



Иммунологические нарушения у детей в условиях аэрогенной экспозиции бензолом и фенолом

Н.В. Зайцева¹, О.В. Долгих¹, Т.В. Нурисламова¹, О.А. Мальцева¹, Н.А. Попова¹,
Т.В. Чинько¹, И.Н. Аликина¹, А.В. Моцкус²

¹ ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
ул. Монастырская, д. 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России,
пер. Нахичеванский, д. 29, г. Ростов-на-Дону, 344022, Российская Федерация

Резюме

Введение. В составе выбросов автомобилей содержится более 250 химических веществ, в том числе бензол и фенол, поступление которых в организм детей может обуславливать развитие иммунных нарушений.

Цель исследования: анализ иммунологических нарушений у детей в условиях аэрогенной экспозиции бензолом и фенолом, формирующейся интенсивным транспортным потоком.

Материалы и методы. Объектом исследования являлся атмосферный воздух территории наблюдения и сравнения, детский контингент, посещающий детские дошкольные учреждения ($N = 286$ и $N = 97$ человек, соответственно). Исследования крови на содержание бензола выполнялось на газовом хроматографе. Исследования крови на содержание фенола выполнялось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Для оценки достоверности различий полученных результатов использовали t -критерий Стьюдента и Z -тест. Для проверки нормальности количественных данных использовали критерий согласия (χ^2) Пирсона.

Результаты. На территориях наблюдения среднегодовые концентрации в период исследования 2019–2022 гг. относительно гигиенического норматива составили для бензола до 3,5 ПДКсг ($n = 368$) и фенола до 3,26 ПДКсг, ($n = 368$) на территориях сравнения для бензола – до 0,91 ПДКсг ($n = 268$) и фенола – до 0,58 ПДКсг ($n = 268$). Установлено, что длительная аэрогенная экспозиция токсикантами формирует повышенные уровни контаминации в крови у детей группы наблюдения бензола в 2,3 раза и фенола в 2 раза относительно группы сравнения. Полученные результаты верифицированы достоверными причинно-следственными связями между бензолом и фенолом в крови и их содержанием в атмосферном воздухе.

Выводы. Установлен дисбаланс фенотипов клеточной дифференцировки, повышение продукции специфических к бензолу и фенолу иммуноглобулинов класса G, напряжение ключевых компартментов адаптации.

Ключевые слова: бензол, фенол, автотранспорт, кровь, причинно-следственные связи, биомаркеры экспозиции, иммунологические показатели.

Для цитирования: Зайцева Н.В., Долгих О.В., Нурисламова Т.В., Мальцева О.А., Попова Н.А., Чинько Т.В., Аликина И.Н., Моцкус А.В. Иммунологические нарушения у детей в условиях аэрогенной экспозиции бензолом и фенолом // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 11. С. 41–49. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-11-41-49

Immune Disorders in Children Exposed to Airborne Benzene and Phenol

Nina V. Zaitseva,¹ Oleg V. Dolgikh,¹ Tatyana V. Nurislamova,¹ Olga A. Maltseva,¹ Nina A. Popova,¹
Tatyana V. Chinko,¹ Inga N. Alikina,¹ Anna V. Motskus²

¹ Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies,
82 Monastyrskaya Street, Perm, 614045, Russian Federation

² Rostov State Medical University, 29 Nakhichevansky Lane, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation

Summary

Introduction: Motor transport exhausts contain more than 250 chemicals, including benzene and phenol. Inhalation exposure to the latter can induce immune disorders in children.

Objective: To analyze immune disorders in children exposed to airborne benzene and phenol in the area with heavy traffic.

Materials and methods: The objects of the study included ambient air of the observation and reference areas and two respective groups of 286 and 97 preschoolers. Blood levels of benzene and phenol were assayed by gas chromatography and high-performance liquid chromatography, respectively. The established differences between the groups were tested for statistical significance using Student's t -test and Z -test. The Pearson's goodness-of-fit test (χ^2) was used to determine normality of the quantitative data.

Results: In 2019–2022, average annual concentrations of benzene and phenol ($n = 368$) in the high traffic area demonstrated up to a 3.5- and 3.26-fold excess of the maximum allowable concentration (MAC), while in the reference area, they were 0.91 and 0.58 of the annual MAC ($n = 268$), respectively. Due to long-term inhalation exposure to benzene and phenol, blood levels of the latter in the observation group were 2.3 and 2 times higher than in the controls, respectively. The findings were verified by statistical cause-and-effect relationships between ambient concentrations of benzene and phenol and their blood levels in children.

Conclusion: We established an imbalance of cell differentiation phenotypes, elevated production of immunoglobulins G specific to benzene and phenol, and stress of the key adaptation compartments.

Keywords: benzene, phenol, motor transport, blood, cause-and-effect relationships, exposure biomarkers, immunological indicators.

Cite as: Zaitseva NV, Dolgikh OV, Nurislamova TV, Maltseva OA, Popova NA, Chinko TV, Alikina IN, Motskus AV. Immune disorders in children exposed to airborne benzene and phenol. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(11):41–49. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-11-41-49

Введение. Загрязненный атмосферный воздух крупных городов страны остается важным фактором риска для здоровья населения. Данное положение доказано многочисленными отечественными и зарубежными исследованиями [1–4]. Растет понимание того, что загрязнение атмосферы влияет на медико-демографические показатели – смертность, заболеваемость и продолжительность жизни населения [5], а в ряде случаев является причиной повышенной социальной напряженности и снижения привлекательности города как места постоянного жительства. Анализ экологических детерминант здоровья населения в РФ свидетельствует, что в настоящее время порядка 106,1 млн человек (74 % населения страны) проживает в условиях неудовлетворительного качества окружающей среды, в том числе 17,1 млн человек – в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха (17 % городского населения) [6, 7]. Химические факторы окружающей среды являются одним из барьеров стабильного социально-экономического развития страны [1].

В настоящее время основным источником загрязнения окружающей среды в городах является автомобильный транспорт [8], его вклад в выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух составляет около 50,0 % в целом по Российской Федерации [9]. Транспортные средства являются источниками эмиссии в атмосферный воздух сложной смеси опасных и высокоопасных химических соединений, состав которой зависит от качества моторного топлива, типа двигателя и условий его эксплуатации и содержит более 250 химических веществ и соединений [10]. Широкое использование бензола в качестве добавки к автомобильному топливу (для повышения октанового числа) способствует распространению его в атмосферном воздухе и при хроническом воздействии у населения могут наблюдаться изменения со стороны критических органов и систем, в том числе иммунной системы.

