легкие, трахея, гортань, ротовая и носовая полость, язык, зубы, губы) влияют на интенсивность звука и его амплитудно-частотный спектр, открывая неограниченные возможности для управления характеристиками звуков, издаваемых человеком и другими наземными млекопитающими.

Главное противоречие между классической миоэластической и новаторской нейрохронаксической теорией состоит в трактовке механизма формирования голосовыми связками *основной частоты* голоса (рис. 1, F_0). На рис. 1 в качестве

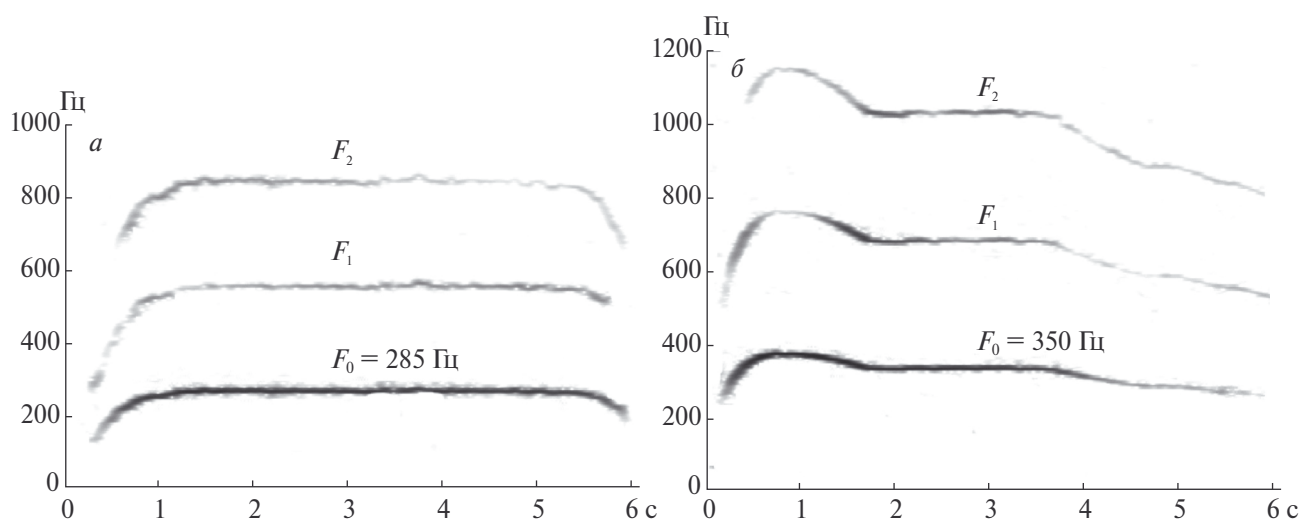


Рис. 1. Спектрограммы: *a* — человека (мужчины), протяжный крик “ууууу”, имитация вой взрослого волка; *б* — взрослого волка, одиночный вой. F_0 — основная частота; F_1 , F_2 — первая и вторая гармоники. Около F_0 указано значение основной частоты в средней части крика. Спектр гармонический, гармоники кратны основной частоте.

примера, поясняющего положение основной частоты в спектре производимого голосовым аппаратом звука, изображены спектрограммы крика взрослого мужчины (долгое, громкое “уууу”) и вой взрослого волка.

Согласно миоэластической теории, голосовые *складки* как *автоколебательная* система приводятся в состояние колебания под действием внешней силы воздушного потока (Fant, 1960; Сорокин, 1985). Согласно нейрохронаксической теории, колебания голосовых *связок* находятся под контролем центральной нервной системы, осуществляющей иннервацию голосовой мышцы ветвями возвратного нерва. *Основная частота* колебаний голосовых связок совпадает с частотой импульсации, поступающей по возвратному нерву (Husson, 1957; Юссон, 1974).

В обобщающем обзоре, посвященном акустическим и физиологическим механизмам фонации, центральную главу Юссон (Husson, 1957, р. 26) так и назвал — “Колебания голосовых связок без подсвязочного давления” (“La vibration des cordes vocales sans pression sous-glottique”).

Гортань, по мнению Юссона (Husson, 1965), аналогична сирене. В ней подсвязочное давление периодически изменяется в результате периодического, с *основной частотой*, смыкания и размыкания голосовых связок, закрывания и открывания голосовой щели.

Миоэластическая теория рассматривает аппарат голосообразования человека и других млекопитающих как акустическое устройство. Я подчеркиваю, что основные *физические* закономерности работы этого устройства никто не оспаривает, они очевидны и многократно описаны. Все согласны, физиологи в том числе, что в процессе голосообразования принимают участие подсвязочное давление, надсвязочное давление, эффект Бернулли и что эти силы взаимодействуют с упругими свойствами голосовых складок (Fant, 1960; Сорокин, 1985). Однако для физиолога голосовой аппарат — не только акустическое устройство, но и часть живого организма, который этим устройством *управляет*. Тем не менее и сегодня нейрофизиологические механизмы управления голосовым аппаратом изучены значительно хуже, чем его физические механизмы.

Юссон не отрицал акустические механизмы голосообразования. Более того, он активно исследовал эти механизмы, включая такие сложные процессы, как влияние импеданса на колебания голосовых связок (Husson, 1957; Юссон, 1974). В нашем случае импеданс — это суммарное

сопротивление различных отделов голосового тракта, влияющее на процесс голосообразования.

Критики теории Юссона прежде всего обращают внимание на наличие рефрактерной фазы, времени восстановления работоспособности ткани. Длительная рефрактерная фаза ограничивает передачу раздражений высокой частоты, до 1000–2000 Гц (Оториноларингология, 2023). Если учесть, что основные механизмы голосообразования у других видов млекопитающих те же, что и у человека, то речь может идти о 5000–10000 Гц (Никольский, 2023б).

Выход из этого противоречия подчеркивает название теории — *нейрохронаксическая*. Этот термин мы впервые встречаем у Юссона в его диссертации (Husson, 1950), в Главе IX “Les éléments fondamentaux d’une théorie neurochronaxique” (Основные элементы нейрохронаксической теории). Здесь ключевое слово — *хронаксия* (дословно — цена времени), минимальная длительность, время раздражающего тока в две реобазы, в две пороговые силы тока (Юссон, 1974; Начала физиологии, 2004).

Саму идею нейрохронаксии Юссон заимствовал (Husson, 1950, р. 56) у Эрнеста Вевера (Wever, 1949), который, в свою очередь, предложил модель “Залпового принципа” (Volley principle), позволяющую преодолеть ограничения на высокую частоту импульсации, создаваемые рефрактерным периодом.

Вевер применительно к проведению колебаний высокой частоты слуховым нервом предположил, что активность каждого последующего волокна слухового нерва приходится на рефрактерную фазу предыдущего волокна. *Суммарный* отклик всех волокон соответствует частоте звукового стимула, и именно эта частота суммарного отклика передается по слуховому нерву в слуховой отдел мозга. “Залповый принцип” Вевера поясняет рис. 2, заимствованный из его работы (Wever, 1949).

Юссон, используя модель Вевера, решает как бы обратную задачу. Если Вевер описывает *афферентацию* звукового стимула с периферии слуховой системы в центр, центростремительные процессы, то Юссон, напротив, *эфферентацию*, центробежные процессы. По мнению Юссона, высокая частота колебаний голосовых связок достигается благодаря многофазной передаче раздражения с ветвей возвратного нерва, т.е. в результате последовательного *сложения хронаксий*.

