

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ПЫЛЬЦЕВОГО МОНИТОРИНГА

Лебедев Г.С., Юхновская Ю.Д., Гостеева Е.А., Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, г. Москва

Родионов А.С., БГУ им Доржи Банзарова, г. Улан-Удэ

Боева О.С., ФГБНУ «Научно-исследовательский институт фундаментальной и клинической иммунологии», г. Новосибирск

Ханчук И.В., Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, г. Москва

Яворская А.В., ФГБОУ ВО АМУРСКАЯ ГМА, г. Благовещенск

Флорен А.М., Сафарова Д.Д., СПбГУ, г. Санкт-Петербург

Целью исследования является повышение осведомленности о проблеме аллергии на пыльцу и важности использования современных технологий на основе искусственного интеллекта для мониторинга и контроля аллергенов в окружающей среде.

Анализ и поиск литературы был выполнен с использованием основных зарубежных и отечественных источников в общедоступных научных базах данных: PubMed, Cochrane, Elibrary. В качестве ключевых слов использовались: «Пыльцевой мониторинг», «Обнаружение пыльцы», «Распознавание пыльцы», “AI pollen identification”.

Результаты: автоматизированный процесс мониторинга пыльцы включает 4 основных этапа: сбор данных, обнаружение, классификация и распространение результатов (публикация отчетов, в сети Интернет). Описанный метод может быть применен для распознавания образцов пыльцы, не поддающихся микроскопической идентификации.

Проведенный литературный анализ подтверждает необходимость разработки автоматизированных систем мониторинга, работающих в реальном времени с минимальным включением человека в процесс диагностики.

Ключевые слова: пыльцевой мониторинг, мониторинг качества воздуха, анализ изображений на основе искусственного интеллекта, прогнозирование концентрации пыльцы.

Цитирование: Лебедев Г.С., Юхновская Ю.Д., Гостеева Е.А., Родионов А.С., Боева О.С., Ханчук И.В., Яворская А.В., Флорен А.М., Сафарова Д.Д. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 5 (86). С. 99–103.

ВВЕДЕНИЕ

Аллергия на пыльцу считается серьезной проблемой здравоохранения, так как может инициировать аллергию у сенсibilизированных людей и впоследствии влиять на качество жизни пациентов. Поэтому сегодня пыльцу рассматривают как «биологический загрязнитель», так как она снижает качество жизни у пациентов с различными аллергическими заболеваниями. По оценкам, 100 миллионов граждан ЕС страдают аллергическим ринитом, а 70 миллионов – астмой, при этом прогнозируется, что к 2025 году им будет поражено более половины населения ЕС (EAACI (European Academy of Allergy and Clinical Immunology), 2015). Из-за больших размеров пыльцы она попадает на слизистые участки носоглотки, но и субмикронные частицы могут все

же проникнуть в верхние дыхательные пути, вызывая обострение астмы или других аллергических заболеваний [1]. По оценкам, в глобальном масштабе полмиллиарда человек страдают ринитом и более 300 миллионов – астмой (GBD Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators, 2017). Количество пыльцевых аллергенов на сегодняшний день и в ближайшем будущем уменьшаться не будет, следовательно, необходимо усиливать меры по оптимизации профилактических мер для борьбы с различными типами аллергенов [1, 2]. С учетом масштаба проблемы и отсутствия тенденции к снижению количества пыльцевых аллергенов в окружающей среде актуальной задачей становится развитие эффективных систем мониторинга и прогнозирования концентрации пыльцы. Такие системы позволяют своевременно информировать население о потенциаль-

ных рисках и принимать профилактические меры для защиты здоровья людей с аллергией.

Так как пыльца является основной причиной аллергических заболеваний, необходимо проводить аллергомониторинг (аэриобиологический мониторинг) и быть готовыми принимать меры в случае повышения концентрации пыльцы в атмосфере [3]. Перспективным на сегодня является анализ аллергенов на основе результатов распознавания пыльцевых зерен, собранных в определенном месте. Пыльца собирается, анализируется с помощью искусственного интеллекта, и на основе полученных данных создают прогноз о концентрации высокоаллергенной пыльцы для людей с гиперчувствительностью 1 типа (IgE-опосредованной) [4]. Однако некоторые виды пыльцы имеют сходную структуру, но существенные различия во внутренней структуре, поэтому такой вид пыльцы распознают с помощью микроскопа, используя искусственный интеллект [5, 6].

Целью данной работы является повышение осведомленности о проблеме аллергии на пыльцу и важности использования современных технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ), для мониторинга и контроля аллергенов в окружающей среде.

