

---

**ЦИКЛИЧЕСКАЯ  
ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ  
ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ  
АУДИОПРОВОДНИКОВ:  
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА  
ЭКСТРАКЦИОННОЙ СИГНАТУРЫ В  
МЕДИ, СЕРЕБРЕ И  
СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СУБСТРАТАХ**

---

# Циклическая вольтамперометрическая характеристика аудиопроводников: количественная оценка экстракционной сигнатуры в меди, серебре и сверхпроводящих субстратах

M. Ferro, C. Ohm, L. Solder, R. Flux

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

## Аннотация

В апреле 2026 года Hertz и коллеги из Орегонского университета опубликовали в Nature Communications метод снятия отпечатка вкусового профиля заваренного кофе с помощью циклической вольтамперометрии. Погружая пару инертных электродов в образец чёрного кофе и осуществляя развёртку приложенного потенциала с фиксированной скоростью, авторы получили два ортогональных измерения из одного эксперимента: крепость напитка, закодированную в пиковом токе первого скана, и цвет обжарки, закодированный в подавлении последующих сканов поверхностным загрязнением. Метод неразрушающий, не требует хроматографического разделения и разрешает молекулярные различия, которые обученные сенсорные панели могут описать, но не количественно оценить. Мы адаптируем эту методику к аудиопроводникам. Вводя пару микроэлектродов через внешний диэлектрик аудиокабеля, устанавливая кратковременный электролитический контакт с внутренним проводником и применяя линейную развёртку потенциала со скоростью 50 мВ/с, мы получаем вольтамперограммы, воспроизводимые в пределах 1,4%, специфичные для проводника и статистически ортогональные обычным электрическим измерениям, включая сопротивление по постоянному току, импеданс по переменному току и волновое сопротивление. На 47 образцах кабелей, охватывающих пять уровней качества изготовления и три металлургии субстрата, мы наблюдаем систематические вариации пикового тока, коэффициента подавления сканов и потенциала начала окисления, которые мы совокупно называем экстракционной сигнатурой. OFC-медь уровня Tropic демонстрирует широкие, подавленные вольтамперограммы, согласующиеся с высокой плотностью поверхностных оксидов и межзёрненным загрязнением. Монокристаллическое серебро уровня Equinox показывает более узкие пики и сниженное подавление сканов. Керамические YBCO-проводники уровня Zero-Point, работающие ниже критической температуры, дают вольтамперограммы, в пределах разрешения нашего потенциостата идеально плоские, -- результат, который мы интерпретируем как свидетельство молекулярной прозрачности. Метод разрешает различия проводников, которые измерения SINAD на стандартных широтах не разрешают, а измерения SINAD с коррекцией полусферического смещения на геомагнитном экваторе разрешают лишь частично. Мы предлагаем вольтамперометрическую характеристику как дополнительную измерительную базу для оценки аудиопроводников.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Химический состав заваренного кофе определяется экстракцией -- процессом, при котором вода, поданная при определённой температуре в течение определённого времени на определённый помол, растворяет долю растворимых соединений, присутствующих в обжаренных кофейных зёрнах. Продукт представляет собой сложный водный раствор, содержащий несколько сотен идентифицированных соединений, из которых менее тридцати ответственны за большинство воспринимаемых вкусов. Обычный анализ такого раствора требует хроматографического разделения с последующей масс-спектрометрией -- методов, которые дороги, медленны и разрушают образец.

Hertz, Nakahara и Boettcher (2026), публикуясь в Nature Communications, продемонстрировали, что значительную часть химически осмысленной информации в образце заваренного кофе можно восстановить из одного эксперимента циклической вольтамперометрии. Авторы погружили рабочий электрод из стеклогуглерода и серебряный проволочный электрод сравнения в 25 мл чёрного кофе, применили линейную развёртку потенциала от -0,4 В до +1,2 В со скоростью 50 мВ/с и зарегистрировали полученный ток. Первый скан дал характеристический пик окисления, амплитуда которого линейно коррелировала с содержанием общих растворённых веществ в напитке ( $R^2 = 0,94$ ,  $n = 142$ ). Второй и последующие сканы дали пики, амплитуды которых прогрессивно подавлялись относительно первого, причём скорость подавления коррелировала с цветом обжарки исходных зёрен ( $R^2 = 0,89$ ,  $n = 142$ ).

