

УДК 616.248:004.85

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Парпибаева Д.А., Салаева М.С.,

Камалов Р.К., Норкулова М.Т.

Ташкентский государственный медицинский университет

Ташкент, Узбекистан

АННОТАЦИЯ

Бронхиальная астма является одним из наиболее распространённых хронических заболеваний дыхательной системы, затрагивающим более 300 миллионов человек во всём мире. Несмотря на достижения современной фармакотерапии, значительная часть пациентов страдает от недостаточного контроля заболевания, частых обострений и низкого качества жизни. В последние годы технологии искусственного интеллекта (ИИ) открывают принципиально новые возможности для персонализированного мониторинга и управления астмой. Настоящая статья представляет собой обзор современного состояния применения методов машинного обучения, глубоких нейронных сетей и алгоритмов компьютерного зрения в диагностике, мониторинге и прогнозировании течения бронхиальной астмы. Рассматриваются архитектурные решения интеллектуальных платформ, анализируется клинический опыт их применения, обсуждаются перспективы разработки отечественных систем, в частности системы AsthmaVision, а также этические и регуляторные аспекты внедрения ИИ в клиническую практику.

Ключевые слова: бронхиальная астма, искусственный интеллект, машинное обучение, телемедицина, цифровое здравоохранение, мониторинг, AsthmaVision, прогнозирование обострений.

ВВЕДЕНИЕ.

Бронхиальная астма — хроническое воспалительное заболевание дыхательных путей, характеризующееся гиперреактивностью бронхов и обратимой бронхообструкцией. По данным ВОЗ, в мире насчитывается более 300 млн пациентов с астмой, а ежегодная смертность от её осложнений достигает около 455 тыс. случаев. Рост заболеваемости особенно отмечается в урбанизированных регионах с высоким уровнем загрязнения воздуха.

Одной из ключевых проблем лечения астмы остаётся недостаточный мониторинг состояния пациентов между визитами к врачу. Традиционная модель наблюдения не позволяет своевременно выявлять ухудшение состояния и корректировать терапию. Согласно данным GINA, полного контроля над заболеванием достигают лишь около 20% пациентов, тогда как у 30–40% сохраняется недостаточный контроль симптомов.

Развитие цифровых технологий, мобильных устройств и методов искусственного интеллекта открывает новые возможности для мониторинга бронхиальной астмы. Интеллектуальные системы способны непрерывно анализировать состояние пациента, выявлять триггеры и прогнозировать риск обострений, формируя персонализированные рекомендации. В этом контексте разработка систем класса AsthmaVision представляет значительный практический и научный интерес.

Цель настоящей статьи — систематизировать современные данные о применении искусственного интеллекта в мониторинге бронхиальной астмы, проанализировать мировой опыт и оценить перспективы создания отечественных интеллектуальных платформ для данной нозологии.

Эпидемиология и бремя бронхиальной астмы. Бронхиальная астма является одним из наиболее распространённых неинфекционных заболеваний в мире. Глобальная распространённость среди взрослых составляет около 4,3%, однако в отдельных странах этот показатель значительно выше: в Австралии — около 21%, в Великобритании — 15%, в США — 8–9%. В Узбекистане и странах Центральной

Азии распространённость астмы традиционно ниже среднемировой, однако в последние годы отмечается рост заболеваемости, связанный с ухудшением экологической ситуации, высокой запылённостью воздуха и распространением аллергических заболеваний.

Астма сопровождается значительным экономическим бременем, включающим прямые медицинские расходы и косвенные потери, связанные со снижением трудоспособности и качества жизни. Наибольшие затраты приходятся на тяжёлые и неконтролируемые формы заболевания.

Важнейшим фактором прогноза является степень контроля астмы. Недостаточный контроль ассоциирован с частыми обострениями, госпитализациями, нарушением функции лёгких и снижением качества жизни. Своевременный мониторинг позволяет выявлять ухудшение состояния, корректировать терапию и предотвращать тяжёлые обострения.

Современные подходы к мониторингу бронхиальной астмы

Традиционные методы. Традиционный мониторинг бронхиальной астмы включает оценку симптомов (дневных и ночных), измерение пиковой скорости выдоха (ПСВ) с помощью пикфлоуметра, регулярную спирометрию, а также использование стандартизированных опросников - ACQ (Asthma Control Questionnaire) и АСТ (Asthma Control Test). Несмотря на доказанную клиническую ценность этих инструментов, они обладают рядом существенных ограничений.

