



ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ФОРМАЛЬДЕГИДОМ И РИСК ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

Е.А. ТАФЕЕВА*, О.А. ФРОЛОВА**, Н.Х. ДАВЛЕТОВА****, А.С. РАДЧЕНКО*

*Казанский государственный медицинский университет,

ул. Бутлерова, д. 49, г. Казань, 420012, Россия, e-mail: tafeeva@mail.ru

**Казанская государственная медицинская академия, ул. Бутлерова, д. 36, г. Казань, 420012, Россия

***Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма,
Деревня Универсиады, д.35, г. Казань, 420010, Россия

Аннотация. Цель исследования – оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Казани формальдегидом и риска здоровью населения. **Материал и методы исследования.** Уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Казани оценивался по результатам натурных исследований качества атмосферного воздуха, проведенных в период 2017-2021 гг. в рамках социально-гигиенического и экологического мониторинга. Проведены расчеты по оценке неканцерогенного и канцерогенного рисков здоровью населения, обусловленного загрязнением атмосферного воздуха формальдегидом. **Результаты и их обсуждение.** Ведущим источником загрязнения атмосферного воздуха является автотранспорт, на долю которого приходится порядка 70% от общего объема выбросов. Среднегодовое содержание формальдегида за весь изученный период превышает допустимые уровни. Максимальное содержание формальдегида, превышающее ПДК в 5,3 раза, отмечалось в 2021 г. В формировании высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха значительную роль играют метеоусловия. Территория г. Казани относится к зоне повышенного потенциала загрязнения атмосферы, большую часть времени года здесь наблюдаются неблагоприятные для рассеивания загрязняющих веществ метеоусловия. Наиболее высокие концентрации формальдегида регистрируются в летнее время, что, вероятно, связано с увеличением интенсивности фотохимических реакций, происходящих в атмосфере. Максимальные разовые концентрации отмечались в июле, а наименьшие - в холодное время года (ноябрь – февраль). Риск развития неканцерогенных эффектов, обусловленных воздействием формальдегида, оценивается как высокий ($HQ=4,2$). Величина канцерогенного риска составила 1,66-Е04, что соответствует пороговому уровню риска, неприемлемому для населения в целом. **Заключение.** Значительную роль в создании высоких концентраций формальдегида в атмосферном воздухе играют вторичные антропогенные источники и неблагоприятные для рассеивания загрязняющих веществ метеоусловия, что требует необходимости разработки и реализации мероприятий, направленных на снижение загрязнения атмосферного воздуха веществами, являющимися прекурсорами формальдегида (углеводороды, летучие органические соединения), а также веществами, участвующими в фотохимических реакциях с образованием формальдегида (диоксид азота, озон).

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязнение, источники, трансформация, формальдегид, риск, здоровье.

FORMALDEHYDE OUTDOOR AIR POLLUTION AND POPULATION HEALTH RISK

E.A TAFEEVA*, O.A. FROLOVA**, N.Kh. DAVLETOVA****, A.S. RADCHENKO*

*Kazan State Medical University, Butlerov Str., 49, Kazan, 420012, Russia, e-mail: tafeeva@mail.ru

**Kazan State Medical Academy, Butlerov Str., 36, Kazan, 420012, Russia

***Volga State University of Physical Culture, Sports and Tourism,
Universiade village, 35, Kazan, 420010, Russia

Abstract. The research purpose is to determine the level of outdoor air pollution in Kazan with formaldehyde and the risk to public health. **Materials and research methods.** The level of outdoor air pollution in Kazan was assessed based on the results of studies of outdoor air quality conducted in the period 2017-2021 within the framework of socio-hygienic and environmental monitoring. An assessment of non-carcinogenic and carcinogenic risks to public health caused by formaldehyde outdoor air pollution was carried out. **Results and its discussion.** The leading source of outdoor air pollution is motor transport, which accounts for about 70% of total emissions. The average annual formaldehyde content for the entire studied period exceeds acceptable levels. The maximum average annual formaldehyde content exceeding the hygienic standard by 5.3 times was noted in 2021. Weather conditions play a significant role in the formation of a high level of atmospheric air pollution. The territory of Kazan belongs to the zone of increased potential of atmospheric pollution, most of the time of

