

Читать
онлайн
Read
online

Уланова Т.С., Лужецкий К.П., Карнажицкая Т.Д., Старчикова М.О., Пустобаева М.С.

Исследование аэрогенного воздействия формальдегида на здоровье детского населения

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

Введение. Формальдегид относится к широко распространённым и опасным для здоровья загрязнителям окружающей среды, имеет II класс опасности при ингаляционном воздействии. В условиях аэрогенного хронического действия повышается риск отрицательного воздействия на здоровье человека. Особенно чувствителен к неблагоприятному действию формальдегида детский организм.

Материалы и методы. Проведены химико-аналитические исследования содержания формальдегида в атмосферном воздухе, воздухе помещений дошкольных и школьных образовательных учреждений и в биологических средах детей, проживающих в крупном промышленном городе (группа наблюдения) и сельской местности (группа сравнения) Западного Урала.

Результаты. В условиях города установлено более высокое содержание формальдегида, чем в сельской местности: в 1,5 раза выше в атмосферном воздухе и в 2,9 раза выше в воздухе помещений детских садов и школ. Воздух закрытых помещений формирует более высокую по сравнению с атмосферным воздухом нагрузку по содержанию формальдегида: её доля составляет 93% на городской территории и 87% в сельской местности. Среднегрупповое содержание формальдегида в крови детей группы наблюдения в 4 раза превышает аналогичный показатель в группе сравнения. Установлено превышение регионального фонового уровня содержания формальдегида в крови детей в группе наблюдения в 7,6 раза, группе сравнения — в 1,8 раза. Анализ соматической заболеваемости по классам болезней показал, что в группе наблюдения приоритетные патологии, связанные с воздействием формальдегида, диагностированы в 1,1–9,5 раза чаще, чем в группе сравнения ($p < 0,05$). По отдельным нозологическим формам в группе наблюдения приоритетные нозологии встречаются в 1,8–9,7 раза чаще, чем в группе сравнения ($p < 0,05$). Получены статистически значимые модели зависимости вероятности повышения уровня заболеваемости детей болезнями органов дыхания, иммунной и нервной систем с увеличением концентрации свободного формальдегида в крови ($R^2 = 0,13–0,97$; $F = 45,4–4074$; $p \leq 0,001$).

Ограничения исследования. В проведённом исследовании не исключена вероятность увеличения заболеваемости детского населения, связанная с возможным влиянием факторов, не изученных в данной работе. Однако выявленные зависимости между содержанием формальдегида в крови и соматическим статусом детей по критерию вероятности повышения числа заболеваний от повышенного содержания формальдегида в крови могут свидетельствовать об установлении одной из причин увеличения частоты заболеваний органов дыхания, нарушений со стороны иммунной системы, болезней крови и кроветворных органов у детей при аэрогенном воздействии формальдегида.

Заключение. В результате изучения содержания формальдегида в воздушной среде городской и сельской территорий установлены более высокие концентрации токсиканта в воздухе помещений детских садов и школ и атмосферном воздухе в условиях городской среды по сравнению с сельской местностью. Повышенное содержание формальдегида в крови детей промышленного города, формирующееся в основном за счёт аэрогенного поступления формальдегида с воздухом внутри помещений, приводит к более высокой вероятности возникновения ассоциированных случаев заболеваний дыхательной, иммунной и нервной систем.

Ключевые слова: гигиена; формальдегид; атмосферный воздух; воздух помещений; аэрогенная нагрузка; кровь; детское население; профилактика

Соблюдение этических стандартов. Медико-биологические исследования одобрены локальным этическим комитетом при ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (выписка из протокола № 2 от 17 февраля 2014 г.). Исследования проведены с соблюдением этических принципов Хельсинкской декларации (1975 г. с доп. 1983 г.) и Национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р 52379-2005 «Надлежащая клиническая практика» (ICH E6 GCP) при наличии письменного информированного добровольного согласия от законных представителей детей.

Для цитирования: Уланова Т.С., Лужецкий К.П., Карнажицкая Т.Д., Старчикова М.О., Пустобаева М.С. Исследование аэрогенного воздействия формальдегида на здоровье детского населения. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(2): 194–200. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-194-200>

Для корреспонденции: Карнажицкая Татьяна Дмитриевна, канд. биол. наук, зав. лаб. методов жидкостной хроматографии ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: tdkarn@ferisk.ru

Участие авторов: Уланова Т.С. — концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Лужецкий К.П. — концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Карнажицкая Т.Д. — написание текста, сбор и статистическая обработка материала; Старчикова М.О. — написание текста, статистическая обработка материала; Пустобаева М.С. — анализ формальдегида в крови методом ВЭЖХ.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 06.07.2021 / Принята к печати: 25.11.2021 / Опубликована: 10.03.2022

Tatyana S. Ulanova, Konstantin P. Luzhetskii, Tatyana D. Karnazhitskaya, Mariya O. Starchikova,
Marina S. Pustobayeva

Study of the aerogenic impact of formaldehyde on the health of child population

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

Introduction. Formaldehyde is a widespread environmental contaminant hazardous for human health; it belongs to the second hazard category for its inhalation exposure. Aerogenic inhalation exposure results in elevated risks of adverse effects on human health. Children are susceptible to such adverse effects produced by formaldehyde.

Materials and methods. We performed chemical-analytical studies on formaldehyde contents in ambient air, inside pre-school children facilities and schools, and biological media of children living in a large industrial city (the test group) and a rural area (the reference group) in the Western Urals.

