

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2025

Читать онлайн
Read online

**Нурисламова Т.В., Попова Н.А., Мальцева О.А., Колмогорцева Д.Ю.**

Методы измерений массовой концентрации ксиолов в атмосферном воздухе (обзор литературы)

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь, Россия

РЕЗЮМЕ

Атмосферный воздух – важнейший жизнеобеспечивающий компонент экосистемы, поэтому его загрязнение является мощным и постоянно действующим фактором воздействия на человека и окружающую среду. Летучие органические ароматические соединения составляют основу группы загрязняющих веществ, которые влияют на здоровье человека. Для эффективного аналитического контроля качества окружающей среды необходимы высокочувствительные и селективные методики определения ксиолов в атмосферном воздухе.

Цель исследования – выполнить литературный обзор современных отечественных и зарубежных методик определения ксиолов в атмосферном воздухе.

Материалом для настоящего обзора послужили данные научной литературы, методические материалы, опубликованные в реферативных базах данных Web of Science, PubMed, Scopus и eLIBRARY, посвященные исследованию содержания ксиолов в атмосферном воздухе.

Заключение. Анализ научно-методической литературы показал, что наиболее широко применяемым в аналитической практике способом отбора проб для определения содержания ксиолов в воздухе является сорбционное концентрирование на твёрдые (пористые полимерные) сорбенты. Оптимальный способ извлечения ксиолов из сорбента – термодесорбция отобранный пробы непосредственно в колонку хроматографа для последующего газохроматографического анализа.

Ключевые слова: ксиол; атмосферный воздух; капиллярная газовая хроматография; хромато-масс-спектрометрия; термодесорбция; обзор аналитических методик

Для цитирования: Нурисламова Т.В., Попова Н.А., Мальцева О.А., Колмогорцева Д.Ю. Методы измерений массовой концентрации ксиолов в атмосферном воздухе (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2025; 104(9): 1216–1222. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-9-1216-1222> <https://elibrary.ru/mmpluq>

Для корреспонденции: Колмогорцева Дарья Юрьевна, e-mail: subbotina@fcrisk.ru

Участие авторов: Нурисламова Т.В. – дизайн исследования, редактирование; Попова Н.А. – дизайн исследования, редактирование; Мальцева О.А. – дизайн исследования, редактирование; Колмогорцева Д.Ю. – сбор и анализ литературных данных, написание текста. *Все соавторы* – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 10.06.2025 / Поступила после доработки: 08.08.2025 / Принята к печати: 25.09.2025 / Опубликована: 20.10.2025

Tatyana V. Nurislamova, Nina A. Popova, Olga A. Maltseva, Daria Yu. Kolmogortseva

Methods for measuring mass concentrations of xylene isomers in ambient air (literature review)

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation

ABSTRACT

Ambient air is the most important life-support component of the ecosystem, so its pollution is a powerful and permanent factor influencing on both humans and the environment. Volatile organic aromatic compounds are the main group of pollutants that affect human health. For effective analytical control of the environmental quality, highly sensitive and selective methods for determining xylenes in ambient air are necessary.

The aim of this study. To examine the results of theoretical and experimental research, methods and procedures for measuring mass concentrations of xylene isomers in ambient air.

The review focuses on data available in scientific literature published in the abstract databases of Web of Science, Pubmed, Scopus, and Elibrary, devoted to studying the content of xylenes in ambient air.

A review of Russian and foreign scientific literature on physicochemical methods for controlling determination of xylenes in air has revealed organic compounds to be determined using chromat-mass-spectrometry with thermal desorption involved in the sampling stage.

Conclusion. This analysis of scientific and methodological literature has shown sorption concentration on solid sorbents (porous polymer sorbents) to be the most widely used sampling method to determine the content of xylenes in ambient air. The optimal way to extract xylenes from a sorbent is thermal desorption of the selected sample directly into the column of gas chromatograph and subsequent gas chromatographic analysis.

Keywords: xylene; atmospheric air; gas chromatography; chromat-mass-spectrometry; review of analytical techniques

For citation: Nurislamova T.V., Popova N.A., Maltseva O.A., Kolmogortseva D.Yu. Methods for measuring mass concentrations of xylene isomers. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(9): 1216–1222. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-9-1216-1222> <https://elibrary.ru/mmpluq> (In Russ.)

For correspondence: Daria Yu. Kolmogortseva, e-mail: subbotina@fcrisk.ru

Contribution: Nurislamova T.V. – study concept and design, editing the text; Popova N.A. – study concept and design, editing the text; Maltseva O.A. – study concept and design, editing the text; Kolmogortseva D.Yu. – literature data collection and analysis, writing the text. *All authors* are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of its final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: June 10, 2025 / Revised: August 8, 2025 / Accepted: September 25, 2025 / Published: October 20, 2025

Атмосферный воздух — важнейший жизнеобеспечивающий компонент экосистемы, поэтому его загрязнение является мощным и постоянно действующим фактором воздействия на человека и окружающую среду. В больших промышленных городах России к числу основных источников загрязнения атмосферного воздуха летучими органическими соединениями относятся автотранспорт, нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность. В структуре выбросов загрязняющих веществ от передвижных источников на долю автотранспорта приходится более 80%. Известно, что при работе двигателей внутреннего сгорания в составе выбросов присутствуют летучие углеводороды (ЛОС), в том числе ксиолы [1, 2].