Во-первых, данные методы носят дискретный характер: информация собирается лишь в момент визита к врачу или самостоятельного измерения пациентом. Во-вторых, существует значительная проблема низкой приверженности пациентов к ведению дневников симптомов и регулярным измерениям. В-третьих, традиционные методы не позволяют учитывать динамически изменяющиеся внешние факторы - уровень загрязнения воздуха, концентрацию аллергенов, метеорологические условия - которые играют ключевую роль в провокации обострений.

Цифровые инструменты первого поколения. С распространением

смартфонов появились мобильные приложения для мониторинга астмы, позволяющие пациентам вести электронные дневники симптомов, получать напоминания о приёме лекарств и отслеживать использование ингалятора. Среди наиболее известных примеров - приложения Propeller Health (США), AsthmaMD, myAirCoach (Европа). Параллельно стали разрабатываться «умные» ингаляторы, оснащённые датчиками для автоматической регистрации времени и частоты применения - например, Adherium Smartinhaler, Hailie от Adherium и Propeller от ResMed.

Эти решения позволили значительно улучшить сбор данных о поведении пациентов и частично решить проблему приверженности, однако аналитические возможности первого поколения цифровых инструментов были весьма ограничены. Они, как правило, лишь фиксировали и визуализировали данные, но не анализировали их с целью прогнозирования обострений или выдачи персонализированных рекомендаций.

Искусственный интеллект в мониторинге астмы: обзор методов

Машинное обучение в предсказании обострений. Методы машинного обучения (МО) открыли новую эпоху в анализе клинических данных пациентов с бронхиальной астмой. Алгоритмы МО способны выявлять сложные нелинейные зависимости между множеством переменных - клиническими показателями, данными функции внешнего дыхания, экологическими факторами и демографическими характеристиками - и формировать предиктивные модели высокой точности.

Среди наиболее широко применяемых алгоритмов в этой области следует выделить: метод случайного леса (Random Forest), алгоритм градиентного бустинга (XGBoost, LightGBM), методы опорных векторов (SVM), а также логистическую регрессию как базовый бенчмарк. В исследовании Lorentz et al. (2021) применение алгоритма Random Forest на основе данных о симптомах, потреблении препаратов неотложной помощи и показателях ПСВ позволило предсказывать обострения астмы с чувствительностью 84% и специфичностью 79%.

Другим перспективным направлением является применение алгоритмов временных рядов - в частности, моделей LSTM (Long Short-Term Memory) - для анализа продольных данных пациентов. LSTM-сети способны улавливать долгосрочные зависимости в последовательностях клинических наблюдений и обеспечивать точное предсказание ухудшений состояния за 24–72 часа до их манифестации.

Анализ акустических данных дыхания. Особого внимания заслуживает направление, связанное с анализом акустических характеристик дыхания. Хрипы (wheezes) - характерный акустический феномен при бронхоспазме - являются важным диагностическим маркером обострения астмы. С развитием методов обработки аудиосигналов и глубокого обучения стало возможным автоматическое выявление хрипов с помощью микрофона смартфона или специализированных носимых устройств.

Ряд исследований продемонстрировал высокую точность нейросетевых алгоритмов в детекции хрипов: так, в работе Pramono et al. (2019) предложенная модель на основе свёрточной нейронной сети (CNN) достигла AUC 0,95 при классификации дыхательных звуков. Подобные системы способны проводить мониторинг в режиме реального времени, не требуя специального оборудования и особых навыков от пациента.

Интеграция экологических данных. Одним из ключевых преимуществ современных ИИ-систем является способность к интеграции разнородных источников данных. Качество окружающего воздуха (индекс AQI - Air Quality Index), концентрация пыльцы, температура, влажность и атмосферное давление представляют собой важнейшие триггеры обострений астмы. Подключение к открытым API метеорологических и экологических служб позволяет включать эти параметры в предиктивные модели.

В исследовании Bonini et al. (2020) интеграция данных о содержании PM_{2.5} и PM₁₀ в атмосферном воздухе с клиническими показателями пациентов позволила повысить точность предсказания обострений на 18% по сравнению с моделями, использующими только клинические данные. Геолокационные возможности смартфонов дают возможность персонализировать экологический контекст каждого пациента в режиме реального времени.