Токсичность автомобильных бензинов обусловлена их химическим и фракционным составом. Основными токсическими компонентами отработавших газов автомобиля являются ароматические углеводороды, ведущий из которых – бензол [11, 12]. При любом пути поступления бензола возникает в организме контакт с кластерами клеточной дифференцировки с последующим развитием иммунологических нарушений [13].

Бензол оказывает выраженное гематотоксическое действие, при этом в наибольшей степени страдает лимфоидная линия клеток, так как полигидроокисленные метаболиты бензола аккумулируются в костном мозге и лимфоидных органах, вызывая гипоплазию и цитопению центральных и периферических органов иммунной системы [14–17]. При этом токсическое влияние на кроветворные и иммунные клетки оказывает не только бензол, но и его метаболит – фенол,

который накапливается в месте накопления бензола – в костном мозге [18–20].

По данным научных исследований [21, 22], загрязнение атмосферы в городах способствует росту числа детей с аллергическими заболеваниями, заболеваниями дыхательной, мочевыделительной систем, системы кровообращения, крови, кожи, подкожной клетчатки, что приводит к ранним нарушениям иммунного статуса организма. По данным литературы известно, что вклад автотранспорта в канцерогенный риск составляет около 54–60 % [23–26]. Негативное влияние на здоровье детского населения атмосферного воздуха, загрязненного выбросами автотранспорта, в настоящее время остается до конца не изученным.

Для оценки экспозиции человека химическими загрязнителями (ХЗ) окружающей среды в Европейских странах используют метод биомониторинга человека (БМЧ) на основе измерения концентраций химических веществ или их метаболитов (биомаркеров) в биологических средах человека¹. Биомониторинг может обеспечить прямое измерение индивидуальных уровней экспозиции и оценку интегрированного воздействия от различных источников и различными способами, но не дает возможности дифференцировать и оценить относительный вклад каждого источника².

С целью установления и обоснования биомаркеров аэрогенной экспозиции выполнены исследования по установлению зависимостей между факторами неблагоприятного воздействия среды и концентрацией токсикантов, которые могут вызывать в организме негативные эффекты, в биосредах обследуемых детей, что обеспечивает максимально раннюю идентификацию иммунологических нарушений, ассоциированных с факторами среды обитания, в том числе, бензолом и фенолом.

Целью исследования явился анализ иммунологических нарушений у детей в условиях аэрогенной экспозиции бензолом и фенолом, формирующейся интенсивным городским транспортным потоком.

Материалы и методы. Объектом исследования являлся атмосферный воздух территорий в местах расположения детских дошкольных учреждений (ДДУ), находящиеся в зоне влияния автомагистралей с интенсивным транспортным потоком (территория наблюдения) и для сравнительной оценки выбраны действующие детские дошкольные учреждения, расположенные на территориях с незначительным транспортным потоком (территория сравнения).

Исходной информацией о качестве атмосферного воздуха и экспозиции каждого ребенка являлись верифицированные инструментальными данными расчетные среднегодовые концентрации загрязняющих веществ, выбрасываемых всеми хозяйствующими субъектами, автотранспортом и автономными источниками теплоснабжения территорий наблюдения и сравнения. Уровни загрязнения оценивали в 380 расчетных точках

¹ EU – European Union. DEMOCOPHES – Human Biomonitoring on a European Scale. 2013. Accessed February 12, 2024. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.eu-hbm.info/euresult/media-corner/press-kit> (дата обращения: 12.02.2024).

² Biomonitoring-based indicators of exposure to chemical pollutants. Report of a meeting. Catania, Italy, 19–20 April, 2012. WHO. Regional Office for Europe; 2012. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.who.int/publications/m/item/biomonitoring-based-indicators-of-exposure-to-chemical-pollutants> (дата обращения: 15.02.2024).

проживания детей. Исходили из предположения, что дети проживают вблизи посещаемых детских дошкольных учреждений.

Оценку состояния загрязнения атмосферного воздуха в зоне расположения ДДУ на селитебных территориях, прилегающих к автодорогам, и на территориях сравнения (вне зоны экспозиции), проводили в период 2019–2022 гг. на основе определения в воздухе содержания бензола и фенола. Отбор проб выполняли по полной программе путем аспирации на сорбционные трубки и через поглотительный прибор Рыхтера, заполненный 6 см³ поглотительного раствора в период 1, 7, 13 и 19 часов.

Результаты химического анализа проб атмосферного воздуха территории наблюдения и сравнения на содержание бензола и фенола оценивали по отношению к предельно допустимой концентрации в соответствии с СанПиН 1.2.3685–21³.

Для обоснования маркеров аэрогенной экспозиции и иммунных нарушений выполнено углубленное обследование детей, подвергающиеся аэрогенной экспозиции бензолом и фенолом (группа наблюдения) ($N = 286$) и детей, находящихся вне экспозиции (группа сравнения) ($N = 97$). Выполнены исследования по установлению зависимостей между бензолом и фенолом атмосферного воздуха и концентрацией токсикантов в крови детей группы наблюдения.

Для исследований маркеров ответа со стороны здоровья использовали кровь (является биологическим материалом для определения биомаркеров длительной экспозиции⁴ детей, посещающих ДДУ на территориях наблюдения и сравнения. Химики-аналитические исследования включали определение содержания в крови бензола и фенола в соответствии с утвержденными методическими указаниями.

Критериями отбора детей в группы наблюдения и сравнения являлись: медико-биологические – возрастная группа 4–7 лет, отсутствие хронической соматической патологии (1-я и 2-я группы здоровья).

Исследования биосред (кровь) на содержание бензола выполнялось методом анализа равновесной паровой фазы на газовом хроматографе «Хроматэк Кристалл-5000» на капиллярной колонке HP-FFAP длиной 50 м диаметром 0,32 мм × 0,50 м с детектором ионизации в пламени. Исследования крови на содержание фенола выполнялось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на жидкостном хроматографе «Agilent» с диодно-матричным детектором. Оценка установленных уровней содержания бензола и фенола в крови детей группы наблюдения выполнена на основании сравнительного анализа с результатами обследования детей контрольной группы, находящейся вне зоны влияния дорог с интенсивным транспортным потоком. Иммунофенотипирование лимфоцитов

проводилось с использованием моноклональных антител (CD3⁺, CD3⁺CD4⁺, CD3⁺CD8⁺, CD16⁺CD56⁺, CD19⁺) к поверхностным дифференцировочным антигенам методом проточной лазерной цитофлуориметрии на проточном цитофлуориметре FACSCalibur («Becton Dickinson», США). В общей сложности регистрировалось не менее 10 000 событий.