Обобщив результаты множества исследований, Вевер показал, что группа сенсорных волокон дает более высокочастотный суммарный

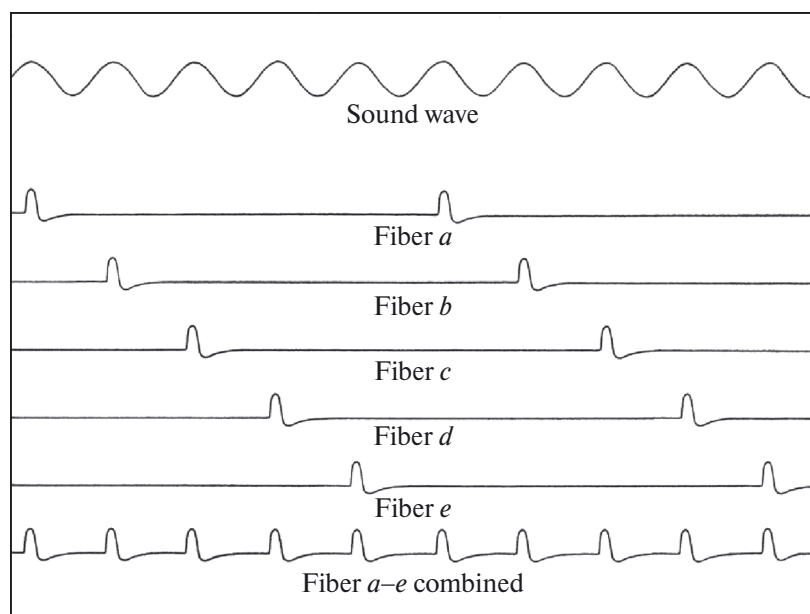


Рис. 2. Модель “Залпового принципа” (Volley principle) Вевера (по: Wever, 1949, p. 167, fig. 33): “Залповый принцип. Каждое волокно отвечает на определенные звуковые волны, а их суммарные отклики передают полную частоту волны”. Верхняя кривая (Sound wave) — звуковая волна, звуковой стимул, поступающий на вход слуховой системы. Fiber a, b, c, d, e — индивидуальные отклики волокон слухового нерва. Fiber a–e — суммарный отклик волокон слухового нерва. После каждого пика (спайка) следует рефрактерный период, за время которого восстанавливается активность соседнего волокна слухового нерва. В результате по слуховому нерву проходит импульсация, равная частоте звукового сигнала (ср. верхнюю и нижнюю кривые).

ответ, чем одиночное волокно. Абсолютный рефрактерный период “наиболее быстрого типа волокон” млекопитающих составляет от 0.6 до 0.9 мс (Wever, 1949, p. 158–163). Знание абсолютного времени рефрактерного периода конкретизирует модель Вевера “Залповый принцип”: появляется возможность определить число нервных волокон, чтобы получить суммарный отклик той или иной частоты.

Юссон в своих работах многократно в разных вариантах воспроизводит рисунок, поясняющий значимость хронаксии для оценки частоты, которую способен пропустить нерв, благодаря последовательной активности многочисленных волокон. Согласно Юссону, как и в случае со слуховым нервом, активность каждого последующего волокна возвратного нерва приходится на рефрактерную фазу предыдущего (напр., Huxson, 1952, p. 126; Юссон, 1974, с. 60). Схему, поясняющую это явление, я воспроизвожу на рис. 3. Рисунок заимствован из книги Юссона “Певческий голос”, изданной на русском языке (Юссон, 1974).

Сторонники миоэластической теории не приняли концепцию Юссона, так как не увидели прямых экспериментальных подтверждений колебания голосовых связок в отсутствие

подсвязочного давления. Более того, они считают эту концепцию избыточной для объяснения механизмов голосообразования.

Так, В.Н. Сорокин, много сделавший для развития физико-математической теории и моделирования процессов голосообразования, о концепции Юссона пишет как о литературном казусе. Посвятив критике Юссона страницу, выделенную мелким шрифтом, он называет нейрехронаксическую теорию “так называемой” (Сорокин, 1985, с. 37). Ссылаясь на Берга (Berg, 1957), В.Н. Сорокин считает, что “...Юссон мог принять следствие за причину”, имея в виду, что Юссон измерял “...вторичную электризацию, или так называемый микрофонный эффект...”, а не непосредственно электрическую активность голосовых мышц. Далее В.Н. Сорокин пишет (Сорокин, 1985, с. 37): “...для объяснения механизма колебания голосовых складок *вполне достаточно* учесть эффект Бернулли...” (курсив мой. — А.Н.). Этим “вполне достаточно” Виктор Николаевич объявляет табу на дальнейшие физиологические исследования механизмов голосообразования.

“Юссон мог принять следствие за причину” — это серьезное обвинение в адрес опытного физиолога. Берг (Berg, 1957), на которого ссылается

Виктор Николаевич, проверяя гипотезу Юссона, измерял электрическую активность голосовых складок человека. Он погружал электрод в щиточерпаловидную мышцу (*musculus thyroarytenoideus*) и сравнивал “электромиограмму” со “звуковой кривой” (sound curve) пациента. Миограмма отличалась от звуковой кривой (осциллограмма гласной “а”) отсутствием многочисленных “спайков” (spikes), низкоамплитудных пиков. В условиях конкретного эксперимента, вероятно, трудно ожидать абсолютного совпадения звуковой кривой с миограммой. Но, по мнению Берга, только такое абсолютное совпадение кривых способно поддержать нейрохронаксическую теорию. Эту свою уверенность он даже усилил французским выражением “*coup pour coup*” (ударом на удар).

В.Н. Сорокин (1985, с. 9), хотя и считает нейрохронаксическую теорию “избыточной”, тем не менее сетует на “незначительное число объективных данных о *центральных механизмах* речеобразования” (курсив мой. — А.Н.). Более того, исследуя на математической модели параметрические явления в голосовой мышце, в частности изменение жесткости мышцы от напряжения, он приходит к важному обобщению (Сорокин, 1985, с. 38): “Параметрические явления в сокращении мышц ... проявляются в процессах артикуляции и голосообразования и могут играть важную роль в восприятии речи”. Это небольшая, но все-таки уступка физиологическим механизмам управления фонацией.

Между тем уже в своих ранних публикациях Юссон активно обсуждал участие различных отделов головного мозга в организации ритма колебаний голосовых связок через возвратный нерв и обратную связь в процессе фонации через слуховой отдел головного мозга (Husson, 1951, 1952). В многочисленных публикациях Юссон настаивал, что работа голосового аппарата находится под контролем центральной нервной системы и что особая роль в этом контроле принадлежит слуховой системе.