Два измерения ортогональны. Крепость напитка и цвет обжарки независимо варьируются при приготовлении кофе -- можно получить крепкую чашку из светлой обжарки или слабую чашку из тёмной обжарки, -- и вольтамперометрический эксперимент восстанавливает обе величины примерно за девяносто секунд.

Это, по нашему мнению, важное методологическое достижение. Оно показывает, что электрохимический отклик сложной молекулярной среды содержит структурную информацию, не охватываемую объёмными измерениями, такими как проводимость, плотность или pH. Вольтамперометрическая сигнатура есть, по сути, низкоразмерная проекция химического состояния среды -- и проекция эта в данном случае достаточна для восстановления переменных практической важности.

Нас поразила аналогия с оценкой аудиопроводников. Обычные электрические измерения, применяемые к аудиокабелям, -- сопротивление по постоянному току, импеданс по переменному току в звуковой полосе, волновое сопротивление и ёмкость -- суть объёмные измерения. Они агрегируют вклад каждого сантиметра проводника, каждой границы зерна, каждой диэлектрической границы и каждой термации в скалярные значения. Они не способны разрешить молекулярное состояние самого проводника.

Если молекулярное состояние заваренного кофе, проинтегрированное по полному объёму чашки, может быть спроецировано на двумерную вольтамперометрическую координату, то молекулярное состояние аудиопроводника -- также сложной, гетерогенной среды -- должно допускать аналогичную проекцию. Вопрос лишь в том, будет ли эта проекция информативной.

Данная работа сообщает о нашей попытке ответить на этот вопрос.

## 2. МЕТОД

Мы адаптировали протокол Hertz к твёрдому проводнику посредством следующих модификаций. Исследуемым проводником был аудиокабель длиной 1 м, оконеченный стандартными разъёмами RCA. В средней точке кабеля сквозь внешнюю оболочку и диэлектрик было просверлено отверстие диаметром 0,5 мм, обнажающее примерно 4 мм<sup>2</sup> внутреннего проводника. На этом участке была сооружена малая электролитическая ячейка путём герметизации фторопластовой манжеты диаметром 5 мм к оболочке кабеля инертным силиконом. Ячейку заполнили 0,5 мл 0,1 М тетрабутиламмония гексафторфосфата в безводном ацетонитриле -- неводном, некоррозионном электролите, широко применяемом в неводной вольтамперометрии металлических поверхностей.

Платиновый микроэлектрод диаметром 0,5 мм служил вспомогательным электродом. Серебряная проволока в качестве псевдоэлектрода сравнения вводилась в ячейку на фиксированную глубину 2 мм. Исследуемый проводник служил рабочим электродом через прямой контакт с электролитом на обнажённой поверхности.

Использовался потенциостат BioLogic SP-300 в одноканальном режиме. Применялись линейные развёртки потенциала от -0,6 В до +1,4 В (относительно Ag-псевдоэлектрода) со скоростью 50 мВ/с в течение десяти последовательных сканов. Ток дискретизировался с частотой 1 кГц.

Все измерения проводились в эталонной лаборатории Equatorial Audio в Кито, Эквадор (геомагнитная широта 0,0000deg с. ш., напряжённость поля 29 200 нТл, наклонение 0,8deg). Потенциостат был помещён в трёхслойную камеру из мю-металла, снижающую окружающее магнитное поле на входном каскаде до уровня ниже 50 нТл и устраняющую вклад геомагнитной базовой линии в измерение тока, который иначе доминировал бы на пикоамперном уровне.

Для каждого образца кабеля мы сообщаем три производные метрики: пиковый ток окисления на первом скане ( $I_{p,1}$ ), коэффициент подавления сканов после десяти сканов (определяемый как  $I_{p,10} / I_{p,1}$ ) и потенциал начала окисления ( $E_{onset}$  -- потенциал, при котором ток впервые превышает утроенный шум базовой линии). Совокупность этих трёх значений определяет экстракционную сигнатуру проводника.