Доля производство нефтегазового комплекса Российской Федерации в структуре экономики составляет 17%, такие предприятия являются основными источниками загрязнения атмосферного воздуха, в том числе такими веществами, как бензол, ксиолы, толуол, этилбензол. Ароматические углеводороды способны оказывать негативное воздействие на здоровье населения, вызывать канцерогенные и неканцерогенные эффекты, влиять на динамику хронической заболеваемости [3].

Ксиол, представляющий собой смесь изомеров орто-, мета- и пара-ксиолов, относится к 3-му классу опасности, обладает нейротоксическим действием и является одним из приоритетных химических веществ по показателю риска формирования неканцерогенных эффектов для здоровья населения во многих городах России [4–8]. Получают данные вещества в результате каталитического риформинга и карбонизации угля при производстве топлива, применяют в производстве растворителей, лаков и красок [9]. Летучие органические соединения (ЛОС), в том числе ксиолы, выделяются в виде рассеянных в атмосфере углеводородных облаков в результате утечки углеводородов из трубопроводных и клапанных соединений, узлов насосов и компрессоров. Источником выбросов ксиолов также являются резервуары для отделения масла, оборудование и агрегаты для очистки загрязнённой воды, резервуары для сырой нефти [10]. Требуемая чувствительность метода должна обеспечивать возможность количественного определения на уровне 0,8 ПДК¹ в атмосферном воздухе для смеси изомеров ксиолов. При среднегодовом ПДК = 0,1 мг/м³ нижний порог количественного определения ксиолов должен составлять не более 0,08 мг/м³. Контроль содержания ксиолов на этом уровне крайне важен, поскольку при длительном воздействии токсичность летучих органических соединений проявляется в наркотическом действии на организм человека, способности вызывать мутагенные эффекты, аллергические реакции, раздражения и некоторые нейротоксические эффекты [11–13].

Качественный аналитический контроль качества окружающей среды требует наличия селективных методик определения ксиолов в атмосферном воздухе для точного и надёжного выявления и количественного определения этих веществ в сложных смесях загрязнителей.

Цель исследования — выполнить литературный обзор современных отечественных и зарубежных методик определения ксиолов в атмосферном воздухе. Проведён анализ отечественной нормативно-методической и зарубежной научной литературы, методик определения ароматических углеводородов в атмосферном воздухе. Проанализированы российские и зарубежные публикации, касающиеся физико-химических методов контроля содержания ксиолов в воздушных средах. В обзор включены статьи, опубликованные в реферативных базах данных Web of Science, PubMed, Scopus и eLIBRARY за период 2020–2025 гг.

Краткий анализ отечественных методических документов по измерению массовых концентраций ксиолов в атмосферном воздухе представлен в табл. 1.

¹ Методические рекомендации по использованию клеточных систем «ин витро» и «ин виво» для ускорения гигиенической регламентации малорастворимых промышленных аэрозолей: МР № 01–19/24–17. Екатеринбург, 1995.

Анализ отечественных научно-методических документов по методам контроля определения ксиолов в атмосферном воздухе показал, что для определения летучих органических соединений применяют гибридные инструментальные методы, такие как хромато-масс-спектрометрия с использованием на стадии пробоподготовки термодесорбции. Для выбора методики определения ксиолов в атмосферном воздухе важно проанализировать ключевые параметры, от которых будут зависеть результаты анализа.

Диапазон определения. Особенно важен нижний предел измерения, поскольку это определяет минимальное значение, при котором методика может обеспечить достаточную точность и достоверность. Чем ниже это значение, тем чувствительнее метод, следовательно, можно обнаружить следовые количества определяемого компонента. Все представленные методики удовлетворяют значению 0,8 ПДК для смесей ксиолов в пробе и могут использоваться для контроля качества атмосферного воздуха. Анализ определения содержания ксиолов в атмосферном воздухе по методике МУК 4.1.618–96 проводится с помощью селективного масс-детектора, что позволяет выйти на высокую чувствительность определения ксиолов до 0,001 мг/м³. Применение капиллярной колонки даёт возможность разделять изомеры ксиолов, определять их в следовых количествах и в смеси с другими веществами.

Погрешность методики определения². Точность методики существенно влияет на результаты исследований. Высокая точность измерения позволяет получить прецизионные результаты с минимальными отклонениями, что обеспечивает более высокую достоверность и надёжность анализа. Изучение РД 52.18.801–2014 показало, что погрешность данного метода составляет 36–53%. Это указывает на высокий уровень погрешности и может привести к существенным отклонениям и возможным ошибкам в измерениях.

Отбор пробы [14]. Отбор³ и подготовка пробы к химическому анализу — важное условие получения надёжных и точных результатов измерений. Для определения ксиолов в атмосферном воздухе многие авторы применяют метод концентрирования пробы на твёрдый сорбент. Материалы сорбентов обладают специфической способностью удерживать определённые вещества. Для отбора проб атмосферного воздуха с целью определения ксиола широко используются сорбционные трубы на основе полимерных материалов (полиметилметакрилат). Полимеры (твёрдые сорбенты) обеспечивают высокую пористость и большую поверхность для адсорбции, позволяют осуществлять избирательную сорбцию веществ; кроме того, твёрдые сорбенты удобны в работе, при транспортировке и хранении отобранных проб [15]. Однако авторы МУК 4.1.3167–14 предлагают для отбора проб использовать сорбенты на угольной основе, что неблагоприятно влияет на результаты исследования. Высокая полярность и размер молекул угольных сорбентов не позволяют эффективно адсорбировать молекулы ксиолов [16, 17]. Угольные сорбенты могут насыщаться или захватывать более полярные молекулы, что снижает селективность при определении ксиолов [18]. В МУК 4.1.1046–01 отбор проб осуществляют с помощью газовой пипетки. Такой метод отбора проб не обладает надёжностью при повторных измерениях и требует незамедлительного выполнения анализа из-за летучести определяемых веществ, что не позволяет проводить анализ большого количества проб в один день, в то время как сорбционные трубы предназначены для многократного использования или более стабильного поглощения веществ.

