

УДК 167.7  
DOI: 10.15372/PS20240408  
EDN TSQCSK

**И.Ф. Михайлов**

## **О НАСЛАЖДЕНИИ СЧИТАЮЩЕЙ ДУШИ\***

Когнитивные исследования музыки имеют долгую историю. Мысли, созвучные сегодняшним представлениям, были высказаны еще Г.В. Лейбницем в начале XVIII в., обыграны А. Шопенгауэром и получили новый импульс после так называемой когнитивной революции, когда все, что связано с познанием, было решено понимать как обработку символов согласно правилам. Люди используют символы для записи естественной речи – главного средства информационных обменов, для операций с количествами и для сохранения музыкальных идей, но правила этих символических систем существенно различаются. Поэтому в рамках классического когнитивного подхода возобладали точка зрения, представленная в работах Ф. Лердала и Р. Джекендоффа, согласно которой говорить о семантике музыки в привычном смысле слова не приходится, хотя некоторые нейрофизиологические данные указывают как минимум на взаимное перекрытие «речевых» и «музыкальных» регионов мозга. Этот подход основывался на классическом понимании вычисления как правилосообразной манипуляции символами. На нынешнем этапе развития когнитивных наук такое понимание очевидно недостаточно. Необходимо различать естественные вычисления и их репрезентации в сознательных операциях и человеческой коммуникации. Подход, известный ныне как предиктивное кодирование, предлагает «мягкое» понимание вычисления как любого преобразования информации, определяя последнюю (вслед за К. Шенноном) как все, что уменьшает неопределенность. Используя байесовские вероятностные методы, сторонники этой концепции демонстрируют возможные способы разрешения некоторых парадоксов в нейрофизиологических данных относительно обработки мозгом музыкальной информации.

*Ключевые слова:* музыка; язык; семантика; вычисление; мозг; нейрофизиология; когнитивные науки

**I.F. Mikhailov**

## **ON THE PLEASURE OF THE COUNTING SOUL**

Cognitive studies of music have a long history. Thoughts that are consonant with today's ideas were expressed by G.W. Leibniz in the early 18th century, reconsidered by

---

\* Статья публикуется в авторской редакции.

A. Schopenhauer and got a new impetus after the so-called cognitive revolution, when everything related to cognition was agreed to be understood as the processing of symbols according to rules. People use symbols to record natural speech, which is the main means of information exchange, to operate with quantities and to store musical ideas, but the rules of these symbolic systems differ significantly. That is why within the framework of the classical cognitive approach, the point of view presented in the works of F. Lerdahl and R. Jackendoff prevailed, according to which the talk about the semantics of music in a traditional sense is not relevant, although some neurophysiological data indicate at least a mutual overlap of the “speech” and “musical” regions of the brain. This approach was based on the classical understanding of computation as a rule-based manipulation of symbols. At the current stage of development of cognitive sciences, such an understanding is clearly insufficient. One must distinguish between natural computations and their representations in conscious operations and human communication. The approach, now known as predictive coding, offers a kind of “soft” understanding of computation as any transformation of information, defining the latter (following C. Shannon) as anything that reduces uncertainty. Using Bayesian probabilistic methods, proponents of this concept show possible ways to resolve some paradoxes in neurophysiological data regarding the processing of musical information by the brain.

*Keywords:* music; language; semantics; computation; brain; neurophysiology; cognitive sciences

Musica est exercitium arithmeticae occultum  
nescientis se numerare animi.

(Музыка есть тайное упражнение в арифметике души, не ведающей, что она считает.)

*Из письма Г.В. Лейбница Х. Гольдбаху  
от 17 апреля 1712 г.*

Музыка чарует нас, хотя красота ее состоит только в соотношениях чисел и счете ударов и колебаний звучащих тел, повторяющихся через известные промежутки, счете, который мы не замечаем и который, однако, душа наша непрестанно совершает.

*Г.В. Лейбниц. «Начала природы и благодати, основанные на разуме» [3, с. 412].*

Цитата, вынесенная в эпиграф первой, давно разошлась по разноречивым публикациям. Русский перевод этого письма был впервые опубликован А. Юшкевичем и Ю. Копелевичем [19, с. 178–180], и, на мой взгляд, публикаторы немного ошиблись в переводе ключевой фразы: *nescientis se numerare animi* можно перевести двояко – как «души, не умеющей считать» (выбор авторов) или как «души, не знающей, что она считает». В литературе более распространен второй вариант, и он очевидно в большей степени соответствует кон-

тексту. Но оставшуюся часть абзаца я приведу полностью в их переводе, поскольку он корректно передает контекст: «Многое ведь производится в смутных неощутимых восприятиях такого, что не поддается отчетливому постижению. Неправы утверждающие, будто в душе нет ничего такого, чего бы сама она не сознала. Итак, хотя душа и не чувствует счета, она ощущает скрытое воздействие этого счета, т.е. удовольствие от созвучия и вытекающее отсюда же неудовольствие от несозвучия. Удовольствие рождается из многих таких неощутимых созвучий. Обычно же неверно рассуждают те, кто приписывает душе лишь такие операции, которые она создает. Отсюда происходят многие заблуждения не только у философов прошлого, но даже у картезианцев и у других наших современников, как у Локка и у Бейля» [19, с. 179].

Интересно, что в самом начале XVIII в. Лейбниц высказывает мысль об одном из двух принципиальных недостатков классической философии, характерных не только для его предшественников и современников, но и для следующего за ним Канта, а также многих и многих представителей нашей профессии вплоть до наших дней. Этот недостаток состоит в отождествлении «ума» (*mens*), а также мышления (*cogitatio*) с сознанием (*conscientia*). Лейбниц совершенно справедливо указывает на картезианство как наиболее яркую его иллюстрацию: ведь только при таком отождествлении *cogito ergo sum* можно считать самоочевидной истиной<sup>1</sup>. К сожалению, сегодня мы даже *philosophy of mind* вынуждены, за неимением лучшего варианта, переводить как «философия сознания», продолжая эту не лучшую традицию.

Вторым недостатком классического стиля философствования является отождествление – или тесное увязывание – мышления с (какой бы то ни было) логикой. Но эта тема выходит за пределы настоящего обсуждения.

## ТАЙНЫЕ СЧЕТЫ ДУШИ

Что же считает душа, предъявляя сознанию «сухой остаток» в виде «удовольствия от созвучия и вытекающего отсюда же неудовольствия от несозвучия»? Очевидный ответ: музыкальные интер-

---

<sup>1</sup> Впрочем, интересная защита картезианства с помощью современных техник философской аргументации содержится в [34, р. 127–153].

