

Мир науки. Педагогика и психология / World of Science. Pedagogy and psychology <https://mir-nauki.com>

2025, Том 13, № 1 / 2025, Vol. 13, Iss. 1 <https://mir-nauki.com/issue-1-2025.html>

URL статьи: <https://mir-nauki.com/PDF/89PSMN125.pdf>

5.3.2. Психофизиология (психологические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Трошкова, П. А. Современные исследования обонятельной системы человека: обзор зарубежных источников / П. А. Трошкова, С. Н. Никифорова // Мир науки. Педагогика и психология. — 2025. — Т. 13. — № 1. — URL: <https://mir-nauki.com/PDF/89PSMN125.pdf>.

For citation:

Troshkova P.A., Nikiforova S.N. Contemporary research in the human olfactory system: a review of international sources. *World of Science. Pedagogy and psychology*. 2025;13(1): 89PSMN125. Available at: <https://mir-nauki.com/PDF/89PSMN125.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 159.91+159.933

Трошкова Полина Адимановна

ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена»,
Санкт-Петербург, Россия
Аспирант

E-mail: kvpps@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4742-2035>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1243546

Никифорова Светлана Николаевна

ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена»,
Санкт-Петербург, Россия

Доцент кафедры «Возрастной психологии и педагогики семьи»

Кандидат психологических наук

E-mail: sveniks75@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3412-6635>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=395836

Современные исследования обонятельной системы человека: обзор зарубежных источников

Аннотация. Обоняние человека представляет собой сложную систему, играющую важную роль в восприятии окружающей среды и влияющую на различные психические и физиологические процессы. Например, обоняние тесно связано с эмоциями, памятью и поведением, что обеспечивается физиологией обонятельной системы, а именно участием в этом процессе миндалевидного тела, гиппокампа, пириформной и энторинальной коры. Однако ранее считалось, что обоняние не имеет сильной значимости для человека, но исследования последних лет опровергают такой стереотип, что и определило цель нашего исследования: провести анализ и систематизировать данные международных исследований функционирования обонятельной системы человека, опубликованных в базах ScienceDirect, PubMed, Springer Nature и Wiley за последние 5 лет, а также выявить перспективные направления, требующих дальнейшего изучения. Авторами рассматриваются современные представления о строении и функционировании обонятельной системы, механизмах обработки обонятельной информации и их изменений при патологических состояниях. Уделено внимание связи обонятельной дисфункции с нейродегенеративными заболеваниями, такими как болезнь Альцгеймера и болезнь Паркинсона, а также с психическими расстройствами, включая депрессию, шизофрению и биполярное расстройство. Помимо этого, обсуждается роль обонятельных сигналов в межличностной химической коммуникации, которая сопровождает человека на протяжении

всего онтогенеза. Проведенный анализ позволил систематизировать имеющиеся данные, а также выявить перспективные направления для дальнейшего изучения обонятельной системы в междисциплинарных исследованиях на стыке нейробиологии, медицины и психофизиологии.

Ключевые слова: обоняние; обонятельная система; запах; хеморецепция; хемосигнал; одорант; гиппокамп

Введение

Долгое время считалось, что обонятельная система утратила свою значимость для человека, особенно в сравнении с другими животными. Чаще всего обоняние воспринималось как рудимент [1], но исследования последних лет доказывают обратное: обоняние выполняет множество необходимых функций [2]. С каждым годом публикуются все больше работ, в которых раскрывается важность этой сенсорной системы.

Шааль Б. и соавторы пишут о том, что запах и обоняние играют важную роль с первых дней жизни, а точнее с последнего триместра внутриутробного развития, когда плод уже способен воспринимать запах амниотической жидкости [3]. Это имеет решающее значение при переходе от пренатального периода в постнатальный: амниотическая среда как бы готовит ребенка к внешнему миру, обеспечивая его обонятельным репертуаром, в том числе знакомит с молекулами, которые будут присущи материнскому запаху и ее молоку, что необходимо для выживания новорожденного, а впоследствии для формирования привязанности [3; 4].

Обоняние и запахи продолжают оказывать влияние на протяжении всей жизни человека [5]. Так с их помощью мы находим себе партнеров и в целом осуществляем коммуникацию [6–8]. Например, хемосигнал в женских слезах уменьшает уровень тестостерона у мужчин, и, как следствие, снижается агрессия [9]. И, конечно же, обоняние влияет на наше пищевое поведение [10].

Обоняние играет не только социальную роль. Множество исследований посвящено связи обонятельной дисфункции с различными заболеваниями. Снижение или потеря обоняния может быть ранним признаком таких нейродегенеративных заболеваний, как болезнь Альцгеймера или Паркинсона [11–14]. Помимо этого, существуют данные о связи между нарушениями обоняния и психоэмоциональными состояниями, включая депрессивную симптоматику [15–18]. Более подробно эти и другие исследования мы рассмотрим в основной части статьи.