В данной статье мы рассмотрим международный опыт применения систем пыльцевого мониторинга с использованием ИИ. Будут проанализированы различные методы и технологии, применяемые в разных странах, а также их эффективность и перспективы развития. Особое внимание будет уделено вопросам интеграции ИИ-систем с другими источниками данных, такими как метеорологические наблюдения, для повышения точности прогнозов и улучшения качества жизни людей с аллергией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ и поиск литературы был выполнен с использованием основных зарубежных и отечественных источников в общедоступных научных базах данных: PubMed, Cochrane, Elibrary. Различные фильтры по языку, году и стране публикации не применялись. Были исключены документы конференций, письма. В качестве ключевых слов использовались: «Пыльцевой мониторинг», «Обнаружение пыльцы», «Распознавание пыльцы», «AI pollen identification».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первые исследования в области обнаружения пыльцы в воздухе проводились еще в 1950-х годах. Д.М. Хирст в 1952 г. разработал устройство для «отлова» пыльцы из окружающего воздуха, которое состояло из трех блоков. Уже на тот момент исследователи и ученые осознавали необходимость организации мониторинга уровня пыльцы в воздухе, важность детекции пыльцы. Знания о содержании спор

в воздухе важны для изучения эпидемиологии заболеваний, таких как бронхиальная астма, аллергический ринит, аллергический конъюнктивит [7]. С течением времени исследовательское сообщество проводило исследования по пыльцевому мониторингу, изменялись принципы построения пыльцевых ловушек, модифицировались и дополнялись подходы к сбору и анализу полученных элементов.

На сегодняшний день в автоматизированном процессе мониторинга пыльцы существует 4 основных этапа. Первый этап (сбор) представляет собой отбор проб воздуха из окружающей среды с помощью автоматического зонда. На втором этапе (обнаружение) определяются объекты внутри каждого зонда. Далее на третьем этапе (классификация) полученные объекты классифицируются либо как «не пыльца», либо как определенный тип пыльцы, затем проанализированные элементы подсчитываются. На завершающем четвертом этапе (распространение) результаты публикуются в сети Интернет [8].

Еще одно различие между биологическим и небактериальным мониторингом качества воздуха заключается в том, что небактериальные частицы по закону собираются в виде частиц размером < 10 мкм или меньше (PM10, PM2,5), тогда как биологические частицы часто > 10 мкм. Данное различие в размерах пыльцевых элементов значительно усложняет сбор и анализ полученных частиц с помощью цифровых инструментов (машинное обучение, искусственный интеллект) [9].

В 2013 г. было инициировано регулярное проведение пыльцевого мониторинга в г. Бухарест, Румыния. Результаты анализа пятилетнего пыльцевого мониторинга показали наличие значительного количества аллергенной пыльцы, в основном пыльцы трав и амброзии полыннолистной. Ранее считалось, что указанная пыльца более распространена в западных регионах страны и сельской местности. Также по результатам исследования был охарактеризован сезон цветения причинно-значимых аллергенов, были сделаны выводы об уровнях концентрации пыльцы. Однако авторы исследования заявляют, что несмотря на полученные результаты все еще необходимы более длительный период мониторинга и корреляция с данными о состоянии здоровья, полученными от алергологов, и другими компонентами загрязнения воздуха [10].

С весны 2015 г. на юге Германии в Баварском управлении по охране окружающей среды в Аугсбурге, Бавария, реализован автоматический мониторинг пыльцы в воздухе при помощи биоаэрозольного анализатора BAA5002. Данный прибор непрерывно отбирает пробы окружающего воздуха. Далее пыльца оседает на липкую поверхность и автоматически анализируется под микроскопом, который оснащен камерой. Затем создаются изображения пыльцы и сравниваются с библиотекой известных образцов [8]. Оте-

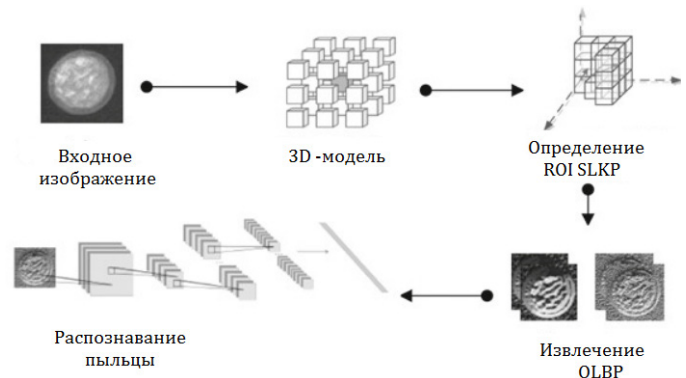
рос и др. [11] провели исследование, оценивающее надежность и производительность биоаэрозольного анализатора, и, как сообщается, получили исключительные результаты. В работе Плаза М.П. и соавторов протестировано 15 различных морфотипов пыльцы на двух разных участках. По результатам анализа выявлено, что в целом производительность аппарата на удовлетворительном уровне, однако все еще возникают проблемы с надежностью и точностью для конкретных типов пыльцы [1].