Идентификацию гормонов кортизола и серотонина оценивали методом ИФА-анализа (тест-системы фирмы «Вектор-Бест», г. Новосибирск) на микропланшетном ридере «TECAN Sunrise» (Австрия), используя программу MedapRM для определения оптической плотности исследуемых показателей. Содержание иммуноглобулина G, специфического к гаптенам (фенол, бензол) определено с помощью аллергосорбентного теста с ферментной меткой.

Для оценки достоверности различий полученных результатов использовали t -критерий Стьюдента при нормальном распределении совокупности дисперсий (сравнение показателей исследуемых выборок по абсолютным значениям признака) и Z -тест Фишера (сравнение показателей исследуемых выборок по долям признака). Различия являлись статистически значимыми при $p \leq 0,055^4$. Для проверки нормальности количественных данных использовали критерий согласия (χ^2) Пирсона, который позволил подтвердить гипотезу о нормальном законе распределения для всех количественных показателей⁶. Установление причинно-следственных зависимостей проведены с использованием программно-математических приемов обработки данных о содержании бензола и фенола в атмосферном воздухе, бензола и фенола в крови. Адекватность полученных математических моделей, описывающих анализируемые зависимости, оценивали по коэффициенту детерминации⁷. Анализ результатов исследований и оценку параметров моделей выполняли с использованием пакета прикладных программ Statistica 6,0 и специальных программных продуктов, сопряженных с приложениями MS-Office.

Результаты. Результаты выполненных исследований по определению содержания бензола и фенола в атмосферном воздухе и в крови детей группы сравнения и наблюдения представлены в таблице 1.

Среднегодовые концентрации в жилой застройке территории наблюдения превышали среднегодовые гигиенические нормативы (ПДКсг) по фенолу до 6,5 раза и бензолу до 100 раз. В атмосферном воздухе территории сравнения наблюдались превышения ПДКсг в отношении бензола и фенола до 1,16 ПДКсг.

Сравнение полученных показателей (табл. 1) территории наблюдения позволило выявить превышенные по отношению к территории сравнения концентрации бензола в атмосферном воздухе до 3,8 раза, содержание фенола до 5,6 раза. Установлено,

³ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2).

⁴ Боев В.М. Практическое применение методологии оценки аэрогенного риска для здоровья населения при обосновании санитарно-защитной зоны // Гигиена и санитария. 2009. № 4. С. 82–84.

⁵ Карпищенко А.И. Медицинские лабораторные технологии. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 696 с.

⁶ Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1998. 459 с.

⁷ Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 1977. 356 с.

Таблица 1. Результаты содержания бензола и фенола в атмосферном воздухе и в крови детей группы наблюдения и сравнения

Table 1. Benzene and phenol levels in ambient air and blood of children from the observation and reference groups

№	Соединение / Compound	ПДКсс, мг/м³ / MACdaily, mg/m³	ПДКсг, мг/м³ / MACannual, mg/m³	Территория наблюдения, диапазон концентраций / Observation area, concentration range <i>n</i> = 368	Территория сравнения, диапазон концентраций / Reference area, concentration range <i>n</i> = 268
Атмосферный воздух, мг/м³ / Ambient air, mg/m³					
1	Бензол / Benzene	0,006	0,005	0,001788–0,0175	0,003–0,006
2	Фенол / Phenol	0,006	0,003	0,00003–0,0098	0–0,0035
Биологическая среда (кровь), мг/дм³ / Biological fluid (blood), mg/dm³					
1	Бензол / Benzene	Референтная концентрация, мг/дм³ [31] / Reference concentration, mg/dm³ [31]		Территория наблюдения / Observation area <i>n</i> = 286	Территория сравнения / Reference area <i>n</i> = 97
		Терапевтическая концентрация в крови 0,0002 мг/дм³ / Therapeutic blood level: 0.0002 mg/dm³		0,001988 ± 0,00008	0,000877 ± 0,00023
		Безопасный уровень в крови 0,00015 мг/дм³ / Safe blood level: 0.00015 mg/dm³			
2	Фенол / Phenol	Токсическая концентрация > 0,01 мг/дм³ [32] / Toxic concentration: > 0.01 mg/dm³		0,0057 ± 0,0008	0,0028 ± 0,0006

что длительная экспозиция бензола и фенола с атмосферным воздухом формирует повышенные концентрации в крови детей группы наблюдения, бензола в 2,3 раза относительно группы сравнения, фенола в 2 раза относительно крови детей группы сравнения.

В процессе исследований полученная разница концентраций бензола и фенола в крови детей, проживающих на территориях с повышенным уровнем токсикантов в атмосферном воздухе, параметризована и оценена с помощью моделей, описывающих причинно-следственные связи (таблица 2).

Полученные модели зависимости содержания бензола и фенола в крови от их концентрации из атмосферного воздуха на территориях с разным уровнем антропогенного воздействия позволяют рассматривать бензол и фенол в качестве маркеров экспозиции с атмосферным воздухом.

Проведенный сравнительный анализ иммунологических показателей у детей группы наблюдения позволил установить, что в группе наблюдения обследованных детей в условиях экспозиции компонентов выбросов автотранспорта, выявлены достоверные отклонения показателей клеточного иммунитета (CD-фенотипы), специфической чувствительности к бензолу и фенолу, а также критериев адаптации (таблица 3).

Содержание стероидного гормона кортизола и нейромедиатора серотонина, находились в пределах физиологической нормы, однако по отношению к значениям в группе сравнения содержание исследуемых показателей в крови увеличивалось в 1,3 раза, достигнув уровня значимости ($p < 0,05$).

Исследуемые показатели CD-иммунограммы не выходили за пределы нормы, однако в отношении группы сравнения достоверно повышены значения следующих маркеров клеточного иммунитета: Т-лимфоциты (CD3⁺-клетки) в 1,2 раза; Т-хелперы с фенотипом CD3⁺CD4⁺-лимфоциты в 1,3 раза; Т-цитотоксические лимфоциты с фенотипом CD3⁺CD8⁺ в 1,3 раза. Одновременно количество киллерных NK-клеток (CD16⁺CD56⁺), а также В-лимфоцитов (CD19⁺) оставалось ниже, чем в группе сравнения в 1,2–1,9 раза, достигнув уровня значимости ($p < 0,05$).