the year there are unfavorable weather conditions for the dispersion of pollutants. The highest concentrations of formaldehyde are recorded in the summer, which is probably due to an increase in the intensity of photochemical reactions occurring in the atmosphere. The maximum single concentrations were observed in July, and the lowest - in the cold season (November – February). **Conclusion.** Secondary anthropogenic sources and adverse weather conditions for the dispersion of pollutants are of great importance in creating high concentrations of formaldehyde in the outdoor air. It is necessary to develop and implement measures aimed at reducing atmospheric air pollution with substances that are precursors of formaldehyde (hydrocarbons, volatile organic compounds), as well as substances involved in photochemical reactions with the formation of formaldehyde (nitrogen dioxide, ozone).

Keywords: outdoor air, pollution, sources, transformation, formaldehyde, risk, health.

Введение. Неудовлетворительное качество атмосферного воздуха в ряде городов *Российской Федерации* (РФ) является актуальной проблемой, имеющей социальное, экологическое и гигиеническое значение, влияющей на риски для здоровья населения и требует решения на государственном, региональном и муниципальном уровнях [5, 8, 14]. В современных условиях одним из ведущих загрязнителей атмосферного воздуха городов РФ является формальдегид. По данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в РФ за период 2017-2021 гг. средние за год концентрации формальдегида увеличились на 6%, а количество выбросов формальдегида от стационарных источников увеличилось на 39% [12]. В целом по городам РФ, где ведется мониторинг содержания формальдегида в атмосферном воздухе, среднегодовая концентрация в 2021 г. составила 3,1 ПДК. Средние же за год концентрации превысили 1 ПДК в 151 городе РФ, а численность населения, проживающего в таких условиях, составила 59,1 млн. человек [2]. Источниками поступления формальдегида являются как стационарные источники (промышленные предприятия), так и передвижные (автотранспорт). Однако, выбросы формальдегида, обусловленные техногенными источниками, незначительны, и не могут объяснить наблюдаемые его высокие концентрации в воздухе многих городов [7]. Формальдегид является продуктом трансформации различных классов органических соединений (алканов, алкенов, альдегидов, спиртов и др.), поэтому содержание формальдегида в воздухе зависит от количества и разнообразия летучих органических соединений. Создание высоких концентраций формальдегида возможно в местах выброса метана, что необходимо учитывать при интерпретации многолетних изменений концентраций формальдегида. Вклад фотохимического образования формальдегида может существенно превышать прямую эмиссию от природных, промышленных, мобильных и сельскохозяйственных источников. Содержание формальдегида в атмосферном воздухе носит сезонный и суточный характер и зависит от метеорологических факторов. В дневное время и летний период с повышенной температурой и солнечной активностью концентрация формальдегида значительно возрастает [17].

Формальдегид – вещество 2 класса опасности, при ингаляционном поступлении критическими органами и системами являются органы дыхания, глаза, иммунная система [15]; он обладает общетоксическим, раздражающим и аллергенным действием. При этом формальдегид может не только непосредственно вызывать развитие аллергии, но и провоцировать возникновение аллергических реакций на другие аллергены [10]. Формальдегид в составе смесей загрязняющих веществ может оказывать комбинированное действие. Эффект суммации отмечается при одновременном присутствии в воздухе формальдегида с веществами в следующих комбинациях: аммиак; сероводород; диоксид азота, гексан, оксид углерода; ацетон, фурфурол, фенол; озон, диоксид азота [13]. *Международное агентство по изучению рака* (МАИР) в 2004 г. классифицировало формальдегид как весьма вероятный канцероген для человека (группа 2А). Согласно классификации *Агентства по охране окружающей среды США* (EPA) формальдегид относится к группе В1 (вероятный канцероген для человека). В различных исследованиях показано, что в настоящее время формальдегид является наиболее значимым загрязнителем атмосферного воздуха, формирующим повышенный (неприемлемый) уровень канцерогенного риска для населения [1,9,11,18,20,23]. С воздействием формальдегида связывают повышенный риск развития рака носоглотки и лейкемии [19,22]. Формальдегид обладает генотоксическим и цитотоксическим действием, вызывая повреждение ДНК и хромосомные изменения. Повышенная нестабильность генома из-за генотоксичных химических веществ может увеличить риск развития рака [4,21].