Обзор отечественных методик показал, что все они основаны на газохроматографическом анализе с применением термодесорбции на этапе пробоподготовки. Недостатком

² ГОСТ Р ИСО 5725–1–2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.

³ ГОСТ Р ИСО 16017–1–2007 Национальный стандарт Российской Федерации «Воздух атмосферный, рабочей зоны и замкнутых помещений. Отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубы с последующей термодесорбией и газохроматографическим анализом на капиллярных колонках».

Таблица 1 / Table 1

Характеристики отечественных методик определения ксиолов в воздушных средах
 Characteristics of domestic methods for determining xylenes in air environments

Название Name	Принцип метода The method principle	Погрешность, % Inaccuracy, %	Предел обнаружения Limit of detection	Достоинства Advantages	Недостатки Drawbacks
РД 52.18.801–2014. Массовая концентрация ароматических углеводородов в атмосферном воздухе (Ведён в действие приказом Росгидромета от 01.07.2014 г. № 48. Разработан: ФГБУ «НПО «Тайфун») RD 52.18.801–2014 Mass concentration of aromatic hydrocarbons in ambient air	Капиллярная газовая хроматография с термодесорбцией при отборе проб на полимерные твёрдые сорбенты. Анализ проводится методом пламенно-ионизационного детектирования Capillary gas chromatography with thermal desorption in sampling on solid polymer sorbents. The analysis is carried out using flame ionization detection method.	36–53	0.004 мг/м ³ для п-ксиола, 0-ксиола, М-ксиола	Доступность при выполнении массовых анализов Availability under performing of mass analyses	Использование импортного оборудования (Agilent Technologies 7890A). Часть замена расходных материалов. Высокий уровень потребности Use of imported equipment manufactured by Agilent Technologies 7890A. Frequent replacement of expendables. High cost of equipment. High inaccuracy level
МУК 4.1.3167–14. Газохроматографическое определение текана, гептана, бензола, толуола, этилбензола, м-, о-, п-ксиолов, изопропилбензола, н-пропилбензола, стирола, дип-метилстирола, бензальдегида в атмосферном воздухе, воздухе испытательной камеры и замкнутых помещениях (Дата введения: 16.06.2014 г. Разработан ФГБУ «Научный центр здоровья детей РАМН») MUK 4.1.3167–14 Gas chromatographic determination of hexane, heptane, benzene, toluene, ethylbenzene, m-, o-, p-xylenes, isopropyl benzene, n-propylbenzene, styrene, cyclohexylbenzene, n- and p-xylenes in ambient air, air inside test chamber, and closed rooms	Капиллярная газовая хроматография с использованием пламенно-ионизационного детектора (ПИД) при отборе проб на уольтный сорбент с последующей термической десорбцией Capillary gas chromatography with using flame ionization detector (FID) under sampling on coal sorbent with subsequent thermal desorption	10–16.5	0.005 мг/м ³ для п-ксиола, 0-ксиола, М-ксиола 0.005 mg/m ³ for p-xylene, m-xylene, o-xylene	Возможность использования отечественных приборов. Селективный метод анализа. Доступность при выполнении массовых анализов Opportunity to use domestic equipment. Selective analysis method. Availability for performing mass analyses	Использование сорбентов на угольной основе, что может привести к появлению примесей в пробе Using coal-based sorbents can result in admixtures in a sample
МУК 4.1.1046–01 Газохроматографическое определение орто-, мета- и пара-ксиолов в воздухе (Дата введения: 01.10.2001 г. Разработан Башкирским государственным медицинским университетом) MUK 4.1.1046–01 Gas chromatographic determination of ortho-, meta- and para-xylenes in ambient air	Капиллярная газовая хроматография с использованием фотовонизационного детектора при отборе проб на газовые пипетки Capillary gas chromatography with using photo-ionization detector when sampling on gas pipettes	23.4	0.05 мг/м ³ для п-ксиола, 0-ксиола, М-ксиола 0.05 mg/m ³ for p-xylene, m-xylene	Использование отечественного оборудования. The use of domestic equipment	Сложное аппаратурное оформление. Проблема выполнения массовых анализов Complicate equipment arrangement. Problem under conducting mass analyses
РД 52.04.837–2015 Массовая концентрация летучих ароматических углеводородов в атмосферном воздухе. Методика измерений методом высокочастотной капиллярной газовой хроматографии с использованием анализа равновесного газа RD 52.04.837–2015 Mass concentration of volatile aromatic hydrocarbons in ambient air. Measurement method using high-performance capillary gas chromatography with equilibrium vapor analysis	Высокочастотная капиллярная газовая хроматография с использованием масс-селективного детектора при отборе проб на полимерный твёрдый сорбент с последующей термической десорбцией Capillary gas chromatography with using equilibrium vapor analysis. The analysis is carried out using flame ionization detection method	25	0.01 мг/м ³ для п-ксиола, 0-ксиола, М-ксиола 0.01 mg/m ³ for p-xylene, m-xylene, o-xylene	Использование отечественного оборудования. Селективный метод анализа. Доступность при выполнении массовых анализов Possibility to use domestic equipment. Selective analysis procedure. Available for mass analyses	Сложное аппаратурное оформление, частая замена расходных материалов. Complicate equipment arrangement. Too frequent replacement of expendables
МУК 4.1.618–96 Методические указания по хромато-спектрометрическому определению летучих органических веществ в атмосферном воздухе (Дата введения 31.10.1996 г. Разработаны НИИ экологии им. А.Н. Сысина РАМН, Москва) MUK 4.1.618–96 Methodical guidelines on determination of volatile organic compounds in ambient air with chromat-mass-spectrometry	Капиллярная газовая хроматография с использованием пламенно-ионизационного детектора. Отбор проб осуществляется на твёрдый углеродный сорбент типа «Карбокром-С» Capillary gas chromatography with using a flame-ionization detector. Sampling is carried out for solid carbon sorbent type "Carbokrom-S"	25	0.006 мкг для п-ксиола, 0-ксиола, М-ксиола 0.006 pg for p-xylene, m-xylene, o-xylene	Селективный метод. Доступность при выполнении массовых анализов Selective analysis procedure. Availability for mass analyses	Низкая чувствительность при выполнении метода Low sensitivity of the method
МУК 4.1.618–96 Методические указания по хромато-спектрометрическому определению летучих органических веществ в пробах атмосферного воздуха газохроматографическим методом, № М-104 (Свидетельство об аттестации № 242/124-07) Muk 4.1.618–96 Methodology for measuring mass concentrations of acetone, ethylacetate, toluene, butylacetate, m-, p-ксиол и o-оксиол в атмосферном воздухе с использованием газохроматографического метода № М-104 (Свидетельство об аттестации № 242/124-07)	Капиллярная газовая хроматография с использованием пламенно-ионизационного детектора. Отбор проб осуществляется на твёрдый углеродный сорбент типа «Карбокром-С» Capillary gas chromatography with using a flame-ionization detector. Sampling is carried out for solid carbon sorbent type "Carbokrom-S"	25	0.1 мг/м ³ для п-ксиола, 0-ксиола, М-ксиола 0.1 mg/m ³ for p-xylene, m-xylene, o-xylene	Селективный метод. Доступность при выполнении массовых анализов Selective analysis procedure. Availability for mass analyses	Низкая чувствительность при выполнении метода Low sensitivity of the method

