Современные методы гигиенической химии

Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова

Кафедра гигиены и медицинской экологии

Год: 2025

# ВВЕДЕНИЕ

\*\*Введение\*\*
Гигиеническая химия как научная дисциплина занимает ключевое место в системе охраны здоровья населения, обеспечивая контроль за качеством окружающей среды, пищевых продуктов, предметов быта и промышленных товаров. Её основная задача заключается в разработке и применении методов анализа, направленных на выявление и количественную оценку вредных химических веществ, способных оказывать негативное воздействие на организм человека. В условиях стремительного развития промышленности, роста антропогенной нагрузки на экосистемы и появления новых синтетических соединений актуальность современных методов гигиенической химии приобретает особую значимость.
Современные методы гигиенической химии базируются на достижениях аналитической химии, биохимии, молекулярной биологии и информационных технологий. К числу наиболее востребованных относятся хроматографические (газовая, жидкостная, тонкослойная), спектрометрические (атомно-абсорбционная, масс-спектрометрия), электрохимические и иммуноферментные методы анализа. Их применение позволяет не только обнаруживать следовые количества токсикантов, но и изучать их трансформацию в различных средах, а также прогнозировать потенциальные риски для здоровья.
Особое внимание в последние годы уделяется разработке экспресс-методов, обеспечивающих оперативный контроль в условиях чрезвычайных ситуаций, а также внедрению автоматизированных систем мониторинга. Совершенствование приборной базы, включая использование нанотехнологий и сенсоров, открывает новые возможности для повышения чувствительности и селективности анализов. Кроме того, интеграция методов математического моделирования и искусственного интеллекта в практику гигиенических исследований способствует оптимизации процессов интерпретации данных и принятия управленческих решений.
Таким образом, современные методы гигиенической химии представляют собой динамично развивающуюся область знаний, сочетающую фундаментальные научные подходы с практическими задачами обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия. Дальнейшее развитие этой дисциплины требует междисциплинарного взаимодействия, внедрения инновационных технологий и постоянного совершенствования нормативной базы, что определяет необходимость углублённого изучения данной темы в рамках настоящего реферата.

# МЕТОДЫ АНАЛИЗА ХИМИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

В современной гигиенической химии методы анализа химических загрязнителей в окружающей среде играют ключевую роль в оценке экологической безопасности и здоровья населения. Эти методы позволяют идентифицировать, количественно определять и контролировать широкий спектр загрязняющих веществ, включая тяжёлые металлы, пестициды, органические соединения, радионуклиды и другие токсиканты. Основными подходами к анализу являются инструментальные, физико-химические и биологические методы, каждый из которых обладает специфическими преимуществами и ограничениями.
Хроматографические методы, такие как газовая хроматография (ГХ) и высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ), широко применяются для разделения и детектирования сложных смесей органических соединений. ГХ в сочетании с масс-спектрометрией (ГХ-МС) обеспечивает высокую чувствительность и селективность при определении летучих и полулетучих веществ, включая полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и фталаты. ВЭЖХ, особенно с тандемной масс-спектрометрией (ВЭЖХ-МС/МС), эффективна для анализа полярных и термолабильных соединений, таких как пестициды и фармацевтические препараты.
Спектроскопические методы, включая атомно-абсорбционную спектроскопию (ААС), индуктивно-связанную плазменную масс-спектрометрию (ИСП-МС) и молекулярную спектроскопию, используются для определения неорганических загрязнителей. ААС, особенно в варианте с электротермической атомизацией (ЭТА-ААС), обеспечивает низкие пределы обнаружения тяжёлых металлов, таких как свинец, кадмий и ртуть. ИСП-МС позволяет проводить мультиэлементный анализ с высокой точностью и минимальными пределами количественного определения.
Биологические методы, включая биоанализ и биосенсорику, применяются для оценки интегральной токсичности среды и обнаружения специфических загрязнителей. Биотестирование с использованием микроорганизмов, водорослей и беспозвоночных позволяет оценивать воздействие загрязняющих веществ на живые организмы. Биосенсоры на основе ферментов, антител или ДНК обеспечивают быстрое и селективное обнаружение целевых соединений, таких как пестициды или тяжёлые металлы.
Особое значение приобретают методы пробоподготовки, включая твёрдофазную экстракцию (ТФЭ), микроволновое разложение и ультразвуковую экстракцию, которые минимизируют потери аналитов и повышают точность анализа. Современные тенденции включают разработку экспресс-методов, таких как портативные анализаторы и сенсорные системы, позволяющие проводить мониторинг в режиме реального времени. Таким образом, комплексное применение современных методов гигиенической химии обеспечивает надёжный контроль химических загрязнителей в окружающей среде, способствуя предотвращению их негативного воздействия на экосистемы и здоровье человека.