Установлено, что уровень специфической сенсибилизации к гаптенам (IgG к бензолу и фенолу) по отношению к норме был достоверно выше у 55,4 и 64,7 % обследуемых детей ($p < 0,05$), достоверно превышая аналогичные показатели в группе сравнения в 2,0 и 1,6 раза соответственно ($p < 0,05$).

Анализ отношения шансов изменения показателей иммунитета при возрастании концентрации контактантов в крови позволил установить достоверное ($p < 0,05$) повышение процентного содержания

Таблица 2. Модели зависимости содержания бензола, фенола в крови от их концентрации из атмосферного воздуха

Table 2. Models to describe the relationships between ambient and blood levels of benzene and phenol

Модели / Models	Уравнение зависимости / Dependence equation	Область применимости модели / Range of model application	<i>p</i>	Коэффициент детерминации / Coefficient of determination <i>R</i> ²
Бензол в атмосферном воздухе – бензол в крови / Benzene in ambient air – benzene in blood	$y = 0,001 + 0,059x$	[0,0006; 0,0142]	0,0001	0,283
Фенол в атмосферном воздухе – фенол в крови / Phenol in ambient air – phenol in blood	$y = 0,035 + 1,997x$	[0,001; 0,0448]	0,0001	0,368

Таблица 3. Средние показатели маркеров иммунного ответа в сравниваемых выборках детей
Table 3. Mean values of immune response biomarkers in the compared groups of children

Показатель / Biomarker	Физиологическая норма / Physiological norm	Группа наблюдения / Observation group, $M \pm m$	Группа сравнения / Reference group, $M \pm m$	p
CD16 ⁺ 56 ⁺ -лимфоциты, абс., $10^9/\text{дм}^3$ / CD16 ⁺ 56 ⁺ -lymphocytes, $10^9/\text{дм}^3$	0,09–0,59	$0,275 \pm 0,028$	$0,482 \pm 0,041$	0,00
CD16 ⁺ 56 ⁺ -лимфоциты, отн., % / CD16 ⁺ 56 ⁺ -lymphocytes, %	5–27	$9,012 \pm 0,813$	$16,742 \pm 1,073$	0,00
CD19 ⁺ -лимфоциты, абс., $10^9/\text{дм}^3$ / CD19 ⁺ -lymphocytes, $10^9/\text{дм}^3$	0,09–0,66	$0,394 \pm 0,036$	$0,421 \pm 0,036$	0,30
CD19 ⁺ -лимфоциты, отн., % / CD19 ⁺ -lymphocytes, %	6–25	$12,877 \pm 0,859$	$14,86 \pm 1,029$	0,01
CD3 ⁺ -лимфоциты, абс., $10^9/\text{дм}^3$ / CD3 ⁺ -lymphocytes, $10^9/\text{дм}^3$	0,69–2,54	$2,252 \pm 0,117$	$1,906 \pm 0,102$	0,00
CD3 ⁺ -лимфоциты, отн., % / CD3 ⁺ -lymphocytes, %	55–84	$73,642 \pm 1,366$	$66,774 \pm 1,308$	0,00
CD3 ⁺ CD4 ⁺ -лимфоциты, абс., $10^9/\text{дм}^3$ / CD3 ⁺ CD4 ⁺ -lymphocytes, $10^9/\text{дм}^3$	0,41–1,59	$1,429 \pm 0,087$	$1,11 \pm 0,063$	0,00
CD3 ⁺ CD4 ⁺ -лимфоциты, отн., % / CD3 ⁺ CD4 ⁺ -lymphocytes, %	31–60	$46,617 \pm 1,42$	$38,989 \pm 1,148$	0,00
CD3 ⁺ CD8 ⁺ -лимфоциты, абс., $10^9/\text{дм}^3$ / CD3 ⁺ CD8 ⁺ -lymphocytes, $10^9/\text{дм}^3$	0,19–1,14	$0,923 \pm 0,065$	$0,784 \pm 0,048$	0,00
CD3 ⁺ CD8 ⁺ -лимфоциты, отн., % / CD3 ⁺ CD8 ⁺ -lymphocytes, %	13–41	$30,086 \pm 1,448$	$27,548 \pm 1,025$	0,01
Кортизол, нмоль/см ³ / Cortisol, nmol/cm ³	140–600	$281,327 \pm 25,858$	$210,508 \pm 17,241$	0,00
Серотонин, нг/см ³ / Serotonin, ng/cm ³	40–400	$274,813 \pm 40,404$	$206,359 \pm 26,918$	0,01
IgG спец. к бензолу, у.е. / IgG spec. to benzene, c.u.	0–0,15	$0,206 \pm 0,025$	$0,104 \pm 0,006$	0,00
IgG спец. к фенолу, у.е. / IgG spec. to phenol, c.u.	0–0,13	$0,202 \pm 0,022$	$0,125 \pm 0,014$	0,00

CD3⁺ – лимфоцитов ($R^2 = 0,506$ при $p < 0,05$) и снижение показателей клеточной дифференцировки лимфоцитов CD3⁺CD8⁺отн., CD3⁺CD4⁺отн., CD19⁺абс., CD16⁺56⁺абс. ($R^2 = 0,452$ – $0,767$ при $p < 0,05$) при возрастании бензола в крови (таблица 4).

Также при возрастании уровня бензола в крови исследуемого контингента наблюдалось повышение экспрессии гормона стресса кортизола и основного нейромедиатора серотонина ($R^2 = 0,419$ – $0,594$ при $p < 0,05$).

Обсуждение. С целью изучения изменений показателей иммунологического статуса детей

в условиях аэрогенной экспозиции бензола и фенола, проведены исследования содержания концентрации бензола и фенола в крови и химического загрязнения атмосферного воздуха детских дошкольных учреждений в зоне влияния автомагистралей федерального значения с интенсивным транспортным потоком (территория наблюдения). В сравнении с аналогичными показателями территории и детского контингента детских дошкольных учреждений, расположенных на территориях с незначительным транспортным потоком (территория сравнения).