Original article

Results. In the city, formaldehyde contents were 1.5 times higher in ambient air and 2.9 times higher inside pre-school children facilities and schools than in rural areas. Indoor air creates a more significant burden as per formaldehyde against ambient air, and its share is equal to 93% in the city and 87% in the rural area. The average group concentration of formaldehyde in blood was four times higher in the test group than the same parameter in the reference one. We also detected that formaldehyde contents were 7.6 times higher than the regional background level in the blood of children from the test group and 1.8 times higher in children from the reference group. We analyzed somatic morbidity as per nosologic categories and revealed that priority pathologies caused by exposure to formaldehyde were diagnosed 1.1–1.9 times more frequently in the test group than in the reference one ($p < 0.05$). Regarding specific nosologies, priority nosologies were 1.8–9.7 times more frequent in the test group than in the reference group ($p < 0.05$). We created statistically significant models showing dependence between a potential growth in morbidity with respiratory diseases, immune and nervous system diseases among children with elevated concentrations of free formaldehyde in the blood ($R^2 = 0.13 - 0.97$; $F = 45.4 - 4,074$; $p \leq 0.001$).

Limitations. In the study, the possibility of an increase in the incidence of the child population, associated with the possible influence of factors not studied in this work, cannot be ruled out. However, the revealed relationships between the content of formaldehyde in the blood and the somatic status of children according to the criterion of the probability of an increase in the number of diseases from an increased content of formaldehyde in the blood may suggest one of the reasons for the increase in the frequency of respiratory diseases, disorders of the immune system, diseases of the blood and blood-forming organs in children under aerogenic exposure to formaldehyde.

Conclusion. Having examined formaldehyde contents in air in the city and rural area, we established that toxicant concentrations were higher inside pre-school children facilities and schools in the city than in the rural area. High formaldehyde contents in the blood of children living in sizeable industrial cities occur predominantly due to aerogenic exposure to formaldehyde in indoor air and lead to more probable associated diseases of the respiratory, immune, and nervous systems.

Keywords: formaldehyde; atmospheric air; indoor air; aerogenic exposure; blood; children's population

Compliance with ethical standards. The biomedical research was approved by the local ethics committee at the Federal Budget Scientific Institution "Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies" (excerpt from Protocol No. 2 dated February 17, 2014). The studies were carried out following the ethical principles of the Declaration of Helsinki (1975, as amended in 1983) and the National Standard of the Russian Federation GOST-R 52379-2005 "Good Clinical Practice" (ICH E6 GCP) with written informed voluntary consent from the legal representatives of the children.

For citation: Ulanova T.S., Luzhetskiiy K.P., Karnazhitskaya T.D., Starchikova M.O., Pustobayeva M.S. Study of the aerogenic impact of formaldehyde on the health of child population. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(2): 194-200. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-194-200> (In Russ.)

For correspondence: Tatyana D. Karnazhitskaya, MD, PhD, Head of Liquid Chromatography Laboratory at FBSI "Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies", Perm city, 614045, Russian Federation. E-mail: tdkarn@fcrisk.ru

Information about authors:

Ulanova T.S., <https://orcid.org/0000-0002-9238-5598> Luzhetskiiy K.P., <https://orcid.org/0000-0003-0998-7465>
Starchikova M.O., <https://orcid.org/0000-0002-3259-1509> Pustobaeva M.S., <https://orcid.org/0000-0002-3832-3601>
Karnazhitskaya T.D., <https://orcid.org/0000-0001-6768-0045>

Contribution: Ulanova T.S. – concept and design of the study, editing. Luzhetskiiy K.P. – concept and design of the study, editing. Karnazhickaja T.D. – writing text, collection and statistical processing of material. Starchikova M.O. – writing text, statistical processing of material. Pustobaeva M.S. – analysis of formaldehyde in blood by HPLC. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: July 6, 2021 / Accepted: November 25, 2021 / Published: March 10, 2022

Введение

Актуальной задачей сохранения здоровья и предупреждения заболеваний является выявление причин и условий их возникновения и развития, а также устранение вредного влияния на здоровье человека факторов среды обитания¹. В современных гигиенических исследованиях изучение неблагоприятного воздействия техногенных факторов окружающей среды на состояние здоровья населения проводится с учётом установления причинно-следственных связей между воздействием факторов среды обитания (маркеры экспозиции) и показателями клинико-лабораторных исследований, функциональной диагностики и заболеваемости населения (маркеры ответа) [1–3].

Формальдегид относится к наиболее широко распространённому и опасному для здоровья загрязнителем окружающей среды, имеет II класс опасности при ингаляционном и пероральном воздействии.

Основные источники выделения формальдегида в атмосферу – предприятия теплоэнергетики, деревообработки, нефтехимии, чёрной и цветной металлургии, угольной промышленности, производства лаков, красок и пластмассы, а также автомобильный транспорт и выхлопные газы самолётов [4–6]. Формальдегид образуется в воздухе в результате фотоокисления ряда органических соединений, например, метана, этана, этилена, пропилена, метанола, хлорпроизводных метанола, муравьиной кислоты и т. д. Наибольшее количество формальдегида в атмосфере образуется в летний период в результате активации фотохимических процессов [6].

¹ Федеральный закон от 21.11.2011 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» (с изменениями на 13 января 2020 г.).