валы, которые математически анализировались еще пифагорейцами, древними китайцами и индийцами в Ведах.

Однако вряд ли можно предположить, что мозг вычисляет, как числовой процессор. Скорее, он реагирует на гармонически совпадающие колебания. Одни колебания он репрезентирует как высоту, другие – как тембр, третьи – как шум, четвертые – как ритм. Это может быть похоже на аналоговые вычисления энергетических пиков в точках совпадения колебаний разных частот.

Я бы выделил еще и третий недостаток классического стиля философствования, который связан с неоправданным отождествлением: якобы вычисление – это только то, что человек сознательно осуществляет с помощью специально разработанных символов (например, цифр), обозначающих некоторые квазисушности (например, числа), имеющие, согласно некоторым когнитивным исследованиям, сенсомоторное происхождение (шаги, загибание пальцев и т.п.) [22; 39]. Для целей коммуникации мы вынуждены делать это явным образом в рамках медленного и энергоемкого процесса, называемого нами «сознанием».

Рафаэль Нуньес [32] предлагает ввести различие терминов «нумерический» (*numeric*) и «квантический» (*quantic*); последний предложен им для обозначения других, не относящихся к детерминированным числам, биологически выработанных способностей, связанных с количеством. По его мнению, язык и символические репрезентации являются необходимыми, но не достаточными условиями для формирования числовых понятий. Скорее, для развития нумерического познания также необходимы определенные культурные практики и занятия, такие как учет товаров, материальных артефактов и технологии письма. Поэтому, считает Нуньес, культурные практики и артефакты, особенно те, которые связаны с коммуникацией, играют существенную роль в развитии математического познания.

«Энкультурация» (авторский термин Р. Нуньеса [32, р. 421]) человеческого мозга привела, в частности, к тому, что музыка благодаря Пифагору и индийским Ведам из неосознанного упражнения в арифметике превратилась во вполне осознанную и уважаемую математическую науку, входившую в квадриум наряду с арифметикой, геометрией и астрономией, и, по мнению некоторых авторов, даже стала моделью для классического естествознания [42].

Различие семантического и нумерического познания в их эволюции и нейронных коррелятах находит отражение не только в когнитивной нейронауке и публикациях по машинному обучению<sup>2</sup>, но и в классической философской мысли. Известно высказывание Шопенгауэра, пародирующее Лейбницево определение: «...Музыка есть тайное упражнение в метафизике души, не осознающей того, что она философствует (*“Musika est exercitium metaphisices occultum nescientis se philosophari animi”*)» [18, с. 230]. Действительно, если величественное здание математики развивается из «квантических» когнитивных предпосылок благодаря культурно развитым символическим системам счета, то философия подобным же образом вырастает из когнитивных предпосылок семантического познания через развитие и усложнение лексических и грамматических структур культурно развитого естественного языка.

И нужно также учитывать, что квантическое познание в смысле Нуньеса составляет одну из предпосылок сознательных операций с количествами, а мы вслед за Лейбницем пытаемся исследовать способность души к бессознательным вычислениям. Лежат ли в основе этих способностей одни и те же нейронные ансамбли и/или их алгоритмы или разные, можно выяснить только эмпирически.

### КАК ВОЗМОЖНЫ БЕССОЗНАТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ?

Множественные созданные людьми машины уже теперь превосходят создателей в скорости и эффективности вычислений именно потому, что не используют сознание. Что же мешает нам предположить, что такими же возможностями обладают различные модули нашей нервной, эндокринной и прочих подсистем, также не обремененные апперцепциями и рефлексией? Мне не раз приходилось подчеркивать, что одна из существенных особенностей вычислительных процессов состоит в их субстратонезависимости, что предполагает переносимость и множественную реализуемость [4; 5; 8–12]. Конечно, отдельный физический процесс (например, кровотока)

---

<sup>2</sup> Не могу не привести цитату, которую часто использую в лекциях: «Философия и математика – две самые старые отрасли науки, старые, как сама цивилизация, и большую часть науки можно рассматривать как постепенный переход от философии к математике. Это поможет вам проложить свой путь в любой академической дисциплине... если вы чувствуете недостаток идей, обращайтесь к философии, а когда вы чувствуете, что у вас нет инструментов, обращайтесь к математике» [40, р. 186–187].

или химический (производство гормонов) такими свойствами не обладает. Но некий сопутствующий процесс, устанавливающий функциональную связь между формальными параметрами двух или более невычислительных процессов (колебаний ушных перепонок, распространения нейронных возбуждений и выброса нейромедиаторов) вполне может быть описан машиной Тьюринга. При том, что общая теория таковой машины (символы, состояния, правила) имеет смысл только для носителя сознания, участвующего в коммуникации. Естественное (бессознательное) вычисление *может быть описано* машиной Тьюринга, но *не нуждается* в ней для своего осуществления.

Эту мысль можно проиллюстрировать на примере из сферы производства современных музыкальных записей. Для того чтобы отдельный трек или результат сведения звучал более насыщенно, в докомпьютерные времена использовали, например, компрессор – прибор, уменьшающий амплитуду частотных пиков, что повышает сравнительную громкость относительно тихих составляющих звукового потока. Естественно, это происходило с колебаниями, уже преобразованными из акустических в электрические, и делалось с помощью различной схмотехники: ламповой, оптической или транзисторной – во всех этих случаях физическое воплощение алгоритмов сжатия амплитуд было различным, единой была сама идея или «теория» этого вычисления<sup>3</sup>. В новейшие времена стандартом стала также трансформация всего этого колебательного континуума в дискретные символы, что принято называть аналогово-цифровым преобразованием<sup>4</sup>. Встраиваемые компьютерные программы, реализующие компрессию или любую другую обработку того, что потом снова станет звуком, теперь называются *плагинами* (от англ. *plug-in*)<sup>5</sup>.

Плагины – это очевидно вычислительные программы, работающие на очевидно вычислительных устройствах, поскольку все, что происходит у них «под капотом», это манипуляция символами в соответствии с правилами. Однако и те аналоговые устройства,

---

<sup>3</sup> «Теорией» или «телеологией» Дэвид Марр, классик вычислительной нейронауки, называл верхний уровень описания всякого вычислительного процесса с точки зрения его цели, входа и выхода [30, р. 24–25].

<sup>4</sup> Часто аналоговое ассоциируют с континуальным, а цифровое – с дискретным, что не вполне корректно интенционально, но экстенционально чаще всего работает.