Несмотря на все большее количество публикаций об обонянии, все равно имеются малоизученные аспекты, которые порождают споры в научных кругах. Именно это противоречие определило цель нашего исследования — провести обзор зарубежных исследований по обонятельной системе, систематизировать данные и выделить ключевые направления, требующих дальнейшего изучения.

Анатомия и физиология обонятельной системы

Прежде чем перейти к обзору современных исследований, необходимо ознакомиться с анатомией и физиологией обонятельной системы.

Для начала кратко опишем путь молекулы запаха: одоранты связываются с обонятельными сенсорными нейронами, расположенными в обонятельном эпителии, по принципу ключ-замок. Далее химический сигнал преобразуется в потенциал действия, который передается в обонятельную луковицу, затем обрабатывается и отправляется в корковые области [19]. Далее мы рассмотрим каждую структуру подробнее.

Вместе с потоком воздуха одоранты вдыхаются в носовую полость, где они растворяются в слое слизи, который покрывает обонятельную эпителиальную ткань. Эпителий состоит из биполярных обонятельных рецепторных нейронов, базальных клеток, поддерживающих (опорных) клеток, микроворсинчатых клеток и Боуменовых желез [20]. Схематичное изображение представлено на рисунке 1.

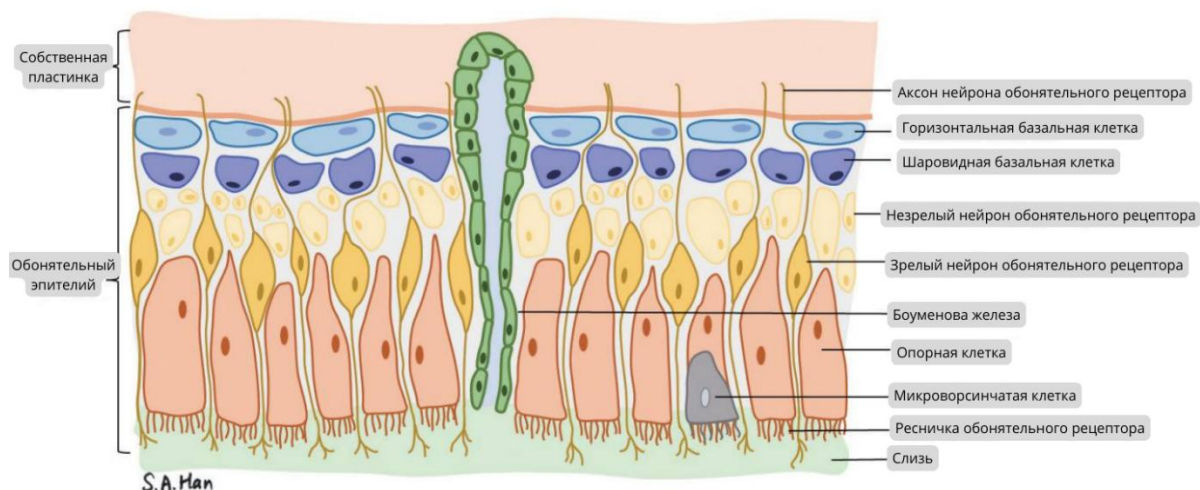


Рисунок 1. Строение обонятельного эпителия [21] (выполнен авторами статьи)

Далее одорант связывается с рецептором. Его активация запускает обонятельно-специфический G-белок, чтобы высвободить α -субъединицу в мембрану ресничек, что активирует аденилатциклазу. цАМФ является каталитическим продуктом, открывая неселективный катионный канал, известный как канал, управляемый циклическими нуклеотидами. Открытие этих каналов облегчает приток катионов извне клетки, что создает внутренний ток, который смещает мембранный потенциал в сторону деполяризации. После притока катионов цитоплазматический Ca^{2+} открывает каналы $Cl(Ca)$, экспрессируемые на ресничках, что позволяет Cl^- вытекать из клетки [22]. Именно таким образом химический сигнал преобразуется в электрический, этот процесс представлен на рисунке 2. Подавление тока происходит после притока Ca^{2+} через катионный канал, затем Ca^{2+} связывается с кальмодулином, а комплекс Ca-CAM блокирует каналы.