Цель исследования – оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Казани формальдегидом и риска здоровью населения.

Материалы и методы исследования. Для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Казани были использованы результаты натурных исследований качества атмосферного воздуха за период 2017-2021 гг., выполненные лабораториями ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)» в рамках *социально-гигиенического мониторинга* (СГМ); ФБУЗ «Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Татарстан», материалы Государственных докладов о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан за 2017-2021 гг. Уровень загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом определялся в соот-

ветствии с Руководящим документом РД 52.04.667-2005 «Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию» [16]. Были использованы максимально разовые концентрации, рассчитаны среднегодовые концентрации (среднее арифметическое значение разовых концентраций, полученных в течение года), величины *стандартного индекса* (СИ) (отношение максимальной концентрации к ПДК).

Расчет и оценка риска проводилась в соответствии с Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» [15], при этом была использована средняя многолетняя концентрация формальдегида (за период 2017-2021 гг.). Для оценки риска развития неканцерогенных эффектов был рассчитан *коэффициент опасности* (НО); оценка индивидуального канцерогенного риска проводилась на основе расчета единичного риска с учетом значения фактора канцерогенного потенциала; на основе индивидуального канцерогенного риска был проведен расчет популяционного канцерогенного риска. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы *Microsoft Excel 2017*.

Результаты и их обсуждение. Источниками загрязнения атмосферного воздуха в г. Казани являются промышленные предприятия и автомобильный транспорт. Основной вклад в суммарный объем выбросов от стационарных источников вносят такие крупные предприятия города, как ОАО «Казаньоргсинтез», АО «Казэнерго», ТЭЦ-1,2,3 и др. Объем выбросов от стационарных источников за анализируемый период составил от 28,1 тыс. т в 2021 г. до 32,4 тыс. т в 2017 г. В структуре выбросов от стационарных источников среди загрязняющих веществ наибольший удельный вес (около 50%) приходится на углеводороды и летучие органические соединения, при фотохимическом окислении которых происходит вторичное образование формальдегида. Однако ведущим источником загрязнения в современных условиях в г. Казани является автомобильный транспорт, на долю которого приходится порядка 70% от общего объема выбросов. В выбросах автотранспорта среди продуктов неполного сгорания всегда присутствует формальдегид; наибольшее образование его происходит при использовании газового и дизельного топлива [17].

Наблюдения за качеством атмосферного воздуха в городе, включая контроль содержания формальдегида, осуществляются на 10 стационарных *постах государственной службы наблюдений* (ПНЗ) за состоянием окружающей среды по полной программе (4 раза в сутки). 7 из 10 постов расположены в жилых районах города, 2 – вблизи промышленных предприятий, 1 – вблизи автомагистрали с интенсивным транспортным движением. В рамках системы СГМ наблюдения ведутся в 15 мониторинговых точках, расположенных в жилой зоне вблизи автомобильных дорог. Проведенные исследования показали, что в период 2017-2020 гг. уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Казани (по показателю ИЗА₅) характеризовался как повышенный, а в 2021 г. – высокий (табл. 1). При этом увеличение уровня загрязнения атмосферного воздуха связано не с ростом количества выбросов, а с изменениями в санитарном законодательстве. Так, в период до 2020 г. включительно при оценке среднегодовой концентрации формальдегида в качестве гигиенического норматива использовалась среднесуточная ПДК (0,01 мг/м³), а в 2021 г. утверждена среднегодовая ПДК, составляющая 0,003 мг/м³ [13]. При сравнении среднегодовой концентрации формальдегида с данным нормативом, обеспечивающим допустимые (приемлемые) уровни риска при хроническом (не менее 1 года) воздействии, можно сделать вывод о том, что за весь анализируемый период среднегодовое содержание формальдегида превышает допустимые уровни. Максимальное содержание формальдегида, превышающее ПДК в 5,3 раза, отмечалось в 2021 г.