Стоит отметить важность методов обработки полученных пыльцевых карт с использованием технологии искусственного интеллекта. Безусловно, на сегодняшний момент существуют некоторые сложности в идентификации и соотношении к таксономическим группам конкретных пыльцевых частиц. М. Поллинг и соавторы, используя комбинацию рабочего процесса обработки изображений и достаточно подготовленную модель глубокого обучения, смогли отличить неацетилизированные пыльцевые зерна двух родов и одного вида семейства крапивных. Данные роды растений невозможно отличить с помощью современных микроскопических методов. Описанный метод может быть более широко применен для выделения пыльцы из аналогичных семейств растений, вызывающих аллергию, и может помочь в получении более точных спектров пыльцы для улучшения прогнозов для людей, страдающих аллергией [12].

Реализация процесса распознавания пыльцы на основе методов ИИ представлена на рисунке. Авторы анонсируют подход как эффективный и надежный алгоритм для идентификации различных категорий пыльцевых зерен [5]. В начале обнаруживаются локальные стабильные области изображений пыльцы из пространственного локального ключевого дескриптора (SKLP) [13] в качестве входных данных следующего этапа. Затем вычисляется перекрывающийся локальный бинарный шаблон (OLBP)¹ [14] изображения пыльцы путем расширения области фокусировки локальных стабильных областей, упомянутых выше. Наконец, обработанный признак используется в качестве входных данных сверточной нейронной сети для определения категории объекта. Экспериментальные результаты на стандартных наборах данных изображений пыльцы показывают, что предлагаемый метод устойчив к изменению положения пыльцевых зерен и может эффективно снизить сложность рассматриваемых алгоритмов.

Важно развивать дальнейшие исследовательские проекты и междисциплинарное сотрудничество с национальными и европейскими учреждениями и специалистами, чтобы снизить бремя пыльцевой аллергии и улучшить общественное здравоохранение [10].

Проанализировав опыт проведенных исследований, научное сообщество смогло разработать минимальные тре-



Структура модели распознавания пыльцы на основе методов ИИ

бования для биомониторинга. Данные требования охватывают различные области. Первое требование касается расположения пробоотборника – необходимо располагать аппаратуру на легкодоступной плоской горизонтальной поверхности, желательно на крыше здания далеко от края постройки, чтобы скорость потока была не менее 10 л/мин. Дальнейшее внимание уделяется материалам, используемым для фиксации пыльцевых элементов: рекомендовано использование силиконового клея (полидиметилсилоксана) или вазелина (можно использовать смесь вазелина и парафина), подложка должна состоять из глицерина, желатина или поливинилового спирта. Так же не рекомендуется окрашивание полученных срезов, однако возможно применение фуксина или сафранина. Что касается непосредственно исследуемого материала – поверхность, которая подвергается анализу, должна составлять не менее 10 % от общей площади препарата с пыльцой. Помимо вышеописанных технических критериев звучат и такие, как: обучение специалистов, контроль качества [15].

Ожидается, что новое поколение автоматизированных систем мониторинга пыльцы в режиме реального времени будет служить очень важной социальной цели: они станут основой профилактики аллергических заболеваний [1]. Если мы примем во внимание драматические последствия продолжающегося изменения климата для пыльцевых сезонов, смещение их на более ранний период в течение поздних зимних сезонов распространения вирусов и увеличение их интенсивности, разработка оперативных систем автоматического мониторинга пыльцы представляется актуальной и имеющей множество потенциальных применений и преимуществ для здоровья населения [16,17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пыльцевой мониторинг является одним из основных направлений развития таких наук как палинология и аллергология. На сегодняшний день уже разработаны и стандартизированы системы по отбору, обработке и анализу пыльцевых зерен. Однако проведенный литературный

¹ OLBP (от англ.) – OverLapping Local Binary Pattern.

анализ подтверждает необходимость разработки автоматизированных систем мониторинга, работающих в реальном времени с минимальным включением человека в процесс диагностики. Подобные системы позволят не только ускорить процесс проведения анализа отобранного материала, но также унифицировать его и закрепить качество на высоком уровне. Актуальность данного направления будет только расти с наступающими изменениями

климата и ростом числа страдающих аллергией и астмой по всему миру [18].