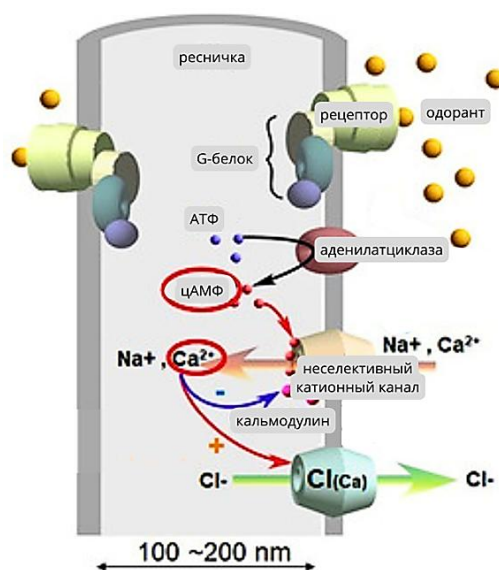


Рисунок 2. Механизм образования потенциала действия в ресничках обонятельного рецептора [22] (перевод выполнен авторами статьи)



Рисунок 4. Этапы подбора публикаций (составлено авторами)

Результаты исследования и их обсуждение

Современные представления о строении и физиологии обонятельной системы

В последние годы опубликовано множество работ, посвященных строению или пониманию механизмов обоняния. Так Лейн Г. и его коллеги провели масштабное исследование по оценке имеющихся научных сведений по строению обонятельной системы человека [27]. Они изучали данные, которые известны о корковых структурах. Из их исследования следует, что наиболее подробно изучено строение только грушевидной коры, все остальные структуры нуждаются в морфологическом и топографическом уточнении, а также в более подробном изучении их участия в обработке обонятельных стимулов. Важно отметить, что это исследование было опубликовано в 2020 году. Вероятно, к 2025 году уже появились новые данные, которые могут закрыть пробелы, обнаруженные авторами.

Например, Кель М. и коллеги изучили активность нейронов миндалевидного тела, гиппокампа, пириформной и энторинальной коры при восприятии запахов у пациентов с эпилепсией [28]. Участникам предлагалось воспринимать и оценивать запахи, а также выполнять задания по их идентификации, что связывает обоняние с когнитивными процессами. Коллективом авторов были получены следующие результаты: миндалевидное тело играет роль в эмоциональной оценке запаха (приятный/неприятный), активность нейронов гиппокампа и энторинальной коры определяют успешность узнавания и идентификации запаха, нейроны пириформной коры активизируется при сопоставлении запаха с визуальным образом. Таким образом, частично они заполнили пробелы в знании об участии некоторых структур обонятельной системы в обработке запахов. Результаты этого исследования имеют важное значение для понимания нейрофизиологии восприятия запахов, памяти и эмоциональной обработки сигналов.

В дополнение к этому исследованию приведем работу Иравани Б. и соавторов. Они изучали процесс обработки валентности запаха в обонятельной луковице и влияние этой оценки на двигательное поведение человека [29]. Авторы пришли к следующим выводам: восприятие валентности запаха связана с гамма- и с бета-активностью в обонятельных

луковицах; неприятные запахи вызывают раннюю бета-активность, которая коррелирует с последовательной нейронной активностью в моторной коре; неприятные запахи провоцируют реакции избегания, выраженные в наклоне тела от источника запаха.

Мурата К. и его коллеги изучали роль эндогенных опиоидов обонятельного бугорка [30]. Они предположили, что эндогенные опиоиды обонятельного бугорка могут способствовать нейронной обработке удовольствия от еды через вкусовые ощущения, а также, что обонятельная дисфункция может привести к нарушению обработки, потенциально снижая качество жизни. На данный момент их теоретическое исследование имеет косвенные доказательства гипотезы, но данные нуждаются в экспериментальных подтверждениях. Таким образом, эта публикация открывает перспективные направления изучения роли обонятельного бугорка в обработке запахов.

Такеучи Х. больше акцентировал внимание на биохимических процессах, происходящих на ресничках обонятельного рецептора [22]. В своей статье он аккумулировал все имеющиеся данные про ионные механизмы деполяризации клетки, а также про процесс адаптации, приводящие к привыканию к обонятельному стимулу. Помимо этого, он рассмотрел маскировку запахов через подавление канала, управляемым циклическими нуклеотидами. Было известно 3 механизма дезодорирования: химический, физический и биологический. В химическом применяется катализатор, который расщепляет одорант, устраняя неприятный запах. Физический уменьшает число молекул путем адсорбции одорантов. Биологический применяет микроорганизмы для разложения одорантов. У этих трех механизмов цель — маскировка неприятных запахов, а Такеучи Х. предложил способ, при котором обонятельная маскировка снижает восприятие запахов, несмотря на присутствие пахучих веществ в нашем окружении через подавление работы неселективных катионных каналов. Однако тут же отмечает, что это может привести и к негативным последствиям, например, к потере вкуса.