Таблица 2 / Table 2

Характеристики зарубежных методик определения ксиолов в атмосферном воздухе
 Characteristics of foreign methodologies for determining xylenes in air

Название Name	Принцип метода The method principle	Погрешность, % Inaccuracy, %	Префель обнаружения, mg/m ³ Limit of detection, mg/m ³	Достоинства Advantages	Недостатки Drawbacks
Количественное определение BTEX в атмосферном воздухе с использованием твердофазной микрэкстракции и газовой хроматографии с обнаружением фотонии	Капиллярная газовая хроматография с использованием фотонизационного детектора и твердофазной микрэкстракции (SPME). Quantitation of BTEX in atmospheric air using solid-phase microextraction and gas chromatography with photoionization detection [19]	Не указана Not indicated	0.8 для п-ксиола, o-ксиола, m-ксиола, для p-xylene, m-xylene, o-xylene	Селективный метод. Доступность при выполнении массовых анализов Selective analysis procedure. Availability for mass analyses	Использование импортного оборудования. Частота замены расходных материалов. Высокая стоимость оборудования Use of imported equipment. Frequent replacement of expendables. Expensive equipment
Анализ летучих органических соединений в городском воздухе с использованием пассивного отбора проб и газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией	Капиллярная газовая хроматография с плааменно-ионизационным отбором проб соединений BTEX проводится с использованием пассивных пробоотборников Capillary gas chromatography with ionization detection. BTEX sampling involved using passive sampling devices	25	0.01	Селективный метод анализа. Доступность при выполнении массовых анализов Selective analysis procedure. Easily available for mass analyses	Использование импортного оборудования Use of imported equipment
Металлорганический каркас MIL-101 для газохроматографического разделения изомеров ксиола и этилбензола высокого разрешения	Высокоэффективная жидкостная хроматография с металлоорганическими структурами в качестве неподвижной фазы. Анализ выполнен с помощью плааменно-ионизационного детектирования High performance liquid chromatography with metal-organic structures used as the stationary phase. The analysis is performed using flame-ionization detection	25	0.05	Высокая разделительная способность и селективность при разделении изомеров ксиола. Доступность при выполнении массовых анализов High separating power and selectivity when separating xylene isomers. Availability for mass analyses	Сложное аппаратурное оформление Complicate equipment arrangement
Определение концентраций BTEX в воздушном окружении газовых станций с использованием пассивного отбора	Газовая хроматография с ионизационным детектированием. Отбор проб соединений BTEX проводится с использованием пассивных пробоотборников Gas chromatography with ionization detection. BTEX sampling was carried out using passive sampling devices	Не указана Not indicated	0.01	Высокая разделительная способность и селективность при разделении изомеров ксиола High separating power and selectivity when separating xylene isomers.	Сложное аппаратурное оформление Complicate equipment arrangement
Определение 67 летучих органических соединений в воздухе методом термодесорбционно-газовой хроматографии-масс-спектрометрии	Капиллярная газовая хроматография с масс-селективным детектированием с последующей термодесорбцией Capillary gas chromatography with mass-selective detection and subsequent thermal desorption	СКО = 10.2	0.0003	Селективный метод для одновременного анализа 67 летучих органических соединений (ЛОС) в атмосферном воздухе. Высокая чувствительность метода. Доступность при выполнении массовых анализов Selective method for simultaneous analysis of 67 volatile organic compounds (VOCs) in ambient air. High sensitivity. Availability for mass analyses	Сложная процедура подготовки оборудования к анализу Complex preparation of equipment for analysis arrangement
Количественная оценка BTEX в окружающем воздухе по SPME и GC – MS	Микрэкстракция и последующий газохроматографический анализ с масс-селективным детектором Micro-extraction and subsequent gas chromatography analysis with mass-selective detector	25	3 для o-ксиола for o-xylene	Метод простой в использовании. Доступность при выполнении массовых анализов The method is simple in use. Availability for mass analyses	Низкая чувствительность, применение микрэкстракции Low sensitivity, use of micro-extraction