Таблица 1

Качество атмосферного воздуха в г. Казани

Показатели	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Уровень загрязнения (по показателю ИЗА ₅)	повышенный	повышенный	повышенный	повышенный	высокий
Среднегодовая концентрация формальдегида, мг/м ³	0,01	0,01	0,015	0,012	0,016
Стандартный индекс, СИ	6,5	8,3	9,0	4,8	8,4

В формировании уровня загрязнения атмосферного воздуха наряду с поступлением выбросов от стационарных и подвижных источников существенное влияние оказывают метеорологические условия, определяющие условия рассеивания загрязняющих веществ. Следует отметить, что территория г. Казани относится к зоне повышенного потенциала загрязнения атмосферы, большую часть времени года здесь наблюдаются ограниченно благоприятные или неблагоприятные метеоусловия для рассеивания загрязняющих веществ [3]. Средняя скорость ветра за изученный период характеризуется как слабая, отмечает-

ся значительный удельный вес повторяемости штиля. Повторяемость приземных инверсий температуры, затрудняющих рассеивание выбросов автотранспорта, составляет $26,8 \pm 7,1\%$; среднее число дней с неблагоприятными метеоусловиями - 177 ± 28 (табл. 2).

Таблица 2

Метеорологические условия рассеивания загрязняющих веществ в г. Казани

Показатели	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Число дней с неблагоприятными метеоусловиями	132	185	208	172	190
Скорость ветра, м/с	1,9	2,0	2,0	1,9	1,9
Повторяемость ветров со скоростью 0-1 м/с, %	36	36	38	40	37
Повторяемость приземных инверсий температуры, %	37	27	18	29	23

Наиболее высокие концентрации формальдегида регистрируются в летнее время, что, вероятно, связано с увеличением интенсивности фотохимических реакций, происходящих в атмосфере. Максимальные величины СИ, приведенные в табл. 1, отмечались именно в летний период (в июле). Наиболее низкое содержание формальдегида отмечалось в холодное время года (ноябрь – февраль). Полученные нами данные о сезонных изменениях содержания формальдегида в атмосферном воздухе согласуются с результатами других исследований [6,17,23]. Максимальные разовые концентрации за анализируемый период регистрировались в разных районах города. Так, в 2017 и 2018 гг. максимальная концентрация была зафиксирована на ПНЗ №15; в 2019 г. – на ПНЗ №7 (данные посты расположены в жилых районах города); в 2020 г. – на посту, расположенном вблизи автомагистрали с интенсивным транспортным движением (ПНЗ №3), в 2021 г. – на посту, расположенном вблизи промышленного предприятия (ПНЗ №6).

Проведенные нами расчеты риска развития неканцерогенных эффектов, обусловленных воздействием формальдегида, содержащегося в атмосферном воздухе, показали, что величина коэффициента опасности HQ составляет 4,2, что оценивается как высокий уровень риска ($HQ > 3.0$). Величина канцерогенного риска, обусловленная воздействием формальдегида, составила $1,66 \cdot 10^4$, что соответствует настораживающему уровню риска, неприемлемому для населения в целом. Величина популяционного канцерогенного риска, отражающего дополнительное число заболеваний злокачественных новообразований, способных возникнуть на протяжении жизни вследствие воздействия формальдегида, составила 208. Неопределенность проведенной оценки риска обусловлена использованием в расчете единичного риска стандартных значений массы тела, суточного потребления воздуха, среднегодовых концентраций формальдегида, полученных в рамках осуществления экологического мониторинга за качеством атмосферного воздуха в г. Казани за период 2017-2022 гг.

Заключение. Таким образом, население г. Казани проживает в условиях высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха, а формальдегид является одним из приоритетных загрязнителей, формирующих как высокий уровень риска развития неканцерогенных эффектов для здоровья, так и неприемлемый уровень канцерогенного риска. Значительную роль в создании высоких концентраций формальдегида в атмосферном воздухе играют вторичные антропогенные источники и неблагоприятные для рассеивания загрязняющих веществ метеоусловия, что требует необходимости разработки и реализации мероприятий, направленных на снижение загрязнения атмосферного воздуха веществами, являющимися прекурсорами формальдегида (углеводороды, летучие органические соединения), а также веществами, участвующими в фотохимических реакциях с образованием формальдегида (диоксид азота, озон).