В то время, когда Юссон активно публиковал результаты своих исследований (1950-е — начало 1960-х годов), критика нейрохронаксической теории была очень жесткой. Например, в 1960 г. в профильном медицинском журнале США “*Archives of Otolaryngology*” вышла статья Робина (Robin, 1960), в которой ключевым словом было слово “опровержение” (refutation), вынесенное в заголовок: “The neurochronaxic theory of voice production — A refutation”. Робин на больших

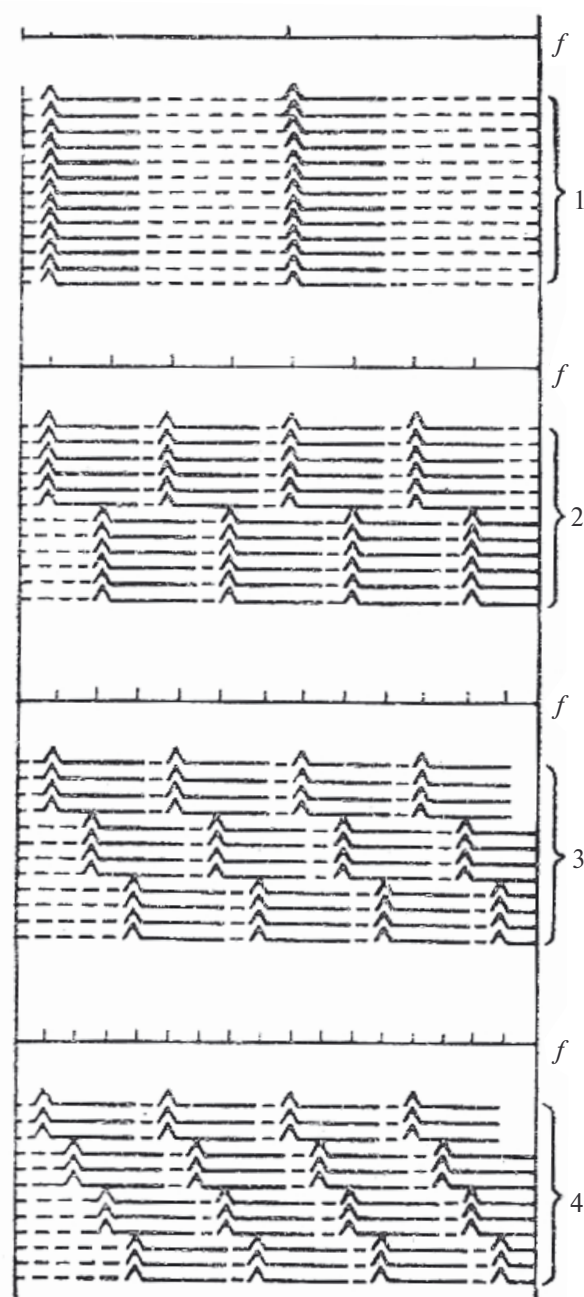


Рис. 3. Пример использования Юссоном “Залпового принципа” Вевера (Wever, 1949) для обоснования передачи голосовым связкам колебаний высокой частоты (Юссон, 1974, с. 65, рис. 19): “Схема четырех типов проводимости возвратного нерва. 1 — однофазный режим работы нерва. Частота электрических стимулов $f = 200$ Гц. Все волокна нерва возбуждаются одновременно. 2 — двухфазный режим, $f = 800$ Гц. Волокна нерва разделились на две части для поочередной передачи импульсов возбуждения. 3 и 4 — трех- и четырехфазные проводимости ($f = 1200$ и 1600 Гц). Соответственно, происходит разделение волокон нерва на три и четыре группы”.

с трахеотомией, экспериментируя со стомой трахеи, показал, что без подсвязочного давления воздуха (трахеальная стома открыта) отсутствуют боковые смещения голосовых связок (vocal cords), и, напротив, когда трахеальная стома закрыта, при попытке фонации голосовые связки смещаются. Робин приходит к выводу (Robin, 1960), что его исследования подтверждают аэродинамическую теорию (aerodynamic theory) и одновременно опровергают нейрохронаксическую теорию Юссона. По Робину, аэродинамическая теория — синоним миоэластической теории голосообразования.

В том же 1960 г. шведский инженер Гуннар Фант (Gunnar Fant, 1919–2009) в своем классическом труде “Акустическая теория речеобразования” (Fant, 1960; русский перевод — Фант, 1964) не принимает теорию Юссона, но высказывает осторожно. Он пишет (Фант, 1964, с. 232): “С акустической точки зрения работу связок нельзя трактовать по аналогии с колеблющейся мембраной; связки только *модулируют* постоянный поток воздуха при выдохе, но не генерируют звуковых колебаний сколько-нибудь заметной интенсивности путем *прямого преобразования* механических колебаний в звуковые. ... Теория Юссона дает мало вероятное объяснение механизмам образования голоса”. И дальше, рассуждая о соотношении избыточного и отрицательного давления в гортани, Фант заключает, что “...наличие эффекта Бернулли само по себе *достаточно* для объяснения работы голосовых связок...” (курсив мой. — А.Н.). Гидродинамический эффект Бернулли создает отрицательное давление, приводящее к смыканию голосовых связок, также в процессе смыкания принимают участие упругие силы голосовых связок (Фант, 1964).

В специальной современной литературе нейрохронаксическая теория обычно излагается как исторический эпизод, а не как конкурирующая идея. Так, в недавнем пространном обзоре, посвященном биофизическим механизмам фонации у млекопитающих, Хербст замечает вскользь (Herbst, 2016, p. 161): “Вопреки давним утверждениям (Husson, 1950), нет никаких доказательств производства звука на основе АМС у человека (Berg, 1958)”. Аббревиатурой “АМС” Хербст обозначает механизм колебаний голосовых связок в соответствии с теорией Юссона — “active muscular contraction” (активное мышечное сокращение). Будучи бескомпромиссным сторонником миоэластической теории, Хербст, ссылаясь на диссертацию Юссона (Husson, 1950), где

впервые была озвучена нейрохронаксическая концепция, в качестве подтверждения ее несостоятельности адресует читателя к давней работе Берга (Berg, 1958). Между тем ко времени выхода статьи Хербста (Herbst, 2016) были опубликованы многие обобщающие исследования, например, “Миоэластическая аэродинамическая теория фонации” Титца (Titze, 2006).

И в довершение критики теории Юссона — о драматическом эпизоде, рассказанном Е.А. Рудаковым по переписке с самим Юссоном. Е.А. Рудаков (1974) во вводной статье к русскому переводу книги Юссона “Певческий голос” (1974) пишет, что Берг в 1957 г. (ссылка на конкретную публикацию отсутствует) обратил внимание, что ветви возвратного нерва имеют *различную длину*. В результате импульсация с разных ветвей возвратного нерва поступает не одновременно, что приводит к несинхронному смыканию и размыканию голосовых связок, таким образом, делая бессмысленным главный принцип нейрохронаксической теории. Конец оказался счастливым. В том же году вышла работа Е. Крмпотич (E. Krmpotic, ссылка на конкретную публикацию отсутствует), в которой было показано, что двигательные аксоны возвратного нерва имеют разный диаметр, в результате чего волокна проводят импульсы с разной скоростью, компенсируя, таким образом, различия в длине.

ВЛИЯНИЕ НЕЙРОХРОНАКСИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РАУЛЯ ЮССОНА НА ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ГОЛОСООБРАЗОВАНИЯ СОВЕТСКИМИ ФИЗИОЛОГАМИ

Советские физиологи с большим энтузиазмом восприняли нейрохронаксическую теорию Юссона. В 50–70-е годы прошлого столетия под влиянием нейрохронаксической теории они приблизились к созданию *синтетической теории* голосообразования. Под “синтетической теорией” я понимаю объединение основных положений миоэластической теории, созданной физиками (напр., Ржевкин, 1936; Fant, 1960), с нейрофизиологическими механизмами управления колебаниями голосовых связок (напр., Дмитриев, 1955; Жинкин, 1958; Рудаков, 1964; Морозов, 1967).