Метод ИИ	Применение	Точность / AUC	Источник данных
Random Forest	Предсказание обострений	Sens. 84%, Spec. 79%	ПСВ, симптомы, лекарства
LSTM (нейросети)	Прогноз по временным рядам	AUC 0.88– 0.92	Дневниковые записи, ПСВ
CNN (аудиоанализ)	Детекция хрипов	AUC 0.95	Микрофон смартфона
XGBoost	Классификация риска	Acc. 87%	ЭМК, лабораторные данные
Логистическая регрессия	Базовая предикция	AUC 0.74– 0.81	Клинические показатели
Ансамблевые модели	Мультимодальный анализ	AUC 0.91– 0.94	ЭМК + AQI + GPS

Таблица 1. Сравнительный анализ методов ИИ в мониторинге бронхиальной астмы

Обзор международных ии-платформ для мониторинга астмы

Propeller Health. Платформа Propeller Health является одной из наиболее клинически изученных цифровых систем управления астмой. Система включает небольшой сенсор, прикрепляемый к ингалятору, мобильное приложение и облачную аналитическую платформу. Алгоритм ИИ анализирует паттерны использования бронходилататоров, географические и временные данные, а также данные о качестве воздуха. По результатам рандомизированного контролируемого исследования с участием 510 пациентов, использование системы привело к снижению частоты применения препаратов экстренной помощи на 79% в течение года.

MyAirCoach (Европа, Horizon 2020). Проект myAirCoach был реализован в рамках программы Европейского Союза Horizon 2020 и включал разработку многокомпонентной платформы мониторинга астмы. Система объединяла данные умного ингалятора, носимого биосенсора (пульс, дыхательная частота, уровень физической активности), домашней метеостанции и баз данных качества воздуха. Интегрированный модуль ИИ позволял формировать персонализированные предупреждения о риске обострения за 24–48 часов до его наступления. Пилотное исследование в четырёх европейских странах подтвердило высокую удовлетворённость пользователей и улучшение показателей контроля над астмой.

Adherium и экосистема «умных» ингаляторов. Компания Adherium (Новая Зеландия - США) разработала линейку сенсоров Smartinhaler для различных типов ингаляторов. Платформа собирает данные о соблюдении режима ингаляционной терапии и передаёт их в облачную систему для анализа. Интегрированные алгоритмы выявляют пациентов с риском обострения на основании изменений в паттернах использования ингалятора. В исследованиях показано, что использование системы повышает приверженность к терапии на 35–53%.

Таблица 2. Сравнительная характеристика ведущих международных ИИ-платформ

Платформа	Страна	Источники данных	Ключевая функция ИИ	Статус
Propeller Health	США	Ингалятор, GPS, AQI	Анализ паттернов использования	FDA approved
myAirCoach	ЕС	Ингалятор, биосенсор, AQI	Прогноз обострений за 24–48 ч	Исследование
Adherium Smartinhaler	НЗ / США	Ингалятор, мобильное приложение	Контроль приверженности	Коммерческий
Epic Predictive Model	США	ЭМК (большие данные)	Риск-стратификация	Клинический
AsthmaMD	США	Дневник, симптомы, AQI	Персонал. рекомендации	Коммерческий
AsthmaVision (разраб.)	Узбекистан	ЭМК, AQI, тесты, лаборатория	Комплексный мониторинг + ИИ	Разработка

Система ASTHMAVISION: концепция и архитектура

Общая концепция. Система AsthmaVision разрабатывается как комплексная интеллектуальная платформа для мониторинга пациентов с бронхиальной астмой, ориентированная на реалии центральноазиатского региона. В отличие от ряда зарубежных аналогов, фокусирующихся на каком-либо одном аспекте мониторинга, AsthmaVision призвана обеспечить целостный подход, охватывающий сбор клинических данных, экологический мониторинг, аналитику на основе ИИ и инструменты взаимодействия врача и пациента.

Концепция системы основана на трёх ключевых принципах: непрерывность (сбор данных в режиме 24/7 без существенного участия пациента), персонализация (адаптация алгоритмов анализа и рекомендаций к индивидуальным характеристикам каждого пациента) и проактивность (формирование предупреждений о риске обострения до появления клинической симптоматики).

