

УДК 159.955.1

DOI 10.17726/phillT.2023.1.2



Может ли машина обонять? Проблема универсального ольфакторного словаря¹

Велис Лолита Андреевна,
*магистрантка кафедры германистики
и межкультурной коммуникации,
Пятигорский государственный университет,
Пятигорск, Россия*
lolla-99@mail.ru

Аннотация. В исследованиях, посвященных технологиям, многое достигнуто в области визуального и аудиального анализа в сравнении с восприятием запахов. В данной статье рассматриваются последние достижения в сфере электронных технологий (E-nose), применяемых для распознавания ольфакторного кода. Все исследования условно можно разделить по целям на: 1) направленные на практическое применение электронных систем в таких областях, как пищевая промышленность, медицина, окружающая среда и т.д.; 2) имеющие целью изучение когнитивных процессов и психоэмоциональных реакций человека при ольфакторном опыте, а также способности машины предопределять реакции человека на различные запахи. В данном случае важную роль играет язык, выступающий в роли репрезентации ольфакторных ощущений. Все более востребованными становятся методы концептуально-семантического анализа в работах, посвященных машинному распознаванию ольфакторного кода.

Ключевые слова: электронный нос; E-nose; ольфакторный опыт; запах; корреляция; семантика.

Can the machine smell? The problem of the universal olfactory dictionary

Velis Lolita A.,
*Master student of the Department of German Studies
and intercultural communication,
Pyatigorsk State University,
Pyatigorsk, Russia*
lolla-99@mail.ru

¹ Материалы статьи разработаны в ходе подготовки к конференции «Сознание, тело, интеллект и язык в эпоху когнитивных технологий» MBIL-2023. <https://mbil-conf.ru/#ru>.

Abstract. In technology research, much has been achieved in the field of visual and auditory analysis as compared to the perception of smells. This article discusses the latest advances in the field of electronic (E-nose) used to recognize the olfactory code. All studies can be conditionally divided according to the goals into: 1. Research aimed at the practical application of electronic systems in areas such as food industry, medicine, the environment, etc. 2. Research aimed at cognitive processes and psycho-emotional reactions of a person during olfactory experience, as well as the ability of a machine to predetermine human reactions to various smells. In this case, an important role is played by language, which acts as a representation of olfactory sensations. The methods of conceptual and semantic analysis are becoming more and more in demand in studies devoted to machine recognition of the olfactory code.

Keywords: electronic nose; E-nose; olfactory experience; smell; correlation; semantics.

Введение

В последнее время ольфакторный опыт как объект исследования набирает интерес среди многих дисциплин, т.к. этот вид опыта является сложным субъективным процессом, а его репрезентация в языке заметно уступает количеству ольфакторных единиц, доступных человеческому восприятию. Помимо исследований органов восприятия запаха у живых организмов активно идет разработка машинных механизмов, способных идентифицировать запахи.

Существует множество исследований, которые связаны с так называемым «Электронным носом» (далее E-nose) – устройством, состоящим из массива электрохимических датчиков, способных распознавать и классифицировать отдельные компоненты смесей паров и газов [1-3].

Сама идея E-nose тесно связана с исследованиями процессов восприятия запахов у живых существ [4], поэтому ее условно делят на «аппаратные» и «программные» компоненты. В функции «программного» компонента входит идентификация и классификация полученной ольфакторной информации, работа «аппаратного» компонента заключается в самом восприятии [5]. В данном случае проводится параллель с процессом восприятия человека (рецепторы – мозг).

Электронный нос распознает запах путем снятия «отпечатков» его химических элементов с помощью набора датчиков, поддержи-

ваемых интеллектуальным программным обеспечением для распознавания образов [6]. Процесс, скорость и качество полученных результатов, в свою очередь, зависят от качества и материала самого датчика. В зависимости от цели и области применения E-nose набор датчиков может варьироваться.