Литература

1. Бакиров А.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Бактыбаева З.Б., Рахматуллин Н.Р., Степанов Е.Г., Давлетнуров Н.Х. Эколого-гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения техногенных территорий республики Башкортостан // Медицина труда и экология человека. 2018. №3. С. 5–12.
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. URL: <https://2021.ecology-gosdoklad.ru> (дата обращения: 15.02.2023).
3. Давлетова Н.Х., Тафеева Е.А. Влияние природно-климатических условий на качество воздуха и риски для здоровья в районах размещения открытых спортивных объектов (на примере г. Казани) // Анализ риска здоровью. 2018. № 1. С. 39–46. DOI: 10.21668/health.risk/2018.1.05.
4. Еремина Н.В., Жанатаев А.К., Дурнев А.Д. Генотоксические биомаркеры у сотрудников патологоанатомических лабораторий, работающих с формальдегидом (систематический обзор) // Гигиена и санитария. 2020. Т.99, №8. С.792–802. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-8-792-802.

5. Клейн С.В., Попова Е.В. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха г. Читы – приоритетной территории федерального проекта «Чистый воздух» // Здоровье населения и среда обитания. 2020. №12 (333). С.16–22. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22
6. Кокош Ю.Г., Какарека С.В. Сезонная динамика содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси // Природопользование. Институт природопользования НАН Беларуси. 2019. № 1. С. 28–36.
7. Крупнова Т.Г., Ракова О.В., Кочегоров В.М., Тетерина Е.В., Бондаренко К.А., Сайфуллин А.Ф., Терехов С.Н. Проблема анализа содержания формальдегида в атмосферном воздухе и идентификации источников (на примере города Челябинска) // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 3. С. 139–150. DOI: 10.14529/chem220315.
8. Кузьмин С.В., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицин В.А., Пинигин М.А., Бударина О.В. Воздействие атмосферных загрязнений на здоровье населения: диагностика, оценка и профилактика // Гигиена и санитария. 2022. Т.101, №10. С. 1145–1150. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150.
9. Май И.В., Клейн С.В., Максимова Е.В., Балашов С.Ю., Цинкер М.Ю. Гигиеническая оценка ситуации и анализ риска для здоровья населения как информационная основа организации мониторинга и формирования комплексных планов воздухоохраных мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» // Гигиена и санитария. 2021. Т.100, №10. С. 1043–1051. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1043-1051.
10. 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. С. 72–82. DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.06.
11. Мьякишева Ю. В., Михайлюк Н. А., Федосейкина И. В., Халитова Ю. А., Дудина А. И. Комплексная оценка влияния основных источников выбросов загрязняющих веществ на качество атмосферного воздуха Куйбышевского района городского округа Самара // Экология человека. 2021. №12. С.56–64. DOI: 10.33396/1728-0869-2021-12-56-64.
12. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2021 год. URL: https://www.meteorf.gov.ru/upload/iblock/943/Обзор%202021_для%20сайта.pdf (дата обращения: 15.02.2023).
13. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». URL: <https://internet.garant.ru/#/document/400274954/paragraph/134/> (дата обращения: 15.02.2023).
14. Ракитский В.Н., Авалиани С.Л., Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А. Анализ риска здоровью при воздействии атмосферных загрязнений как составная часть стратегии уменьшения глобальной эпидемии неинфекционных заболеваний // Анализ риска здоровью. 2019. №4. С.30–36. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.03.
15. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04 (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 5 марта 2004 г.). URL: <https://internet.garant.ru/#/document/4181873/paragraph/20364/> (дата обращения: 24.02.2023).
16. Руководящий документ РД 52.04.667-2005 «Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию» (утв. Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды 1 февраля 2006 г.). URL: <https://internet.garant.ru/#/document/70467682/paragraph/49> (дата обращения: 24.02.2023).
17. Халиков С.В. Формальдегид в атмосферном воздухе: источники поступления и пути удаления // Экологическая химия. 2019. Т.28, №6. С. 307–317.
18. Hadei M., Hopke P.K., Rafiee M., Rastkari N., Yarahmadi M., Kermani M., Shahsavani A. Indoor and outdoor concentrations of BTEX and formaldehyde in Tehran, Iran: effects of building characteristics and health risk assessment // Environ Sci Pollut Res Int. 2018. №25(27). P. 27423-27437. DOI: 10.1007/s11356-018-2794-4.
19. Kang D.S., Kim H.S., Jung J.H., Lee C.M., Ahn Y.S., Seo Y.R. Formaldehyde exposure and leukemia risk: a comprehensive review and network-based toxicogenomic approach // Genes Environ. 2021. №43(1). P. 13. DOI: 10.1186/s41021-021-00183-5.
20. Morello-Frosch R.A., Woodruff T.J., Axelrad D.A., Caldwell J.C. Air toxics and health risks in California: the public health implications of outdoor concentrations // Risk Anal. 2000. №20(2). P. 273–291. DOI: 10.1111/0272-4332.202026.
21. Protano C., Buomprisco G., Cammalleri V., Pocino R.N., Marotta D., Simonazzi S., Cardoni F., Petyx M., Iavicoli S., Vitali M. The Carcinogenic Effects of Formaldehyde Occupational Exposure: A Systematic Review // Cancers (Basel). 2021. №14(1). P. 165. DOI: 10.3390/cancers14010165.