<sup>5</sup> Теперь существует множество компаний – производителей плагинов, среди них есть и российские с международной репутацией.

которые выступили моделью для плагинов, были созданы для реализации вполне вычислимой функции – преобразования характеристик электрических колебаний в соответствии с некоторыми переменными величинами, управляемыми регуляторами на их панели (в случае с компрессором это порог срабатывания, отношение сжатия, скорость срабатывания и скорость спада). Разница между цифровой и аналоговой реализацией состоит в том, что в первом случае задача решается программистом за компьютером, а во втором – инженером и мастером с паяльником<sup>6</sup>. Но и цифровой плагин, и аналоговый прибор занимаются одним и тем же – вычислением параметров выходного сигнала в зависимости от параметров входного и их модуляции переменными величинами. Еще, правда, разница состоит в том, что в первом случае это вычисление высокого уровня обеспечивается низкоуровневыми вычислениями нулей и единиц в компьютерных чипах (отчего технику этого класса и называют вычислительной), а во втором – лампами, конденсаторами и трансформаторами.

Но сторонники традиционного понимания термина «вычислительный» различают вычислительные и невычислительные устройства и процессы не по их назначению, а по способу их технической реализации. Корректно ли это?

Природа и эволюция, особенно в таких сложных своих порождениях, как развитый мозг, реализуют, по меткому выражению Лейбница, некую «неосознанную арифметику», которая – по причине своей неосознанности – не нуждается в символических репрезентациях, кои математические пуристы и отождествляют с вычислениями. Это обстоятельство совершенно не мешает таким аналоговым приборам, как электрический компрессор или биологический мозг<sup>7</sup>, заниматься своими «скрытыми арифметическими упражнениями».

---

<sup>6</sup> Причем и здесь мы имеем пресловутую «множественную реализацию», поскольку аналоговые компрессоры бывают ламповые, оптические, на полевых транзисторах, с управляемым напряжением и др., но все они при этом реализуют один и тот же класс функций.

<sup>7</sup> Пока нет оснований однозначно отнести мозг к аналоговым или цифровым устройствам, поскольку не ясно, что является внутренним транспортом информации в нем: действительная величина скачка напряжения на мембране нейрона (аналог), плотность вероятности появления этого скачка или сам факт его наличия/отсутствия (цифра) [36]. В то же время К. Фристон настаивает на релевантности теории марковских процессов для описания нейроцеребральных вычислений на том основании, что

## DE PROFUNDIS AD SYMBOLA

Неосознанная арифметика природных систем не обязана пользоваться порождениями человеческого сознания и потребностей коммуникации: числами, символами и целыми разделами математики. Сложные символические структуры, созданные людьми, обращены к сознанию, носители которого хотят взломать код природы и повторить ее чудеса<sup>8</sup>. У природы же были в запасе миллиарды лет эволюции, на протяжении которых методом проб и ошибок из простых аналоговых процессов выстраивались сложные схемы взаимных репрезентаций и вероятностных предсказаний, позволяющие вычислять функциональные зависимости, но не так, как делают это люди в уме или на бумаге, а так, как это делают, например, аналоговые приборы, созданные людьми: ртутные термометры, вольтметры, регуляторы Ватта, аудиокомпрессоры и тому подобные изобретения, основанные на взаимозависимостях аналоговых процессов. В какой-то момент эволюция привела к появлению относительно замкнутых систем, стремящихся к поддержанию внутреннего равновесия, экспансии и размножению<sup>9</sup>. Для этого вычисления еще более усложнились: пришлось принять в расчет данные, получаемые из окружающей среды, делать выводы относительно их повторяемости – еще одно бессознательное «упражнение в арифметике», позже ставшее основой представления о причинности в уже сознательном уме.

И наконец, стали совершенствоваться средства коммуникации живых систем, поскольку распределенные вычисления более эффективны и, следовательно, эволюционно преимущественны. Способность гортани, языка, ротовой полости и губ некоторых гоминид служить источником членораздельных звуков драматически увеличи-

---

«мозг должен моделировать континуальные сенсорные сигналы в быстром масштабе времени» [24, р. 2].

<sup>8</sup> Как не вспомнить цитату из другого великого автора: «Философия написана в этой величественной *Книге (я имею в виду Вселенную)*... на языке математики...» [2, с. 41]. Интересно, что знаками этого языка, имплантированного в природе, Галилей называет геометрические фигуры, а не количественно выраженные соотношения их сторон, углов и радиусов. Последние – скорее приемы чтения этой «величественной книги», но не ее алфавит.

<sup>9</sup> Экспансия, размножение и отбор, в свою очередь, могут быть поняты как алгоритмы глобального вычислительного процесса, называемого эволюцией.



чила информационную емкость обмена сообщениями, обеспечив тем самым их авторам максимальную эффективность распределенных вычислений среди всех животных сообществ. Появление символической записи еще больше интенсифицировало эти обмены, создав в дополнение еще и долговременное хранилище информации с распределенным доступом. Человеческие стаи превратились в неплохо сконфигурированные вычислительные сети.

Здесь я не буду специально останавливаться на сущности и роли сознания. Замечу лишь, что согласно общепринятым теориям вычислимости, класс вычислимых функций совпадает с классом частично рекурсивных функций<sup>10</sup>. Если когнитивные способности суть закономерное эволюционное продолжение биологических функций и все вместе они – часть грандиозного вычисления матери-природы, проходящего сквозь геологические эпохи, то когнитивные функции, безусловно, рекурсивны, это их необходимое, но не достаточное свойство. Можно предположить, что сознание поддерживается семейством алгоритмов, обеспечивающих метарекурсию (термин взят из [38], хотя и с иным значением), необходимую для интеграции разнообразных когнитивных вычислений. Оно, по всей видимости, возникает независимо от языка и коммуникаций и в какой-то степени присуще различным живым организмам. Но обработка сложных символических систем, обеспечивающих высокоинтегрированные социальные вычисления, настолько сложна и требует такого множества разнообразных когнитивных ресурсов, что без метарекурсивных функций не может быть осуществлена. Поэтому в наших манипуляциях математическими символами, осуществляемых согласно явным, удерживаемым в сознании правилам, мы лишь имитируем естественные бессознательные вычисления сложных природных систем, но делаем это по необходимости медленно и с помощью не самых удачных средств. Слушая музыку, «душа» вычисляет существенно быстрее и с большим удовольствием.