Уилфорд К. предложил люминесцентную гипотезу обоняния [31]. Сначала он описывает все известные механизмы обоняния, а именно процесс активации обонятельного рецептора. По большей части распространена модель «формы»: она состоит в том, что молекула одоранта прикрепляется к рецептору по принципу «ключ к замку», после чего запускается каскад химических реакций. Далее описывается модель вибрации: одорант, встречаясь с рецептором, совершает колебательные движения, рецептор считывает эти вибрации, таким образом определяется запах. Следующая модель бесконтактной карты объединяет 2 предыдущие теории: одорант подходит к рецептору как ключ к замку, а затем происходит молекулярная вибрация, после считывается информация, схожим образом как это происходит при оплате банковской картой. Люминесцентная теория описывает механизм следующим образом: при контакте одоранта с рецептором выделяются фотоны, разные молекулы будут излучать волны разной волны, что будет интерпретироваться как разные запахи. Данное предположение построено на основе математической модели, при этом проведена параллель с восприятием зрительной информации. На данный момент в научном сообществе нет единого мнения о любой из существующих моделей, у каждой из них есть как сторонники, так и скептики.

Также было выявлено, что обонятельная система имеет более быструю и сильную связь с гиппокампом в сравнении с другими сенсорными системами [32]. Такие результаты объясняют почему запахи способны мгновенно вызывать давно забытые воспоминания, более того эти данные подтверждают эволюционную важность обоняния: скорость обработки обонятельной информации для принятия решений связана с выживанием, например, при обнаружении продуктов питания или опасности. В этом же исследовании было обнаружено, что даже в спокойном состоянии, без обонятельной задачи, пириформная кора активно взаимодействует с гиппокампом.

Есть исследования, в которых уточнена пространственно-временная активация нейронов при восприятии запахов [33]. Было обнаружено, что отклик нейронов на обонятельный стимул происходит в диапазоне от 100 до 350 мс в области первичных и вторичных обонятельных областей. При этом авторы отмечают, что активация сначала происходит в обонятельной коре, а после в других структурах, отвечающих за эмоциональную оценку и память (миндалевидное тело и гиппокамп). Также выявлено, что реакция на неприятные запахи происходит через 300 мс, а на приятные — через 500 мс.

Обоняние и здоровье

Физиология обонятельной системы указывает на то, что обоняние играет важную роль в когнитивных и эмоциональных процессах человека. Исследования показывают, что его нарушение может быть маркером нейродегенеративных и психиатрических расстройств [11–18; 34–37]. Например, изменения в обонятельной системе могут свидетельствовать о развитии болезни Альцгеймера и Паркинсона [11–14]. Более того, было доказано, что нарушения в обработке запахов могут корректироваться на ранних стадиях этих заболеваний и служить предикторами их развития [15].

Также нарушения в восприятии запахов наблюдаются при депрессии, шизофрении и биполярном расстройстве, что подтверждает ранее обнаруженную связь обонятельной системы с эмоциональной регуляцией [15–18; 34–37]. Исследования показывают, что у пациентов с шизофренией наблюдается резкое снижение чувствительности к запахам и обонятельные признаки, связанные с дисфункцией обонятельной луковицы и лобных отделов коры головного мозга [14]. Депрессия также сопровождается изменениями в обонятельном восприятии, включая снижение чувствительности к внешним запахам, что коррелирует с изменениями в лимбической системе, особенно в гиппокампе и миндалевидном теле [34]. Обонятельная дисфункция при депрессивных расстройствах может быть связана с гипоактивностью обонятельной луковицы и нарушениями в дофаминергической и серотонинергической системах [11]. Также были выявлены изменения в обонятельном восприятии у пациентов с биполярным расстройством, что отражает дисфункции фронтально-лимбических связей, ответственных за регуляцию эмоций и поведения [38].

Также было обнаружено, что изменения в экспрессии обонятельных рецепторов могут быть связаны с воспалительными процессами и аутоиммунными заболеваниями [38]. Например, обнаружено, что воспаление носовой полости может приводить к нарушениям восприятия запахов и быть ранним индикатором неврологических расстройств [34].

Приведенные исследования демонстрируют важность обоняния в контексте качества жизни, а также в области психического здоровья. Более того, эти данные открывают перспективные направления в изучении новых методов диагностики и лечения различных заболеваний.

Обоняние и его социальное значение

Запахи влияют на человека уже во время внутриутробного развития [3]. Во-первых, так плод знакомится с одорантами матери и ее молока, что имеет решающее значение для выживания и дальнейшему образованию привязанности [3; 4]. Во-вторых, так ребенок привыкает ко вкусам, которые были присущи рациону его матери в период беременности или лактации, что важно в момент отлучения от грудного кормления [3].

