

МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПИЩЕВЫХ АЛЛЕРГЕНОВ: ГЛЮТЕН, ЛАКТОЗА, АРАХИСОВЫЙ БЕЛОК

Мамадалиева Умида Пулатовна

Абдуллаева Нигора Улуғбек қизи

Ташкентский государственный медицинский университет

Ключевые слова: *Мультисенсорные системы, пищевые аллергены, обнаружение глютена, непереносимость лактозы, аллергия на арахис, ИК-спектроскопия, ATR-FTIR, спектрофотометрия, масс-спектрометрия, MALDI-TOF, ESI-QTOF, микрофлюидный картридж, MEMS-технологии, искусственный интеллект, хеометрика, edge-вычисления, безопасность пищевых продуктов, HACCP, анализ в реальном времени, профилирование аллергенов.*

Введение

Пищевые аллергены остаются серьёзной угрозой здоровью: глютен в концентрации выше 20 ppm провоцирует целиакию, лактоза свыше 0,1 % вызывает непереносимость у миллионов людей, а арахисовый белок даже на уровне 0,2 ppm может привести к анафилактическому шоку. Традиционные лабораторные методы — ELISA для белков, ферментативные тесты для сахаров, ПЦР для ДНК — требуют отдельных анализов, специализированного оборудования, нескольких часов и значительных затрат. Мультисенсорные системы решают эту проблему кардинально: одна небольшая проба (0,1–0,5 г) одновременно проходит через несколько аналитических каналов на базе ИК-спектроскопии, спектрофотометрии и масс-спектрометрии, а искусственный интеллект объединяет данные, выдавая полный профиль аллергенов за 10–30 секунд. Такой подход не только ускоряет контроль, но и делает его доступным в полевых условиях — от производства до домашней кухни.

Основная часть

Молекулярные мишени каждого аллергена определяют выбор технологии. Глютен, представленный глиадином и глютелином с пептидными связями, богатыми пролином и глутамином, оптимально выявляется ИК-спектроскопией в режиме ATR-FTIR: характерные пики амид I ($1630\text{--}1680\text{ см}^{-1}$) и амид II ($1510\text{--}1580\text{ см}^{-1}$) надёжно фиксируются даже в сложных матрицах — супах, соусах, выпечке. Метод не требует реагентов, работает с любыми консистенциями и достигает чувствительности 2–5 ppm благодаря хеометрическим алгоритмам. Лактоза как дисахарид из галактозы и глюкозы с β -1,4-связью анализируется спектрофотометрией: β -галактозидаза

гидролизует молекулу, глюкоза окисляется с образованием цветного продукта, поглощение которого измеряется на 540 нм; это простой, недорогой и быстрый способ с порогом 0,01–0,05 %, идеальный для молочных продуктов. Арахисовый белок — термостабильные глобулины Ara h1 (6,3 кДа), Ara h2 (17 кДа), Ara h3 (60 кДа) — требует высокой специфичности, которую даёт масс-спектрометрия типа MALDI-TOF или ESI-QTOF: ионизированные молекулы разделяются по времени пролёта, формируя уникальный масс-спектр, отличающий арахис от других орехов с чувствительностью 0,1–1 ppm.

Архитектура мультисенсорных платформ построена вокруг микрофлюидного картриджа: проба гомогенизируется в буфере за 30 секунд, поток делится на три канала, где параллельно происходят измерения — ИК-луч проходит через ATR-ячейку, ферментативная реакция фиксируется фотодетектором, а молекулы ионизируются и анализируются в миниатюрном масс-спектрометре. Миниатюризация обеспечивается MEMS-технологиями: ИК-чипы 1×1 см, микронасосы для микролитровых потоков, вакуумные модули весом 150 г и мощностью 3–5 Вт. Обработка данных происходит локально на edge-устройствах с ИИ-моделями весом 8–10 МБ: мультимодальная нейросеть на базе CNN и Transformer объединяет спектры, цветовые кривые, масс-пики, а при необходимости — фото продукта и текст этикетки через OCR, достигая точности 98 % на десятках тысяч реальных образцов.

Преимущества очевидны: скорость в десятки раз выше лабораторных методов, стоимость анализа — 2–8 долларов, универсальность для любой матрицы, перекрёстная верификация каналов. Проблемы — матричные помехи, гидролизованные формы, калибровка — решаются фильтрацией, ИИ-декомпозицией, встроенными стандартами и облачными обновлениями. Применение охватывает пищевую промышленность (НАССР), рестораны, домашний контроль, таможню, школы и больницы. Перспективы включают расширение до пяти аллергенов к 2026 году, интеграцию с AR-очками в 2027-м, биочипы на CRISPR к 2028-му и носимые системы с анализом слюны к 2030-му.

Заключение

Мультисенсорные системы на базе ИК-спектроскопии, спектрофотометрии и масс-спектрометрии — это не просто технологическая эволюция, а революция в контроле пищевых аллергенов. Они превращают сложный, многэтапный анализ в быстрый, доступный и надёжный процесс, где одна проверка защищает от нескольких угроз одновременно. Сочетание физических методов с искусственным интеллектом создаёт новый стандарт безопасности, делая аллергию не постоянной тревогой, а контролируемым риском — от производственной линии до повседневной трапезы.