Эта работа, создание синтетической теории голосообразования, далеко не закончена. В современной литературе продолжают противопоставлять традиционную миоэластическую теорию нейрохронаксической теории (Юшманов,

2002; Оториноларингология, 2023). По мнению В.И. Юшманова (2002, с. 25), многие феномены вокальной речи невозможно объяснить с позиций миоэластической теории. Механизмы управления голосом должны быть более совершенны, чем это предполагает традиционная теория, которая рассматривает голосовой аппарат как простую автоколебательную систему.

Большая заслуга в пропаганде теории Юссона принадлежит Евгению Александровичу Рудакову. Работая в Лаборатории акустики Московской консерватории (Медушевский, 2019), он содействовал переводу книги Юссона (Husson, 1960) “La Voix Chantée” (“Певческий голос”) на русский язык (Юссон, 1974).

В первой части русской версии “Певческого голоса” изложены основные результаты исследования Юссоном и его предшественниками механизмов голосообразования, а большая вводная статья, написанная самим Е.А. Рудаковым (1974), содержит исчерпывающий комментарий к результатам работ французского физиолога. Многие советские специалисты открыли для себя нейрохронаксическую теорию именно благодаря переводу “La Voix Chantée” на русский язык.

На протяжении нескольких лет Е.А. Рудаков активно переписывался с Юссоном (Медушевский, 2019). Следы этой интереснейшей, содержательной переписки попали в написанный Е.А. Рудаковым очерк о жизни и творчестве Юссона (Рудаков, 1974). По мнению Е.А. Рудакова, с которым я согласен, “голособразование определяется *двумя одновременно существующими механизмами — миоэластическим и нейрохронаксическим*” (Рудаков, 1974, с. 10, курсив автора. — А.Н.).

Уникальный опыт инженера и музыканта, работающего в Московской консерватории, позволил Е.А. Рудакову изложить многие принципы акустики голосообразования языком, доступным самой широкой аудитории. Поддерживая теорию Юссона, Е.А. Рудаков подчеркивает сложный, комплексный характер формирования тембра голоса. Он обращает внимание на адаптивную целесообразность первоначального звука (колебания голосовых связок), состоящего из *множества* гармоник (Рудаков, 1974, с. 26). В результате разнообразные резонаторы в надгортанном пространстве поддерживают, усиливают или подавляют ту или иную гармонику исходного спектра, образуемого колебаниями голосовых связок, что позволяет в очень широких пределах управлять амплитудно-частотным спектром голоса.

Продолжая мысль Е.А. Рудакова, добавлю от себя, что млекопитающие используют специальный прием, амплитудную модуляцию, для расширения числа и диапазона спектральных составляющих: в результате амплитудной модуляции выше и ниже несущего колебания (основной частоты) образуются боковые частоты, кратные частоте модулирующего колебания (Никольский, 2012). Такая манипуляция голосом особенно полезна видам животных, имеющих относительно высокую основную частоту. Напомню, гармоники кратны основной частоте. Чем она выше, тем менее насыщен частотный спектр голоса гармониками.

Десятью годами раньше Е.А. Рудаков (1964) связал механизм формирования тембра с представлениями Юссона (Husson, 1960) о влиянии ротоглоточного рупора на структуру спектра голоса.

Одними из первых на теорию Юссона откликнулись сотрудники Института эволюционной физиологии им. И.М. Сеченова АН СССР В.И. Медведев, Л.Н. Савина и Н.В. Суханова (Медведев и др., 1959), опубликовав статью, с характерным названием: “Физиологический анализ колебания голосовых связок (к вопросу о теории Юссона)”.

Не углубляясь в физику колебаний, авторы во введении образно изложили суть миоэластической теории (Медведев и др., 1959, с. 209): “...колебания связок ... рассматривались как обусловленные автоколебательным процессом, подобно тому, как колеблется полотнище флага, развевающегося на ветру”. Образом пассивно колеблющегося флага опытные физиологи подчеркивали недостаток знания о физиологических механизмах управления фонацией.

Основополагающим положением нейрохронаксической теории является высокая частота колебаний (выше 100 Гц) голосовых связок при раздражении голосовой мышцы (musculus vocalis) импульсами такой же высокой частоты. В.И. Медведев с соавт. (1959) обратили внимание, что это противоречит фундаментальным свойствам мышечной ткани: при частоте раздражения в несколько десятков герц мышца впадает в гладкий тетанус, длительное сокращение.

В эксперименте на гортани собак и кошек они раздражали концевую ветвь возвратного нерва, нижнегортанный нерв (nervus laryngeus inferior), с частотой от 16 до 500 Гц. Оказалось, что уже на частоте около 50 Гц мышца из зубчатого тетануса (сокращение, прерываемое периодами неполного расслабления) переходит в гладкий

тетанус, длительное сокращение. По мнению авторов, эти результаты не подтверждают концепцию Юссона о *вызванном* колебании голосовых связок.

В другой серии экспериментов голосовая мышца раздражалась импульсами частотой 100 Гц, но менялась скорость продуваемого через гортань потока воздуха. В этом случае частота производимого гортанью звука прямо зависела от скорости потока воздуха, что, казалось бы, поддерживает миоэластическую теорию и противоречит нейрхронаксической теории Юссона.

Но продолжение эксперимента позволило автором выдвинуть компромиссную гипотезу, объединяющую обе доминирующие концепции — нейрхронаксическую и миоэластическую. Оказалось, что при перерезке нерва, соединяющего мышцу с ЦНС, эффект зависимости частоты излучаемого гортанью звука от скорости потока продуваемого воздуха выражен крайне слабо. То есть голосовые связки — это все-таки не флаг, развевающийся на ветру. По мнению В.И. Медведева и соавт. (1959, с. 213), “...давление, создаваемое в подсвязочном пространстве, является раздражителем, *рефлекторным путем* регулирующим степень *натяжения* голосовых связок. Импульсы, возникающие в чувствительных нервах гортани, поступают в центральную нервную систему и затем по центробежным нервам подходят к мышцам голосовых связок. Таким образом, обеспечивается *саморегуляция* голосовых связок” (курсив мой. — А.Н.). Это очень важное замечание подсказывает направление дальнейшего поиска нейрофизиологических механизмов управления фонацией.

Но в заключении авторы (Медведев и др., 1959, с. 215), хотя и с оговоркой, приходят к обобщению, поддерживающему миоэластическую теорию голосообразования. Они признают, что непосредственным механизмом колебания связок при фонации является автоколебательный процесс, но параметры связок как колеблющейся системы находятся под нейрофизиологическим контролем. Импульсы, приходящие в мышцу по двигательным нервам, регулируют рефлексы с барорецепторов связок и гортани и с проприорецепторов мышц, ответственных за натяжение связок.

Позднее В.И. Медведев совместно с В.П. Морозовым (1966) показали, что увеличение давления в ротовой полости приводит к понижению частоты основного тона голосовых связок. Эти и аналогичные им эксперименты советских

физиологов (Речь..., 1965; Арутюнян, 1966; Венцов, 1966), по мнению В.П. Морозова (1977, с. 100), “...свидетельствуют о том, что голосовые связки реагируют на градиент воздушного давления” и что “*абсолютное отрицание Юссоном действительности этой силы неправомерно*”.

Исследуя биофизические механизмы вокальной речи, В.П. Морозов (1965, 1977) на основе анализа собственных экспериментов и экспериментов других авторов приходит к важному обобщению, что нервная регуляция частоты колебаний голосовых связок существует, но это не непосредственное ритмическое сокращение мускульных волокон, как считает Юссон, а *опосредованное*. Сокращение мускульных волокон опосредовано “...путем создания таких акустических и механических условий для вибратора, при которых он порождает звук определенной частоты. При этом огромную роль имеет система *биологических обратных связей* на основе функции слухового, вибрационного и проприорецептивного анализаторов, сигнализирующих в центральную нервную систему как о состоянии органов звукопроизношения, так и о результатах их деятельности (В.П. Морозов, 1965)” (Ермолаев и др., 1970).