Робертс С. и коллеги подчеркивают, что за последние два десятилетия произошел всплеск исследований, которые доказывают, что люди обладают способностью обнаруживать

запахи, содержащие информацию об эмоциональном состоянии, и реагировать на них соответствующим образом [39]. Например, имеются данные, которые указывают на то, что запахи людей, имеющих заболевания, вызывают негативную оценку у окружающих, то есть запах передает информацию о состоянии здоровья [40]. Есть данные, которые показывают, что интенсивность страха кодируется в поту, и другими людьми это воспринимается как сигнал [41]. Результаты другого эксперимента указывают на то, что мозг сильно реагирует на сигналы мужской агрессии, у женщин это выражено в большей степени, чем у мужчин [42]. При этом позднее другими учеными было обнаружено, что женские слезы снижают уровень агрессии у мужчин [9].

Также ведутся исследования по выявлению влияния индивидуального запаха на выбор партнера. Можно выделить два основных направления: изучение белков главного комплекса гистосовместимости [7] и изучение феромонов человека [6]. На данный момент существенных доказательств в этой области нет. Однако есть публикации, в которых рассматриваются имеющиеся проблемы в этих направлениях, а также возможные пути решения [6].

Ограничения

Основным ограничением нашего обзора является использование публикаций, которые были представлены исключительно в открытом доступе, что могло существенно уменьшить охват и препятствовать более полному анализу современных исследований обоняния человека.

Выводы

Проведенный обзор позволяет сделать нам следующие выводы:

1. С точки зрения строения подробно изучены обонятельная луковица и пириформная кора.
2. Миндалевидное тело и обонятельная луковица принимают участие в определении валентности запаха. При этом отмечается более быстрая реакция на неприятные запахи, а затем следует реакция избегания.
3. Гиппокамп и энторинальная кора определяют успешность узнавания запаха. Более того обонятельная система имеет более быструю и сильную связь с гиппокампом, что объясняет почему запахи мгновенно вызывают воспоминания.
4. Пириформная кора активируется при сопоставлении запаха с изображением.
5. Подробно изучены биомолекулярные механизмы активации обонятельного рецептора.
6. Выявлена связь обонятельной дисфункции с нейродегенеративными заболеваниями (болезни Альцгеймера и Паркинсона) и психическими расстройствами (при депрессии, шизофрении и биполярном расстройстве).
7. Обоняние играет роль в формировании привязанности, с помощью запахов человек производит химическую коммуникацию.

А также позволяет обозначить перспективные направления в этой области:

1. Исследования строения и функционирования малоизученных структур обонятельной системы.
2. Изучение функции обонятельного бугорка в обработке запаха, а также роли его эндогенных опиоидов.

3. Маскировка запахов посредством влияния на ионные каналы ресничек обонятельного рецептора, а не на одорант неприятного запаха.
4. Определение модели активации обонятельного рецептора.
5. Ранние методы диагностики нейродегенеративных заболеваний, с помощью тестов на обоняние, и предупреждение их развития.
6. Исследования роли обоняния при выборе партнера.
7. Расширение знаний в области химической коммуникации между людьми.

ЛИТЕРАТУРА

1. Majid, A. Human Olfaction at the Intersection of Language, Culture, and Biology / A. Majid // Trends in Cognitive Sciences. — 2021. — Vol. 25, № 2. — DOI: 10.1016/j.tics.2020.11.005. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33349546/> (дата обращения: 02.12.2024).
2. McGann, J.P. Poor human olfaction is a 19th-century myth / J.P. McGann // Science. — 2017. — Vol. 356, № 6338. — DOI: 10.1126/science.aam7263. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28495701/> (дата обращения: 02.12.2024).
3. Schaal, B. Olfaction scaffolds the developing human from neonate to adolescent and beyond / B. Schaal, T.K. Saxton, H. Loos, R. Soussignan, K. Durand // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. — 2020. — Vol. 375, № 1800. — DOI: 10.1098/rstb.2019.0261. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32306879/> (дата обращения: 02.12.2024).
4. Cox, E. A comparative evaluation of the role of olfaction in attachment / E. Cox, K. Collins-Pisano, L. Montgomery, J.S. Katz // Animal Cognition. — 2024. — Vol. 27, № 1. — DOI: 10.1007/s10071-024-01891-5. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10071-024-01891-5> (дата обращения: 02.12.2024).
5. Roberts, S.C. Human olfactory communication: current challenges and future prospects / S.C. Roberts, J. Havlíček, B. Schaal // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. — 2020. — Vol. 375, № 1800. — DOI: 10.1098/rstb.2019.0258. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32306869/> (дата обращения: 02.12.2024).
6. Wyatt, T.D. Reproducible research into human chemical communication by cues and pheromones: learning from psychology's renaissance / T.D. Wyatt // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. — 2020. — Vol. 375, № 1800. — DOI: 10.1098/rstb.2019.0262. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7209928/> (дата обращения: 02.12.2024).
7. Havlíček, J. Major histocompatibility complex-associated odour preferences and human mate choice: near and far horizons / J. Havlíček, J. Winternitz, S.C. Roberts // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. — 2020. — Vol. 375, № 1800. — DOI: 10.1098/rstb.2019.0260. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32306884/> (дата обращения: 02.12.2024).
8. Ferdenzi, C. Interdisciplinary challenges for elucidating human olfactory attractiveness / C. Ferdenzi, S. Richard Ortégón, S. Delplanque, N. Baldovini, M. Bensafi // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. — 2020. — Vol. 375, № 1800. — DOI: 10.1098/rstb.2019.0268. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7209927/> (дата обращения: 02.12.2024).