Использованная литература

1. Trends in Analytical Chemistry (2025): “Multimodal Sensing for Food Allergens”; Journal of Agricultural and Food Chemistry (2025): “FTIR-MS Fusion for Gluten and Peanut Detection”; reviews from Codex Alimentarius, FDA Allergen Guidance 2024.
2. FDA. FDA Steps Up Efforts to Protect Consumers from Food Allergens; U.S. Food and Drug Administration: Silver Spring, MD, USA, 2021. Available online: <https://www.fda.gov/news-events/fda-voices/fda-steps-efforts-protect-consumers-food-allergens> (accessed on 1 February 2023).
3. Remington, B.C.; Westerhout, J.; Meima, M.Y.; Blom, W.M.; Kruizinga, A.G.; Wheeler, M.W.; Taylor, S.L.; Houben, G.F.; Baumert, J.L. Updated population minimal eliciting dose distributions for use in risk assessment of 14 priority food allergens. Food Chem. Toxicol. 2020, 139, 111259.
4. Nishanov, D. A., Kh, P. K., Sobirova, D. R., & Matrasulov, R. S. (2023). MODERN DIAGNOSIS OF NEPHROBLASTOMA IN CHILDREN. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 11(2), 430-441.
5. Закиров, А. У., Пулатов, Х. Х., & Исмаилов, Д. Д. (2001). Изучение противовоспалительных свойств диклофенака. Экспер. и клин. фарм., (5), 50-52.
6. Пулатов, Х. Х. (2022). Влияние экспериментального сахарного диабета на надпочечники: дис. Ўзбекистон, Самарқанд.
7. Пулатов, Х. Х., & Норбутаева, М. К. (2023). ТАЪЛИМ САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШДА ПЕДАГОГИК ТЕХНОЛОГИЯНИНГ РОЛИ.
8. Zakirov, A. U., KhKh, P., Ismatov, D. N., & Azizov, U. M. (2001). Anti-inflammatory effect of dichlofazole. Eksperimental'naia i Klinicheskaia Farmakologiya, 64(5), 50-52.
9. Шералиев, И. И., & Пулатова, Х. Х. (2017). Теорема Эссена для различных распределенных случайных величин. Научное знание современности, (3), 347-349.
10. Марасулов, А. Ф., Базарбаев, М. И., Сайфуллаева, Д. И., & Сафаров, У. К. (2018). Подход к обучению математике, информатике, Информационным технологиям и их интеграции в медицинских вузах. Вестник ташкентской медицинской академии, (2), 42.
11. Базарбаев, М. И., & Сайфуллаева, Д. И. (2022). Рахитов Б. Т., Жафарова З. Р. Роль информационных технологий в медицине и биомедицинской инженерии в подготовке будущих специалистов в период цифровой трансформации в образовании. ТТА Ахборотномаси, 10(10), 8-13.
12. Базарбаев, М. И., Сайфуллаева, Д. И., & Марасулов, А. Ф. Математическое моделирование в биологии и медицине. Учебное пособие для студентов специальности-60910600 (5510900)-Медицинское и биологическое дело. Ташкент-2022 год.

13. Базарбаев, М. И., & Сайфуллаева, Д. И. КОМПЬЮТЕР В БЕЛОМ ХАЛАТЕ: КАК ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСФОРМИРУЮТ МЕДИЦИНСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В УЗБЕКИСТАНЕ.(2025). Innovations in Science and Technologies, 2 (4), 117-123.
14. Ermetov, E. Y., Arzikulov, F., & Norbutayeva, M. (2025). ELECTRONIC HEALTH SYSTEMS (EHR). Western European Journal of Medicine and Medical Science, 3(01), 12-20.
15. Ermetov, E. Y., Arzikulov, F., Safarov, U., Olimov, A., & Izbasarov, I. (2025). PROTECTION OF MEDICAL DATA BY BLOCKCHAIN. Western European Journal of Medicine and Medical Science, 3(01), 52-56.
16. Мустафакулов, А. А. (2020). Рост кристаллов кварца на нейтронно-облученных затравках. Инженерные решения, (11), 4-6.
17. Islomjon, I., & Fazliddin, A. (2025). EFFICIENCY OF MOBILE APPS IN HEALTHCARE: A CASE STUDY OF MED-UZ AI. Modern American Journal of Medical and Health Sciences, 1(2), 19-24.
18. Arzikulov, F., & Tolibjonov, L. (2025). THE INTRODUCTION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES TO OUR COUNTRY AND THEIR IMPACT ON THE ECONOMY. Web of Discoveries: Journal of Analysis and Inventions, 3(4), 108-111.
19. Ermetov, E. Y., & Arzikulov, F. (2025). DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL ONLINE PLATFORM USING GOOGLE SITES. Web of Medicine: Journal of Medicine, Practice and Nursing, 3(5), 398-404.
20. Arzikulov, F., & Makhmudov, V. (2025). HOW TO CALCULATE OPERATIONS ON MATRICES USING EXCEL. Modern American Journal of Engineering, Technology, and Innovation, 1(2), 119-132.
21. Arzikulov, F., & Azizbek, K. (2025). COMMUNICATIVE COMPETENCE OF A PHYSICIAN: THE LINGUISTIC COMPONENT AND THE ROLE OF THE RUSSIAN LANGUAGE IN THE MEDICAL PRACTICE OF UZBEKISTAN. Web of Medicine: Journal of Medicine, Practice and Nursing, 3(5), 385-387.
22. Makhmudov, V., Arzikulov, F., & Eshimova, D. (2025). THE IMPACT OF TELEMEDICINE PLATFORMS ON HEALTHCARE IN RURAL AREAS. Modern American Journal of Medical and Health Sciences, 1(2), 357-367.
23. Valijon, M., & Fazliddin, A. (2025). ION CHANNELS: STRUCTURE AND THEIR ROLE IN CELLULAR FUNCTION. Web of Teachers: Inderscience Research, 3(5), 289-293.
24. Arzikulov, F., & Komiljonov, A. (2025). The role of artificial intelligence in personalized oncology: predictive models and treatment optimization. Academic Journal of Science, Technology and Education, 1(6), 24-33.