В организм человека формальдегид поступает ингаляционным, пероральным и перкутаным путями [7], а также образуется в организме в процессе естественного метаболизма [8, 9]. Длительное воздействие формальдегида может вызвать раздражение слизистых оболочек глаз, носа и других органов дыхания, поражение органов зрения, центральной нервной системы. Формальдегид оказывает мутагенное, сенсibiliзирующее действия на человека [10–12]. Свободный формальдегид инактивирует ряд ферментов в органах и тканях, угнетает синтез нуклеиновых кислот, нарушает обмен витамина С [13]. Формальдегид неблагоприятно влияет на репродуктивную функцию, возможно его генотоксическое и иммуноотоксическое действие [7, 14].

В условиях аэрогенного хронического действия повышается риск отрицательного влияния на состояние здоровья человека. Критические органы/системы при хроническом ингаляционном действии – органы дыхания, глаза, иммунная система, при хроническом пероральном поступлении – желудочно-кишечный тракт, центральная нервная система, печень, почки [15]. Особенно чувствителен к неблагоприятному воздействию химических факторов окружающей среды, в том числе формальдегида, детский организм [16–18]. В работе Рукавишников В.С. и соавт. установлена достоверная зависимость распространённости бронхиальной астмы от содержания формальдегида в моче детей, позволяющая оценить вклад экспозиции формальдегидом в распространённость бронхиальной астмы на изучаемой территории [19]. В работе Т.Н. Унгурану проведён анализ загрязнения атмосферного воздуха и первичной заболеваемости болезнями органов дыхания детского населения. Автором установлено, что наибольший вклад в патологию органов дыхания вносит формальдегид, а в структуре первичной заболеваемости преобладают ОРВИ, острые фарингиты и назофарингиты [3].

Таблица 1 / Table 1

Средние арифметические значения концентрации формальдегида в объектах среды обитания на территориях наблюдения и сравнения, 2010–2018 гг.

Arithmetic mean values of formaldehyde concentration in habitat objects in the territories of observation and comparison, 2010–2018

Показатель Index	ПДКс.с MPCa.d.	Концентрация формальдегида Formaldehyde concentration		Достоверность различий Reliability of differences <i>p</i>	Кратность превышения показателей Multiplicity of excess of indices
		территория наблюдения observation area	территория сравнения comparison area		
Атмосферный воздух, мг/м ³ Atmospheric air, mg/m ³	0.01	0.0021 ± 0.0004	0.0014 ± 0.0003	< 0.01	1.5
Воздух помещений, мг/м ³ Indoor air, mg/m ³	0.01	0.0285 ± 0.0056	0.0099 ± 0.0020	< 0.01	2.9

Точным и информативным инструментом выявления неблагоприятного техногенного воздействия на здоровье является определение вредных химических соединений в биологических средах человека [20, 21]. В связи с этим перспективным направлением представляется оценка связи нарушения здоровья детей с уровнем содержания токсиканта в биологических средах организма ребёнка.

Цель работы – исследование аэрогенного воздействия формальдегида на здоровье детского населения на примере территорий Западного Урала.

Материалы и методы

В течение 2010–2018 гг. проведены мониторинговые исследования содержания формальдегида в атмосферном воздухе и воздухе помещений дошкольных и школьных образовательных учреждений на территории крупного промышленного центра и сельских территориях Западного Урала. Проанализированы 1274 разовые пробы воздуха внутри помещений, в том числе 960 проб в помещениях детских садов (игровые комнаты, спальни), 147 проб воздуха учебных помещений школ территории наблюдения и 167 проб в помещениях детских садов территории сравнения. Отобрано и проанализировано 530 проб атмосферного воздуха, в том числе 303 разовые пробы на территории детских садов и 149 проб на территории школ промышленного центра, 78 проб – на территории детских садов сельской местности. По результатам анализа разовых проб рассчитаны среднесуточные концентрации формальдегида в атмосферном воздухе и воздухе помещений на территориях наблюдения и сравнения.

В период 2014–2018 гг. проведены определения концентраций формальдегида в образцах крови детей в возрасте от 5 до 12 лет, проживающих на территории расположения крупных предприятий нефтехимической, химической, электрохимической, целлюлозно-бумажной промышленности, органического синтеза, машиностроения, теплоэнергетики и других производств с развитой транспортной системой (группа наблюдения, $n = 253$) и сельских территориях (группа сравнения, $n = 127$) Западного Урала.

Клиническую диагностику проводили врачи-педиатры поликлинического отделения ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» на основании результатов клинико-функционального и лабораторного обследования в соответствии с действующими протоколами, стандартами, рекомендациями и алгоритмами клинической диагностики, а также в соответствии с действующей Международной классификацией болезней.

Содержание формальдегида в образцах крови, пробах воздуха помещений и в атмосфере, пробах питьевой воды централизованного водоснабжения определено методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в форме производного 2,4-динитрофенилгидразона формальдегида

в соответствии с МУК 4.1.2111-06², МУК 4.1.1045-01³ и ГОСТ Р 55227-2012⁴ на жидкостном хроматографе Agilent 1200 Series с диодно-матричным детектором (Agilent Technologies, США).

Потенциальный риск воздействия формальдегида на состояние здоровья детского населения моделировался по зависимости вероятности повышения уровня заболеваемости детского населения (маркер эффекта) от содержания формальдегида в крови детей, проживающих на территориях с различной аэрогенной нагрузкой по формальдегиду (маркер экспозиции).

Установление параметров зависимостей «маркер экспозиции – маркер эффекта» осуществляли методом построения логистической модели в виде функции

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 x)}}$$

где P – показатель вероятности повышения; x – концентрация формальдегида в крови, мг/дм³; b_0 , b_1 – параметры модели. Качество полученных моделей оценивалось с использованием коэффициента детерминации (R^2) и критерия Фишера (F). Значимость зависимостей оценивалась по критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$.