22. Vardoulakis S., Giagloglou E., Steinle S., Davis A., Sleuwenhoek A., Galea K.S., Dixon K., Crawford J.O. Indoor Exposure to Selected Air Pollutants in the Home Environment: A Systematic Review // *Int J Environ Res Public Health*. 2020. №17(23). P. 8972. DOI: 10.3390/ijerph17238972.

23. Zhang H., Zheng Z., Yu T., Liu C., Qian H., Li J. Seasonal and diurnal patterns of outdoor formaldehyde and impacts on indoor environments and health // *Environ Res*. 2022. №205. P. 112550. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112550.

References

1. Bakirov AB, Sulejmanov RA, Valeev TK, Baktybaeva ZB, Rahmatullin NR, Stepanov EG, Davletnurov NH. Jekologo-gigienicheskaja ocenka kancerogenogo riska zdorov'ju naselenija tehnogennyh territorij respubliki Bashkortostan [Ecological-hygienic assessment of human carcinogenic health risk of technogenic territories in the Republic of Bashkortostan]. *Medicina truda i jekologija cheloveka*. 2018;3:5-12. Russian.

2. Gosudarstvennyj doklad o sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Rossijskoj Federacii v 2021 godu [State report on the state and environmental protection of the Russian Federation in 2021]. Russian. Available from: <https://2021.ecology-gosdoklad.ru>.

3. Davletova NH, Tafeeva EA. Vlijanie prirodno-klimaticheskikh uslovij na kachestvo vozduha i riski dlja zdorov'ja v rajonah razmeshhenija otkrytyh sportivnyh ob#ektov (na primere g. Kazani) [Influence exerted by natural-climatic conditions on air quality on areas where open-air sport facilities are located (on the example of Kazan)]. *Analiz riska zdorov'ju*. 2018;1:39-46. DOI: 10.21668/health.risk/2018.1.05. Russian.

4. Eremina NV, Zhanataev AK, Durnev AD. Genotoksicheskie biomarkery u sotrudnikov patologoanatomicheskikh laboratorij, rabotajushhij s formal'degidom (sistemicheskij obzor) [Genotoxic biomarkers in employees of pathomorphological laboratories working with formaldehyde (systematic review)]. *Gigiena i sanitarija*. 2020; 99(8):792-802. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-8-792-802. Russian.

5. Klejn SV, Popova EV. Gigienicheskaja ocenka kachestva atmosfernogo vozduha g. Chity – prioritnoy territorii federal'nogo proekta «Chistyj vozduh» [Hygienic assessment of ambient air quality in Chita, a priority area of the federal clean air project]. *Zdorov'e naselenija i sreda obitanija*. 2020;12(333):16–22. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22. Russian.