Как замечается в обзоре [1-2], большинство исследований, связанных с E-nose, носят практическую направленность, чаще всего это область пищевой продукции и медицины, поскольку E-nose может заметно облегчить и ускорить процесс идентификации тех или иных запахов. Такие технологии разрабатываются для использования во многих отраслях, в том числе в сфере охраны окружающей среды [6-7], пищевой промышленности [8-9] и т.д. Кроме того, технологии E-nose все чаще играют важную роль в обнаружении заболеваний [10-11].

Настроенные и выбранные под конкретную задачу рецепторы способны распознавать и классифицировать запахи. Однако на данный момент невозможно собрать стандартный набор рецепторов для технологий E-nose, поскольку на результаты его измерения влияет множество факторов [6]. Впрочем, по мере проведения исследования появляются предложения, указывающие на то, что наравне с газовыми датчиками возможно использование вспомогательных устройств (GPS, беспроводная связь), что помогло бы перенастраивать E-nose. В данном случае неисправные модули подлежат замене, а новые функции добавляются по мере необходимости [3].

Целью данной работы является анализ последних достижений в области электронной техники по работе с ольфакторным кодом, рассмотрение основных направлений и тенденций исследований, а также роли лингвистических наук при попытке классификации и прогнозирования человеческих ощущений машиной.

Материалы и методы

Проведены поиск и систематизация публикаций в открытом доступе за период с 2018 по 2023 год по разработке и применению электронных систем, способных воспринимать запахи. Были рассмотрены исследования, направленные как на техническую сторону проблемы, так и на различные подходы к обработке и классификации полученных данных. Отдельное внимание в изучении данной проблемы отводилось языку и его роли в идентификации запахов.

Результаты и обсуждения

В развитии E-nose проделана огромная работа по разработке и совершенствованию датчиков, а также базы, анализирующей и классифицирующей запахи. Как сама система E-nose условно делится на «аппаратный» и «программный» сегменты, так и подавляющее большинство исследований в этой области можно разделить согласно их фокусу: 1) исследования, больше внимания уделяющие «аппаратной» стороне (такие исследования носят ярко выраженный практический характер); 2) исследования, интересующиеся «программным» сегментом (одной из сфер интересов данного направления является способность машины предугадывать, как человек воспримет или охарактеризует тот или иной запах).

Следующие работы [12-19] относятся к первой группе. В [12-15] E-nose используется для классификации, анализа качества и выверения лучшей ферментации чайных листьев с помощью датчиков: MQ-3 удобен при выявлении концентрации спирта; MQ-4 – природного газа; MQ-6 определяет сжиженный нефтяной газ; MQ-7 – окись углерода; MQ-8 подходит для определения концентрации водорода; MQ-9 – для обнаружения угарного газа, метана и сжиженного нефтяного газа. E-nose выверяет качество использованных образцов в 75% случаях, что, по мнению автора, является положительным результатом, так как многие образцы было сложно классифицировать из-за их характеристик [12].

Из исследований видно, что машина способна разбивать запахи на более мелкие составные части и при этом каждый датчик отвечает за реагирование на одно или несколько веществ. Однако, если рассматривать машину как попытку воссоздать человеческий способ восприятия и именованя запахов, большего внимания заслуживает не способность характеризовать качество запаха, а то, что машина понимает под тем или иным запахом, т.е. «аппаратный» путь представляется лишь первой ступенью. Судя по графикам [12], показатели датчиков для высокого, среднего и низкого качества чайных листьев различны, следовательно, для машины количество выходных данных, характеризующих чай, увеличивается.

В экспериментах с винной продукцией [16-18] исследователей также интересовал анализ и качественный состав, с чем E-nose неплохо справляется. В исследовании [17] количественно определяли пропорции смеси сортов вина двумя способами: электронным носом и экспертами. E-nose показал лучшие результаты, в то время как

приглашенные эксперты испытывали затруднения. Этот результат в очередной раз указывает на тенденцию вычислительной техники к разложению цельного запаха на отдельные составные части. Иными словами, задачи, в которых просят провести детальный анализ состава, произвести расчеты и т.д., машина выполняет достаточно хорошо.