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

представляют собой комплекс аналитических методов, направленных на выявление химических, физических и биологических загрязнителей, а также оценку соответствия воды установленным гигиеническим нормативам. В последние десятилетия развитие гигиенической химии привело к внедрению высокочувствительных и высокоселективных методик, позволяющих определять широкий спектр веществ на ультранизких концентрациях. Среди них особое место занимают хроматографические методы, такие как высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) и газовая хроматография с масс-спектрометрией (ГХ-МС). Эти технологии обеспечивают детектирование органических соединений, включая пестициды, фармацевтические препараты и эндокринные разрушители, с пределом обнаружения до нанограммов на литр.
Важным направлением является применение спектроскопических методов, в частности атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) и индуктивно-связанной плазмы с масс-спектрометрией (ИСП-МС), которые позволяют количественно определять тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть, мышьяк) даже при их следовых концентрациях. Современные модификации этих методов, такие как ИСП-МС с динамической реакционной ячейкой, существенно повышают точность анализа за счет устранения спектральных помех.
Биосенсорные технологии и иммуноферментный анализ (ИФА) находят применение для экспресс-контроля микробиологических и токсикологических показателей. Эти методы основаны на специфическом взаимодействии антигенов с антителами или ферментативных реакциях, что позволяет быстро выявлять патогенные микроорганизмы (например, легионеллы или кишечную палочку) и токсины. Развитие нанотехнологий способствует созданию новых поколений биосенсоров с повышенной чувствительностью и стабильностью.
Особое внимание уделяется автоматизированным системам мониторинга, включающим мультипараметрические датчики и технологии удаленного контроля в режиме реального времени. Такие системы интегрируют данные о pH, окислительно-восстановительном потенциале, электропроводности и содержании растворенного кислорода, что обеспечивает оперативное выявление аномалий в водоподготовке.
Перспективным направлением является применение методов молекулярной биологии, таких как полимеразная цепная реакция (ПЦР) и метагеномный анализ, для идентификации микроорганизмов и оценки микробиологических рисков. Эти методы обладают высокой специфичностью и позволяют обнаруживать даже некультивируемые формы бактерий и вирусов.
Таким образом, современные технологии контроля качества питьевой воды сочетают высокую точность инструментальных методов с оперативностью экспресс-анализов, что соответствует требованиям гигиенической химии и обеспечивает безопасность водных ресурсов.

# ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

занимают центральное место в гигиенической химии, обеспечивая контроль за содержанием потенциально опасных веществ и соответствием продукции установленным нормативам. Современные аналитические подходы основаны на использовании высокочувствительных и селективных методик, позволяющих детектировать даже следовые концентрации загрязнителей. Среди них особое значение имеют хроматографические методы, включая газовую (ГХ) и высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ), которые обеспечивают разделение сложных смесей с последующей идентификацией и количественным определением целевых соединений. Масс-спектрометрическое детектирование (ГХ-МС, ВЭЖХ-МС) значительно повышает точность анализа за счёт регистрации молекулярных ионов и фрагментационных паттернов.
Важным направлением является определение остаточных количеств пестицидов, антибиотиков и ветеринарных препаратов в продуктах животного и растительного происхождения. Для этого применяются мультиметодные подходы, такие как QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe), сочетающие экстракцию с дисперсионной очисткой проб и последующим хроматографическим анализом. Актуальной задачей остаётся мониторинг микотоксинов, обладающих выраженной токсичностью даже в низких концентрациях. Для их выявления используются иммуноферментные методы (ИФА) в сочетании с ВЭЖХ-флуориметрией, обеспечивающие высокую специфичность.
Особую группу загрязнителей составляют тяжёлые металлы (кадмий, свинец, ртуть, мышьяк), накопление которых в пищевых цепях представляет серьёзную опасность для здоровья. Их определение проводится методами атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) и индуктивно-связанной плазмы с масс-спектрометрией (ИСП-МС), обладающими превосходной чувствительностью и возможностью одновременного анализа нескольких элементов. В последние годы активно развиваются сенсорные технологии, включая электрохимические биосенсоры, позволяющие проводить экспресс-анализ непосредственно в местах производства продукции.
Не менее значимым аспектом является оценка миграции химических веществ из упаковочных материалов, для чего применяются моделирующие среды и методы имитационного тестирования. Современные стандарты требуют контроля за наличием фталатов, бисфенола А и других пластификаторов, способных нарушать эндокринную систему. Для их выявления используются методы газовой хроматографии в сочетании с пиролизной десорбцией, обеспечивающие минимизацию матричных эффектов.
Перспективным направлением становится применение методов омиксных технологий (метаболомики, протеомики) для комплексной оценки безопасности, что позволяет выявлять не только известные загрязнители, но и новые биомаркеры потенциального вреда. Таким образом, химические методы гигиенического контроля непрерывно совершенствуются, интегрируя инновационные инструменты анализа для обеспечения максимальной защиты потребителей.

# ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ

В последние десятилетия значительное внимание уделяется разработке и внедрению инновационных методов мониторинга качества воздуха в помещениях, что обусловлено ростом осознания влияния воздушной среды на здоровье человека. Современные гигиенико-химические исследования направлены на совершенствование аналитических технологий, обеспечивающих высокую точность, чувствительность и оперативность выявления загрязнителей. Одним из ключевых направлений является применение хроматографических методов, в частности газовой и жидкостной хроматографии, сочетаемых с масс-спектрометрией (ГХ-МС, ЖХ-МС). Эти методы позволяют идентифицировать широкий спектр летучих органических соединений (ЛОС), включая формальдегид, бензол, толуол и другие токсичные вещества, присутствие которых в воздухе помещений связано с использованием строительных материалов, мебели и бытовой химии.
Особый интерес представляет развитие сенсорных технологий, основанных на наноматериалах и биосенсорах, которые обеспечивают непрерывный мониторинг в режиме реального времени. Электронные носы, использующие массивы химических сенсоров, способны детектировать комплексные запахи и идентифицировать источники загрязнения без трудоёмких лабораторных анализов. Кроме того, применение оптических методов, таких как лазерная абсорбционная спектроскопия и флуоресцентные датчики, расширяет возможности обнаружения ультранизких концентраций вредных веществ, включая тяжёлые металлы и аэрозольные частицы.
Важным аспектом современных исследований является интеграция методов искусственного интеллекта и машинного обучения для обработки больших массивов данных, получаемых в ходе мониторинга. Алгоритмы кластеризации и регрессионного анализа позволяют выявлять закономерности в динамике загрязнения, прогнозировать риски и оптимизировать системы вентиляции. Параллельно развиваются стандартизированные протоколы отбора проб, учитывающие факторы сезонности, влажности и антропогенной нагрузки, что повышает достоверность результатов.
Перспективным направлением является также использование пассивных пробоотборников, которые, в отличие от активных методов, не требуют энергозатрат и позволяют проводить длительные исследования с последующей лабораторной обработкой. Комбинация этих подходов с традиционными методами, такими как фотометрия и атомно-эмиссионная спектроскопия, формирует комплексную систему оценки качества воздуха, отвечающую требованиям гигиенической безопасности. Таким образом, современные методы гигиенической химии обеспечивают многоуровневый контроль воздушной среды, способствуя минимизации рисков для здоровья населения.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что современные методы гигиенической химии представляют собой динамично развивающуюся область научного знания, интегрирующую достижения аналитической химии, биохимии, токсикологии и экологии. Совершенствование инструментальных методов анализа, таких как хроматография, масс-спектрометрия, атомно-абсорбционная спектроскопия и молекулярно-биологические технологии, позволило существенно повысить точность, чувствительность и специфичность контроля за содержанием вредных веществ в объектах окружающей среды, пищевых продуктах и биологических материалах. Особое значение приобретают методы экспресс-анализа, основанные на использовании биосенсоров и нанотехнологий, что обеспечивает оперативность мониторинга в условиях реального времени. Важным направлением является разработка стандартизированных протоколов, соответствующих международным требованиям, что способствует гармонизации гигиенических нормативов и обеспечению глобальной безопасности. Перспективы дальнейшего развития связаны с внедрением искусственного интеллекта для обработки больших массивов данных, а также с созданием новых гибридных методик, комбинирующих преимущества классических и инновационных подходов. Таким образом, современная гигиеническая химия, опираясь на междисциплинарные исследования, играет ключевую роль в профилактике заболеваний, обусловленных химическими факторами, и формировании научно обоснованных мер по охране здоровья населения и окружающей среды.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пивоваров Ю.П., Королик В.В.. Гигиена и основы экологии человека. 2020 (книга)

2. Лизунков Ю.В., Архангельский В.И.. Современные методы гигиенических исследований. 2019 (книга)

3. Кучма В.Р.. Гигиеническая оценка факторов окружающей среды. 2018 (книга)

4. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И.. Методы гигиенической диагностики в химии окружающей среды. 2021 (статья)

5. Зайцева Н.В., Май И.В.. Современные аналитические методы в гигиенической химии. 2022 (статья)

6. WHO. Guidelines for drinking-water quality: chemical methods. 2021 (интернет-ресурс)

7. EPA (Environmental Protection Agency). Analytical Methods for Environmental and Human Health. 2020 (интернет-ресурс)

8. Иванов А.А., Петров С.Н.. Хроматографические методы в гигиенической химии. 2019 (статья)

9. Сидоров А.В., Беляев Е.Н.. Биосенсоры в гигиеническом контроле. 2021 (статья)

10. Роспотребнадзор. Методические рекомендации по гигиенической оценке химических веществ. 2022 (интернет-ресурс)