9. Agron, S. A chemical signal in human female tears lowers aggression in males / S. Agron, C.A. de March, R. Weissgross, E. Mishor, L. Gorodisky, T. Weiss, E. Furman-Haran, H. Matsunami, N. Sobel // *PLoS Biology*. — 2023. — Vol. 21, № 12. — DOI: 10.1371/journal.pbio.3002442. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10734982/> (дата обращения: 02.12.2024).
10. Jaime-Lara, R.B. A systematic review of the biological mediators of fat taste and smell / R.B. Jaime-Lara, B.E. Brooks, C. Vizioli, M. Chiles et al. // *Physiological Reviews*. — 2023. — Vol. 103, № 1. — DOI: 10.1152/physrev.00061.2021. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9678415/> (дата обращения: 05.12.2024).
11. Fatuzzo, I. Neurons, Nose, and Neurodegenerative Diseases: Olfactory Function and Cognitive Impairment / I. Fatuzzo, G.F. Niccolini, F. Zoccali, L. Cavalcanti et al. // *International Journal of Molecular Sciences*. — 2023. — Vol. 24, № 3. — DOI: 10.3390/ijms24032117. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36768440/> (дата обращения: 05.12.2024).
12. Kovalová, M. Cognitive impairment, neurodegenerative disorders, and olfactory impairment: A literature review / M. Kovalová, N. Gottfriedová, E. Mrázková, V. Janout, J. Janoutová // *Otolaryngologia Polska*. — 2024. — Vol. 78, № 2. — DOI: 10.5604/01.3001.0053.6158. URL: <https://otolaryngologypl.com/article/536158/en> (дата обращения: 05.12.2024).
13. Dan, X. Olfactory dysfunction in aging and neurodegenerative diseases / X. Dan, N. Wechter, S. Gray, J.G. Mohanty, D.L. Croteau, V.A. Bohr // *Ageing Research Reviews*. — 2021. — Vol. 70. — DOI: 10.1016/j.arr.2021.101416. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S156816372100163X> (дата обращения: 05.12.2024).
14. Franco, R. The Olfactory Trail of Neurodegenerative Diseases / R. Franco, C. Garrigós, J. Lillo // *Cells*. — 2024. — Vol. 13, № 7. — DOI: 10.3390/cells13070615. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11012126/> (дата обращения: 05.12.2024).
15. Bratman, G.N. Nature and human well-being: The olfactory pathway / G.N. Bratman, C. Bembibre, G.C. Daily, R.L. Doty et al. // *Science Advances*. — 2024. — Vol. 10, № 20. — DOI: 10.1126/sciadv.adn3028. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11809653/> (дата обращения: 05.12.2024).
16. Athanassi, A. Relationship between depression and olfactory sensory function: a review / A. Athanassi, R. Dorado Doncel, K.G. Bath, N. Mandairon // *Chemical Senses*. — 2021. — Vol. 46. — DOI: 10.1093/chemse/bjab044. URL: <https://academic.oup.com/chemse/article/doi/10.1093/chemse/bjab044/6383453> (дата обращения: 06.12.2024).
17. Kim, B.Y. Olfactory Function and Depression: A Meta-Analysis / B.Y. Kim, J.H. Bae // *Ear, Nose & Throat Journal*. — 2025. — Vol. 104, № 1. — DOI: 10.1177/01455613211056553. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35360974/> (дата обращения: 06.12.2024).
18. Liu, D.T. Depression Symptoms and Olfactory-related Quality of Life / D.T. Liu, B. Prem, G. Sharma, J. Kaiser, G. Besser, C.A. Mueller // *Laryngoscope*. — 2022. — Vol. 132, № 9. — DOI: 10.1002/lary.30122. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lary.30122> (дата обращения: 06.12.2024).
19. Genovese, F. Quantifying Peripheral Modulation of Olfaction by Trigeminal Agonists / F. Genovese, J. Xu, M. Tizzano, J. Reisert // *Journal of Neuroscience*. — 2023. — Vol. 43, № 47. — DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0489-23.2023. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10669757/> (дата обращения: 12.12.2024).