Обработку информации по результатам исследований и оценку параметров моделей проводили с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0 и специальных программных продуктов.

Результаты

Анализ разовых проб воздуха помещений в детских садах, школах и атмосферного воздуха на прилегающих к ним территориях показал отсутствие превышений ПДК_{м.р.} по формальдегиду (< 0,05 мг/м³) на городской и сельской территориях. Сравнение по среднеарифметическим значениям показало достоверно более высокую концентрацию формальдегида – в 1,5 раза в атмосферном воздухе и в 2,9 раза в воздухе помещений (игровые комнаты детских садов, учебные помещения школ) – на территории наблюдения по отношению к территории сравнения (табл. 1).

Содержание формальдегида в воздухе помещений выше, чем в атмосферном воздухе, на территории наблюдения в 13,5 раза, на территории сравнения – в 7,1 раза.

Таким образом, с учётом формирования долевого вклада объектов среды обитания (помещения и атмосферный воздух) внутренняя среда помещений даёт большую аэрогенную

² МУК 4.1.2111-06. Определение массовой концентрации формальдегида, ацетальдегида, пропионового альдегида, масляного альдегида и ацетона в пробах крови методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

³ МУК 4.1.1045-01. ВЭЖХ определение формальдегида и предельных альдегидов (C₂–C₁₀) в воздухе.

⁴ ГОСТ Р 55227-2012 Вода. Методы определения содержания формальдегида.

Таблица 2 / Table 2

Среднегрупповые концентрации формальдегида в крови детей, проживающих на территориях наблюдения и сравнения, 2014–2018 гг.
Average formaldehyde content in the blood of children living in the territories of observation and comparison, 2014–2018

Показатель Index	Концентрация формальдегида Formaldehyde concentration		Межгрупповое различие Intergroup difference <i>p</i>	Кратность превышения показателей Multiplicity of excess of indices
	группа наблюдения observation group	группа сравнения comparison group		
Среднегрупповая концентрация, мг/дм ³ Average concentration in group, mg/dm ³	0.0380 ± 0.0004	0.0094 ± 0.0003	< 0.01	4.0
Медиана, мг/дм ³ Median, mg/dm ³	0.0310	0.0100	< 0.01	3.1
Диапазон обнаруженных концентраций, мг/дм ³ Range of detected concentrations, mg/dm ³	0.001–0.175	0.001–0.036	–	–

нагрузку по формальдегиду, чем атмосферный воздух, составляющую соответственно 93,1 и 6,9% на территории наблюдения и 87,6 и 12,4% на территории сравнения.

Анализ биологических сред показал присутствие формальдегида в пробах крови у 100% обследованных детей в диапазоне 0,001–0,175 мг/дм³ в группе наблюдения и 0,001–0,036 мг/дм³ в группе сравнения. Достоверно более высокая среднегрупповая концентрация формальдегида и медиана обнаружены в крови детей территории наблюдения по отношению к территории сравнения – в 4 и 3,1 раза соответственно (табл. 2).

Формальдегид является естественным метаболитом организма, в микроколичествах он присутствует в биосредах и частично выводится с мочой в неизменённом виде [7]. Фоновый уровень содержания формальдегида в крови детей Западного Урала (Пермский край) составляет 0,005 ± 0,0014 мг/дм³ [22]. Оценка химической нагрузки по формальдегиду крови детей обследуемых групп по критерию регионального фонового уровня показала достоверно более высокие значения ($p < 0,01$): в группе наблюдения – в 7,6 раза, в группе сравнения – в 1,8 раза. Основной вклад в формирование химической нагрузки формальдегидом биологических сред детей в городской и сельской среде вносит воздух внутри помещений.

Таким образом, более высокое содержание формальдегида в крови обнаружено у детей, проживающих на территории наблюдения в условиях повышенной аэрогенной нагрузки по формальдегиду в атмосферном воздухе и воздухе общественных помещений (школы, детские сады). Полученные результаты свидетельствуют, что содержание формальдегида в крови потенциально можно использовать в качестве маркера экспозиции при ингаляционном воздействии.

При анализе патологии по классам болезней у экспонированных формальдегидом детей получены достоверные отличия с группой сравнения по частоте заболеваний органов дыхания, болезням крови, кроветворных органов и отдельным нарушениям, вовлекающим иммунный механизм, болезням глаза и его придаточного аппарата и болезням кожи и подкожной клетчатки (табл. 3). В группе наблюдения приоритетные патологии, патогенетически связанные с воздействием формальдегида, диагностированы в 1,1–9,5 раза чаще (1,9–15%) относительно группы сравнения (0,2–13,5%).

При оценке отдельных нозоформ выявлены повышенные уровни заболеваемости аллергическим ринитом, хроническим синуситом, хроническим ринитом, хронической болезнью миндалин и аденоидов, гипертрофией аденоидов, астмой с преобладанием аллергического компонента, общим переменным иммунодефицитом (табл. 4). В группе наблюдения приоритетные нозологии встречаются в 1,8–9,7 раза чаще (4,3–36,3%), чем в группе сравнения (1,6–19,8%).

Для изучения риска аэрогенного воздействия формальдегида на соматический статус детей по критерию вероятности повышения числа заболеваний в группах наблюдения и сравнения построены математические модели. Получены уравнения зависимости «концентрация формальдегида в крови ребёнка (маркер экспозиции) – вероятность повышения уровня заболеваемости (маркер эффекта)». Параметры уравнений выявленных зависимостей представлены в табл. 5.