проанализированных методик является длительность отбора проб и анализа. Достоинство отечественных методик – высокая чувствительность и селективность определения. Зарубежная практика определения ксилолов в атмосферном воздухе основана на активном либо пассивном пробы на твёрдый сорбент с термодесорбией и последующим газохроматографическим анализом с помощью масс-селективного детектирования. Характеристики зарубежных методик представлены в табл. 2.

Обзор зарубежных методик определения ксилолов в атмосферном воздухе показал, что высокая селективность и чувствительность методов достигается за счёт современного аналитического оборудования, с низким порогом обнаружения количества вещества в пробе [25]. Актуальные методики пробоподготовки проб к анализу включают эффективные и автоматические методы экстракции и концентрирования токсикантов из образцов. Основная часть методик определения ксилолов за рубежом заключается в использовании хромато-масс-спектрометрии высокого разрешения, что позволяет селективно разделять три изомера и обнаруживать концентрации веществ на более низких уровнях [26]. Вместе с тем недостатком зарубежных методик является высокая стоимость оборудования, ремонта и расходных материалов. Не во всех документах (см. табл. 2) указана погрешность метода, что затрудняет оценку достоверности результатов. В [23] представлен нижний предел определения ксилолов 0,0003 мг/м³, что говорит о высокой чувствительности метода и возможности определения ксилолов в присутствии других компонентов в малых количествах. Во всех проанализированных методиках в качестве подготовки пробы к анализу описан автоматический метод твердофазной экстракции или микроэкстракции, что позволяет определить минимальные уровни концентраций ксилолов в атмосферном воздухе, но при этом данные методы пробоподготовки требуют оптимизации условий под конкретное соединение и матрицу. В методике [22] описан метод пробоподготовки с помощью пробоотборника с твердофазной экстракцией, в качестве растворителя используется сероуглерод. Применение твердофазной экстракции усложняет процедуру пробоподготовки и анализа, требует дополнительных затрат

на растворители, при этом многие растворители могут оказывать токсическое действие [27–30]. Многие зарубежные методики основаны на улавливании ксилолов на сорбционные трубы с полимерным сорбентом, что увеличивает селективность отбора ксилолов в пробе и сокращает время анализа. Сорбционные трубы легко интегрируются в автоматические системы анализа и не требуют сложного оборудования, могут применяться для анализа большого количества проб за день.

Заключение

Обзор зарубежной и отечественной методической литературы показал, что в настоящее время многие методики являются доступными для детектирования низких концентраций ксилола в атмосферном воздухе и могут применяться с целью социально-гигиенического мониторинга. Однако при оценке риска для здоровья, связанного с воздействием ксилолов, недостаточно измерения их концентраций. Необходимо контролировать целый ряд летучих органических соединений (ЛОС), так как они часто присутствуют в комплексных смесях и могут оказывать синергическое или антагонистическое воздействие.

Большинство отечественных методов определения ксилолов основано на термодесорбции с последующим газохроматографическим анализом. Отечественные хроматографы просты в использовании и не усложняют процедуру анализа. В российских методиках указаны погрешности определения, что подтверждает соответствие требованиям нормативов и позволяет оценить достоверность результатов измерений. Лучшим способом количественного определения ксилолов в воздушных средах для задач санитарно-эпидемиологического контроля и социально-гигиенического мониторинга является метод капиллярной газовой хроматографии с детектором ионизации в пламени (ПИД), для идентификации оптимальна хромато-масс-спектрометрия. Эти методы, обладающие высокой чувствительностью и точностью, позволяют достоверно определять количественное содержание ксилолов в атмосферном воздухе.