20. Morrison, E.E. Morphology of the human olfactory epithelium / E.E. Morrison, R.M. Costanzo // *Journal of Comparative Neurology*. — 1990. — Vol. 297, № 1. — DOI: 10.1002/cne.902970102. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cne.902970102> (дата обращения: 15.12.2024).
21. Han, S.A. The Olfactory System: Basic Anatomy and Physiology for General Otorhinolaryngologists / S.A. Han, J.K. Kim, D.Y. Cho, Z.M. Patel, C.S. Rhee // *Clinical and Experimental Otorhinolaryngology*. — 2023. — Vol. 16, № 4. — DOI: 10.21053/ceo.2023.00185. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37669740/> (дата обращения: 15.12.2024).
22. Takeuchi, H. Olfactory cilia, regulation and control of olfaction / H. Takeuchi // *Physiological Reports*. — 2024. — Vol. 12, № 19. — DOI: 10.14814/phy2.70057. URL: <https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.14814/phy2.70057> (дата обращения: 15.12.2024).
23. Dikeçligil, G.N. What Does the Human Olfactory System Do, and How Does It Do It? / G.N. Dikeçligil, J.A. Gottfried // *Annual Review of Psychology*. — 2024. — Vol. 75. — DOI: 10.1146/annurev-psych-042023-101155. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37788573/> (дата обращения: 15.12.2024).
24. Wilson, D.A. Cortical odor processing in health and disease / D.A. Wilson, W. Xu, B. Sadrian, E. Courtiol et al. // *Progress in Brain Research*. — 2014. — Vol. 208. — DOI: 10.1016/B978-0-444-63350-7.00011-5. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444633507000115> (дата обращения: 16.12.2024).
25. Rolls, E.T. Orbitofrontal cortex neurons: role in olfactory and visual association learning / E.T. Rolls, H.D. Critchley, R. Mason, E.A. Wakeman // *Journal of Neurophysiology*. — 1996. — Vol. 75, № 5. — DOI: 10.1152/jn.1996.75.5.1970. URL: <https://journals.physiology.org/doi/abs/10.1152/jn.1996.75.5.1970> (дата обращения: 20.12.2024).
26. Marin, C. Olfactory Dysfunction in Mental Illness / C. Marin, I. Alobid, M. Fuentes, M. López-Chacón et al. // *Current Allergy and Asthma Reports*. — 2023. — Vol. 23, № 3. — DOI: 10.1007/s11882-023-01068-z. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11882-023-01068-z> (дата обращения: 20.12.2024).
27. Lane, G. Assessment of direct knowledge of the human olfactory system / G. Lane, G. Zhou, T. Noto, C. Zelano // *Experimental Neurology*. — 2020. — Vol. 329. — DOI: 10.1016/j.expneurol.2020.113304. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014488620301357> (дата обращения: 20.12.2024).
28. Kehl, M.S. Single-neuron representations of odours in the human brain / M.S. Kehl, S. Mackay, K. Ohla, M. Schneider et al. // *Nature*. — 2024. — Vol. 634, № 8034. — DOI: 10.1038/s41586-024-08016-5. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11485236/> (дата обращения: 20.12.2024).
29. Iravani, B. The human olfactory bulb processes odor valence representation and cues motor avoidance behavior / B. Iravani, M. Schaefer, D.A. Wilson, A. Arshamian, J.N. Lundström // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2021. — Vol. 118, № 42. — DOI: 10.1073/pnas.2101209118. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8545486/> (дата обращения: 20.12.2024).
30. Murata, K. Endogenous opioids in the olfactory tubercle and their roles in olfaction and quality of life / K. Murata, A. Maegawa, Y. Imoto, S. Fujieda, Y. Fukazawa // *Frontiers*