6. Kokosh JuG, Kakareka SV. Sezonnaja dinamika sodержaniya formal'degida v atmosfernom vozduhe gorodov Belarusi [Seasonal dynamics of formaldehyde concentrations in atmospheric air of Belarusian cities]. *Prirodopol'zovanie. Institut prirodopol'zovaniya NAN Belarusi*. 2019;1:28-36. Russian.

7. Krupnova TG, Rakova OV, Kochegorov VM, Teterina EV, Bondarenko KA, Sajfullin AF, Terehov SN. Problema analiza sodержaniya formal'degida v atmosfernom vozduhe i identifikacii istochnikov (na primere goroda Cheljabinska) [Problem of air formaldehyde content analysis and source identification (evidence from Chelyabinsk)]. *Vestnik JuUrGU. Serija «Himija»*. 2022;14(3):139–50. DOI: 10.14529/chem220315. Russian.

8. Kuz'min SV, Dodina NS, Shashina TA, Kislicin VA, Pinigin MA, Budarina OV. Vozdejstvie atmosferyh zagrjaznenij na zdorov'e naselenija: diagnostika, ocenka i profilaktika [The impact of atmospheric pollution on public health: diagnosis, assessment, and prevention]. *Gigiena i sanitarija*. 2022;101(10):1145-50. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150. Russian.

9. Maj IV, Klejn SV, Maksimova EV, Balashov SJu, Cinker MJu. Gigienicheskaja ocenka situacii i analiz riska dlja zdorov'ja naselenija kak informacionnaja osnova organizacii monitoringa i formirovaniya kompleksnyh planov vozduhoohrannyh meroprijatij federal'nogo proekta «Chistyj vozduh» [Hygienic assessment of the situation and analysis of the health risk of the population as an information basis for the organization of monitoring and the formation of complex plans for air protection measures of the federal project "Clean air"]. *Gigiena i sanitarija*. 2021;100(10):1043-51. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1043-1051. Russian.

10. Malysheva AG, Kalinina NV, Judin SM. Himicheskoe zagrjaznenie vozduhnoj sredy zhilyh pomeshhenij kak faktor riska zdorov'ju naselenija [Chemical air pollution in dwelling as a health risk factor]. *Analiz riska zdorov'ju*. 2022;3:72–82. DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.06. Russian.

11. Mjakisheva JuV, Mihajljuk NA, Fedosejkina IV, Halitova JuA, Dudina AI. Kompleksnaja ocenka vlijaniya osnovnyh istochnikov vybrosov zagrjaznjajushhij veshhestv na kachestvo atmosfernogo vozduha Kujbyshevskogo rajona gorodckogo okruga Samara [Comprehensive assessment of the impact of the main sources of emissions of pollutants on the air quality of the Kuibyshevsky district of Samara]. *Jekologija cheloveka*. 2021;12:56–64. DOI: 10.33396/1728-0869-2021-12-56-64. Russian.

12. Obzor sostojanija i zagrjaznenija okruzhajushhej sredy v Rossijskoj Federacii za 2021 god [Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2021]. Russian. Available from: https://www.meteorf.gov.ru/upload/iblock/943/Обзор%202021_для%20сайта.pdf

13. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 28 janvarja 2021 g. № 2 «Ob utverzhenii sanitarnykh pravil i norm SanPiN 1.2.3685-21 «Gigienicheskie normativy i trebovanija k obespečeniju bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlja cheloveka faktorov sredy obitanija» [Hygienic standards and

requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans]. Russian. Available from: <https://internet.garant.ru/#/document/400274954/paragraph/134/>

14. Rakitskiy VN, Avaliani SL, Novikov SM, Shashina TA, Dodina NS, Kislicin VA. Analiz riska zdorov'ju pri vozdeystvii atmosferynyh zagryaznenij kak sostavnaja chast' strategii umen'shenija global'noj jepidemii neinfekcionnyh zabolevanij [Health risk analysis related to exposure to ambient air contamination as a component in the strategy aimed at reducing global non-infectious epidemics]. Analiz riska zdorov'ju. 2019;4:30–6. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.03. Russian.