Наиболее полно концепция В.П. Морозова изложена в его монографии “Биофизические основы вокальной речи” (Морозов, 1977), где он неоднократно возвращается к работам Юссона. Прежде всего, это относится к Главе 6, посвященной физиологическим механизмам регуляции частоты колебаний голосовых связок.

Детально обсудив все аргументы в пользу нейрхронаксической теории, В.П. Морозов приходит к однозначному выводу, что “синхронизм раздражающей частоты с сокращением голосовых связок сохраняется лишь до 100 Гц”. И далее замечает, “что увеличение подсвязочного давления является необходимым условием генерирования высокой частоты колебаний голосовых связок” (Морозов, 1977, с. 95–96).

Далее он повторяет мысль, изложенную ранее в коллективной монографии (Ермолаев и др., 1970), что нервная регуляция частоты колебаний голосовых связок осуществляется не прямым, а опосредованным путем, изменяя механические свойства голосовых связок, создавая оптимальные акустические условия для их колебаний с определенной частотой.

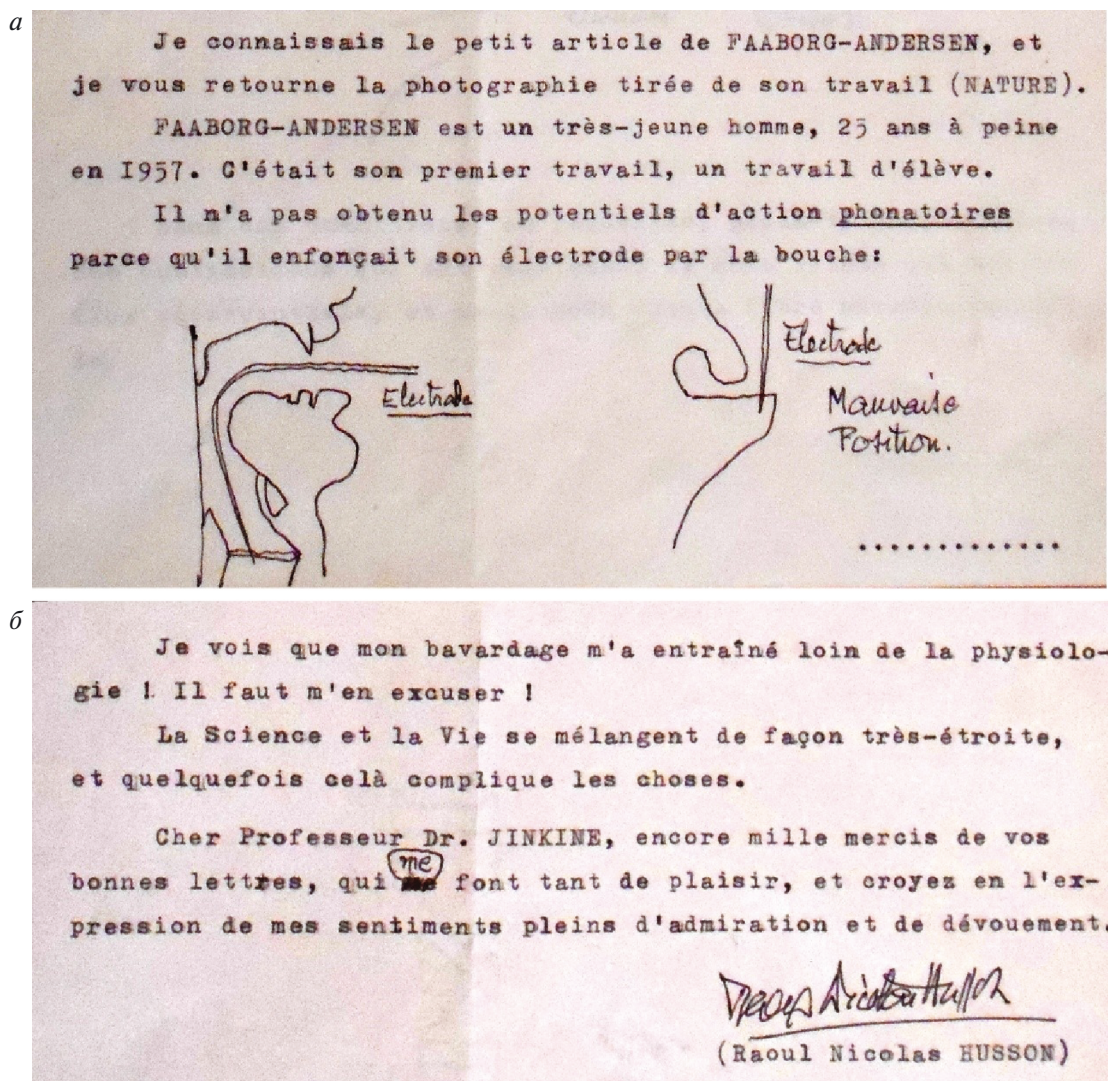


Рис. 4. Фрагмент письма Р. Юссона Н.И. Жинкину от 15 марта 1960 г.: *a* — фрагмент первой страницы письма, в котором Юссон комментирует содержание статьи Андерсена, сопровождая собственным рисунком деталей эксперимента — положение электрода в гортани испытуемого; *б* — письмо заканчивается (на 5-й странице) автографом и заверением в дружеских чувствах к коллеге из Советского Союза.

КODOBЫЙ ПРИНЦИП Н.И. ЖИНКИНА УПРАВЛЕНИЯ ГОЛОСОВЫМИ СВЯЗКАМИ

Среди советских ученых наибольший интерес нейрохронаксическая теория Юссона вызвала у известного психолога Николая Ивановича Жинкина (1893–1979). Н.И. Жинкин внес значительный вклад в изучение морфофизиологических механизмов речи и алгоритма организации речевого потока (Жинкин, 1958, 1960, 1963, 1965; Žinkin, 1963, 1968). Годы его творчества приходятся на время, когда нейрохронаксическая теория голосообразования активно обсуждалась в научном сообществе. Николай Иванович регулярно переписывался с Раулем

Юссоном. 70 листов переписки московского психолога с парижским физиологом хранятся в Центральном государственном архиве города Москвы (ЦГА Москвы, Фонд НЛ. 52, Опись 1, Дело 249). Переписка носила как деловой, так и дружеский характер. В качестве примера привожу фрагменты большого (5 страниц) письма Р. Юссона Н.И. Жинкину (рис. 4).

Письмо написано накануне многодневного, с 23 марта по 3 апреля 1960 г., визита Председателя Совета Министров СССР Н.С. Хрущева в Париж по приглашению Президента Французской Республики генерала де Голля (Совместное..., 1960). Визит, который должен был начаться

15 марта, перенесли на неделю из-за простудного заболевания Н.С. Хрущева.