В группах исследования установлены статистически значимые зависимости повышения частоты болезней верхних дыхательных путей ($R^2 = 0,81$; $F = 182,7$; $p \leq 0,001$),

Таблица 3 / Table 3

Распространённость приоритетных классов болезней у детей в условиях экспозиции формальдегидом в группах исследования (%)
Prevalence of priority classes of diseases in children exposed to formaldehyde in study groups (%)

Показатель Parameter	Группа наблюдения Observation group	Группа сравнения Comparison group	Достоверность различий Reliability of differences $p \leq 0,05$
Болезни органов дыхания / Diseases of the respiratory system	15.0	13.5	< 0.05
Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм Diseases of the blood, blood-forming organs. Diseases of the immune system	7.6	3.6	< 0.01
Болезни глаза и его придаточного аппарата / Diseases of the visual system	1.9	0.2	0.013
Болезни кожи и подкожной клетчатки / Diseases of the skin	4.3	3.8	< 0.01

Таблица 4 / Table 4

Распространённость приоритетной патологии у детей в условиях экспозиции формальдегидом в группах исследования (%)
Prevalence of priority pathology in children under formaldehyde exposure in the study groups (%)

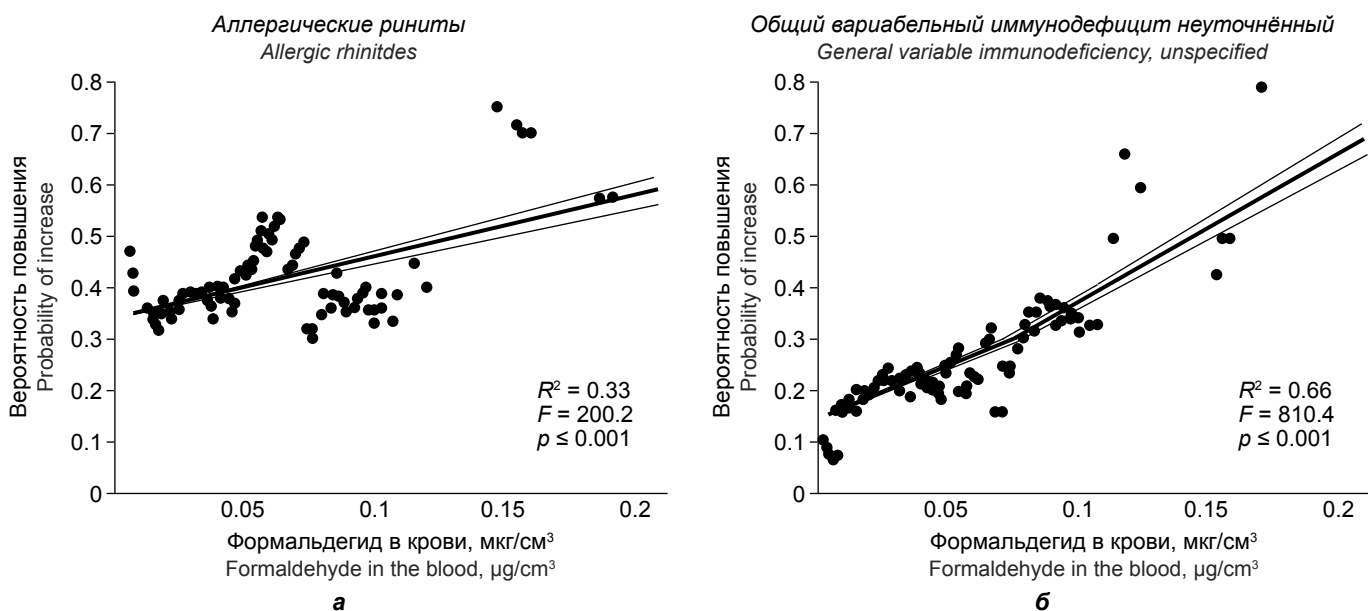
Показатель Parameter	Группа наблюдения Observation group	Группа сравнения Comparison group	Достоверность различий Reliability of differences $p \leq 0.05$
Астма с преобладанием аллергического компонента Asthma with a predominance of the allergic component	0.7	0.0	0.019
Аллергический ринит / Allergic rhinitis	3.3	2.6	0.038
Гипертрофия аденоидов / Hypertrophy of adenoids	2.8	0.9	< 0.01
Общий переменный иммунодефицит неуточнённый Common variable immunodeficiency	2.4	0.5	0.015
Хроническая болезнь миндалин и аденоидов неуточнённая Chronic disease of the tonsils or adenoids, unspecified	0.2	0.0	0.006
Хронический ринит / Chronic rhinitis	1.1	0.7	0.027
Хронический синусит / Chronic sinusitis	0.3	0.0	0.002

Таблица 5 / Table 5

Параметры уравнений зависимости «концентрация формальдегида в крови ребёнка – вероятность повышения уровня заболеваемости», полученные при обследовании детей, проживающих на территориях сравнения и наблюдения

The parameters of the equations of the dependence "The concentration of formaldehyde in the blood of a child – the probability of an increase in the level of morbidity", obtained during the examination of children living in the territories of comparison and observation