## ДИСКУССИИ О ЯЗЫКЕ И СЕМАНТИКЕ

Итак, скрытые «арифметические» (на самом деле значительно более сложные) упражнения души происходят «в темноте» [20, р. 8], без участия сознания, а сознанию предъявляются качественно ок-

---

<sup>10</sup> Подробнее об этом см.: [31].

рашенные репрезентации, характеризующиеся «ускользающей “каково-это-бытностью” сознательного опыта» [25, р. 11]. Аффективные аспекты этих восприятий – оценка их как приятных или неприятных – сделали звуки предметом человеческого любопытства и привели к созданию музыкальных инструментов.

Культурная история музыки отличается от истории изобразительных искусств. Техники эмуляции зрительных образов благодаря большей информативности зрения для человека строились как реалистическое воспроизводство зрительных образов и во многом остаются таковым по сей день. Орнаменты, абстрактная живопись и дизайн появились позже и не заместили собой главную функцию изображения. Напротив, звукоподражание очень быстро отошло от реалистичности и фактически почти сразу стало тем, что в наше время называют саунд-дизайном. Этим объясняется прагматика музыки на заре ее существования – использование в ритуалах, шествиях, мотивационных действиях.

Устная речь использует физиологические возможности голосовых связок, гортани, неба, языка и губ (и конечный набор звуков и интонаций, вызываемых различными их сочетаниями) для линейной передачи достаточно сложных, информационно насыщенных сообщений. Человек должен специально учиться воспринимать и передавать информацию таким образом. Напротив, выразительные средства музыки не столь эффективно различимы (не все одинаково чувствительны к тональной высоте, тембральные диапазоны скорее континуальны, чем дискретны, громкость относительна), но ее восприятие более непосредственно и аффективно окрашено.

Однако с развитием музыкальных техник и инструментария информационная емкость музыки растет. Это позволяет ей служить средством трансляции чего-то осмысленного, хотя вербально невыразимого. На заре когнитивной эры предположения об общей природе музыки и языка столкнулись с возражениями Ф. Лердала и Р. Джекендоффа, авторов широко цитируемой «Генеративной теории тональной музыки» [29, р. 5–6].

В более поздней публикации [26] Джекендофф возвращается к этому вопросу и выделяет восемь сходств и столько же различий между языком и музыкой, различия между которыми представляются ему более существенными. Хотя его соображения могут местами показаться поверхностными, тем не менее нейробиологические доводы в пользу резкого разведения музыки и языка были представле-

ны в совсем недавней публикации [21, р. 199–200], указывающей на эмпирические опровержения представления об обработке языковой интонации и музыкального интонирования в одной и той же области мозга. В то же время доступен заметный корпус экспериментальных работ, говорящих скорее о перекрывании друг другом областей обработки музыкальной и лингвистической информации [27; 33; 41], а также о возможном наличии общего центра управления сложносоставными действиями [23].

Но даже если окажется, что язык и музыка имеют разные нейронные корреляты, это само по себе не опровергнет предположения, что у музыки может быть собственная семантика, несводимая к аффективному воздействию. Анализ семантического отношения *экземплификации*, впервые описанного Нельсоном Гудманом<sup>11</sup>, показывает, что не обязательно обладать высокой степенью систематичности, чтобы транслировать важные содержания. Можно представить себе сообщество людей, использующих систему строго тонированных звуков для передачи осмысленных сообщений, где роль грамматики играют законы гармонии. То, что в актуальном мире наша культурная эволюция пошла другим путем, может быть объяснено сравнительно меньшей энергетической стоимостью кодирования и декодирования пропозициональных значений с помощью звуков, производимых движениями языка и губ, учитывая неодинаковую тональную чувствительность разных людей и возможные провалы в коммуникации по этой причине.

Интересный материал к этим размышлениям можно почерпнуть из российских исследований музыкальной культуры Древнего Китая [1; 14; 16]. Изолированность китайской культуры способствовала в том числе консервации иероглифического письма с его полисемией. А.В. Новоселова приводит яркий пример, заимствованный из некоей китайской энциклопедии. Однажды правитель царства Лу Айгун спросил Кун-цзы (Конфуция), правда ли, что легендарный Куй, систематизатор канонов древнекитайской музыки, живший двумя веками ранее, был одноногим. Мудрец ответил так: тогдашний правитель Шунь Яо озадачил своего первого министра поиском того, кто мог бы распространить музыкальное воспитание по всей империи по единым канонам. Тот порекомендовал, как мы сейчас сказали бы, компетентного специалиста по имени Куй и спросил,

---

<sup>11</sup> Подробнее об этом см.: [7].

в свою очередь, кто еще по тогдашним правилам мог бы войти в комиссию. На что получил ответ: «Одного достаточно», – решение, необычное для тех времен. Поэтому основоположник китайской музыкальной теории остался в народной памяти как «Куй Одного Достаточно» (если переводить буквально). Но дело в том, что, как объясняет А.В. Новоселова, иероглиф 足 (zú) может быть переведен и как «достаточно», и как «нога». Не удивительно, что Куй превратился в сказочное одноногое существо в народной мифологии [14, с. 107–108].

Помимо особенностей китайской «души», появившихся под влиянием географической, культурной и политической изолированности их цивилизации на протяжении тысячелетий, а также под влиянием иероглифического письма, допускающего множественные интерпретации, музыкальное познание этого народа оформлялось также специфической «теорией» музыки. Для нее характерно отсутствие фиксированной тональности и авторства. Система «нотной» записи при ближайшем рассмотрении оказывается символикой для записи алгоритмов действий при игре на определенном инструменте, а не звуков и созвучий [14, с. 105–106]. Собственно, никаких средств обозначения абсолютной высоты звука в этой системе также не было. Возможно, в том числе эти обстоятельства во многом определили ментальные и когнитивные особенности китайцев.

Но иероглифическое письмо, в свою очередь, составляет интересную аналогию музыки как таковой, учитывая упомянутую семантическую теорию экзemplификации Гудмана. Музыка, которая обретает семантические свойства, можно рассматривать как систему звуковых иероглифов, имеющих семантику благодаря экзemplификации и обратной референции: определенные ряды гармонизированных звуков могут в каком-то смысле обозначать спокойное наслаждение, напряженное ожидание, патриотический подъем и т.п. на основании того, что благодаря «тайной арифметике души» они причинно связаны с этими аффектами и, следовательно, в каком-то смысле *похожи* на них, так же как иероглиф (на самом деле вырожденное изображение) похож на обозначаемый предмет или понятие. И следовательно, иероглифическое письмо китайцев или древних египтян тоже может быть понято как система экзemplификации. Такого рода семантику можно приписать всем тем знакам, которые Чарльз Пирс относил к иконическим [37, р. 98–119].