Интересен итог сравнения обработанной и необработанной мяты [19]. В данном исследовании использовались семь датчиков газа: TGS (Taguchi Gas Sensor) 822 – определяющий пары органических растворителей; TGS826 – реагирующий на аммиак, воздух, изобутан, водород и этанол; TGS2620 – летучие органические пары; TGS4161 – углекислый газ; MQ-7 – окись углерода; MQ-136 – сероводород, аммиак, воздух и окись углерода; MQ-214 – метан, сжиженный нефтяной газ, воздух, изобутан и пропан. При исследовании образцов наибольший отклик датчиков был при обработке запаха обработанной мяты в сравнении с необработанными образцами. Такая реакция датчиков полезна при внедрении E-nose в пищевую промышленность, поскольку она показывает повышенную реакцию на ненатуральные химические примеси.

Все вышеприведенные исследования проводились с относительно одинаковой целью и над одним объектом. Если речь шла о вине, то исследовалось вино; если о чае – то чай. Мята хотя и имела некоторые дополнительные различия, но все же она сравнивалась не с другими пахучими растениями / веществами. Рассматривая использованные в исследованиях датчики, можно заметить, что, пусть они отличаются по качеству, материалу и т.д., большая часть из них настроена на одинаковые элементы. Таким образом, представленные выше исследования изначально были нацелены на различение качества пищевой продукции в рамках одного продукта, что, несомненно, облегчает и способствует скорейшему распределению сырья по его качеству. Исходя из вышесказанного, можно заметить, что данная группа исследований носит практический характер, т.к. ее основной целью является внедрение технологий в конкретные области для облегчения процессов производства, классификации, идентификации и т.д.

Второе направление в исследованиях [20-22] пока еще недостаточно развито. В данном случае исследователи пытаются найти способ, с помощью которого машина была бы способна предугадать, как человек опишет перцептивные ощущения от определенного запаха. С одной стороны, машина неплохо научилась различать

и классифицировать молекулы запахов, т.к. она не испытывает трудностей с обработкой данных, получаемых от физического объекта. С другой стороны, ольфакторный опыт – сложный и малообъяснимый процесс, т.к. один и тот же запах различно воспринимается разными людьми, отсюда неудивительно высказывание Т. Гоббса о том, что запах находится не в объектах, а в нас самих [23]. Рассмотрение ольфакторного опыта с данного угла выводит данную проблему в область когнитивных лингвистических наук. В данном случае объяснить переживаемый перцептивный опыт возможно только посредством языка.

Ольфакторный опыт как объект все еще не до конца изучен. Поле запаха представляет интерес и исследуется сегодня многими науками. При этом очевидно, что при попытке предугадать реакцию человека на тот или иной запах машина столкнется с разного рода трудностями.

Во-первых, электронные датчики расщепляют запахи на химические элементы, из чего следует их активное применение в исследованиях с практической направленностью. В свою очередь, такой детальный анализ ароматов несвойственен большинству людей, поскольку последним характерно обобщение ольфакторного опыта (иногда применение метафорических выражений или абстрактных понятий).

Во-вторых, характеристика перцептивного опыта сильно зависит от физиологических и психических особенностей индивида, текущего состояния его здоровья, чувствительности к запахам или полного ее отсутствия (аносмии). Немаловажную роль играют культурно-обусловленные привычки, психоэмоциональное состояние, формирующие субъективное восприятие, проистекающее из пережитого опыта, и, конечно же, язык. Как известно, о роли языка в мыслительной и познавательной деятельности существует множество мнений «за» и «против». С одной стороны, можно утверждать, что язык накладывает отпечаток на наше мировосприятие, с другой стороны – придерживаться мнения об универсальности человеческого мышления и незначительности роли языка в данных процессах. Впрочем, если процесс мышления и является универсальным для всех людей, то сказать того же о перцептивном опыте, тем более ольфакторном, не представляется возможным, как минимум потому, что запахи также тесно связаны с оценочной шкалой (приятный – неприятный).