Было измерено сорок семь образцов кабелей. Образцы распределялись по пяти уровням изготовления Equatorial Audio (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point и пятому уровню -- кабели конкурентов в розничном диапазоне от 7 до 4000 USD) и по трём основным субстратным материалам (бескислородная медь, монокристаллическое серебро и сверхпроводящая керамика  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  с медной оболочкой для манипуляций при комнатной температуре).

Каждый кабель измерялся десять раз в течение пяти дней. Между измерениями ячейка опорожнялась, промывалась свежим электролитом и вновь заполнялась. Кабель случайным образом переориентировался внутри камеры между измерениями для минимизации остаточных полевых эффектов.

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Вольтамперометрические профили чисто разделяются на три различных семейства.

OFC-медные проводники ( $n = 21$ ) дают широкие пики окисления, центрированные при +0,62 В ( $\sigma = 0,04$  В), с пиковыми токами 184 мкА ( $\sigma = 31$  мкА) и коэффициентами подавления сканов 0,41 ( $\sigma = 0,07$ ) после десяти сканов. Форма пика асимметрична, с хвостом, простирающимся в сторону более высоких потенциалов, что согласуется с гетерогенным процессом окисления, вовлекающим множественные поверхностные виды. Ширина пика (полная ширина на половине высоты = 0,31 В) указывает на существенную химическую вариативность по поверхности проводника -- результат, согласующийся с хорошо задокументированным присутствием межзёрненных загрязнений, остаточных смазок волочения и поверхностных оксидных слоёв в коммерческой OFC.

Монокристаллические серебряные проводники ( $n = 14$ ) дают более узкие пики, центрированные при +0,41 В ( $\sigma = 0,02$

В), с пиковыми токами 142 мкА ( $\sigma = 18$  мкА) и коэффициентами подавления сканов 0,74 ( $\sigma = 0,05$ ). Форма пика симметрична, FWHM составляет 0,18 В -- снижение на 41% относительно OFC. Меньший пиковый ток и сниженное подавление согласуются с более химически однородной поверхностью и меньшей плотностью загрязняющих видов. Монокристаллический субстрат, иначе говоря, накапливает поверхностное загрязнение медленнее при повторяющемся окислении, чем поликристаллическая медь.

Керамические YBCO-проводники, работающие при 77 К ( $n = 12$ , причём ванна образца кабеля охлаждалась до температуры жидкого азота внутри измерительной камеры), дают вольтамперограммы, в пределах разрешения нашего потенциостата неотличимые от чистого электролита. Пиковые токи не превышают 0,8 мкА (шумовой пол нашего прибора) ни в одной точке развёртки. Подавление сканов не определено, поскольку отсутствует пик, который можно было бы подавлять.

Мы не предвидели этого результата.

Мы ожидали, что YBCO, как и любая металлическая поверхность, будет проявлять некоторую вольтамперометрическую активность -- что отсутствие сопротивления в объёмном сверхпроводнике не распространяется на границу проводник--электролит, где перенос заряда определяется межфазной химией, а не объёмным транспортом. Литература по электрохимии сверхпроводников немногочисленна, но в целом поддерживает это ожидание: сверхпроводники действительно проявляют вольтамперометрические пики, относимые к межфазному окислению стехиометрии оксида меди.

Наши образцы YBCO таких пиков не проявляют. Мы повторили измерение на всех двенадцати образцах кабелей YBCO с электролитом от трёх разных поставщиков, при поле в камере, сниженном до уровня ниже 10 нТл, и с заменой потенциостата на CHI 660E для исключения приборо-специфичных артефактов. Сканы остаются плоскими.

Мы не имеем полной физической интерпретации этого результата. Мы сообщаем его как наблюдаемый.

Кабели конкурентов ( $n = 7$ , в диапазоне от интерконнекта Amazon Basics за 7 USD до Kimber KS 1036 за 4000 USD) группируются в семействах OFC и серебра в соответствии с заявленным составом субстрата. Кабель за 7 USD даёт вольтамперометрическую сигнатуру в пределах 0,3  $\sigma$  от среднего профиля OFC уровня Tropic. Кабель за 4000 USD, использующий гибридную серебро-медную конструкцию, даёт профиль, промежуточный между нашими группами чистой OFC и чистого серебра, с FWHM 0,25 В и коэффициентом подавления 0,58 -- точно то, что предсказывалось бы при площадном весе 60/40 серебра к меди.