В письме Н.И. Жинкину Юссон эмоционально описывает нетерпение французов в ожидании приезда советского лидера и делится чувствами по отношению к русским. Я воспроизвожу фрагмент письма Юссона (ЦГА Москвы, Фонд НЛ. 52, Опись 1, Дело 249, Лист 9) в переводе Н.И. Жинкина (ЦГА Москвы, Фонд НЛ. 52, Опись 1, Дело 249, Листы 69, 70): “Мы сегодня ждем приезда господина Президента Хрущева в Париж. Вся страна охвачена необыкновенным энтузиазмом. Надо знать, что все французы без различия социальных классов испытывают к России самые глубокие и сильные чувства. Всякий раз как перед нами вставала угроза со стороны Германии, нас всегда спасала Россия: 1871, 1914, 1941, три или четыре раза за одно столетие. Для того, чтобы показать на примере любовь французского народа к народу русскому, я Вам скажу следующее: еще в тот момент, когда я появился на свет (28 января 1901) моя мать и мой отец воспылали столь большой любовью к России, что дали мне два имени — Рауль, а потом — Николай (в связи с визитом царя в Париж)”.

В своем основном труде “Механизмы речи” (Жинкин, 1958), который был издан во Франции на английском языке (Žinkin, 1968), Н.И. Жинкин (1958, с. 276) совместил обе теории голосообразования — миоэластическую и нейроронаксическую, предложив “*кодовый принцип*” управления свойствами голосовых связок как *автоколебательной* системы.

Обсуждению фактов, поддерживающих теорию Юссона, Н.И. Жинкин посвятил пространный очерк (Жинкин, 1958, с. 273–278), где обращает внимание на необходимость пересмотра сложившихся представлений о механизме колебания голосовых связок (Жинкин, 1958, с. 273): “В недавнее время Рауль Юссон *убедительными фактами опроверг* миоэластическую гипотезу, в связи с чем вопрос об автоколебаниях голосовых связок встал по-новому”. Но далее, сославшись на многочисленные наблюдения и эксперименты, опубликованные Юссоном, Н.И. Жинкин заключает, что “голособразование *в полной мере* согласуется с принципом *автоколебаний*” (Жинкин, 1958, с. 276; курсив мой. — А.Н.).

Как следует из дальнейших рассуждений Н.И. Жинкина, голосообразование все-таки *не в полной мере* согласуется с принципом

автоколебаний. Классическая миоэластическая теория рассматривает голосовые складки как автоколебательную систему с заданными параметрами.

Н.И. Жинкин предложил “кодовый принцип” управления колебаниями голосовых связок, опираясь на эксперименты и наблюдения, поддерживающие нейроронаксическую теорию Юссона. Суть принципа состоит в том, что из ЦНС по возвратному нерву в гортань не поступает импульсация со звуковой частотой, а передается сигнал на задание *автоколебательной* системе *параметров*. Он так об этом пишет (Жинкин, 1958, с. 276): “Физически частота колебаний определяется в самой колеблющейся системе, так как она зависит только от длины и натяжения волокон голосовых связок. Однако длина волокон задается центральным нервным импульсом. При этом совершенно очевидно, что смена этих импульсов или их частота ни в коей мере не совпадают со звуковой частотой”. То есть по возвратному нерву на голосовые связки поступает команда, в которой закодирована информация о параметрах этой автоколебательной системы, а не колебания звуковой частоты. Поступившая команда создает физические условия, облегчающие колебания связок с заданной основной частотой.

“Кодовый принцип” Жинкина звучит убедительно, но, к сожалению, мы и сегодня не знаем, как, какими электрическими характеристиками кодируются команды, посылаемые из соответствующего отдела головного мозга через возвратный нерв на голосовую мышцу, чтобы изменить физические свойства голосовых связок как автоколебательной системы.

“Кодовый принцип” как концепция оставляет в силе основные положения миоэластической теории, одновременно снимая главные противоречия нейроронаксической теории, и открывает перспективы для поиска центральных механизмов управления речью и звуковыми сигналами млекопитающих, широчайший диапазон изменения которых (Никольский, 2023б) невозможно объяснить только физическими характеристиками голосового тракта. Причем речь идет не только об относительном изменении амплитудно-частотного спектра, но и об изменении в процессе вокализации *основной частоты* (рис. 1), зависящей от массы и упругости автоколебательной системы — голосовых связок (или складок, по более привычной терминологии сторонников миоэластической теории).

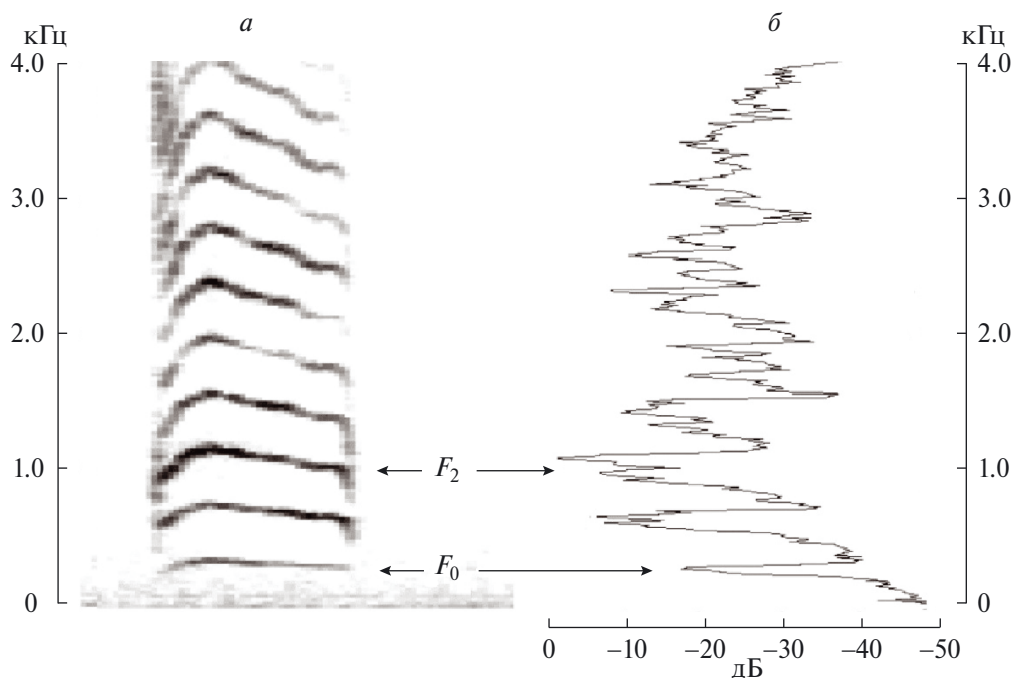


Рис. 5. Крик ягненка, отставшего от матери в стаде: *а* — сонограмма, *б* — интегральный (по всей длительности крика) амплитудно-частотный спектр. F_0 — основная частота, F_2 — вторая гармоника. Амплитуда второй гармоники на 20 дБ превышает амплитуду основной частоты.

Н.И. Жинкин никак не комментирует механизм множественности фаз проводимости возвратного нерва, на котором настаивал Юссон (рис. 2, 3). Он лишь напоминает, что по нерву не могут быть переданы импульсы слишком большой частоты, ограничивая частоту основного тона. По мнению Н.И. Жинкина (1958, с. 277), “...в резонаторной системе, т.е. в трубке, надставленной над гортанью, могут усиливаться гармонические колебания значительно большей частоты, как кратные от основного тона”. Сегодня мы знаем, что этот механизм управления спектром голоса широко распространен среди наземных млекопитающих (Никольский, 2023б).