Литература (п.п. 18–29 см. References)

1. Магдеева А.Р., Шагидуллин А.Р., Гилязова А.Ф., Амирянова Г.Ф., Шагидуллин Р.Р. Анализ структуры выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта на территории г. Казани. *Экологическая безопасность*. 2016; (1): 33–7. <https://elibrary.ru/wxdhxi>
2. Нушеровон Б.Х., Бабаев А.Б. Влияние условий труда водителей пассажирского автотранспорта на состоянии их здоровья. В кн.: *Наука и инновации – современные концепции. Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума. Том 1*. Уфа; 2020: 92–7. <https://elibrary.ru/sxjubc>
3. Сараев С.Д., Чухлатый М.С. Экологические проблемы нефтегазовой промышленности в России. В кн.: *Арктика: современные подходы к производственной и экологической безопасности в нефтегазовом секторе. Материалы Международной научно-практической конференции. Том 2*. Тюмень; 2023: 132–5. <https://elibrary.ru/stbjhi>
4. Лаптева Н.А. Проблема загрязнения атмосферного воздуха летучими ароматическими углеводородами. В кн.: *Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и экологической безопасности. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 190-летию Д.И. Менделеева*. СПб.; 2024: 30–1. <https://elibrary.ru/ohndpz>
5. Малышева А.Г., Калинина Н.В., Юдин С.М. Химическое загрязнение воздушной среды жилых помещений как фактор риска здоровью населения. *Анализ риска здоровью*. 2022; (3): 72–4. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.06> <https://elibrary.ru/pilzfs>
6. Курилкин А.А., Чернов Н.С. Летучие органические соединения антропогенного происхождения, опасность и методы их улавливания. В кн.: *Актуальные вопросы современной науки: теория, методология, практика, инноватика. Сборник научных статей по материалам XII Международной научно-практической конференции. Том 1*. Уфа; 2023: 24–35. <https://elibrary.ru/hmjygx>
7. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Кольдебекова Ю.В., Пескова Е.В. Некоторые аспекты развития нейротоксических эффектов при воздействии нейротропных химических веществ. *Экология человека*. 2020; (3): 48–50. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-3-47-53> <https://elibrary.ru/kvdecg>
8. Бракк Д.Г. Обеспечение экологической безопасности в аспекте воздействия утилизации пластиковых отходов на здоровье населения и окружающую среду. *Экономическая безопасность*. 2022; 5(2): 673–5. <https://doi.org/10.18334/ecsec.5.2.114416> <https://elibrary.ru/viuyrs>
9. Панасюгин А.С., Кулинич И.Л., Машерова Н.П., Цыганов А.Р., Курило И.И., Павловский Н.Д. Применение органических растворителей в окрасочных системах, используемых при высококачественной обработке кузовов автомобилей в период с 1998 по 2020 г. *Литьё и металлургия*. 2022; (1): 96–105. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-96-105> <https://elibrary.ru/unazol>
10. Аль Басиси М.Н.М., Липаев С.А. Выбросы нефтеперерабатывающей промышленности: источники и методы их переработки. *Управление техносферой*. 2020; 3(4): 471–83. <https://elibrary.ru/tmmsc>
11. Королап С.А., Клепиков О.В., Кульев В.В., Кизеев А.Н., Сюрин С.А., Енин А.В. Канцерогенный риск, связанный с загрязнением атмосферного воздуха промышленных городов Центрального Черноземья. *Оценка рисков для здоровья*. 2023; 102(8): 854–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-8-853-860> <https://elibrary.ru/eweumj>
12. Лепихина Е.Ю., Бикбулатова Э.И. Анализ деятельности асфальтобетонного завода как источника загрязнения окружающей среды. В кн.: *Мавлютовские чтения. Материалы XVI Всероссийской молодежной научной конференции. Том 4*. Уфа; 2022: 192–3. <https://elibrary.ru/wuzdik>
13. Володина Я.А. Усовершенствование средств контроля летучих органических соединений в атмосферном воздухе: Автотеф. дисс. ... канд. техн. наук. СПб.; 2023.
14. Кузьмин С.В., Федорова Н.Е., Добрева Н.И., Гордиюк А.В. Определение летучих органических соединений: допустимые сроки хранения

- экспонированных сорбционных трубок. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(8): 976–84. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-976-984> <https://elibrary.ru/dvxfkf>
15. Ларькина М.В. Отбор проб воздушной среды: сравнительная оценка поглотительного материала. В кн.: *Химия XXI века. Сборник тезисов II Всероссийской конференции по фундаментальной и прикладной химии*. Ижевск; 2024: 66–7. <https://elibrary.ru/mcgoy>
16. Родников О.В., Вагнер Е.А., Бугайченко А.С., Москвин Л.Н. Сравнение эффективности углеродных сорбентов для концентрирования легколетучих органических веществ из влажных газовых сред для последующего газохроматографического определения. *Журнал аналитической химии*. 2019; 74(9): 673–8. <https://doi.org/10.1134/S0044450219090081> <https://elibrary.ru/mlmecv>

17. Карапетян К.Г., Дорош И.В., Коршунов А.Д. Обзор неорганических сорбентов для ликвидации разливов нефти. *Южно-Сибирский научный вестник*. 2023; (4): 77–88. <https://elibrary.ru/uevmwj>
30. Ткачишин В.С. Интоксикации сероуглеродом. *Медицина неотложных состояний*. 2020; 16(1): 123–6. <https://elibrary.ru/hxovde>