15. Rukovodstvo po ocenke riska dlja zdorov'ja naselenija pri vozdeystvii himicheskikh veshhestv, zagryaznjajushchih okruzhajushchuju sredu. R 2.1.10.1920-04 (utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RF 5 marta 2004 g.) [Human Health Risk Assessment from Environmental Chemicals]. Russian. Available from: <https://internet.garant.ru/#/document/4181873/paragraph/20364/>

16. Rukovodjashhij dokument RD 52.04.667-2005 «Dokumenty o sostojanii zagryaznenija atmosfery v gorodah dlja informirovanija gosudarstvennyh organov, obshhestvennosti i naselenija. Obshhie trebovanija k razrabotke, postroeniju i izlozheniju i sodержaniju» (utv. Federal'noj sluzhboj po gidrometeorologii i monitoringu okruzhajushhej sredy 1 fevralja 2006 g.) [Guideline «Documents on the state of air pollution in cities to inform government agencies, the public and the population. General requirements for the development, construction, presentation and content»]. Russian. Available from: <https://internet.garant.ru/#/document/70467682/paragraph/49>

17. Halikov SV. Formal'degid v atmosfernom vozduhe: istochniki postuplenija i puti udalenija [Formaldehyde in atmospheric air: sources of arrival and ways to remove]. Jekologicheskaja himija. 2019;28(6):307-17. Russian.

18. Hadei M, Hopke PK, Rafiee M, Rastkari N, Yarahmadi M, Kermani M, Shahsavani A. Indoor and outdoor concentrations of BTEX and formaldehyde in Tehran, Iran: effects of building characteristics and health risk assessment. Environ Sci Pollut Res Int. 2018;25(27):27423-37. doi: 10.1007/s11356-018-2794-4.

19. Kang DS, Kim HS, Jung JH, Lee CM, Ahn YS, Seo YR. Formaldehyde exposure and leukemia risk: a comprehensive review and network-based toxicogenomic approach. Genes Environ. 2021;43(1):13. doi: 10.1186/s41021-021-00183-5.

20. Morello-Frosch RA, Woodruff TJ, Axelrad DA, Caldwell JC. Air toxics and health risks in California: the public health implications of outdoor concentrations. Risk Anal. 2000;20(2):273-91. doi: 10.1111/0272-4332.202026.

21. Protano C, Buomprisco G, Cammalleri V, Pocino RN, Marotta D, Simonazzi S, Cardoni F, Petyx M, Iavicoli S, Vitali M. The Carcinogenic Effects of Formaldehyde Occupational Exposure: A Systematic Review. Cancers (Basel). 2021;14(1):165. doi: 10.3390/cancers14010165.

22. Vardoulakis S, Giagloglou E, Steinle S, Davis A, Sleeuwenhoek A, Galea KS, Dixon K, Crawford JO. Indoor Exposure to Selected Air Pollutants in the Home Environment: A Systematic Review. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(23):8972. doi: 10.3390/ijerph17238972.

23. Zhang H, Zheng Z, Yu T, Liu C, Qian H, Li J. Seasonal and diurnal patterns of outdoor formaldehyde and impacts on indoor environments and health. Environ Res. 2022;205:112550. doi: 10.1016/j.envres.2021.112550.

Библиографическая ссылка:

Тaufеева Е.А., Фролова О.А., Давлетова Н.Х., Радченко А.С. Загрязнение атмосферного воздуха формальдегидом и риск здоровью населения // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2023. №4. Публикация 2-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-4/2-1.pdf> (дата обращения: 07.07.2023). DOI: 10.24412/2075-4094-2023-4-2-1. EDN IOWKVM*

Bibliographic reference:

Taufeeva EA, Frolova OA, Davletova NK, Radchenko AS. Zagryaznenie atmosfernogo vozduha formal'degidom i risk zdorov'ju naselenija [Formaldehyde outdoor air pollution and population health risk]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2023 [cited 2023 July 07];4 [about 7 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-4/2-1.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2023-4-2-1. EDN IOWKVM

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-4/e2023-4.pdf>

**идентификатор для научных публикаций EDN (eLIBRARY Document Number) будет активен после выгрузки полной версии журнала в eLIBRARY