Показатель Parameter	Группа наблюдения Observation group				
	b_0	b_1	F	p	R^2
Болезни органов дыхания / Respiratory diseases	0.12	6.8	189.0	< 0.001	0.18
Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм Diseases of the blood, blood-forming organs. Diseases of the immune system	-1.1	7.2	345.4	< 0.001	0.45
Болезни верхних дыхательных путей Upper respiratory tract disorders, unspecified	-7.7	84.5	406.5	< 0.001	0.81
Аллергический ринит / Allergic rhinitis, unspecified	0.63	4.8	200.2	< 0.001	0.33
Гипертрофия аденоидов / Hypertrophy of adenoids	-2.3	20.7	857.7	< 0.001	0.50
Гипертрофия миндалин / Hypertrophy of the tonsils	-3.7	20.7	1837	< 0.001	0.69
Гипертрофия миндалин с гипертрофией аденоидов Hypertrophy of the tonsils with hypertrophy of adenoids	-3.5	24.8	2263	< 0.001	0.73
Общий переменный иммунодефицит Common variable immunodeficiency	-1.8	12.4	810.4	< 0.001	0.66
Острый бронхит неуточнённый Acute bronchitis, unspecified	-4.6	15.5	62.0	< 0.001	0.37
Острый ларинготрахеит Acute laryngotracheitis	-5.3	18.8	50.4	< 0.001	0.18
Острый назофарингит (насморк) Acute nasopharyngitis	-3.0	28.3	1169	< 0.001	0.58
Острый синусит / Acute sinusitis	-6.0	29.8	691.1	< 0.001	0.73
Острый трахеит / Acute tracheitis	-6.5	38.3	3573.1	< 0.001	0.97
Острый фарингит / Acute pharyngitis	-5.3	7.8	45.4	< 0.001	0.13
Расстройство вегетативной нервной системы неуточнённое Disorders of autonomic nervous system, unspecified	-4.5	44.5	4074	< 0.001	0.82
Хроническая болезнь миндалин и аденоидов Chronic disease of tonsils or adenoids	-5.1	232	1679	< 0.001	0.68
Хронический ринит / Chronic rhinitis	-4.0	23.0	432.0	< 0.001	0.34
Хронический синусит / Chronic sinusitis	-3.9	16.4	120.9	< 0.001	0.26
Хронический тонзиллит / Chronic tonsillitis	-4.5	24.8	232.4	< 0.001	0.41
Хронический фарингит / Chronic pharyngitis	-5.8	34.1	625.2	< 0.001	0.70



Логистические модели зависимости вероятности повышения частоты выявления аллергических ринитов (а) и общего переменного иммунодефицита (б) от увеличения концентрации формальдегида в крови детей группы наблюдения.

Logistic model of the dependence of the probability of an increase in the frequency of detecting allergic rhinitides (a) and common variable immunodeficiency (b) on the increase in the concentration of formaldehyde in the blood of children from the observation group.

аллергических ринитов ($R^2 = 0,33$; $F = 200,2$; $p \leq 0,001$), болезней органов дыхания ($R^2 = 0,18$; $F = 189,0$; $p \leq 0,001$), основных нозологий органов дыхания с острым ($R^2 = 0,13-0,97$; $F = 45,4-3573,1$; $p \leq 0,001$) и хроническим ($R^2 = 0,26-0,68$; $F = 120,9-1679,0$; $p \leq 0,001$) течением болезни, а также болезней крови, кроветворных органов и отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм ($R^2 = 0,45$; $F = 345,4$; $p \leq 0,001$), общего переменного иммунодефицита ($R^2 = 0,46$; $F = 725,5$; $p \leq 0,001$) и функциональных расстройств вегетативной нервной системы ($R^2 = 0,82$; $F = 4074,0$; $p \leq 0,001$) от увеличения концентрации формальдегида в крови детей.

На рисунке приведены примеры моделей зависимости «содержание формальдегида в крови – вероятность развития неблагоприятных эффектов», полученные при изучении риска возможного аэрогенного воздействия формальдегида по критерию повышения числа заболеваний у детей в группе исследования.

Обсуждение

Данные литературы о загрязнении формальдегидом жилых и общественных зданий свидетельствуют о его повышенном (в два и более раза) содержании по сравнению с атмосферным воздухом. По результатам согласующихся с литературными данными исследований содержания формальдегида в атмосферном воздухе и воздухе помещений (см. табл. 1) можно предположить, что с учётом формирования долевого вклада воздуха помещений (93,1 и 87,6%) и атмосферного воздуха (6,9 и 12,4%) на территориях наблюдения и сравнения внутренняя среда помещений даёт большую аэрогенную нагрузку по формальдегиду, чем атмосферный воздух.

В научной литературе приводятся данные о повышенном содержании средних концентраций формальдегида в моче детей, проживающих в городах, по сравнению с аналогичным показателем в моче детей, проживающих в сельских районах, что объясняется более высокой экспозицией формальдегида на урбанизированных территориях [23]. В настоящем исследовании установлено достоверно более высокое ($p < 0,01$) среднegrupповое содержание формальдегида в крови детей, проживающих на территории Западного Урала, с повышен-

ной концентрацией данного токсиканта в воздухе помещений и атмосферном воздухе. При изучении первичной заболеваемости детского населения болезнями органов дыхания в зависимости от загрязнения атмосферного воздуха и повышенного содержания формальдегида в биологических средах установлено, что наибольший вклад в патологию органов дыхания вносит формальдегид, а в структуре первичной заболеваемости преобладают ОРВИ, острые фарингиты и назофарингиты [3, 19]. В результате научно-исследовательской работы установлены достоверные зависимости повышения частоты встречаемости заболеваний органов дыхания, системы кровообращения и иммунной системы от увеличения в крови концентрации формальдегида, что подтверждает факт хронического аэрогенного воздействия токсиканта на организм обследованных детей.