References

1. Magdeeva A.R., Shagidullin A.R., Gilyazova A.F., Amiryanova G.F., Shagidullin R.R. The analysis of the pollutant emission structure from motor transport on the territory of Kazan. *Ekologicheskaya bezopasnost'*. 2016; (1): 33–7. <https://elibrary.ru/wxdhxl> (in Russian)
2. Nushervoni B.Kh., Babayev A.B. The influence of working conditions of passenger vehicle drivers on their health status. In: *Science and Innovations – Modern Concepts: Collection of Scientific Articles on the Results of the International Scientific Forum. Volume 1 [Nauka i innovatsii – sovremennye kontsepsi]. Sbornik nauchnykh statei po itogam raboty Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma. Tom 1]*. Ufa; 2020: 92–7. <https://elibrary.ru/sxjubc> (in Russian)
3. Saraev S.D., Chukhlaty M.S. Environmental problems of the oil and gas industry in Russia. In: *The Arctic: Modern Approaches to Industrial and Environmental Safety in the Oil and Gas Sector: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference. Volume 2 [Arktika: sovremennye podkhody k proizvodstvennoi i ekologicheskoi bezopasnosti v neftegazovom sektore. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Tom 2]*. Tyumen'; 2023: 132–5. <https://elibrary.ru/stbjh1> (in Russian)
4. Lapteva N.A. The problem of atmospheric air pollution by volatile aromatic hydrocarbons. In: *Modern Trends in the Development of Chemical Technology, Industrial Ecology, and Environmental Safety: Proceedings of the V All-Russian Scientific-Practical Conference Dedicated to the 190th Anniversary of D.I. Mendeleev [Sovremennye tendentsii razvitiya khimicheskoi tekhnologii, promyshlennoi ekologii i ekologicheskoi bezopasnosti. Materialy V Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 190-letiyu D.I. Mendeleeva]*. St. Petersburg; 2024: 30–1. <https://elibrary.ru/ohndpz> (in Russian)
5. Malysheva A.G., Kalinina N.V., Yudin S.M. Chemical air pollution in residential premises as a health risk factor. *Health Risk Analysis*. 2022; (3): 72–82. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.06.eng> <https://elibrary.ru/kefuwa>
6. Kurlikin A.A., Chernov N.S. Anthropogenic volatile organic compounds, their hazards and capture methods. In: *Topical Issues of Modern Science: Theory, Methodology, Practice, Innovations: Collection of Scientific Articles Based on the Materials of the XII International Scientific-Practical Conference. Volume 1 [Aktual'nye voprosy sovremennoi nauki: teoriya, metodologiya, praktika, innovatika. Sbornik nauchnykh statei po materialam XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Tom 1]*. Ufa; 2023: 24–35. <https://elibrary.ru/hmjygx> (in Russian)
7. Zaitseva N.V., Zemlianova M.A., Koldibekova Yu.V., Peskova E.V. Development of neurotoxic effects of neurotrophic chemicals. *Ekologiya cheloveka*. 2020; (3): 48–50. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-3-47-53> <https://elibrary.ru/kvdecg> (in Russian)
8. Brakk D.G. Ensuring environmental safety concerning the impact of plastic waste disposal on public health and the environment. *Ekonomicheskaya bezopasnost'*. 2022; 5(2): 673–5. <https://doi.org/10.18334/ecsec.5.2.114416> <https://elibrary.ru/viyysr> (in Russian)
9. Panasyugin A.S., Kulinich I.L., Masherova N.P., Tsyganov A.R., Kurilo I.I., Pavlovskiy N.D. The usage of organic solvents in paint systems used in high-quality processing of car bodies in the period from 1998 to 2020. *Lit'e i metallurgiya*. 2022; (1): 96–105. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-96-105> <https://elibrary.ru/uanazol> (in Russian)
10. Al Basisi M.N.M., Lipaev S.A. Emissions from the refining industry: their sources and methods of their refining. *Upravlenie tekhnosferoi*. 2020; 3(4): 471–83. <https://elibrary.ru/tmmsec> (in Russian)
11. Kurolap S.A., Klepikov O.V., Kulnev V.V., Kizeev A.N., Syurin S.A., Enin A.V. Carcinogenic risk associated with atmospheric air pollution in industrial cities of the central Chernozem region. *Otsenka riskov dlya zdorov'ya*. 2023; 102(8): 854–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-8-853-860> <https://elibrary.ru/euewmj> (in Russian)
12. Lepikhina E.Yu., Bikbulatova E.I. Analysis of the activity of an asphalt concrete plant as a source of environmental pollution. In: *Mavlyutov Readings: Proceedings of the XVI All-Russian Youth Scientific Conference. Volume 4 [Mavlyutovskie chteniya. Materialy XVI Vserossiiskoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii. Tom 4]*. Ufa; 2022: 192–3. <https://elibrary.ru/wuzdik> (in Russian)
13. Volodina Ya.A. *Improvement of control means for volatile organic compounds in ambient air*. Diss. St. Petersburg; 2023. (in Russian)
14. Kuzmin S.V., Fedorova N.E., Dobreva N.I., Gordiyuk A.V. Determination of volatile organic compounds: allowable storage times for sorption tubes after sampling. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(8): 976–84. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-976-984> <https://elibrary.ru/dvxfkf> (in Russian)
15. Lar'kina M.V. Air sampling: a comparative evaluation of absorbent materials. In: *Chemistry of the XXI Century: Abstracts of the II All-Russian Conference on Fundamental and Applied Chemistry [Khimiya XXI veka. Sbornik tezisov II Vserossiiskoi konferentsii po fundamental'noi i prikladnoi khimii]*. Izhevsk; 2024: 66–7. <https://elibrary.ru/mcgoy> (in Russian)
16. Rodnikov O.V., Vagner E.A., Bugaichenko A.S., Moskvin L.N. Comparison of the efficiencies of carbon sorbents for the preconcentration of highly volatile organic substances from wet gas atmospheres for the subsequent gas-chromatographic determination. *Journal of Analytical Chemistry*. 2019; 74(9): 877–82. <https://doi.org/10.1134/S1061934819090089> <https://elibrary.ru/qlozf>
17. Karapetyan K.G., Dorosh I.V., Korshunov A.D. Review of inorganic sorbents for oil spill response. *Yuzhno-Sibirskii nauchnyi vestnik*. 2023; (4): 77–88. <https://elibrary.ru/uevmwj> (in Russian)
18. Teimoori S., Hassani A.H., Panahi M., Mansouri N. Review: methods for removal and adsorption of volatile organic compound from environment matrixes. *Anal. Methods Environ. Chem. J.* 2020; 3(2): 34–58. <https://doi.org/10.24200/amecj.v3.i02.100> <https://elibrary.ru/nluwof>
19. Kurmanbayeva T., Bukanov B., Rymzhanova Z., Kazhkenova N., Imangabassov A., Smail A., et al. Simple and Accurate On-site Quantitation of BTEX in Atmospheric Air using solid-phase microextraction and gas chromatography with Photoionization Detection. *Adv. Sample Prep.* 2024; 10: 100117. <https://doi.org/10.1016/j.sampre.2024.100117>
20. Sofronievska I., Petreska Stanoeva J., Bogdanov J., Stefova M. Assay of volatile organic compounds in urban air using sampling and gas chromatography coupled to mass spectrometry. *Macedonian J. Ecol. Environ.* 2022; 24: 103–13. <https://doi.org/10.59194/mjee22242103>
21. Gu Z.Y., Yan X.P. Metal-organic framework MIL-101 for high-resolution gas-chromatographic separation of xylene isomers and ethylbenzene. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 2010; 49(8): 1477–80. <https://doi.org/10.1002/anie.200906560>
22. Cruz L.P.S., Alves L.P., Santos A.V.S., Esteves M.B., Gomes I.V.S., Nunes L.S.S. Assessment of BTEX concentrations in air ambient of gas states using passive sampling and the health risks for workers. *J. Environ. Protect.* 2017; 8: 12–25. <https://doi.org/10.4236/jep.2017.81002>
23. Zhu X., Ma H., Zhu X., Chen J. Determination of 67 volatile organic compounds in ambient air using thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry. *Se Pu*. 2019; 37(11): 1228–34. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1123.2019.04043> (in Chinese)
24. Baimatova N., Kenessov B., Koziel J.A., Carlsen L., Bektassov M., Demyanenko O.P. Simple and accurate quantification of BTEX in ambient air by SPME and GC-MS. *Talanta*. 2016; 154: 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.03.050>
25. Baskaran D., Dhamodharan D., Behera U.S., Byun H.S. A comprehensive review and perspective research in technology integration for the treatment of gaseous volatile organic compounds. *Environ. Res.* 2024; 251(Pt. 1): 118472. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118472>
26. Hoang A.Q., Takahashi S. Analytical methods for determining organic compound in air. In: *Sample Handling and Trace Analysis of Pollutants*. Elsevier Science; 2025: 3–34.
27. Feng L., Hu X., Yu X., Zhang W. Determination of volatile organic compounds in ambient air by thermal desorption-gas chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry. *Se Pu*. 2016; 34(2): 209–14. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1123.2015.09023> (in Chinese)
28. Cvetanović A. Extractions without organic solvents: advantages and disadvantages. *Chem. Afr.* 2019; 2(3): 343–9. <https://doi.org/10.1007/s42250-019-00070-1>
29. Badawy M.E.I., El-Nouby M.A.M., Kimani P.K., Lim L.W., Rabea E.I. A review of the modern principles and applications of solid-phase extraction techniques in chromatographic analysis. *Anal. Sci.* 2022; 38(12): 1457–87. <https://doi.org/10.1007/s44211-022-00190-8>
30. Tkachyshyn V.S. Intoxications by carbon disulfide. *Meditsina neotlozhnykh sostoyaniy*. 2020; 16(1): 123–6. <https://elibrary.ru/hxovde> (in Russian)