Все процессы сознания ставят перед специалистами когнитивных наук немало вопросов, ответы на которые можно «прощупать» только путем исследования языка. И в связи с тем, что учесть все факторы сразу не представляется возможным, исследования в данной области только намечают возможные подходы и методы. Поэтому соучастие лингвистических наук в вопросах, связанных с анализом перцептивного опыта, является необходимым, ведь именно с помощью языка возможно спроектировать «сознание» электронных систем, а их исследование, в свою очередь, может стать ключом к пониманию процессов, протекающих в сознании индивида.

Итак, некоторые исследования [20] идут путем усложнения электронной системы датчиков, в ходе чего, помимо датчиков, реагирующих на определенные химические элементы, предлагается использовать так называемые «рецепторы запаха», которые реагируют на конкретный запах (например, запах корицы). Однако здесь исследователи также сталкиваются со сложностями, поскольку необходимо определять опытным путем, какие из «рецепторов запаха» являются важными и приводят к улучшению показателей, а какие оказываются совершенно бесполезными. Более того, из исследования видно, что при восприятии запаха не все рецепторы человека включаются одновременно, более того, не все они задействованы, что также происходит и с сенсорными датчиками, среди которых одни дают больше информации, в то время как некоторые могут казаться практически бесполезными.

Попытка ориентации на рецепторы человека осложняется еще и тем, что, как указывают последние исследования, проведенные в данной области, существует генетически обусловленная большая вариативность в функционировании ольфакторных рецепторов от человека к человеку даже в рамках одной культуры. Иными словами, каждый человек является носителем определенного набора функционирующих рецепторов и вариации данного набор приводят к тому, что при ощущении одного и того же запаха воспринимать мы его можем различно. Подобная ситуация произошла с профессором и ассистентом, пытавшимися классифицировать цветы вербены по степени пахучести. Выделив, на свой взгляд, цветок с самым необычным запахом, профессор предложил его своему ассистенту, который не только не нашел в цветке ничего необычно, но в свою очередь предложил совершенно другой цветок. В результате у них получились два разных набора шкалы цветов, при составлении кото-

рых они также использовали разные термины [24]. Таким образом, с одной стороны, мы сталкиваемся с проблемой восприятия, из которой видно, что людям свойственно неоднородно воспринимать запахи, т.к. генетически обусловленный набор рецепторов приводит к разным выходным данным, репрезентируемым в языке. С другой стороны, перед исследователями встает проблема языка, т.к. из примера видно, что различия в восприятии вербены породили различия в использовании языковых единиц.

Появляется вопрос: возможно ли построить корреляцию между тем, что мы чувствуем, и тем, что мы говорим. Ведь уже сам процесс описания ольфакторного опыта в большинстве языков указывает на сложность именования (бедный ольфакторный словарь) и тенденцию к использованию метафоры при попытке характеристики. При этом даже имеющиеся языковые материалы, характеризующие ольфакторный опыт, указывают скорее на конвенциональность языковой репрезентации, чем на достоверное выражение перцептивного субъективного опыта. Иными словами, мы выбираем тот языковой материал, который не столько опишет собеседнику наши ощущения, сколько максимально понятно передаст. Очевидно, что если парфюмер при общении с человеком, не владеющим специальной терминологией, не откажется от профессионального языка, то акт коммуникации можно будет считать несостоявшимся, поскольку реципиент не поймет говорящего, даже если построит какие-то догадки на базе своего опыта (хуже обстоит дело, если необходимого опыта у коммуниканта нет). В случае если наш способ описания ольфакторного опыта действительно ограничен рамками языка, становится важным следующий вопрос: искажает ли языковая картина мира перцептивный опыт и если да, то насколько сильно.