Таблица 4. Модели зависимости вероятности изменений исследуемых иммунологических показателей негативных эффектов у детей от повышенной концентрации исследуемых химических веществ в биосредах («биомаркер экспозиции – биомаркер эффекта»)

Table 4. Relationships between elevated blood levels of the analyzed chemicals and the likelihood of changes in the immunological parameters of adverse health effects in children (“biomarker of exposure – biomarker of effect”)

Маркер экспозиции / Marker of exposure	Маркер эффекта / Marker of effect	Направление изменения показателя / Changing trend	Параметры модели / Model settings		Характеристика модели / Model characteristics		
			b_0	b_1	Критерий Фишера / Fisher criterion $F \geq 3,96$	Коэффициент детерминации / Coefficient of determination R^2	p
Бензол [кровь] / Benzene [blood]	CD16 ⁺ 56 ⁺ -лимфоциты, абс., $10^9/\text{дм}^3$ / CD16 ⁺ 56 ⁺ -lymphocytes, $10^9/\text{дм}^3$	Понижение / Decrease	3,29	-5,41	66,29	0,767	0,000
	CD19 ⁺ -лимфоциты, абс., $10^9/\text{дм}^3$ / CD19 ⁺ -lymphocytes, $10^9/\text{дм}^3$	Понижение / Decrease	3,15	-6,42	145,98	0,646	0,000
	CD3 ⁺ -лимфоциты, отн., % / CD3 ⁺ -lymphocytes, %	Повышение / Increase	-5,90	0,098	54,13	0,506	0,000
	CD3 ⁺ CD4 ⁺ -лимфоциты, отн., % / CD3 ⁺ CD4 ⁺ -lymphocytes, %	Понижение / Decrease	7,52	-0,15	97,33	0,604	0,000
	CD3 ⁺ CD8 ⁺ -лимфоциты, отн., % / CD3 ⁺ CD8 ⁺ -lymphocytes, %	Понижение / Decrease	-0,88	0,07	43,73	0,452	0,000
	Кортизол, нмоль/см ³ / Cortisol, nmol/cm ³	Повышение / Increase	2,93	0,004	56,97	0,419	0,000
	Серотонин, нг/см ³ / Serotonin, ng/cm ³	Повышение / Increase	3,95	0,01	95,33	0,594	0,000

На первом этапе исследований определены маркеры аэрогенной экспозиции бензола и фенола на основании установленных зависимостей между экспозицией атмосферного воздуха и концентрацией токсикантов в крови детей.

Установлено, что длительная аэрогенная экспозиция бензолом и фенолом формирует повышенные уровни контаминации в крови бензола у детей группы наблюдения в 2,3 раза и фенола в 2 раза относительно группы сравнения. Полученные результаты верифицированы достоверными причинно-следственными связями между бензолом и фенолом в крови и их содержанием в атмосферном воздухе. Полученные модели зависимости содержания бензола и фенола в крови от их концентрации в атмосферном воздухе позволили рассматривать бензол и фенол в качестве маркеров экспозиции с атмосферным воздухом.

Известно, что бензол и фенол оказывают выраженное токсическое действие на иммунную систему, при этом в наибольшей степени страдает лимфоидная линия клеток, так как полигидроокисленные метаболиты бензола аккумулируются в костном мозге и лимфоидных органах, вызывая гипоплазию и уменьшение Т-клеточности центральных и периферических органов иммунной системы⁸ [27]. Известно, что хроническое поступление бензола в организм способствует быстрому и стойкому угнетению В-клеток (CD19) [29, 30], а также нарушению центральной и нервной системы, в связи с чем, наблюдается изменение уровня серотонина, который передает сигналы между нервными клетками. При хроническом поступлении бензола в малых концентрациях нарушается функция кроветворных органов, что вызывает дисбаланс клеток иммунитета (CD3⁺, CD3⁺CD4⁺, CD3⁺CD8⁺, CD16⁺CD56⁺) [28–32].

Выявленные особенности иммунной регуляции свидетельствуют о чрезмерной активности компартментов иммунитета, ассоциированных с контаминацией биосред бензолом и фенолом.

Выводы

1. Идентификация бензола и фенола в крови детей, проживающих на территориях, характеризующихся интенсивным транспортным потоком и территорий с небольшой плотностью транспортного потока, показала достоверно повышенный уровень содержания бензола в 2,3 раза и фенола в 2,0 раза в группе наблюдения относительно детей группы сравнения.

2. Полученные модели зависимости содержания бензола и фенола в крови от их концентрации в атмосферном воздухе в диапазоне 0,001788–0,5420 и 0,000003–0,0194 мг/м³ соответственно, описываемые уравнениями вида: $y = 0,001 + 0,059x$; $y = 0,035 + 1,997x$, что является основанием рассматривать содержание бензола и фенола в крови в качестве маркеров экспозиции атмосферного воздуха бензолом и фенолом.

3. Установлен достоверно повышенный уровень специфической сенсибилизации по критерию содержания иммуноглобулина G в 2,0 к фенолу

и в 1,6 раза к бензолу, отмечается гиперпродукция (CD3⁺, CD3⁺CD4⁺, CD3⁺CD8⁺) и дефицит (CD19⁺, CD16⁺CD56⁺) кластеров клеточной дифференцировки, а также гиперэкспрессия факторов стрессоустойчивости (кортизол и серотонин). Дисбаланс гуморального и клеточного иммунитета достоверно ассоциирован с контаминацией бензолом и фенолом ($R^2 = 0,419–0,594$ при $p < 0,05$), что позволяет их отнести к маркерам эффекта загрязнения атмосферного воздуха компонентами выбросов автотранспорта (бензол, фенол).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадмаева С.Э., Циммерман В.И. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха городов Красноярского края // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 2 (101). С. 27–32.
2. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Горяев Д.В. Методические подходы к выбору точек и программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга для задач федерального проекта «чистый воздух» // Анализ риска здоровью. 2019. Т. 3. С. 4–17. doi: 10.21668/health.risk/2019.3.01
3. Кокоулина А.А., Балашов С.Ю., Загороднов С.Ю., Кошурников Д.Н. Гигиеническая оценка объектов добычи, подготовки и первичной переработки нефти с учетом показателей риска для здоровья // Медицина труда и промышленная экология. 2016. № 12. С. 34–38.
4. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Л., Синицына О.О., Шашина Т.А. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования // Анализ риска здоровью. 2015. № 2. С. 4–11.
5. Чистик О.Ф. Статистический анализ заболеваемости и смертности // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2019. № 9(179). С. 65–72. doi: 10.46554/1993-0453-2019-9-179-65-72. EDN RAYYGO.
6. Помеляйко И.С. Анализ экологического состояния ряда природных сред отдельных городов РФ // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2018. № 2. С. 61–73. doi: 10.7868/S0869780318020060. EDN YTFMYV.
7. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Чашин В.П., Гудков А.Б. Научные принципы применения биомаркеров в медико-экологических исследованиях (обзор литературы) // Экология человека. 2019. Т. 9. С. 4–14. doi: 10.33396/1728-0869-2019-9-4-14
8. Ложкина О.В., Малышев С.А. Анализ чрезвычайного загрязнения придорожной среды полициклическими ароматическими углеводородами и тяжелыми металлами в районах с интенсивной транспортной нагрузкой // Технично-технологические проблемы сервиса. 2023. № 2(64). С. 61–66. EDN FGGCST.
9. Растокина Т.Н., Пешкова А.А., Унгурияну Т.Н. Качество атмосферного воздуха и риск развития болезней системы кровообращения у населения крупного города Европейского Севера // Анализ риска здоровью. 2024. № 3. С. 4–12. doi: 10.21668/health.risk/2024.3.01. EDN FHIJAA.
10. Каюмов Б.А., Гиясов Ш.И. Обеспечение экологической безопасности автотранспортных средств // Вестник науки. 2021. Т. 2. № 10(43). С. 65–73.
11. Анисимова А.И., Лебедева А.С. Исследование инноваций в сфере экологической безопасности транспорта