Рис. 5 поясняет, что происходит на выходе обсуждаемой Н.И. Жинкиным системы надгортанных фильтров. В качестве примера показана спектрограмма крика ягненка, который беспокойно бегаёт в стаде, с тревожным криком разыскивая мать. Характерная ситуация. По мере возрастания беспокойства ягнят их голоса воспринимаются на слух более высокими. Но, как показывает спектральный анализ, *положение основной частоты* в спектре крика *не меняется*, увеличивается амплитуда одной из гармоник, в данном случае — второй (F_2). Доминирование

амплитуды второй гармоники над амплитудой основной частоты существенно, около 20 дБ, а ее частота в 3 раза превышает частоту основного тона (рис. 5б).

Можно привести множество аналогичных примеров, косвенно подтверждающих влияние надгортанных фильтров на характеристику амплитудно-частотного спектра звуковых сигналов различных видов млекопитающих (Никольский, 2023б).

Итак, Н.И. Жинкин, не отрицая миоэластическую теорию голосообразования, настаивает на том, что параметры автоколебательной системы, такие как натяжение и длина голосовых связок, регулируются из центра. Механизм регулирования системы голосообразования он удачно называет “кодовым принципом”, к сожалению, не поясняя, как осуществляется кодирование, а тем более декодирование информации, поступающей по возвратному нерву в гортань.

В итоге, несмотря на некоторую неопределенность рассуждений, Н.И. Жинкин не принимает нейрорхонаксическую теорию Юссона и не отрицает миоэластическую теорию, утверждая, что процесс голосообразования управляется из центра по “кодовому принципу”.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение я отмечаю, что нейроронаксическая теория Юссона до настоящего времени не получила *прямого* экспериментального подтверждения, но тем не менее в литературе к ней регулярно возвращаются.

Примечательно, что именно советские ученые восприняли теорию Юссона с наибольшим интересом. Воспитанные в традициях отечественной физиологической школы, они интуитивно понимали, что Юссон мог ошибаться в деталях, но что главное направление его научного поиска, центральные механизмы управления голосом, не вызывает сомнений.

Выше я уже обращал внимание на многолетнюю переписку Юссона с Н. И. Жинкиным. Не менее активно Юссон переписывался с Е. А. Рудаковым. Я не смог найти архивные материалы этой переписки, но вводная статья Е. А. Рудакова (1974) к русскому изданию книги Юссона “Певческий голос” и сам факт появления этого замечательного труда на русском языке не оставляют сомнений в существовании большого эпистолярного наследия двух выдающихся знатоков механизмов фонации. Не сомневаюсь, что их переписка содержит множество интересных вопросов и гипотез, проливающих свет на физиологические механизмы фонации.

В Центральном государственном архиве города Москвы (ЦГА Москвы, Фонд НЛ. 52, Опись 1, Дело 249) хранится в том числе программа цикла коллоквиумов “Фонация и язык”, проходивших с 25 по 29 июля 1961 г. в Сорбонне. Среди участников значатся имена Н. И. Жинкина и Е. А. Рудакова. Оба не только выступали с докладами, но и были заявлены в качестве руководителей секций (коллоквиумов).

В заключение, давая оценку участия советских ученых в дискуссии вокруг нейроронаксической теории голосообразования французского физиолога и математика Рауля Юссона, можно констатировать, что результаты дискуссии были конструктивны. Советские ученые приблизились к созданию теории, которую можно назвать “синтетической”. Не отрицая, более того, поддерживая классическую миоэластическую теорию, они аргументированно обосновали центральные механизмы управления голосообразованием на уровне всех компонентов голосового тракта. Наиболее перспективным, на мой взгляд, представляется “кодовый принцип” Н. И. Жинкина. Сегодня мы далеки

от реализации этого принципа в содержательную концепцию, но главное направление поиска понятно. “Кодовый принцип” предполагает не прямое воздействие ритмической импульсации на голосовые связки, как на этом настаивал Рауль Юссон, а *кодирование* информации, поступающей из центра в периферию голосового тракта, *приведение физических свойств* его отделов в соответствие акустическим характеристикам звуков на выходе системы, ответственной за передачу информации по акустическому каналу связи. Это относится как к речи, так и к звуковым сигналам наземных млекопитающих, изменчивость которых практически бесконечна (Никольский, 2023б).

Современная фониатрическая наука признает, что исследования советских ученых сформировали “третью теорию механизма голосообразования”, которая “складывается из представлений обеих теорий”, миоэластической и нейроронаксической теории (Шипицына, Вартамян, 2014, с. 221). По сути, признается вклад советской науки в создание *синтетической* теории голосообразования. Наиболее значимая роль в ее создании отводится Л. Б. Дмитриеву, Н. И. Жинкину, Е. А. Рудакову и В. П. Морозову (Шипицына, Вартамян, 2014, с. 221).

Рауль Юссон скончался в возрасте 66 лет, попав в автомобильную катастрофу. Судя по переписке с Е. А. Рудаковым, у него были большие планы развития теории голосообразования с использованием новых фактов, накопленных в литературе (Рудаков, 1974). К сожалению, без Рауля Юссона полемика вокруг его теории быстро сошла на нет, и сегодня абсолютно доминирует миоэластическая концепция, что, на мой взгляд, объясняется непреодолимыми на сегодняшний день методическими трудностями проведения прямых наблюдений и экспериментов, необходимых для исследования нейрофизиологических механизмов фонации.