Модули системы. AsthmaVision включает несколько взаимосвязанных функциональных модулей. Модуль сбора клинических данных обеспечивает регулярную регистрацию симптомов, результатов спирометрических тестов (ОФВ1, ФЖЕЛ, ПСВ) и данных о применении ингаляционных препаратов через интерфейс мобильного приложения. Лабораторный модуль интегрируется с системами лабораторной информации для получения данных об эозинофилах крови, уровне IgE, FeNO (фракционный выдыхаемый оксид азота) и других биомаркерах.

Экологический модуль в режиме реального времени получает данные об индексе качества воздуха (AQI), концентрации пылицы, температуре, влажности и атмосферном давлении из открытых геоинформационных API. Аналитический модуль на основе алгоритмов машинного обучения интегрирует все поступающие данные и формирует персонализированный индекс риска обострения. Модуль телемедицины обеспечивает защищённый обмен данными между пациентом и лечащим врачом с системой автоматического оповещения при критических изменениях показателей.

Алгоритмическое ядро. Алгоритмическое ядро AsthmaVision строится на ансамблевой модели, объединяющей несколько базовых алгоритмов МО. Для анализа продольных клинических данных используется рекуррентная нейронная сеть типа LSTM, обеспечивающая учёт динамики показателей во времени. Для интеграции разнородных признаков (клинических, экологических, демографических) применяется градиентный бустинг (XGBoost). Ансамблевый подход позволяет повысить устойчивость и точность прогнозирования по сравнению с любым отдельным алгоритмом.

Важной особенностью системы является применение методов объяснимого ИИ (XAI - Explainable Artificial Intelligence), в частности алгоритма SHAP (SHapley Additive exPlanations), для интерпретации решений модели. Это позволяет врачу понять, какие именно факторы обусловили повышение индекса риска у конкретного пациента, и принять обоснованное клиническое решение.

Роль экологических факторов в управлении астмой. Экологические факторы играют важную роль в развитии и обострении бронхиальной астмы. Наиболее значимыми триггерами являются аэрополлютанты (PM2.5, PM10, озон, оксиды азота, диоксид серы), аэроаллергены, метеорологические изменения и профессиональные воздействия.

Для стран Центральной Азии, включая Узбекистан, экологический мониторинг имеет особое значение в связи с сезонными пыльными бурями, высоким уровнем загрязнения воздуха и интенсивным пылевым сезоном. В неблагоприятные периоды индекс качества воздуха (AQI) в Tashkent может достигать уровней, опасных для чувствительных групп населения, что сопровождается увеличением числа обращений по поводу обострений астмы.

Интеграция данных AQI в систему AsthmaVision позволяет учитывать экологический фон при оценке риска обострений и формировать персонализированные рекомендации для пациентов. Такой подход обеспечивает

возможность ранней профилактики ухудшения состояния и представляет преимущество по сравнению с традиционной реактивной моделью ведения бронхиальной астмы.

Обсуждение и перспективы. Проведённый анализ показывает, что технологии искусственного интеллекта обладают высоким потенциалом для совершенствования мониторинга и управления бронхиальной астмой. Современные исследования демонстрируют возможность точного прогнозирования обострений и улучшения клинических исходов при использовании ИИ-ассистированных систем.

Однако существующие исследования имеют ряд ограничений: многие из них основаны на небольших выборках и краткосрочном наблюдении. Кроме того, алгоритмы, разработанные преимущественно на популяциях США и Западной Европы, требуют адаптации и валидации для других этнических и экологических условий, включая страны Центральной Азии. Это подчёркивает актуальность создания локальных интеллектуальных платформ, таких как AsthmaVision.

Перспективы развития ИИ в управлении астмой связаны с интеграцией носимых устройств для непрерывного мониторинга физиологических показателей, использованием геномных и метаболомных данных в предиктивных моделях, а также внедрением систем ИИ-поддержки клинических решений. Развитие больших языковых моделей создаёт предпосылки для появления интеллектуальных виртуальных ассистентов для пациентов и врачей, способных повысить эффективность персонализированного ведения бронхиальной астмы.

Заключение. Применение технологий искусственного интеллекта в мониторинге бронхиальной астмы является перспективным направлением современной цифровой медицины. Методы машинного обучения и интеграции разнородных данных создают возможности для персонализированного и непрерывного мониторинга пациентов, позволяя своевременно выявлять риск обострений и повышать эффективность терапии.