## НЕОСОЗНАННАЯ СТАТИСТИКА ДУШИ

Я полагаю, что ближе всего к ответу на вопрос о природе «бессознательной арифметики» слушающей музыку души подошли сторонники ныне популярного подхода, известного как *предиктивный процессинг* (он же *предиктивное кодирование* и *активный вывод*). В его основе – представление о генеративной модели, реализованной в пирамидальных нейронах коры, которая транслирует свои предсказания перцептивных данных вниз по иерархии эмпирического байесовского вывода, также реализованной в определенных нейронных ансамблях, вплоть до регионов, задействованных в обработке перцептивной информации. Там формируются сообщения об ошибках предсказания, которые возвращаются вверх по иерархии, провоцируя уточнения генеративной модели. С этой точки зрения материалом любого познания являются не сами внешние данные, а вычисленные на их основе ошибки предсказания.

Идеи предиктивного процессинга («предсказывающей обработки» – в переводе некоторых авторов) теперь широко представлены в литературе, в том числе русскоязычной [6; 15; 17]. Они позволяют внести не опровергающее, но важное уточнение в формулу Лейбница: слушание музыки – это неосознаваемое упражнение души, но не в арифметике, а скорее в байесовской статистике, как, впрочем, и вся когнитивная (и не только) деятельность живого организма. Применительно к музыке этот подход предполагает, что мозг генерирует прогнозы о вероятном продолжении мелодии на основе своего опыта прошлых мелодических шаблонов. Затем эти прогнозы сравниваются с входящей мелодической информацией, и любые расхождения между прогнозами и фактическим мелодическим потоком используются для обновления прежде выработанной мозгом модели базовой мелодической структуры [35, р. 325–345].

Стефан Кёльш, профессор в Университете Бергена и автор [27], позже участвовал в исследовании предиктивного процессинга в музыкальном познании совместно с автором этой популярной концепции Карлом Фристонем и музыкантом-нейроученым Петером Вуустом [28]. Предиктивный подход позволяет им уточнить (не ссылаясь) Лейбницеву формулу души, слушающей музыку: «Слушая музыку, мы постоянно генерируем правдоподобные гипотезы о том, что может произойти дальше, в то время как активное внимание к музыке разрешает возникающую неопределенность» [28, р. 1].

Авторы полагают, что уровни иерархии системы слухового восприятия могут включать слуховой ствол мозга и таламус, первичную слуховую кору, слуховую ассоциативную кору и лобную кору. Эта распределенная система является частью иерархии, которая в итоге включает в себя другие системы, такие как сенсомоторная, висцеромоторная (автономная) и системы памяти. Музыка же представляет собой уникальный предмет исследования в рамках ПК («предиктивное кодирование» – название концепции, используемое в рассматриваемой статье), поскольку вовлекая в обработку большой поток случайных перцептивных данных, сама она основывается на предсказуемых структурах в рамках определенной традиции или культуры. Беря в качестве простой модели предсказание музыкальных событий во времени, авторы надеются разрешить с помощью своего подхода «головоломку» эмпирических свидетельств, по которым нерегулярные музыкальные события вызывают сигнал об ошибке, даже когда мы знаем о них наперед.

Так, время в музыке структурировано на основе пульса, структура которого иерархически дробится на единицы темпоритма (например, такты и доли), повторение которых часто провоцирует телесные движения. Однако ритмические синкопы (формально – ошибки прогнозирования) не только не разрушают нашу телесную связь с музыкой, но, напротив, выступают основой так называемого «грува» (*groove*), на котором строятся все современные танцевальные стили (не говоря уже о джазе; напомним, один из авторов статьи – известный джазовый контрабасист, которого я как раз слушаю, работая над этим текстом). С точки зрения авторов, наше притопывание или хлопки (даже если они, по скромности нашей, остаются во внутреннем плане) являют собой не что иное, как энактивированное выражение деятельности души, пытающейся предсказать структуру музыкального времени. «Короче говоря, мы можем генерировать сенсомоторные предсказания движений рук или ног, фактически не двигаясь, при формировании когнитивной репрезентации музыкального пульса; особенно когда эта репрезентация оспаривается синкопами (т.е. ошибками предсказания)» [28, p. 2].

Странная привлекательность синкоп объясняется в статье через концепцию *точности* (*precision*) предсказаний, которая, в свою очередь, понимается как обратная вероятность появления определенной перцепции в неопределенном контексте. Так, если мы легко продолжаем фразу «дети – цветы...», то наше предсказание харак-

теризуется невысокой точностью. Однако человеку, незнакомому с французской поэзией XIX в., будет трудно так же на ходу, полуавтоматически закончить фразу «бодлеровские женщины – цветы...», поскольку правильный ответ – «зла» – потребует уточнения контекста. Такому предсказанию будет приписана более высокая точность в рамках ПК. Причем она будет приписана даже ошибочному предсказанию. Точность здесь – когнитивное понятие, она характеризует не результат, а ожидание и напряжение ресурсов. В ПК точность – синоним внимания. В качестве величины, обратной точности, здесь фигурирует *энтропия*.

Аналогично если я слышу доминант-септаккорд, я с высокой вероятностью ожидаю аккорд тонический после него. Согласно ПК, чем меньше точность предсказания, тем более низкоуровневая обработка ошибки требуется. То есть музыка, построенная на стандартных последовательностях, может претендовать на меньшую степень внимания и может даже казаться кому-то «приятной» по этой причине. Если же музыканты использовали «трехтоновую подмену» и вместо доминант-септаккорда V сыграли септаккорд на три целых тона выше, неопытный слушатель может потеряться в своих бессознательных ожиданиях, и только слушатель со стажем будет ожидать такого же разрешения в тонику, поскольку знает, что в джазе это стандартный прием. Коль скоро обработка предсказаний более высокой точности требует участия более высоких уровней когнитивной иерархии, такого рода музыка может восприниматься как более «интеллектуальная».

Основываясь на концепции точности, в рамках подхода функционально различают предсказания первого и второго порядков. «Ключевым моментом здесь является то, что полноценная схема ПК должна быть оснащена моделями, которые генерируют предсказания как первого порядка (содержание), так и второго порядка (точность)» [28, р. 3]. С вычислительной точки зрения приписывание более высокой точности ошибкам прогнозирования увеличивает мощность их входного сигнала (*gain*), так что статистически они оказывают большее влияние на последующую обработку входящих данных. Субъективно это может переживаться как концентрация внимания. Неожиданная аналогия с описанным выше аудиокомпрессором: понижая порог его активации (т.е. увеличивая ее точность), мы за счет уменьшения амплитуды пиков увеличиваем сравнительную мощность более слабых сигналов, делая их более замет-

ными в общем звуковом потоке, т.е. как бы повышаем их вероятность быть услышанными и повлиять на долговременное впечатление от прослушивания музыки.