В проведённом исследовании не исключена вероятность увеличения заболеваемости детского населения, связанная с возможным влиянием факторов, не изученных в данной работе. Однако выявленные зависимости между содержанием формальдегида в крови и соматическим статусом детей по критерию вероятности повышения числа заболеваний от повышенного содержания формальдегида в крови ($R^2 = 0,13-0,97$; $F = 45,4-4074$; $p \leq 0,001$) могут свидетельствовать об установлении одной из причин увеличения частоты заболеваний органов дыхания, нарушений со стороны иммунной системы, болезней крови и кроветворных органов у детей при аэрогенном воздействии формальдегида.

Заключение

1. Обнаружено достоверно более высокое содержание формальдегида – в 1,5 раза в атмосферном воздухе и в 2,9 раза в воздухе помещений (игровые комнаты детских садов, учебные помещения школ) – на территории наблюдения по отношению к территории сравнения. Содержание формальдегида в воздухе помещений выше, чем в атмосферном воздухе, на территории наблюдения в 13,5 раза, на территории сравнения – в 7,1 раза.

2. Среднegrupповая концентрация формальдегида в крови детей, проживающих на территории крупного промышленного центра Западного Урала (группа наблюдения),

в 4 раза выше, чем на сельской территории (группа сравнения). По отношению к региональному фоновому уровню содержания формальдегида в крови детей установлены достоверно более высокие значения ($p < 0,01$): в группе наблюдения – в 7,6 раза, в группе сравнения – в 1,8 раза.

3. В группе наблюдения заболевания органов дыхания, болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм, болезни глаза и его придаточного аппарата, болезни кожи и подкожной клетчатки диагностированы в 1,1–9,5 раза чаще относительно группы сравнения ($p < 0,05$). Заболеваемость аллергическим ринитом, хроническим синуситом, хроническим ринитом, хронической болезнью миндалин и аденоидов, гипертрофией аденоидов, астмой с преобладанием аллергиче-

ского компонента, общим переменным иммунодефицитом в группе наблюдения встречается в 1,8–9,7 раза чаще, чем в группе сравнения ($p < 0,05$).

4. Установлены статистически достоверные зависимости повышения вероятности заболеваний дыхательной, иммунной и нервной систем у детей группы наблюдения от увеличения концентрации формальдегида в крови ($R^2 = 0,13–0,97$; $F = 45,4–4074$; $p \leq 0,001$).

5. Результаты исследования могут быть использованы в формировании доказательной базы негативного воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения, оценки риска для здоровья и разработки профилактических мероприятий, направленных на сохранение здоровья и предупреждение заболеваний.

Литературы

(п. п. 8, 9, 14, 16 см. References)

1. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. Здоровье населения как целевая функция и критерий эффективности мероприятий Федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью*. 2019; (4): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.01>
2. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Кольдубекова Ю.В., Жданова-Заплевичко И.Г., Пережогин А.Н., Клейн С.В. Оценка аэрогенного воздействия приоритетных химических факторов на здоровье детского населения в зоне влияния предприятий по производству алюминия. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(1): 68–75. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-68-75>
3. Унгуряну Т.Н. Загрязнение атмосферного воздуха и болезни органов дыхания у населения Новодвинска. *Гигиена и санитария*. 2007; 86(6): 28–30.
4. Скубневская Г.И., Дульцева Г.И. *Загрязнение атмосферы формальдегидом: Аналитический обзор*. Новосибирск; 1994.
5. Трифонов К.И., Кузнецова А.И., Афанасьев С.В. Мониторинг формальдегида в атмосферном воздухе в городах Российской Федерации. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2014; 16(1): 1862–5.
6. Дутт Е.В. Оценка степени загрязненности воздуха урбанизированных территорий (на примере города Бииска Алтайского края) бензо(а)пиреном, формальдегидом и диоксидом азота. *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2012; (7): 160–6.
7. Филлов В.А., Тиунов Л.А. *Вредные химические вещества. Галоген- и кислородсодержащие органические соединения. Справочник*. СПб.; 1994.
8. Дорогова В.В., Тараненко Н.А., Рычагова О.А. Формальдегид в окружающей среде и его влияние на организм (обзор). *Acta Biomedica Scientifica*. 2010; (1): 32–5.
9. Сгибнев А.К. Влияние малых концентраций паров формальдегида на организм человека. *Гигиена и санитария*. 1968; 47(7): 20–5.
10. Губернский Ю.Д., Федосеева В.Н., Маковецкая А.К., Калинина Н.В., Федоскова Т.Г. Эколого-гигиенические аспекты сенсибилизированности населения в жилой среде. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(5): 414–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2017-96-5-414-417>
11. Дувва Л.А. Экспериментальные материалы к гигиенической стандартизации мочевино-формальдегидных смол. *Гигиена труда*. 1966; (11): 39–43.
12. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.; 2004.
13. Парамонова Н.С. Экологически детерминированные нарушения состояния здоровья у детей. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. 2005; (3): 74–6.
14. Ситало С.Г., Паранько Н.М. Воздействие загрязнения атмосферного воздуха на здоровье детей в Кривом Роге. *Гигиена и санитария*. 2009; 88(3): 22–5.
15. Рукавишников В.С., Ефимова Н.В., Лисецкая Л.Г., Тараненко Н.А., Абраматетс Е.А., Катальская О.Ю. Поиск адекватных биомаркеров для выявления влияния химических факторов на здоровье населения. *Казанский медицинский журнал*. 2009; 90(4): 473–6.
16. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Уланова Т.С. *Контроль содержания химических соединений и элементов в биологических средах: руководство*. Пермь: Книжный формат; 2011.
17. Тараненко Н.А. Проблемы мониторинга формальдегида в окружающей среде и биосредах детского населения (обзор). *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2012; (6): 156–9.
18. Зайцева Н.В., Беляев Е.Н., Уланова Т.С., Леденцова Е.Е., Карнажицкая Т.Д. *Химико-аналитическое обеспечение социально-гигиенического мониторинга кислородсодержащих органических соединений*. М.; 2002.
19. Тараненко Н.А., Ефимова Н.В., Рычагова О.А. К вопросу изучения химического загрязнения воздушной среды закрытых помещений детских учреждений городов Иркутской области. *Экология человека*. 2009; (4): 3–7.
20. Popova A.Yu., Zaytseva N.V., May I.V. Population health as a target function and criterion for assessing efficiency of activities performed within «Pure air» Federal Project. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (4): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.01> (in Russian)
21. Zaytseva N.V., Zemlyanova M.A., Koldubekova Yu.V., Zhdanova-Zaplevichko I.G., Perezhogin A.N., Kleyn S.V. Evaluation of the aerogenic impact of priority chemical factors on the health of the child population in the zone of the exposure of aluminum enterprises. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(1): 68–75. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-68-75> (in Russian)
22. Unguryanu T.N. Ambient air pollution and respiratory diseases in the population of Novodvinsk. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2007; 86(6): 28–30. (in Russian)
23. Skubnevskaya G.I., Dul'tseva G.I. *Air Pollution with Formaldehyde: Analytical Review [Zagryaznenie atmosfery formal'degidom: Analiticheskiy obzor]*. Novosibirsk; 1994. (in Russian)
24. Trifonov K.I., Kuznetsova A.I., Afanas'ev S.V. Monitoring of formaldehyde in urban air of the Russian cities. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2014; 16(1): 1862–5. (in Russian)
25. Dutt E.V. Assessment of pollution in urban, (data: the city of Biysk, Altai territory) benzo (a) pyrene, formaldehyde and nitrogen dioxide. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*. 2012; (7): 160–6. (in Russian)
26. Filov V.A., Tiunov L.A. *Harmful Chemicals. Halogen and Oxygen Organic Compounds. Reference Guide [Vrednye khimicheskie veshchestva. Galogen i kislorodsoderzhashchie organicheskie soedineniya]*. St. Petersburg; 1994. (in Russian)
27. Reingruber H., Pontel L.B. Formaldehyde metabolism and its impact on human health. *Curr. Opin. Toxicol.* 2018; 9: 28–34.
28. Ulsamer A. Overview of health effects of formaldehyde. *Hazard Assoc. Chem. Curr. Dev.* 1984; 3: 337–40.
29. Dorogova V.B., Taranenko N.A., Rychagova O.A. Formaldehyde in the environment and its effect on the body (review). *Acta Biomedica Scientifica*. 2010; (1): 32–5. (in Russian)
30. Sgibnev A.K. Influence of small concentrations of formaldehyde vapors on the human body. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 1968; 47(7): 20–5. (in Russian)
31. Gubernskiy Yu.D., Fedoseeva V.N., Makovetskaya A.K., Kalinina N.V., Fedoskova T.G. Ecological and hygienic aspects of the sensitization rate of the population in a residential environment. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(5): 414–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2017-96-5-414-417> (in Russian)
32. Duvva L.A. Experimental materials for hygienic standardization of urea-formaldehyde resins. *Gigiena truda*. 1966; (11): 39–43. (in Russian)
33. Lyapina M., Dencheva M. Health risk assessment of exposure to formaldehyde in dental materials. *Central Euro. J. Med.* 2014; 9: 332–8.
34. R 2.1.10.1920-04. Guidelines for assessing public health risk from exposure to chemicals polluting the environment. Moscow; 2004. (in Russian)
35. Mendell M.J. Indoor residential chemical emissions as risk factors for respiratory and allergic effects in children: A review. *Indoor Air*. 2007; 17(4): 259–77.
36. Paramonova N.S. Ecologically determined health disorders in children. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. 2005; (3): 74–6. (in Russian)
37. Sitalo S.G., Paranko N.M. Influence of ambient air pollution on children's health in Krivoy Rog. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2009; 88(3): 22–5. (in Russian)
38. Rukavishnikov V.S., Efimova N.V., Lisetskaya L.G., Taranenko N.A., Abramats E.A., Katalskaya O.Yu. A search for adequate biomarkers for establishing the influence of chemical factors on the health of the population. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2009; 90(4): 473–6. (in Russian)
39. Onishchenko G.G., Zaytseva N.V., Ulanova T.S. *Control of the Content of Chemical Compounds and Elements in Biological Medium: Guidance [Kontrol' soderzhaniya khimicheskikh soedineniy i elementov v biologicheskikh sredakh: rukovodstvo]*. Perm': Knizhnyy format; 2011. (in Russian)
40. Taranenko N.A. Problems associated with monitoring of formaldehyde in environment and biomaterials of children (review). *Bulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2012; (6): 156–9. (in Russian)
41. Zaytseva N.V., Belyaev E.N., Ulanova T.S., Ledentsova E.E., Karnazhetskaya T.D. *Chemical and Analytical Support of Socio-Hygienic Monitoring of Oxygen Organic Compounds [Khimiko-analiticheskoe obespechenie sotsial'no-gigienicheskogo monitoringa kislorodsoderzhashchikh organicheskikh soedineniy]*. Moscow; 2002. (in Russian)
42. Taranenko N.A., Efimova N.V., Rychagova O.A. On issue about studying chemical indoor air environment pollution in the children's establishments in the towns of Irkutsk region. *Ekologiya cheloveka*. 2009; (4): 3–7. (in Russian)