Сведения об авторах

Нурисламова Татьяна Валентиновна, доктор биол. наук, зав. отд. химико-аналитических методов исследований ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: nurtat@fcrisk.ru

Попова Нина Анатольевна, ст. науч. сотр. лаб. методов газовой хроматографии отд. химико-аналитических методов исследований ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: popova@fcrisk.ru

Мальцева Ольга Андреевна, канд. биол. наук, науч. сотр. лаб. методов газовой хроматографии ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: malceva@fcrisk.ru
Колмогорцева Дарья Юрьевна, мл. науч. сотр. лаб. методов газовой хроматографии ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: subbotina@fcrisk.ru

Information about the authors

Tatyana V. Nurislamova, DSc (Biology), head, Department of chemical and analytical research methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2344-3037> E-mail: nurat@fcrisk.ru

Nina A. Popova, senior researcher, Laboratory of gas chromatography methods, Department of Chemical and Analytical Research Methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9730-9092> E-mail: popova@fcrisk.ru

Olga A. Maltseva, PhD (Biology), researcher, Laboratory of gas chromatography methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7664-3270> E-mail: malceva@fcrisk.ru

Daria Yu. Kolmogortseva, junior researcher, Laboratory of Gas Chromatography Methods, Department of Chemical and Analytical Research Methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3030-3275> E-mail: subbotina@fcrisk.ru