Как полагают авторы, это управление значимостью входных данных физиологически опосредовано нейромодуляторными механизмами, которые контролируют постсинаптическую возбудимость нейронных популяций, кодирующих ошибку предсказания. Психологически этот «отбор» означает, что наше внимание контролирует отбор признаков, давая нам возможность выбирать, обращать ли внимание на ошибки предсказания на разных уровнях в слуховой иерархии или игнорировать их.

В поддержку концепции обработки музыкальных восприятий как активного вывода авторы приводят экспериментальные данные, касающиеся появления сигнала, известного как негативность рассогласования (MMN), и двух других разновидностей потенциалов, связанных с событиями (ERP): P3a и P3b. MMN считается ранней реакцией на рассогласования в восприятиях, P3a и P3b характеризуются определенной задержкой. Данные показывают, что факт осведомленности испытуемых об ожидаемом нарушении музыкального строя никак не влияет на MMN (даже если испытуемые производят музыкальную последовательность сами), тогда как P3b значительно сокращается, если испытуемые предупреждены о предстоящем нарушении, а P3a, напротив, имеет место только у испытуемых, не предупрежденных заранее.

Эти факты, а также сравнительно устойчивая амплитуда ранней правой фронтальной негативности (ERAN)<sup>12</sup> подтверждают, с точки зрения авторов, их исходное предположение об обработке содержания сигналов и их точности на разных уровнях нейроцеребральной иерархии [28, p. 12].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почему подход с позиций предиктивного кодирования позволяет говорить о «похожести» восприятия музыки на языковую обработку, несмотря на приведенные выше теоретические и эмпири-

---

<sup>12</sup> Считается, что ERAN сигнализирует о нарушении регулярностей, хранимых в долговременной памяти, а MMN реагирует на иррегулярности в процессе обучения в реальном времени.



ческие контраргументы? Потому что вычислительная модель, лежащая в основе этой концепции, предполагает, что мозг рекурсивно применяет определенные вероятностные алгоритмы как на амодальных (высших) уровнях иерархии, так и нисходя к модально-специфичным уровням, и от них – к перцептивным поверхностям, транслируя потом ошибки предсказаний в обратном направлении [24]. Это описание не противоречит предположению, что в мозге существует центр, ответственный на рекурсивное структурирование действий вообще, оформляющий любое поведение, включая лингвистическое [23]. Концепция предиктивного кодирования (иначе, предиктивного процессинга, или активного вывода) предлагает вычислительную модель этой иерархии, представляющую структуру и функции мозга как машину вероятностного вывода [24, р. 2], что вполне согласуется с принципами работы больших языковых моделей.

## Литература

1. Волкова С.П. Отражение особенностей музыкального мышления китайцев в специальной терминологии: Дисс. ... канд. искусствоведения: 17.00.02. / Моск. гос. консерватория им. П.И. Чайковского. М., 1990.
2. Галилей Г. Пробирных дел мастер. М.: Наука, 1987.
3. Лейбниц Г.В. Начала природы и благодати, основанные на разуме // Лейбниц Г.В. Сочинения: В 4 т. М.: Мысль, 1982. Т. 1. С. 404–412.
4. Михайлов И.Ф. Вычислительный образ науки // Социальные и гуманитарные науки на Дальнем Востоке. 2020. № 3 (XVII). С. 81–88.
5. Михайлов И.Ф. Вычислительный подход в социальном познании // Философия науки и техники. 2021. № 1 (26). С. 23–37.
6. Михайлов И.Ф. Две теории предсказывающего познания // Вопросы философии. 2023. № 8. С. 82–92.
7. Михайлов И.Ф. Как насвистеть то, что нельзя высказать // Вестник Пермского университета. Философия. Психология. Социология. 2024. № 2. С. 180–191.
8. Михайлов И.Ф. Когнитивные вычисления и социальная организация // Вопросы философии. 2020. № 12. С. 125–128.
9. Михайлов И.Ф. Концепции вычислений в современных науках о человеческом познании // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства. 2018. № 1 (14). С. 4–22.
10. Михайлов И.Ф. Натуральные вычисления и искусственный интеллект // Человек. 2022. № 2 (33). С. 65–83.
11. Михайлов И.Ф. Социальная онтология: время вычислений // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2020. № 55. С. 36–46.
12. Михайлов И.Ф. Социальные вычисления и происхождение моральных норм // Философский журнал. 2022. № 1 (15). С. 51–68.

13. Михайлов И.Ф. Человеческий мозг и сознание: биология или вычисления? // *Философские проблемы информационных технологий и киберпространства*. 2018. № 2 (15). С. 92–110.
14. Новоселова А.В. Шелк и бамбук в музыкальной культуре традиционного Китая. Дисс. ... канд. искусствоведения: 17.00.02. / Моск. гос. консерватория им. П.И. Чайковского. М., 2015.
15. Суцин М.А. Предсказывающая обработка как теоретический комплекс в когнитивных науках // *Философия науки и техники*. 2023. № 2. С. 20–36.16.
16. У Ген-Ир. Формирование музыкальной культуры в Древнем Китае // *Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена*. 2009. № 89. С. 139–147.
17. Фаликман М.В. Принцип предсказывающего кодирования в современных когнитивных исследованиях // *Вопросы психологии*. 2021. № 3 (67.). С. 3–23.
18. Шопенгауэр А. Мир как воля и представление // Шопенгауэр А. Собрание сочинений: В 6 т. М.: ТЕРРА – Книжный клуб; Республика, 1999. Т. 1. С. 4–451.
19. Юшкевич А.П., Копелевич Ю.Х. Христиан Гольдбах. 1690–1764. М.: Наука, 1983.
20. Chalmers D.J. *The Character of Consciousness*. New York; Oxford: Oxford University Press, 2012.
21. Chen X. et al. The human language system, including its inferior frontal component in “Broca’s area,” does not support music perception // *Cerebral Cortex*. 2023. No. 12 (33). P. 7904–7929.
22. Chiou R. et al. Semantic cognition versus numerical cognition: a topographical perspective // *Trends in Cognitive Sciences*. 2023. Vol. 27, No. 11. P. 993–995.
23. Fitch W.T., Martins M.D. Hierarchical processing in music, language, and action: Lashley revisited // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2014. No. 1 (1316). P. 87–104.
24. Friston K. Hierarchical models in the brain // *PLoS Computational Biology*. 2008. No. 11 (4). e1000211.
25. Hoffman D.D., Prakash C., Prentner R. Fusions of consciousness // *Entropy*. 2023. No. 1 (25). P. 1–40.
26. Jackendoff R. Parallels and nonparallels between language and music // *Music Perception*. 2009. No. 3 (26). P. 195–204.
27. Koelsch S. Neural substrates of processing syntax and semantics in music // *Current Opinion in Neurobiology*. 2005. No. 2 (15). P. 207–212.
28. Koelsch S., Vuust P., Friston K. Predictive processes and the peculiar case of music // *Trends in Cognitive Sciences*. 2019. No. 1 (23). P. 63–77.
29. Lerdahl F., Jackendoff R. *A Generative Theory of Tonal Music*. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.
30. Marr D. *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. The MIT Press, 2010.
31. Mikhailov I.F. The concept of recursion in cognitive studies. Part I: From mathematics to cognition // *Philosophical Problems of IT & Cyberspace*. 2024. No. 1. P. 58–76.
32. Núñez R.E. Is there really an evolved capacity for number? // *Trends in Cognitive Sciences*. 2017. No. 6 (21). P. 409–424.
33. Patel A.D. Language, music, syntax and the brain // *Nature Neuroscience*. 2003. No. 7 (6). P. 674–681.