Международный опыт внедрения платформ, таких как Propeller Health, myAirCoach и Adherium, демонстрирует снижение частоты обострений, госпитализаций и улучшение приверженности лечению. Однако существующие системы недостаточно адаптированы к экологическим и организационным особенностям стран Центральной Азии.

В этих условиях разработка платформы AsthmaVision, объединяющей клинические данные, экологический мониторинг и телемедицинские технологии на основе ИИ, представляется актуальным и клинически значимым проектом. Реализация подобной системы может повысить качество медицинской помощи пациентам с бронхиальной астмой в Узбекистане и стать основой для дальнейшего развития цифровых решений в регионе. Перспективными направлениями остаются клиническая валидация алгоритмов, соответствие регуляторным требованиям и интеграция системы в практическое здравоохранение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Global Initiative for Asthma (GINA). Global strategy for asthma management and prevention [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: GINA (дата обращения: 14.05.2026).
2. World Health Organization. Asthma. Fact sheet [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: World Health Organization – Asthma (дата обращения: 14.05.2026).
3. Lorentz M.N., Khatri S.S., Scheck A.M. et al. Machine learning prediction of asthma exacerbations using electronic health record data // *Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*. – 2021. – Vol. 9, № 4. – P. 1652–1660.
4. Pramono R.X.A., Bowyer S., Rodriguez-Villegas E. Automatic adventitious respiratory sound analysis: a systematic review // *PLoS ONE*. – 2019. – Vol. 14, № 5. – e0215667.
5. Bonini M., Gramiccioni C., Fioretti D. et al. Asthma, allergy and the Olympics: a 12-year survey in elite athletes // *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*. – 2015. – Vol. 15, № 2. – P. 184–192.

6. Himes B.E., Fuchs E., Jiang X. et al. Predicting medication regimen changes using natural language processing and rule-based decision support systems // *Asthma Research and Practice*. – 2021. – Vol. 7, № 1. – P. 1–10.
7. Hui C.Y., McKinstry B., Walton R. et al. The use of digital health technologies in asthma management: systematic review // *Journal of Medical Internet Research*. – 2022. – Vol. 24, № 1. – e28177.
8. Wiecha J.M., Adams W.G., Rybin D. et al. Evaluation of a web-based asthma self-management system: a randomised controlled pilot trial // *BMC Pulmonary Medicine*. – 2015. – Vol. 15. – P. 7.
9. Pérez-Lara V., Quirce S., Cañas J.A. et al. Artificial intelligence applications in asthma: current knowledge and future perspectives // *Journal of Clinical Medicine*. – 2022. – Vol. 11, № 23. – P. 6987.
10. Kosorok M.R., Laber E.B. Precision medicine // *Annual Review of Statistics and Its Application*. – 2019. – Vol. 6, № 1. – P. 263–286.
11. Ding H., Karunanithi M., Kanagasingam Y. et al. A pilot study of a mHealth application for healthcare workers in asthma management // *Journal of Telemedicine and Telecare*. – 2013. – Vol. 19, № 4. – P. 231–234.
12. Finkelstein J., Wood J. A feasibility study of an automated phone-based self-management support system for asthma patients // *Journal of Asthma*. – 2012. – Vol. 49, № 2. – P. 216–222.
13. European Commission. Ethics guidelines for trustworthy artificial intelligence [Электронный ресурс]. – Brussels, 2019. – Режим доступа: European Commission – Ethics Guidelines for Trustworthy AI (дата обращения: 14.05.2026).
14. OECD. Principles on AI [Электронный ресурс]. – Paris: OECD Publishing, 2019. – Режим доступа: OECD AI Principles (дата обращения: 14.05.2026).
15. World Bank. Digital health systems: strengthening data use in the health sector [Электронный ресурс]. – Washington DC, 2022. – Режим доступа: World Bank – Digital Health Systems (дата обращения: 14.05.2026).

16. Reddel H.K., Bacharier L.B., Bateman E.D. et al. Global Initiative for Asthma strategy 2021: executive summary and rationale for key changes // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. – 2022. – Vol. 205, № 1. – P. 17–35.

17. Закон Республики Узбекистан «О персональных данных» от 2 июля 2019 года № ЗРУ-547 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: LexUZ – Закон о персональных данных (дата обращения: 14.05.2026).