Сегодня перед машиной пока еще не стоит проблема настолько сложного предугадывания человеческого восприятия. В исследовании [21] для прогнозирования характера запаха исследователи объединяют машинное обоняние с обработкой естественного языка. При формировании прогностической модели с помощью метода группирования были использованы два типа шкалы: матрица сходств, полученная за счет вычисления коэффициента корреляции между возможными парами векторов; сходство слов, вычисленное за счет моделирования естественного языка при помощи нейронной модели, обученной на текстовом корпусе. Опыт проводился с разделением запахов на 6, 20 и 30 групп. По полученным результатам видно, что

процент предугадывания при использовании шкалы, основанной на сходстве слов, выше, чем при шкале матричных сходств. Однако во время исследования была выделена проблема, связанная со сложностью в выборе групп. Заключается она в том, что от правильно сформированных групп зависит точность полученных результатов. Если большинство описываемых единиц относится к одной группе, в то время как остальные остаются немногочисленны, то процент точного предугадывания будет высок, несмотря на то, что полученной информации при этом будет немного.

В исследовании [22] авторы рассматривают связь на уровне корреляции семантических значений. Принято полагать, что ольфакторный словарь слабо характеризует ольфакторный опыт, однако попытка предугадывать тот или иной запах за счет семантических значений показала неплохой результат, что говорит о глубокой связи между языком и восприятием ольфакторного кода. В основе исследования лежит дистрибутивная гипотеза, в рамках которой полагается, что значение слова может быть выведено как функция лингвистических контекстов. Таким образом, на основе контекста лексическим единицам присваивается вектор, так что слова, наиболее близкие семантически, имеют более близкий вектор.

Результаты семантической модели имели корреляцию 0,6 для лучшего попадания и 30% попаданий с корреляцией более 0,5. По статистическим данным видно, что наилучший результат достигается только при совместной работе семантической и оценочной моделей. При этом значительные результаты семантическая модель показывает без применения молекулярного анализа, в то время как показатели оценочной модели растут при увеличении количества тренировочных молекул. Как указывают авторы, данный подход является ограниченным, для снятия ограничений, возможно, стоит расширять семантическую модель дополнительными лексическими структурами, которые не попадают под гипотезу «контекста» (синонимы, антонимы, разделение на части речи и т.д.).

Заключение

Итак, исследования в области машинного восприятия запахов условно разделяются по своим целям и методам на практические и теоретические. Дальнейшие разработки в совершенствовании E-nose имеют большую практическую значимость, т.к. они способны

облегчить и ускорить производство и анализ сырья, выявить те или иные заболевания и т.д. В данном случае особого внимания требует техническая часть и ее совершенствование, т.к. пока еще невозможно говорить об универсальности набора сенсорных датчиков, поскольку при работе с тем или иным запахом для более точного результата исследователям приходится настраивать E-nose на конкретную задачу, подбирая наиболее оптимальные детали. Не до конца также исследовано, какие датчики лучше воспринимают те или иные запахи, эта область постоянно развивается и совершенствуется. Так, наравне с газовыми датчиками, реагирующими на отдельные элементы, нередко используют «запаховые» датчики, реагирующие на смесь, т.е. на конкретный аромат. Однако и среди них показатели реакций могут быть различными.

С более тяжелой проблемой сталкиваются исследования, направленные на описание или предугадывание перцептивного опыта человека. Говорить о способности машин воспринимать запахи таким же образом, как человек, на сегодняшний день не представляется невозможным. Встает проблема, связанная с идентификацией запаха человеком. Так, человек воспринимает запах в совокупности всех компонентов и только натренированный специалист способен «принюхиваться» для расчленения сложного аромата на более простые; машина, напротив, воспринимает запахи частями, согласно распределению ее датчиков. И эта способность идентифицировать запахи по молекулам, активно применяемая в практических исследованиях, сталкивается со сложностями и становится малополезной, когда перед ней ставится задача предсказать реакцию человека.