34. *Peacocke P.* The Mirror of the World: Subjects, Consciousness, and Self-Consciousness. Oxford, UK: Oxford University Press, 2014.
35. *Peretz I., Zatorre R.J.* The Cognitive Neuroscience of Music. Oxford University Press, 2003.
36. *Piccinini G., Bahar S.* Neural computation and the computational theory of cognition // *Cognitive Science*. 2013. No. 3 (37). P. 453–488.
37. *Pierce C.S.* Logic as semiotic: The theory of signs // *Philosophical Writings of Pierce* / Ed. by J. Buchler. N.Y.: Dover Publications, Inc., 2011. P. 98–119.
38. *Sacks G.E.* Metarecursion theory: Sets, models and recursion theory // *Proceedings of the Summer School in Mathematical Logic and Tenth Logic Colloquium, Leicester, August–September 1965* / Ed. by J.N. Crossley. (Studies in logic and the foundations of mathematics). Amsterdam: North-Holland Publishing Company; New York: Humanities Press, 1967. P. 243–263.
39. *Sixtus E. et al.* A sensorimotor perspective on numerical cognition // *Trends in Cognitive Sciences*. 2023. No. 4 (27). P. 367–378.
40. *Skansi S.* Introduction to Deep Learning: From Logical Calculus to Artificial Intelligence. Cham: Springer International Publishing, 2018.
41. *Sun Y. et al.* Syntactic processing in music and language: Parallel abnormalities observed in congenital amusia // *NeuroImage: Clinical*. 2018. No. 19. P. 640–651.
42. *Tonietti T.M.* Is music relevant for the history of science? // *The Application of Mathematics to the Sciences of Nature: Critical Moments and Aspects* / Ed. by P. Cerrai, P. Freguglia, P. Pellegrini. Boston, MA: Springer US, 2002. P. 281–291.

## References

1. *Volkova, S.P.* (1990). Otrazhenie osobennostey muzykalnogo myshleniya kitaytsev v spetsialnoy terminologii: Diss. ... kand. iskusstvovedeniya: 17.00.02 [Reflection of the Peculiarities of Musical Thinking of the Chinese in Special Terminology: Candidate of Art Criticism thesis: 17.00.02]. Moscow, Tchaikovsky Moscow State Conservatory.
2. *Galileo, G.* (1987). *Probirnykh del master* [The Assayer]. Moscow, Nauka Publ. (In Russ.).
3. *Leibnitz, G.W.* (1982). Nachala prirody i blagodati, osnovannye na razume [The Principles of Nature and Grace, Based on Reason]. In: G.W. Leibnitz. *Sochineniya: V 4 t.* [Works: In 4 vols.], Vol. 1. Moscow, Mysl Publ., 404–412. (In Russ.).
4. *Mikhailov, I.F.* (2020). Vychislitelnyy obraz nauki [Computational image of science]. *Sotsialnye i gumanitarnye nauki na Dalnem Vostoke* [The Humanities and Social Sciences in the Far East], 3 (XVII), 81–88.
5. *Mikhailov, I.F.* (2021). Vychislitelnyy podkhod v sotsialnom poznanii [Computational approach to social knowledge]. *Filosofia nauki i tekhniki* [Philosophy of Science and Technology], 1 (26), 23–37.
6. *Mikhailov, I.F.* (2023). Dve teorii predskazyvayushchego poznaniya [Two theories of predictive cognition]. *Voprosy filosofii* [Problems of Philosophy], 8, 82–92.
7. *Mikhailov, I.F.* (2024). Kak nasvistet to, chto nelzya vyskazat [How to whistle something that cannot be said]. *Vestnik Permskogo universiteta. Filosofiya. Psikhologiya. Sotsiologiya* [Perm University Herald. Philosophy. Psychology. Sociology], 2, 180–191.
8. *Mikhailov, I.F.* (2020). Kognitivnyye vychisleniya i sotsialnaya organizatsiya [Cognitive computations and social organization]. *Voprosy filosofii* [Problems of Philosophy], 12, 125–128.