Рецензент: Журавлева Тамара Борисовна, доктор экономических наук, профессор, зав. отделом аспирантуры ФГБУ «НИЦИ МИД России», г. Москва, Российская Федерация. E-mail: 195555@list.ru

References

1. Plaza M.P., Kolek F., Leier-Wirtz V., et al. Detecting airborne pollen using an automatic, real-time monitoring system: evidence from two sites. *International journal of environmental research and public health*. 2022; 19(4):2471.
2. Goyal A., Khaiwal R., Mor S. Role of winds and air masses in the transport of non-local pinus sp. pollen at an urban location in North India: A statistical perspective. *Atmospheric Pollution Research*. 2024;15(3):102014.
3. Charalampopoulos A., Damialis A., Lazarina M., et al. Spatiotemporal assessment of airborne pollen in the urban environment: The pollenscape of Thessaloniki as a case study. *Atmospheric Environment*. 2021; 247:118185.
4. Pointner L., Bethanis A., Thaler M., et al. Initiating pollen sensitization – complex source, complex mechanisms. *Clinical and Translational Allergy*. 2020;10(1):36.
5. Wang Z., Wang Z., Wang L. Automatic 3D pollen recognition based on convolutional neural network. *Scientific Programming*. 2021; 1:5577307.
6. Viertel P., König M. Pattern recognition methodologies for pollen grain image classification: A survey. *Machine Vision and Applications*. 2022;33(1):18.
7. Hirst J.M. An automatic volumetric spore trap. *Annals of Applied Biology*. 1952; 39(2): 257–265.
8. Schiele J., Rabe F., Schmitt M., et al. Automated classification of airborne pollen using neural networks. In 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 2019, pp. 4474–4478.
9. Buters J.T., Antunes C., Galveias A., et al. Pollen and spore monitoring in the world. *Clinical and Translational Allergy*. 2018; 8(1): 9.
10. Leru P.M., Eftimie A.M., Anton V.F., Thibaudon M. Five-year data on pollen monitoring, distribution and health impact of allergenic plants in Bucharest and the southeastern region of Romania. *Medicina*. 2019;55(5): 140.
11. Oteros J., Pusch G., Weichenmeier I., et al. Automatic and online pollen monitoring. *International archives allergy immunol*. 2015;167(3): 158–166.
12. Polling M., Li C., Cao L., et al. Neural networks for increased accuracy of allergenic pollen monitoring. *Scientific Reports*. 2021. T. 11, № 1. Art 11357.
13. Wang Z., Bao W., Lin D., Wang Z. A local feature descriptor based on sift for 3D pollen image recognition. *IEEE Access*. 2019;7: 152658–152666.
14. Xie Y., Wang Z., Zhao X., Zhu Y. Orientational local binary pattern extraction method for 3D pollen image. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*. 2018; 30(3): 408.
15. Galán C., Smith M., Thibaudon M., et al. Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis. *Aerobiologia*. 2014; 30(4): 385–395.
16. Ziska L.H., Makra L., Harry S.K., et al. Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis. *The Lancet Planet Health*. 2019;3(3): 124–131.
17. Anderegg W.R., Abatzoglou J.T., Anderegg L.D., et al. Anthropogenic climate change is worsening North American pollen seasons. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2021;118(7): e2013284118.
18. Warner JO, Kaliner MA, Crisci CD, et al. Allergy practice worldwide: a report by the World Allergy Organization Specialty and Training Council. *International archives of allergy and immunology*. 2006;139(2): 166–74.

INTERNATIONAL EXPERIENCE OF USING POLLEN MONITORING SYSTEMS

Lebedev G.S., Yukhnovskaya Y.D., Gosteeva E.A., I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenovskiy University), Moscow

Rodionov A.S., Buryat State University named after D. Banzarov, Ulan-Ude

Boeva O.S., Federal State Budgetary Scientific Institution «Research Institute of Fundamental and Clinical Immunology», Novosibirsk

Khanchuk I.V., I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenovskiy University), Moscow

Yavorskaya A.V., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Amur State Medical Academy» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Blagoveshchensk

Floren A.M., Safarova D.D., Saint Petersburg State University, St. Petersburg

The aim of the study is to raise awareness about the problem of pollen allergy and the importance of using modern artificial intelligence-based technologies to monitor and control allergens in the environment.

The analysis and literature search were performed using the main foreign and domestic sources in publicly available scientific databases: PubMed, Cochrane, Elibrary. The keywords used were: "Pollen monitoring", "Pollen detection", "Pollen recognition", "AI pollen identification".

Results: The automated pollen monitoring process includes 4 main stages: data collection, detection, classification and dissemination of results (publication of reports on the Internet). The described method can be used to recognize pollen samples that are not amenable to microscopic identification.

The literature analysis confirms the need to develop automated monitoring systems operating in real time with minimal human involvement in the diagnostic process.

Keywords: pollen monitoring, air quality monitoring, artificial intelligence-based image analysis, and pollen concentration prediction.

For citation: Lebedev G.S., Yukhnovskaya Y.D., Gosteeva E.A., Rodionov A.S., et al. International experience of using pollen monitoring systems. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2025; 5 (86): 99–103. (In Russ.).