С точки зрения обработки полученной информации при работе с ольфакторными элементами различной природы машина также пока еще не достигла значительного успеха. Процент удачного разделения электронной техникой ольфакторного опыта на группы варьируется в зависимости от разных факторов (начиная от технического оснащения и заканчивая удачным выбором позиций внутри группы). В результатах последних исследований, использующих в своих опытах языковой материал, указывается на то, что связь языка и перцептивного опыта очень глубока и неслучайна. При этом сложно говорить об универсальности лексического набора для характеристики ольфакторного опыта, т.к. набор языковых терминов может варьироваться в зависимости от дискурса. В связи с этим для дальнейшего исследования представляет интерес сравнение

ольфакторного словаря в таких профессиональных сферах, как парфюмерия, виноделие и т.д., с описанием ольфакторного опыта простых пользователей языка. Рассматривая проблему глобальнее, мы увидим, что словарь перцептивной лексики будет различаться не только внутри одного языка, но и на межкультурном уровне.

Подводя итог, хотелось бы заметить, что хотя в целом язык и считается бедным на ольфакторную лексику и поле запаха является сложным для именования, симбиоз уже имеющихся методов машинной идентификации ольфакторного кода с семантическим анализом показывает относительно высокие показатели и перспективы дальнейших исследований. Полученные результаты свидетельствуют о том, что слабо развитый ольфакторный словарь на самом деле является сложноустроенной базой данных, изучение которой способно не только продвинуть современные технологии в попытке интерпретации и имитации человеческих ощущений, но и пролить свет на многие вопросы, встающие перед нейрокогнитивными науками.

Литература

1. Electronic Noses: From Advanced Materials to Sensors Aided with Data Processing / *W. Hu, L. Wan, Y. Jian [u др.]* // *Advanced Materials Technologies*. – 2018. – Т. 18. – С. 1800488.
2. *Новикова Л. Б., Кучменко Т. А.* Аналитические возможности систем искусственного обоняния и вкуса. Часть 1. «Электронные носы» // *Вестник ВГУИТ*. – 2019. – Т. 81. № 3. – С. 236-241. (*Novikova L. B., Kuchmenko T. A.* The analytical capabilities of the systems of artificial sense of smell and taste. Part 1. «Electronic nose» // *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. – 2019. – Т. 81, № 3. – С. 236-241.)
3. *Gongora A.* An Electronic Architecture for Multipurpose Artificial Noses / *A. Gongora, J. Monroy, J. Gonzalez-Jimenez* // *Journal of Sensors*. – 2018. – Т. 2018, № 2. – С. 1-9.
4. Evolving the olfactory system with machine learning / *P.Y. Wang, Y. Sun, R. Axel [u др.]* // *Neuron*. – 2021. – Т. 109, № 23. – С. 3879-3892.e5.
5. *Karakaya D.* Electronic Nose and Its Applications: A Survey / *D. Karakaya, O. Ulucan, M. Turkan* // *International Journal of Automation and Computing*. – 2020. – Т. 17, № 2. – С. 179-209.
6. *Zarra T., Cimattoribus C., Naddeo V., Reiser M., Belgiorno V. and Kranert M.* Environmental odour monitoring by electronic nose // *Global NEST Journal*. – 2019. – Т. 20, № 3. – С. 664-668.
7. Detecting and Identifying Industrial Gases by a Method Based on Olfactory Machine at Different Concentrations / *Y. Sun, D. Luo, H. Li [u др.]* // *Journal of Electrical and Computer Engineering*. – 2018. – Т. 2018. – С. 1-9.
8. Evaluation of Smart Portable Device for Food Diagnostics: A Preliminary