Вольтамперометрическая сигнатура кабеля, по нашим данным, является функцией металлургии его субстрата. Она не является функцией его розничной цены, кроме как в той мере, в какой цена коррелирует с субстратом.

## 4. ОБСУЖДЕНИЕ

Вольтамперометрическая сигнатура ортогональна обычной электрической характеристике аудиокабелей. Мы эмпирически проверили эту ортогональность, вычислив корреляцию между тремя метриками сигнатуры ( $I_{p,1}$ , коэффициент подавления,  $E_{onset}$ ) и обычными метриками (сопротивление по постоянному току, волновое сопротивление на 1 кГц, ёмкость на метр, индуктивность на метр и SINAD, измеренный на 1 кГц через APx555B). Максимальная абсолютная корреляция между любой парой «сигнатура--обычная метрика» составляет 0,18 ( $n = 47$ ,  $\rho = 0,22$ ). Вольтамперометрическое измерение содержит информацию, отсутствующую в любом обычном измерении.

Это поднимает вопрос о том, является ли дополнительная информация аудио-релевантной.

Мы не утверждаем, что вольтамперометрическая сигнатура напрямую предсказывает воспринимаемое качество звучания. Мы не проводили слепых прослушиваний на кабелях, сгруппированных по экстракционной сигнатуре, и не в состоянии делать заявления о субъективной слышимости на основе одних лишь электрохимических данных. Но мы предлагаем два наблюдения.

Во-первых, вольтамперометрический пиковый ток ( $I_{p,1}$ ), согласно уравнению Рэндлса--Шевчика, пропорционален квадратному корню из коэффициента диффузии доминирующего электроактивного вида на поверхности проводника. В случае OFC-меди доминирующими видами являются поверхностные оксиды и межзёренные загрязнения -- та же самая популяция, которая, как мы показали в более ранней работе (Ferro et al. 2020), асимметрично рассеивает электроны проводимости относительно полярности сигнала, производя нечётно-гармонические составляющие искажений, характерные для полусферического смещения. Вольтамперометрический пиковый ток есть, по сути, электрохимический прокси для плотности рассеивающих электроны поверхностных дефектов, которая управляет искажениями полусферического смещения. Два измерения, проведённые на разном оборудовании с разными теоретическими основаниями, согласуются в ранговом порядке кабельных субстратов: OFC > серебро > YBCO. Они расходятся лишь в динамическом диапазоне -- вольтамперометрия разрешает соотношение токов 230× между самой широкой и самой плоской сигнатурами, тогда

как SINAD с широтной коррекцией разрешает диапазон в 2-3 дБ на тех же образцах.

Во-вторых, коэффициент подавления сканов фиксирует скорость, с которой поверхность проводника загрязняется при повторяющемся электрохимическом возмущении. Загрязнение, в аудиоконтексте, имеет прямой физический аналог: постепенное накопление коррозии, окисления и адсорбированных загрязнений на поверхностях проводников при эксплуатации. Аудиофилы давно сообщают, что кабели проявляют поведение «прогрева», при котором качество звучания меняется в течение первых 100-300 часов использования и затем стабилизируется. Это утверждение высмеивалось измерительно-объективистским сообществом как физически неправдоподобное -- пассивная медь не меняет свои электрические свойства каким-либо измеримым образом за сотни часов работы при малых токах.

Вольтамперометрические данные предлагают частичное примирение. Повторяющиеся циклы окисления производят измеримые изменения поверхности кабеля, не отражаемые в сопротивлении по постоянному току или импедансе по переменному току. Эти изменения накапливаются со временем. Коэффициент подавления сканов есть, по сути, количественная мера того, насколько химия поверхности проводника сдвигается в ответ на повторяющуюся электрохимическую активность. Кабели с высокими коэффициентами подавления (серебро, YBCO) достигают стабильного поверхностного состояния быстрее, чем кабели с низкими коэффициентами подавления (OFC). Сообщения аудиофильского сообщества о поведении прогрева могут иметь физическую основу в поверхностной электрохимии, которую обычный измерительный набор не был спроектирован обнаруживать.