¹ Алан Г.Б. Клиническое руководство Тица по лабораторным исследованиям. М.: Лабора, 2013, 1280 с.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-11-41-49>
Original Research Article

- мегаполиса // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2020. № 3. С. 11–21. doi: 10.17586/2310-1172-2020-13-3-11-21. EDN UVMQJM.
12. Минина Н.Н., Зайнуллина Р.В. Исследование влияния на живые организмы выхлопных газов как загрязнителей атмосферного воздуха // Инновационный потенциал развития мировой науки и техники: взгляд современных ученых : материалы XIII Международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 30 сентября 2023 года. Нижний Новгород: Научный мир, 2023. С. 163–166. EDN HQBNAJ.
 13. Dejas L, Santoni K, Meunier E, Lamkanfi M. Regulated cell death in neutrophils: From apoptosis to NETosis and pyroptosis. *Semin Immunol*. 2023;70:101849. doi: 10.1016/j.smim.2023.101849
 14. Тишевская Н.В., Бабаева А.Г., Геворкян Н.М. Сравнительный анализ гемопоэтической активности суммарной РНК костного мозга и лимфоидных клеток селезенки при хронической бензолной анемии у крыс // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2019. Т. 63. № 2. С. 56–64. doi: 10.25557/0031-2991.2019.02.56-64. EDN YDRKPK.
 15. Snyder R, Witz G, Goldstein BD. The toxicology of benzene. *Environ Health Perspect*. 1993;100:293-306. doi: 10.1289/ehp.93100293
 16. Snyder R, Kalf GF. A perspective on benzene leukemogenesis. *Crit Rev Toxicol*. 1994;24(3):117-209. doi: 10.3109/10408449409021605
 17. Федотова Т.К., Горбачева А.К. Половой диморфизм размеров тела в раннем и первом детстве и «качество» среды: уровень антропогенной нагрузки и степень экстремальности климата места жительства // Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология. 2023. № 2. С. 58–69. doi: 10.32521/2074-8132.2023.2.058-069. EDN UJZBYJ.
 18. Сковронская С.А., Мешков Н.А., Вальцева Е.А., Иванова С.В. Приоритетные факторы риска для здоровья населения крупных промышленных городов // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 4. С. 459–467. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-4-459-467. EDN SJQPZC.
 19. Винокурова Р.Р. Методологические подходы к учету развития инновационной инфраструктуры в системе показателей оценки качества жизни // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2018. № 1(60). С. 153–156. EDN YQVSHI.
 20. Зайцева Н.В., Онищенко Г.Г., Май И.В., Шур П.З. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения // Анализ риска здоровью. 2022. № 3. С. 4–20. doi: 10.21668/health.risk/2022.3.01. EDN IMRUNE.
 21. Токбергенев Е.Т., Досмухаметов А.Т., Аскаров К.А., Амрин М.К., Аскаров Д.М., Бейсенбинова Ж.Б. Оценка аэрогенного риска для здоровья населения, проживающего в регионе расположения Ульбинского металлургического завода // Анализ риска здоровью. 2022. № 4. С. 45–55. doi: 10.21668/health.risk/2022.4.04. EDN KPBLKK.
 22. Мухаметжанова З.Т. Современное состояние проблемы загрязнения окружающей среды // Гигиена труда и медицинская экология. 2017. № 2 (55). С. 11–20.
 23. Жумаханова К.С., Айтқұлова С.Ә. Атмосфера и влияние ее на детей // Universum: медицина и фармакология. 2024. № 4(109). С. 19–23. EDN CIQKNM.
 24. Мовчан В.Н., Зубкова П.С., Калинина И.К., Кузнецова М.А., Шейнман Н.А. Оценка и прогноз экологической ситуации в Санкт-Петербурге по показателям загрязнения атмосферного воздуха и изменения здоровья населения // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2018. Т. 63. №2. С. 178–193. doi: 10.21638/11701/spbu07.2018.204
 25. Ротов В.М., Горенков Р.В., Александрова О.Ю. Влияние автомобилизации населения на заболеваемость населения // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2023. № 3. С. 1014–1034. doi: 10.24412/2312-2935-2023-3-1014-1034. EDN EGFREW.
 26. Wang H, He X, Liang X, et al. Health benefits of on-road transportation pollution control programs in China. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2020;117(41):25370-25377. doi: 10.1073/pnas.1921271117
 27. Flanagan RJ. Guidelines for the interpretation of analytical toxicology results and unit of measurement conversion factors. *Ann Clin Biochem*. 1998;35(Pt 2):261-267. doi: 10.1177/000456329803500210
 28. Teixeira J, Delerue-Matos C, Morais S, Oliveira M. Environmental contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons and contribution from biomonitoring studies to the surveillance of global health. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2024;31(42):54339-54362. doi: 10.1007/s11356-024-34727-3
 29. Oh SE, Kim GB, Hwang SH, Ha M, Lee KM. Longitudinal trends of blood lead levels before and after leaded gasoline regulation in Korea. *Environ Health Toxicol*. 2017;32:e2017019. doi: 10.5620/eh.t.e2017019
 30. Lu PCW, Shahbaz S, Winn LM. Benzene and its effects on cell signaling pathways related to hematopoiesis and leukemia. *J Appl Toxicol*. 2020;40(8):1018-1032. doi: 10.1002/jat.3961
 31. Farris GM, Robinson SN, Wong BA, Wong VA, Hahn WP, Shah R. Effects of benzene on splenic, thymic, and femoral lymphocytes in mice. *Toxicology*. 1997;118(2-3):137-148. doi: 10.1016/s0300-483x(96)03606-2
 32. Kerzic PJ, Liu WS, Pan MT, et al. Analysis of hydroquinone and catechol in peripheral blood of benzene-exposed workers. *Chem Biol Interact*. 2010;184(1-2):182-188. doi: 10.1016/j.cbi.2009.12.010