- Study on Cape Hake Fillets (*M. capensis* and *M. paradoxus*) / *M. Castrica, S. Panseri, E. Siletti [u òp.]* // Journal of Chemistry. – 2019. – T. 2019. – C. 1-7.
9. *Koesoema Wijaya R. A.* Novel method to classify varicocele using electronic nose / *R. A. Koesoema Wijaya, A. Kusumaatmaja, D. M. Rizal* // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2022. – T. 28, № 1. – C. 165.
 10. The Electronic Nose in Respiratory Medicine / *P. Montuschi, N. Mores, A. Trovè [u òp.]* // Respiration. – 2013. – T. 85, № 1. – C. 72-84.
 11. *Kadafi M.* Electronic nose (E-nose) design for Arduino nano-based halal haram identification / *M. Kadafi, R. A. Putra* // Jurnal Neutrino. – 2021. – T. 13, № 1. – C. 8-12.
 12. *Lazaro J. B., Ballado A., Bautista F. P. F., So J. K. B., Villegas J. M. J.* Chemometric data analysis for black tea fermentation using principal component analysis / AIP Conference Proceedings 6 December 2018; 2045 (1): 020050. <https://doi.org/10.1063/1.5080863>
 13. *Tozlu B. H.* A new approach to automation of black tea fermentation process with electronic nose / *B. H. Tozlu, H. İ. Okumuş* // Automatika. – 2018. – T. 59, № 3-4. – C. 373-381.
 14. A recurrent Elman network in conjunction with an electronic nose for fast prediction of optimum fermentation time of black tea / *S. Ghosh, B. Tudu, N. Bhattacharyya, R. Bandyopadhyay* // Neural Computing and Applications. – 2019. – T. 31, № S2. – C. 1165-1171.
 15. Electronic Nose Technologies in Monitoring Black Tea Manufacturing Process / *T. Sharmilan, I. Premarathne, I. Wanniarachchi [u òp.]* // Journal of Sensors. – 2020. – T. 2020, № 1. – C. 1-8.
 16. Wine quality rapid detection using a compact electronic nose system: Application focused on spoilage thresholds by acetic acid / *J. C. Rodriguez Gamboa, E. S. Albarracin, A. J. da Silva [u òp.]* // LWT. – 2019. – T. 108, № 2. – C. 377-384.
 17. Electronic Noses and Tongues in Wine Industry / *M. L. Rodríguez-Méndez, J. A. de Saja, R. González-Antón [u òp.]* // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. – 2016. – T. 4. – C. 71.
 18. Quantification of Wine Mixtures with an Electronic Nose and a Human Panel / *M. Alexandre, J. M. Cabellos, T. Arroyo, M. C. Horrillo* // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. – 2018. – T. 6. – C. 71.
 19. *Amkor A.* An evaluation of machine learning algorithms coupled to an electronic olfactory system: a study of the mint case / *A. Amkor, K. Maaidar, N. El Barbri* // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). – 2022. – T. 12, № 4. – C. 4335.
 20. *Kowalewski J.* Predicting Human Olfactory Perception from Activities of Odorant Receptors / *J. Kowalewski, A. Ray* // iScience. – 2020. – T. 23, № 8. – C. 101361.
 21. *Nozaki Y.* Predictive modeling for odor character of a chemical using machine learning combined with natural language processing / *Y. Nozaki, T. Nakamoto, H. Matsunami* // PLOS ONE. – 2018. – T. 13, № 6.

22. Predicting natural language descriptions of mono-molecular odorants / *E.D. Gutiérrez, A. Dhurandhar, A. Keller [и др.]* // *Nature Communications*. – 2018. – Т. 9, № 1. – С. 429.
23. *Гоббс Т.* Сочинения в 2 т. Т. 1 / Пер. с лат. и англ.; Сост., ред. изд., авт. вступ. ст. и примеч. В.В. Соколов. – М.: Мысль, 1989. – 622 с. (*T. Hobbes. Works in 2 vols. T. 1 / Per. from lat. and English; Comp., ed. ed., author. intro. Art. and note. V.V. Sokolov.* – М.: Thought, 1989. – 622 p.)
24. *Вайнштейн О.* Ароматы и запахи в культуре 1 том / *О. Вайнштейн.* – М.: Новое литературное обозрение, 2010. (*Weinstein O. Aromas and smells in culture 1 volume / O. Weinstein.* – М.: New Literary Review, 2010.)