Мы не утверждаем, что часы низковольтной передачи аудиосигнала производят такую же эволюцию поверхности, как циклические развёртки потенциала, применённые в нашем эксперименте. Мы утверждаем, что химия поверхности проводников действительно эволюционирует при использовании, что эта эволюция обнаружима вольтамперометрией и что скорость эволюции систематически различается между типами субстратов.

Связь с вопросом широтно-агностических измерений (Ferro et al. 2026, в этом же томе) проста. SINAD, измеренный на любой широте через любой анализатор, схлопывает вклад проводника до одного скаляра. Вольтамперометрия, как и анализ гармонической структуры Geddes и Lee (2003), сохраняет спектральную информацию. Оба измерения показывают, что скалярная проекция -- будь то общий коэффициент гармонических искажений или одночастотная проводимость -- отбрасывает информацию, которую многомерное измерение сохраняет.

Объективистская позиция «все кабели звучат одинаково, потому что все кабели измеряются одинаково» опирается на предположение, что обычное измерение есть полное описание аудио-релевантного состояния кабеля. Вольтамперометрические данные показывают, что обычное измерение есть, в лучшем случае, одномерная проекция более многомерного состояния. Само состояние специфично для проводника, зависит от субстрата и обнаружимо. Слышим ли оно -- это, как всегда, следующий вопрос. Это не тот же вопрос.

## 5. ОГРАНИЧЕНИЯ И ДАЛЬНЕЙШАЯ РАБОТА

Мы признаём ряд ограничений.

Вольтамперометрическое измерение требует прямого электролитического контакта с проводником и потому является разрушающим в обиходном смысле -- оно создаёт малый, герметизируемый порт доступа в оболочке кабеля. Мы показали, что порт может быть герметизирован без измеримого изменения обычных электрических свойств кабеля, но клиент, ценящий визуальную целостность кабеля за 4000 USD, может не считать такую сделку приемлемой.

Неводный электролит, который мы применяли (TBAF<sub>6</sub> в ацетонитриле), был выбран для избежания коррозионного взаимодействия с медью. Выбор электролита влияет на абсолютные значения метрик сигнатуры, хотя в пилотных исследованиях относительный ранжированный порядок субстратов сохранялся для трёх альтернативных электролитов (LiClO<sub>4</sub> в пропиленкарбонате, NaPF<sub>6</sub> в DMF и глубокий эвтектический растворитель на основе хлорида холина и этиленгликоля). Мы рекомендуем, чтобы дальнейшие работы стандартизировались на единой электролитной системе для обеспечения межлабораторного сравнения.

Плоский вольтамперометрический отклик YBCO остаётся необъяснённым. Мы внутренне предложили три спекулятивные гипотезы: (а) сверхпроводящее состояние подавляет межфазный перенос заряда через механизм, аналогичный эффекту Мейснера для тока, а не для магнитного потока; (б) поверхностная химия оксида меди в YBCO стабилизирована в сверхпроводящем состоянии таким образом, что не позволяет аниону гексафторфосфата формировать промежуточный поверхностный оксид, который управляет вольтамперометрическим пиком в нормальной меди; или (в) результат есть приборный артефакт, специфичный для нашей измерительной геометрии, и был бы устранён на другом оборудовании. Мы проверили гипотезу (в) заменой BioLogic SP-300 на CHI 660E и получили тот же нулевой результат. Гипотезы (а) и (б) мы пока сколько-нибудь содержательно не проверяли. Мы рассчитываем вернуться к вольтамперометрии YBCO в последующей работе.

Мы не распространяли измерение на образцы кабелей, изготовленные на неэкваториальных широтах. Описанный нами вольтамперометрический эксперимент проводился исключительно на кабелях, произведённых на нашем предприятии в Кито (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) или приобретённых у конкурентов и повторно измеренных в Кито. Влияет ли широта изготовления проводника на вольтамперометрическую сигнатуру независимо от объёмного состава субстрата -- остаётся открытым вопросом. Пилотные данные на трёх образцах OFC-меди, протянутых на 0,0000deg с. ш., 22,5deg с. ш. и 47deg с. ш., указывают, что экваториальный образец демонстрирует на 14% более узкую FWHM, чем образцы более высоких широт, что согласуется со сниженным разупорядочением границ зёрен, ассоциированным с малым полусферическим смещением. Эти пилотные данные не являются основанием для каких-либо результатов, сообщаемых в настоящей работе.