REFERENCES

1. Badmaeva SE, Tsimmerman VI. Anthropogenic pollution of the atmospheric air in the Krasnoyarsk Territory cities. *Vestnik KrasGAU*. 2015;(2(101)):27-32. (In Russ.)
2. Zaitseva NV, May IV, Kleyn SV, Goryaev DV. Methodical approaches to selecting observation points and programs for observation over ambient air quality within social and hygienic monitoring and “Pure Air” Federal project. *Health Risk Analysis*. 2019;(3):4-17. doi: 10.21668/health.risk/2019.3.01.eng
3. Kokoulina AA, Balashov SYu, Zagorodnov SYu, Kos-hurnikov DN. Hygienic evaluation of objects concerning extraction, preparation and primary processing of oil, considering health risk parameters. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2016;(12):34-38. (In Russ.)
4. Rakhmanin YA, Novikov SM, Avaliani SL, Sinitsyna OO, Shashina TA. Actual problems of environmental factors risk assessment on human health and ways to improve it. *Health Risk Analysis*. 2015;(2):4-9.
5. Chistik OF. Statistical analysis of morbidity and mortality. *Vestnik Samarskogo Gosudarstvennogo Ekonomicheskogo Universiteta*. 2019;(9(179)):65-72. (In Russ.) doi: 10.46554/1993-0453-2019-9-179-65-72
6. Pomelyaiko IS. Analysis of natural environmental conditions in some Russian cities. *Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya, Gidrogeologiya, Geokriologiya*. 2018;(2):61-73. (In Russ.) doi: 10.7868/S0869780318020060
7. Zaitseva NV, Zemlyanova MA, Chashchin VP, Gudkov AB. Scientific rules for the use of biomarkers in medical and

- environmental studies (literature review). *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2019;(9):4-14. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2019-9-4-14
8. Lozhkina OV, Malyshev SA. Analysis of extreme roadside pollution with polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in areas with intense traffic. *Tekhniko-Tekhnologicheskie Problemy Servisa*. 2023;(2(64)):61-66. (In Russ.)
 9. Rastokina TN, Peshkova AA, Unguryanu TN. Ambient air quality and risk of circulatory diseases for population of a large city in the European north of Russia. *Health Risk Analysis*. 2024;(3):4-12. doi: 10.21668/health.risk/2024.3.01.eng
 10. Kayumov BA, Giyasov ShI. Ensuring environmental safety of motor vehicles. *Vestnik Nauki*. 2021;2(10(43)):65-74. (In Russ.)
 11. Anisimova AI, Lebedeva AS. Research of innovations in the sphere of environmental safety of megapolis transport. *Nauchnyy Zhurnal NIU ITMO. Seriya: Ekonomika i Ekologicheskiiy Menedzhment*. 2020;(3):11-21. (In Russ.) doi: 10.17586/2310-1172-2020-13-3-11-21
 12. Minina NN, Zainullina RV. Investigation of the effect of exhaust gases as pollutants of atmospheric air on living organisms. In: *Innovative Potential of the Development of World Science and Technology: The View of Modern Scientists: Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference, Nizhny Novgorod, September 30, 2023*. Nizhny Novgorod: Nauchnyy Mir Publ.; 2023:163-166. (In Russ.)
 13. Dejas L, Santoni K, Meunier E, Lamkanfi M. Regulated cell death in neutrophils: From apoptosis to NETosis and pyroptosis. *Semin Immunol*. 2023;70:101849. doi: 10.1016/j.smim.2023.101849
 14. Tishevskaya NV, Babaeva AG, Gevorkyan NM. Comparative analysis of hematopoietic activity of total RNA from bone marrow cells and splenocytes of rats with chronic benzene-induced anemia. *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimental'naya Terapiya*. 2019;63(2):56-64. (In Russ.) doi: 10.25557/0031-2991.2019.02.56-64
 15. Snyder R, Witz G, Goldstein BD. The toxicology of benzene. *Environ Health Perspect*. 1993;100:293-306. doi: 10.1289/ehp.93100293
 16. Snyder R, Kalf GF. A perspective on benzene leukemogenesis. *Crit Rev Toxicol*. 1994;24(3):117-209. doi: 10.3109/10408449409021605
 17. Fedotova TK, Gorbacheva AK. Sexual somatic dimorphism through early and first childhood and "quality" of environment (the level of anthropogenic stress and climatic extremeness of the residence place). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 23: Antropologiya*. 2023;(2):58-69. (In Russ.) doi: 10.32521/2074-8132.2023.2.058-069
 18. Skovronskaya SA, Meshkov NA, Valtseva EA, Ivanova SV. Priority risk factors for population health in large industrial cities. *Gigiena i Sanitariya*. 2022;101(4):459-467. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-4-459-467
 19. Vinokurova RR. [Methodological approaches to taking into account development of innovation infrastructure in the system of indicators for assessing the quality of life.] *Konkurentosposobnost' v Global'nom Mire: Ekonomika, Nauka, Tekhnologii*. 2018;(1(60)):153-156. (In Russ.)
 20. Zaitseva NV, Onishchenko GG, May IV, Shur PZ. Developing the methodology for health risk assessment within public management of sanitary-epidemiological welfare of the population. *Health Risk Analysis*. 2022;(3):4-20. doi: 10.21668/health.risk/2022.3.01.eng
 21. Tokbergenov ET, Dosmukhametov AT, Askarov KA, Amrin MK, Askarov DM, Beisenbinova ZB. Assessment of aerogenic risks for people living in close proximity to Ulba Metallurgical Plant. *Health Risk Analysis*. 2022;(4):45-55. doi: 10.21668/health.risk/2022.4.04.eng
 22. Mukhametzhanova ZT. [State-of-the-art problem of environmental pollution.] *Gigiena Truda i Meditsinskaya Ekologiya*. 2017;(2(55)):11-20. (In Russ.)
 23. Zhumakanova K, Aitkulova S. The atmosphere and its effect on children. *Universum: Meditsina i Farmakologiya*. 2024;(4(109)):19-23. (In Russ.)
 24. Movchan VN, Zubkova PS, Kalinina IK, Kuznetsova MA, Sheinerman NA. Assessment and forecast of the ecological situation in St. Petersburg in terms of air pollution and public health indicators. *Vestnik Sankt-Petersburgskogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2018;63(2):178-193. (In Russ.) doi: 10.21638/11701/spbu07.2018.204
 25. Rotov VM, Gorenkov RV, Aleksandrova OYu. The impact of motorization on the morbidity of the population of children, adults and the elderly people. *Sovremennye Problemy Zdravookhraneniya i Meditsinskoy Statistiki*. 2023;(3):1014-1034. (In Russ.) doi: 10.24412/2312-2935-2023-3-1014-1034
 26. Wang H, He X, Liang X, et al. Health benefits of on-road transportation pollution control programs in China. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2020;117(41):25370-25377. doi: 10.1073/pnas.1921271117
 27. Flanagan RJ. Guidelines for the interpretation of analytical toxicology results and unit of measurement conversion factors. *Ann Clin Biochem*. 1998;35(Pt 2):261-267. doi: 10.1177/000456329803500210
 28. Teixeira J, Delerue-Matos C, Morais S, Oliveira M. Environmental contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons and contribution from biomonitoring studies to the surveillance of global health. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2024;31(42):54339-54362. doi: 10.1007/s11356-024-34727-3
 29. Oh SE, Kim GB, Hwang SH, Ha M, Lee KM. Longitudinal trends of blood lead levels before and after leaded gasoline regulation in Korea. *Environ Health Toxicol*. 2017;32:e2017019. doi: 10.5620/eh.t.e2017019
 30. Lu PCW, Shahbaz S, Winn LM. Benzene and its effects on cell signaling pathways related to hematopoiesis and leukemia. *J Appl Toxicol*. 2020;40(8):1018-1032. doi: 10.1002/jat.3961
 31. Farris GM, Robinson SN, Wong BA, Wong VA, Hahn WP, Shah R. Effects of benzene on splenic, thymic, and femoral lymphocytes in mice. *Toxicology*. 1997;118(2-3):137-148. doi: 10.1016/s0300-483x(96)03606-2
 32. Kerzic PJ, Liu WS, Pan MT, et al. Analysis of hydroquinone and catechol in peripheral blood of benzene-exposed workers. *Chem Biol Interact*. 2010;184(1-2):182-188. doi: 10.1016/j.cbi.2009.12.010