БЛАГОДАРНОСТИ

За помощь в работе с библиографическими материалами благодарю Л. Л. Данилкину и В. П. Никольского. За консультации по вопросам механизмов голосообразования благодарю О. С. Корсуновскую и В. Н. Сорокина. Благодарю Е. А. Ванисову за помощь в работе с источниками на французском языке. Благодарю анонимного Рецензента, чей высокопрофессиональный комментарий помог улучшить текст статьи.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (РНФ) в рамках научного проекта № 22-18-00564.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Конфликт интересов отсутствует.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с использованием животных в качестве объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арутюнян Э.А., 1966. О физиологических механизмах реализации логических ударений // Механизмы речеобразования и восприятия сложных звуков. М.; Л.: Наука. С. 18–30.
- Венцов А.В., 1966. О работе голосовых связок при глухих смычковых интервокальных согласных // Механизмы речеобразования и восприятия сложных звуков. М.; Л.: Наука. С. 62–72.
- Горелик Г.С., 1959. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику. Изд. 2-е. М.: Изд-во физ.-мат. литературы. 572 с.
- Дмитриев Л.Б., 1955. Об акустической природе некоторых физиологических приспособлений голосового аппарата при пении // Проблемы физиологической акустики. Т. 3. М.; Л.: АН СССР. С. 34–44.
- Ермолаев В.Г., Лебедева Н.Ф., Морозов В.П., 1970. Руководство по фониатрии. Л.: Медицина. 271 с.
- Жинкин Н.И., 1958. Механизмы речи. М.: Изд-во Акад. пед. наук РСФСР. 312 с.
- Жинкин Н.И., 1960. Звуковая коммуникативная система обезьян // Изв. Акад. пед. наук РСФСР. Вып. 113: Мышление и речь. С. 183–226.
- Жинкин Н.И., 1963. О теориях голосообразования // Мышление и речь / Ред. Жинкин Н.И., Шемякин Ф.Н. М.: Изд-во Акад. пед. наук РСФСР. С. 219–271.
- Жинкин Н.И., 1965. Четыре коммуникативные системы и четыре языка // Теоретические проблемы прикладной лингвистики. Сб. статей. М.: Изд-во МГУ. С. 7–37.
- Медведев В.И., Морозов В.П., 1966. О зависимости частоты колебаний голосовых связок человека от воздушного давления // Тр. Лен. науч.-иссл. ин-та по болезням уха, горла, носа и речи. Т. 14. С. 406–414.
- Медведев В.И., Савина Л.Н., Суханова Н.В., 1959. Физиологический анализ колебаний голосовых связок (к вопросу о теории Юссона) // Проблемы физиологической акустики. Т. 4. М.; Л.: АН СССР. С. 208–215.
- Медушевский В.В., 2019. Акустическая лаборатория МГК в 1960-е годы // Музыкальная академия. № 1 (765). С. 248–258.
- Морозов В.П., 1965. Вокальный слух и голос. М.; Л.: Музыка. 86 с.
- Морозов В.П., 1967. Тайны вокальной речи. Л.: Наука, Лен. отд. 204 с.
- Морозов В.П., 1977. Биофизические основы вокальной речи. Л.: Наука, Лен. отд. 231 с.
- Морозов В.П., 2002. Искусство резонансного пения. Основы резонансной теории и техники. М.: Искусство и наука. 496 с.
- Начала физиологии: Учебник для вузов, 2004 / Ред. акад. Ноздрачев А.Д. 3-е изд., стер. СПб.: Лань. 1088 с.
- Никольский А.А., 2012. Амплитудная модуляция звуковых сигналов млекопитающих // Журн. общ. биологии. Т. 73. № 3. С. 225–240.
- Никольский А.А., 2023а. Влияние французской научной школы на развитие биоакустики в Советском Союзе (60–70-е годы прошлого столетия) // Журн. общ. биологии. Т. 84. № 1. С. 15–28.
- Никольский А.А., 2023б. Акустическая коммуникация млекопитающих: опыт полевых исследований. М.: URSS. 208 с.
- Оториноларингология. Учебник, 2023 / Под ред. Карпищенко С.А. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР–Медиа. 480 с.
- Речь. Артикуляция и восприятие, 1965 / Ред. Кожевников В.А., Чистович Л.А. М.; Л.: Наука. 241 с.
- Ржевкин С.Н., 1936. Слух и речь в свете современных физических исследований. М.; Л.: Объединенное науч.-тех. изд-во НКТП СССР. 311 с.
- Рудаков Е., 1964. Новая теория образования верхней певческой форманты // Применение акустических методов исследования в языкознании. Сб. статей / Ред. Скребков С.С. М.: Музыка. С. 18–37.
- Рудаков Е., 1974. Рауль Юссон и его исследования // Певческий голос. Исследование основных физиологических и акустических явлений певческого голоса. М.: Музыка. С. 3–38.
- Самусев Р.П., 2023. Универсальный атлас анатомии человека: Учеб. пособие для мед. учеб. заведений. М.: АСТ; Мир и образование. 320 с.
- Совместное Советско-Французское коммюнике, 1960 // Правда. № 94 (15218). 3 апреля 1960 г. С. 1.
- Сорокин В.Н., 1985. Теория речеобразования М.: Радио и связь. 312 с.
- Фант Г., 1964. Акустическая теория речеобразования. М.: Наука. 284 с.
- Шипицына Л.М., Вартанян И.А., 2014. Анатомия, физиология и патология органов слуха, речи

- и зрения: Учебник для студ. учреждений высш. образования. 3-е изд., стер. М.: Академия. 432 с.
- Юссон Р., 1974. Певческий голос. Исследование основных физиологических и акустических явлений певческого голоса. М.: Музыка. 262 с.
- Юшманов В.И., 2002. Вокальная техника и ее парадоксы. Изд. 2-е. СПб.: Изд-во ДЕАН. 128 с.
- Berg J., van den, 1957. Microphonic effect of the larynx // *Nature*. V. 179. P. 625–626.
- Berg J., van den, 1958. Myoelastic-aerodynamic theory of voice production // *J. Speech Hearing Res.* V. 3. № 1. P. 227–244.
- Fant G., 1960. *Acoustic Theory of Speech Production*. Hague: Mouton. 323 p.
- Herbst C.T., 2016. Biophysics of vocal production in mammals // *Vertebrate Sound Production and Acoustic Communication* / Eds Suthers R.A., Fitch W.T., Fay R.R., Popper A.N. Cham et al.: Springer. P. 159–190.
- Husson R., 1950. Étude des phénomènes physiologiques et acoustiques fondamentaux de la voix chantée. Thesis: Diss. Doct. Fac. des Sciences. Paris: Revue Scientifique. 88 p.
- Husson R., 1951. Relations neuro-psychologiques entre la phonation et l'audition // *Ann. Télécommun.* V. 6. № 10. P. 273–277.
- Husson R., 1952. Sur la physiologie vocale // *Ann. Otolaryngol.* V. 69. № 1. P. 124–137.
- Husson R., 1957. Acoustique et physiologie phonatoire // *J. Phys. Phys. Appl.* V. 18. № S3. P. 23–35.
- Husson R., 1960. *La Voix Chantée*. Paris: Gauthier-Villars. 205 p.
- Husson R., 1962. *Physiologie de la Phonation*. Paris: Masson. 590 p.
- Husson R., 1965. Théorie aérodynamique de la sirène laryngée // *Ann. Télécommun.* V. 20. P. 81–90.
- Robin H.J., 1960. The neurochronaxic theory of voice production – A refutation // *Arch. Otolaryngol.* V. 71. № 6. P. 913–920.
- Titze I.R., 2006. *The Myoelastic Aerodynamic Theory of Phonation*. Denver: National Center for Voice and Speech. 424 p.
- Wever E.G., 1949. *Theory of Hearing*. N.-Y.: John Wiley. 484 p.
- Žinkin N.I., 1963. An application of the theory of algorithms to the study of animal speech: Methods of vocal intercommunication between monkeys // *Acoustic Behaviour of Animals*. Amsterdam etc.: Elsevier. P. 132–182.
- Žinkin N.I., 1968. *Mechanisms of Speech*. Hague, Paris, Mouton: Mouton De Gruyter. 462 p.

Influence of Raoul Husson's neurochronaxic theory for the development of research on the physiological mechanisms of voice production in the Soviet Union (1950–1970s)

A. A. Nikol'skii

*Vavilov Institute for the History of Science and Technology, RAS
Baltiyskaya, 14, Moscow, 125315 Russia
e-mail: bobak@list.ru*

The influence of the neurochronaxic theory of phonation of the French physiologist Raoul Husson (1901–1967) on the development of research on voice formation in the Soviet Union, mainly in the 1950–1970s, is discussed. Husson contrasted the neurochronaxic theory with the traditional myoelastic theory of voice formation. The myoelastic theory considers the vocal folds as a self-oscillatory system. Vibrations are caused by the energy of the air flow. According to Husson's concept, vibrations of the vocal cords do not depend on subglottic pressure. The frequency of vibration of the vocal cords corresponds to the frequency of impulses arriving along the recurrent nerve. To explain the high frequency of vibration of the vocal cords, Husson used Wever's "Volley Principle". According to this principle, the activity of each subsequent nerve fiber occurs during the refractory phase of the previous fiber. The responses of all nerve fibers are summed up into a common high-frequency oscillation. In 1950–1970s, Soviet physiologists took an active part in testing the new concept proposed by Husson. They came to the conclusion that both mechanisms, myoelastic and neurochronaxic, are involved in the functioning of the vocal apparatus. But the recurrent nerve does not directly control the vibrations of the vocal cords, but indirectly. Žinkin called this control system the "code principle," when a command is sent to the vocal cords to change their physical characteristics, changing the properties of the self-oscillating system.