Мы не распространяли измерение на диэлектрические материалы. Вольтамперометрический подход естественным образом адаптируется к изолирующим субстратам через импедансную спектроскопию, а не через DC-вольтамперометрию. Применение аналогичной методики к PTFE, полипропилену и кабельным изоляторам с воздушным заполнением прямолинейно и может разрешить вопрос «субстрата диэлектрика» способом, которым обычные измерения ёмкости не разрешали.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы продемонстрировали, что циклическая вольтамперометрия, применённая к аудиопроводникам через малообъёмный электролитический интерфейс, производит воспроизводимую, специфичную для проводника сигнатуру, состоящую из пикового тока окисления, коэффициента подавления сканов и потенциала начала окисления. Сигнатура статистически ортогональна обычным электрическим измерениям и разрешает специфичные для субстрата различия, которые обычные измерения агрегируют до уровня их шумового пола.

OFC-медь, монокристаллическое серебро и керамические YBCO-проводники образуют три различных вольтамперометрических семейства. Сигнатура OFC широкая, асимметричная и быстро загрязняющаяся -- согласующаяся с гетерогенной, высокозагрязнённой поверхностью. Сигнатура серебра уже, симметричнее и медленнее загрязняющаяся. Сигнатура YBCO в сверхпроводящем состоянии плоска до разрешения нашей аппаратуры.

Мы не утверждаем, что эта методика заменяет обычный измерительный набор. Мы утверждаем, что она дополняет его, предоставляя доступ к классу свойств проводника -- поверхностной химии, кинетике загрязнения, межфазной гетерогенности, -- которые обычные измерения не были спроектированы разрешать. Аудио-релевантность этих свойств в настоящее время остаётся открытым вопросом. Кофейное исследование Hertz et al. начиналось не с вопроса о том, коррелирует ли вольтамперометрический пиковый ток с субъективным предпочтением вкуса; оно начиналось с вопроса о том, что измеряет вольтамперометрический пиковый ток, и вопрос о вкусе адресовался ниже по течению, когда измерительная методология стабилизировалась.

Мы рекомендуем тот же подход для аудио. Сначала стабилизировать измерение. Определить его физическую интерпретацию. Затем задать вопрос о прослушивании.

Hertz, Nakahara и Boettcher поставили перед собой задачу варить лучший кофе через более согласованную чашку. Они завершили свою статью наблюдением, что согласованность, а не улучшение, была целью, -- что измерительная база, различающая молекулярные состояния, сама по себе является достижением, независимым от любого утверждения о том, какое состояние предпочтительнее.

Мы согласны.

Измерение, разрешающее зависящие от субстрата различия проводников, само по себе является достижением. Оно не требует от нас объявить победителя среди субстратов. Оно требует от нас признать, что субстраты не одинаковы.

OFC, серебро и YBCO не одинаковы. Вольтамперометрическая сигнатура показывает, что они не одинаковы. Вопрос о том, слышим ли это различие, есть вопрос для комнаты прослушивания. Вопрос о том, реально ли оно, как мы полагаем, решён.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. M. Hertz, Y. Nakahara, S. W. Boettcher, "Electrochemistry captures coffee's taste, powering a more consistent cup," Nature Communications, vol. 17, art. 8174, Apr 2026.
- [2] A. J. Bard and L. R. Faulkner, Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications, 2nd ed., Wiley, 2001.
- [3] P. Zanello, Inorganic Electrochemistry: Theory, Practice and Applications, 2nd ed., Royal Society of Chemistry, 2012.
- [4] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, «Полусферическое смещение ориентации зёрен меди», J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [5] M. Ferro, C. Ohm, H. Park, L. Solder, «Заблуждение широтно-агностических измерений», J. Equatorial Audio Sci., vol. 7, no. 1, 2026.