9. *Mikhailov, I.F.* (2018). Kontseptsii vychisleniy v sovremennykh nauках o chelovecheskom poznanii [Concepts of computation in modern theories of human cognition]. *Filosofskie problemy informatsionnykh tekhnologiy i kiberprostranstva* [Philosophical Problems of Information Technology and Cyberspace], 1 (14), 4–22.
10. *Mikhailov, I.F.* (2022). Naturalnye vychisleniya i iskusstvennyy intellekt [Natural computations and artificial intelligence]. *Chelovek*, 2 (33), 65–83.
11. *Mikhailov, I.F.* (2020). Sotsialnaya ontologiya: vremya vychisleniy [Social ontology: Time to compute]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Filosofiya. Sotsiologiya. Politologiya* [Tomsk State University Journal of Philosophy, Sociology and Political Science], 55, 36–46.
12. *Mikhailov, I.F.* (2022). Sotsialnye vychisleniya i proiskhozhdenie moralnykh norm [Social computations and the origin of moral norms]. *Filosofskiy zhurnal* [Philosophy Journal], 1 (15), 51–68.
13. *Mikhailov, I.F.* (2018). Chelovecheskiy mozg i soznanie: biologiya ili vychisleniya? [The human brain and consciousness: biology or computation?]. *Filosofskie problemy informatsionnykh tekhnologiy i kiberprostranstva* [Philosophical Problems of Information Technology and Cyberspace], 2 (15), 92–110.
14. *Novoselova, A.V.* (2015). *Shelk i bambuk v muzykalnoy kulture traditsionnogo Kitaya: Diss. ... kand. iskusstvovedeniya: 17.00.02* [Silk and Bamboo in the Musical Culture of Traditional China: Candidate of Art Criticism thesis: 17.00.02]. Moscow, Tchaikovsky Moscow State Conservatory.
15. *Sushchin, M.A.* (2023). *Predskazyvayushchaya obrabotka kak teoreticheskiy kompleks v kognitivnykh nauках* [Predictive processing as a theoretical complex in the cognitive sciences]. *Filosofiya nauki i tekhniki* [Philosophy of Science and Technology], 2, 20–36.
16. *U Gen-ir.* (2009). *Formirovanie muzykalnoy kulture v Drevnem Kitae* [Forming of musical culture in Ancient China]. *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena* [Izvestia: Herzen University Journal of Humanities and Sciences], 89, 139–147.
17. *Falikman, M.V.* (2021). *Printsip predskazyvayushchego kodirovaniya v sovremennykh kognitivnykh issledovaniyakh* [The predictive coding principle in the contemporary cognitive science]. *Voprosy psikhologii* [Problems of Psychology], 3 (67), 3–23.
18. *Schopenhauer, A.* (1999). *Mir kak volya i predstavlenie* [The World as Will and Representation]. In: A. Schopenhauer. *Sobranie sochineniy: V 6 t.* [Collected Works: In 6 vols.], Vol. 1. Moscow, TERRA–Knizhnyy Klub Publ. & Respublika Publ., 4–451. (In Russ.).
19. *Yushkevich, A.P. & Yu.Kh. Kopelevich.* (1883). *Khristian Goldbakh. 1690–1764* [Christian Goldbach. 1690–1764]. Moscow, Nauka Publ.
20. *Chalmers, D.J.* (2012). *The Character of Consciousness*. New York & Oxford, Oxford University Press.
21. *Chen, X. et al.* (2023). The human language system, including its inferior frontal component in “Broca’s area,” does not support music perception. *Cerebral Cortex*, 12 (33), 7904–7929.
22. *Chiou, R. et al.* (2023). Semantic cognition versus numerical cognition: a topographical perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 27, No. 11, 993–995.
23. *Fitch, W.T. & M.D. Martins.* (2014). Hierarchical processing in music, language, and action: Lashley revisited. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1 (1316), 87–104.
24. *Friston, K.* (2008). Hierarchical models in the brain. *PLoS Computational Biology*, 11 (4), e1000211.

25. *Hoffman, D.D., C. Prakash & R. Prentner.* (2023). Fusions of consciousness. *Entropy*, 1 (25), 1–40.
26. *Jackendoff, R.* (2009). Parallels and nonparallels between language and music. *Music Perception*, 3 (26), 195–204.
27. *Koelsch, S.* (2005). Neural substrates of processing syntax and semantics in music. *Current Opinion in Neurobiology*, 2 (15), 207–212.
28. *Koelsch, S., P. Vuust P. & K. Friston.* (2019). Predictive processes and the peculiar case of music. *Trends in Cognitive Sciences*, 1 (23), 63–77.
29. *Lerdahl, F. & R. Jackendoff.* (1996). *A Generative Theory of Tonal Music.* Cambridge, MA, MIT Press.
30. *Marr, D.* (2010). *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information.* The MIT Press.
31. *Mikhailov, I.F.* (2024). The concept of recursion in cognitive studies. Part I: From mathematics to cognition. *Philosophical Problems of IT & Cyberspace*, 1, 58–76.
32. *Núñez, R.E.* (2017). Is there really an evolved capacity for number? *Trends in Cognitive Sciences*, 6 (21), 409–424.
33. *Patel, A.D.* (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, 7 (6), 674–681.
34. *Peacocke, P.* (2014). *The Mirror of the World: Subjects, Consciousness, and Self-Consciousness.* Oxford, UK, Oxford University Press.
35. *Peretz, I. & R.J. Zatorre.* (2003). *The Cognitive Neuroscience of Music.* Oxford University Press.
36. *Piccinini, G. & S. Bahar.* (2013). Neural computation and the computational theory of cognition. *Cognitive Science*, 3 (37), 453–488.
37. *Pierce, C.S.* (2011). *Logic as Semiotic: The Theory of Signs.* In: J. Buchler (Ed.). *Philosophical Writings of Pierce.* New York, Dover Publications, Inc., 98–119.
38. *Sacks, G.E.* (1967). *Metarecursion Theory: Sets, models and recursion theory.* In: J.N. Crossley (Ed.). *Proceedings of the Summer School in Mathematical Logic and Tenth Logic Colloquium, Leicester, August–September 1965.* (Studies in logic and the foundations of mathematics). Amsterdam, North-Holland Publishing Company & New York, Humanities Press, 243–263.
39. *Sixtus, E. et al.* (2023). A sensorimotor perspective on numerical cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 4 (27), 367–378.
40. *Skansi, S.* (2018). *Introduction to Deep Learning: From Logical Calculus to Artificial Intelligence.* Cham, Springer International Publishing.
41. *Sun, Y. et al.* (2018). Syntactic processing in music and language: Parallel abnormalities observed in congenital amusia. *NeuroImage: Clinical*, 19, 640–651.
42. *Toniatti, T.M.* (2002). Is music relevant for the history of science? In: P. Cerrai, P. Freguglia, P. Pellegrini (Eds.). *The Application of Mathematics to the Sciences of Nature: Critical Moments and Aspects.* Boston, MA, Springer US, 281–291.

### Информация об авторе

*Михайлов Игорь Феликсович.* Институт философии РАН (109240, Москва, ул. Гончарная, 12, стр. 1).  
ifmikhailov@iphras.ru

**Information about the author**

*Mikhailov, Igor Felixovich.* Institute of Philosophy, Russian Academy of Sciences  
(12, Bld. 1, Goncharnaya St., Moscow, 109240, Russia).

Дата поступления 07.09.2024