- in Neural Circuits. — 2024. — Vol. 18. — DOI: 10.3389/fncir.2024.1408189. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11170707/> (дата обращения: 20.12.2024).
31. Willeford, K. The Luminescence Hypothesis of Olfaction / K. Willeford // Sensors. — 2023. — Vol. 23, № 3. — DOI: 10.3390/s23031333. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9919928/> (дата обращения: 22.12.2024).
32. Zhou, G. Human hippocampal connectivity is stronger in olfaction than other sensory systems / G. Zhou, J.K. Olofsson, M.Z. Koubeissi, G. Menelaou et al. // Progress in Neurobiology. — 2021. — Vol. 201. — DOI: 10.1016/j.pneurobio.2021.102027. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301008221000411> (дата обращения: 22.12.2024).
33. Kato, M. Spatiotemporal dynamics of odor representations in the human brain revealed by EEG decoding / M. Kato, T. Okumura, Y. Tsubo, J. Honda et al. // Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2022. — Vol. 119, № 21. — DOI: 10.1073/pnas.2114966119. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9173780/> (дата обращения: 22.12.2024).
34. Yang, K. Unraveling the Link between Olfactory Deficits and Neuropsychiatric Disorders / K. Yang, C. Ayala-Grosso, J.P. Bhattarai, A. Sheriff et al. // Journal of Neuroscience. — 2023. — Vol. 43, № 45. — DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1380-23.2023. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10634556/> (дата обращения: 22.12.2024).
35. Brunert, D. The anterior olfactory nucleus revisited — An emerging role for neuropathological conditions? / D. Brunert, R. Medinaceli Quintela, M. Rothermel // Progress in Neurobiology. — 2023. — Vol. 228. — DOI: 10.1016/j.pneurobio.2023.102486. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301008223000874> (дата обращения: 22.12.2024).
36. Sabiniewicz, A. Symptoms of depression change with olfactory function / A. Sabiniewicz, L. Hoffmann, A. Haehner, T. Hummel // Scientific Reports. — 2022. — Vol. 12, № 1. — DOI: 10.1038/s41598-022-09650-7. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8983665/> (дата обращения: 27.12.2024).
37. Caretta, A. Not Only COVID-19: Involvement of Multiple Chemosensory Systems in Human Diseases / A. Caretta, C. Mucignat-Caretta // Frontiers in Neural Circuits. — 2022. — Vol. 16. — DOI: 10.3389/fncir.2022.862005. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9081982/> (дата обращения: 27.12.2024).
38. Roberts, S.C. Emotional expression in human odour / S.C. Roberts, J. Třebická Fialová, A. Sorokowska, B. Langford et al. // Evolutionary Human Sciences. — 2022. — Vol. 4. — DOI: 10.1017/ehs.2022.44. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10426192/> (дата обращения: 06.01.2025).
39. Sarolidou, G. People expressing olfactory and visual cues of disease are less liked / G. Sarolidou, J. Axelsson, B.A. Kimball, T. Sundelin et al. // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. — 2020. — Vol. 375, № 1800. — DOI: 10.1098/rstb.2019.0272. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7209934/> (дата обращения: 06.01.2025).
40. de Groot, J.H.B. Encoding fear intensity in human sweat / J.H.B. de Groot, P.A. Kirk, J.A. Gottfried // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. — 2020. — Vol. 375, № 1800. — DOI: 10.1098/rstb.2019.0271. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7209933/> (дата обращения: 06.01.2025).

41. Pause, В.М. Chemosensory communication of aggression: women's fine-tuned neural processing of male aggression signals / В.М. Pause, D. Storch, К.Т. Lübke // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. — 2020. — Vol. 375, № 1800. — DOI: 10.1098/rstb.2019.0270. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7209929/> (дата обращения: 06.01.2025).
42. Loos, Н.М. Past, Present, and Future of Human Chemical Communication Research / Н.М. Loos, В. Schaal, В.М. Pause, М.А.М. Smeets et al. // Perspectives on Psychological Science. — 2025. — Vol. 20, № 1. — DOI: 10.1177/17456916231188147. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11720269/> (дата обращения: 06.01.2025).

Troshkova Polina Adimanovna

Herzen State Pedagogical University
Saint Petersburg, Russia
E-mail: kvpps@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4742-2035>

RSCI https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1243546

Nikiforova Svetlana Nikolaevna

Herzen State Pedagogical University
Saint Petersburg, Russia
E-mail: sveniks75@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3412-6635>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=395836

Contemporary research in the human olfactory system: a review of international sources

Abstract. Human olfaction is a complex system that plays a crucial role in environmental perception and influences various mental and physiological processes. The sense of smell is closely linked to emotions, memory, and behavior, which is determined by the physiology of the olfactory system, including the involvement of the amygdala, hippocampus, piriform cortex, and entorhinal cortex. Although olfaction was previously considered to have little significance for humans, recent studies have challenged this stereotype. This review aims to analyze and systematize data from international studies on the functioning of the human olfactory system published in the ScienceDirect, PubMed, Springer Nature, and Wiley databases over the past five years, as well as to identify promising areas for further research. The authors examine contemporary perspectives on the structure and function of the olfactory system, mechanisms of olfactory information processing, and their alterations in pathological conditions. Special attention is given to the relationship between olfactory dysfunction and neurodegenerative diseases such as Alzheimer's and Parkinson's, as well as psychiatric disorders including depression, schizophrenia, and bipolar disorder. Additionally, the role of olfactory cues in interpersonal chemical communication throughout human ontogenesis is discussed. The analysis enables the systematization of existing data and highlights promising directions for further interdisciplinary research at the intersection of neurobiology, medicine, and psychophysiology.

Keywords: olfaction; olfactory system; odor; chemoreception; chemosignal; odorant hippocampus