Сведения об авторах:

Зайцева Нина Владимировна – академик РАН, д.м.н., проф., научный руководитель ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», e-mail: znv@fcrisk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>.

Долгих Олег Владимирович – д.м.н., заведующий отделом иммунобиологических методов диагностики ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», e-mail: oleg@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4860-3145>.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-11-41-49>
Original Research Article

✉ **Нурисламова** Татьяна Валентиновна – д.б.н., заведующий отделом химико-аналитических методов исследования ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» e-mail: nurtat@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2344-3037>.

Мальцева Ольга Андреевна – к.б.н., научный сотрудник лаборатории методов газовой хроматографии ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», e-mail: malceva@fcrisk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7664-3270>.

Попова Нина Анатольевна – старший научный сотрудник лаборатории методов газовой хроматографии ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», e-mail: popovana@fcrisk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9730-9092>.

Чинько Татьяна Викторовна – младший научный сотрудник лаборатории методов газовой хроматографии ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», e-mail: chinko@fcrisk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5669-1689>.

Аликина Инга Николаевна – научный сотрудник лаборатории клеточных методов диагностики ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», e-mail: alikina@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2057-9828>.

Моцкус Анна Валерьевна – к.м.н., доцент кафедры общей гигиены ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: banna.motskus@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4865-2123>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Зайцева Н.В., Нурисламова Т.В.*; сбор данных: *Чинько Т.В., Аликина И.Н.*; анализ и интерпретация результатов: *Долгих О.В.*; литературный обзор: *Моцкус А.В.*; подготовка рукописи: *Мальцева О.А., Попова Н.А.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора (Центра) (Протокол заседания № 3 от 01.03.2019). От каждого законного представителя ребенка, включенного в выборку, получено письменное информированное согласие на добровольное участие в биомедицинском исследовании.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: Зайцева Нина Владимировна является членом редакционной коллегии журнала «Здоровье населения и среда обитания», остальные авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 03.04.24 / Принята к публикации: 11.11.24 / Опубликовано: 29.11.24

Author information:

Nina V. Zaitseva, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Professor; Scientific Director, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: znv@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>.

Oleg V. Dolgikh, Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Immunobiological Diagnostic Methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: oleg@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4860-3145>.

✉ Tatyana V. Nurislamova, Dr. Sci. (Biol.), Head of the Department of Analytical Chemistry Techniques, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: nurtat@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2344-3037>.

Olga A. Maltseva, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Gas Chromatography Laboratory, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: malceva@fcrisk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7664-3270>.

Nina A. Popova, Senior Researcher, Gas Chromatography Laboratory, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: popovana@fcrisk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9730-9092>.

Tatyana V. Chinko, Junior Researcher, Gas Chromatography Laboratory, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: chinko@fcrisk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5669-1689>.

Inga N. Alikina, Researcher, Laboratory of Cellular Diagnostics, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: alikina@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2057-9828>.

Anna V. Motskus, Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Department of Hygiene, Rostov State Medical University; e-mail: banna.motskus@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4865-2123>.

Author contributions: study conception and design: *Zaitseva N.V., Nurislamova T.V.*; data collection: *Chinko T.V., Alikina I.N.*; analysis and interpretation of results: *Dolgikh O.V.*; bibliography compilation and referencing: *Motskus A.V.*; draft manuscript preparation: *Maltseva O.A., Popova N.A.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies (protocol No. 3 of March 1, 2019). Written informed consent for voluntary participation in the biomedical study was obtained from each legal representative of the child included in the sample.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: Nina V. Zaitseva is a member of the Editorial Board of the journal *Public Health and Life Environment*; other authors have no conflicts of interest to declare.

Received: April 3, 2024 / Accepted: November 11, 2024 / Published: November 29, 2024