

Читать
онлайн
Read
online

Мыльникова И.В., Ефимова Н.В., Кудяев А.Н.

Оценка риска, связанного с химическим загрязнением воздушной среды спортивных сооружений, для здоровья детей

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665826, Ангарск, Россия

Введение. Краткосрочное и хроническое воздействие химических веществ в сочетании с физической активностью в эксперименте сопровождается комплексом нарушений в деятельности дыхательной, иммунной и других систем.

Цель — дать оценку риска для здоровья детей при краткосрочном воздействии химических веществ, загрязняющих воздушную среду открытых и закрытых спортивных сооружений.

Материалы и методы. Качество воздушной среды спортивных помещений в детско-юношеских спортивных школах и общеобразовательных организациях изучали по результатам разовых проб воздуха; открытых площадок — на основании данных о среднемесячных и максимальных разовых концентрациях, зарегистрированных на постах гидрометеослужбы в 2017–2021 гг. Рассчитаны риски при краткосрочном воздействии для закрытых и открытых спортивных сооружений.

Результаты. На фоне единичного превышения максимальных разовых (в спортзалах) и среднемесячных (в атмосфере) концентраций химических веществ выявлены риски нарушения здоровья детей, занимающихся спортом. Максимальный долевого вклад в величину индекса опасности для респираторной системы в воздухе крытой ледовой арены вносит формальдегид (58,3%), в воздухе спортивных залов школ — взвешенные вещества (47,3%). Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха выявила сезонную динамику, подтверждающую значимость выбросов систем теплоэнергетики при формировании нарушений здоровья. В отношении PM_{10} максимальные $HQ = 3,1-3,9$ установлены в декабре и январе, в летний период они в 3–4 раза ниже. Содержанием в воздушной среде мелкодисперсных частиц $PM_{2,5}$ обусловлен чрезвычайно высокий риск в мае ($HQ = 12,5$). В зимние дни с высоким загрязнением величина индекса опасности находится в пределах $HQ = 1,0-2,5$.

Ограничения исследования обусловлены небольшим количеством проб воздуха закрытых помещений и неполной информацией о пороге негативного влияния при остром воздействии химических веществ, накопленной к настоящему времени.

Заключение. Создание безопасных условий для здоровья детей, занимающихся спортом, возможно при дальнейшем изучении краткосрочного воздействия и определении референтных концентраций химических веществ в атмосферном воздухе и воздушной среде спортивных помещений.

Ключевые слова: риск для здоровья; воздушная среда помещений; атмосферный воздух; загрязнения; спортивные сооружения

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено Этическим комитетом ФГБНУ ВСИМЭИ (заключение ЛЭК № 1 от 27.01.2022 г.).

Для цитирования: Мыльникова И.В., Ефимова Н.В., Кудяев А.Н. Оценка риска, связанного с химическим загрязнением воздушной среды спортивных сооружений, для здоровья детей. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(9): 1086-1092. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1086-1092> <https://www.elibrary.ru/srkjuq>

Для корреспонденции: Ефимова Наталья Васильевна, доктор мед. наук, профессор, вед. науч. сотр. лаб. эколого-гигиенических исследований ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665826, Ангарск. E-mail: medecolab@inbox.ru

Участие авторов: Ефимова Н.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста; Мыльникова И.В. — статистическая обработка данных, написание текста; Кудяев А.Н. — организация исследования, сбор материала, статистическая обработка данных. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Работа выполнена в рамках средств, выделяемых для выполнения государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Поступила: 17.06.2022 / Принята к печати: 04.08.2022 / Опубликована: 30.09.2022

Inna V. Mylnikova, Natalia V. Efimova, Andrey N. Kudaev

Assessment of the risk associated with chemical pollution of air environment of sports facilities for children's health

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665826, Russian Federation

Introduction. Acute and chronic exposure to chemicals is accompanied by a complex of disorders in the activity of the respiratory, immune and other systems.

Purpose is to assess the health risk to children from short-term exposure to pollutants in air of out- and indoor sports facilities.

Materials and methods. The air quality of ice arenas, sports halls for martial arts and sports halls in schools was studied using maximum samples; out-door air — according to the average monthly and maximum concentrations registered in 2017–2021. The risks of acute exposure for indoor and outdoor sports facilities are calculated.

Results. Against the background of a single excess of the maximum one-time (in gyms) and average monthly (in the atmosphere) concentrations of chemicals, risks to the health of children involved in sports were identified. The maximum share contribution to hazard index (HI) for the respiratory system in the air of the ice arena is made by formaldehyde (58.3%), in school halls — by suspended solids (47.3%). The seasonal dynamics of pollution is revealed, which confirms the importance of thermal power emissions. The maximum Hazard Quotient (HQ) $PM_{10} = 3.1-3.9$ is established in winter, and in summer it is 3–4 times lower. The content of $PM_{2,5}$ in the air is responsible for the extremely high risk in May ($HQ = 12.5$). The limitation of the results is due to the lack of indoor studies and insufficient knowledge on the impact of acute health effects.

Limitations the results are due to the small number of indoor studies and insufficient knowledge about the impact of acute health outcomes.

Conclusion. Further study of the short-term effects of indoor and outdoor air pollution from sports facilities is needed.

Keywords: health risk; indoor air environment; atmospheric air; pollution; sports facilities

Compliance with ethical standards: the study was approved by the Ethics Committee of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research (conclusion of the LEC No. 1 of January 27, 2022).

For citation: Mylnikova I.V., Efimova N.V., Kudaev A.N. Assessment of the risk associated with chemical pollution of air environment of sports facilities for children's health. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(9): 1086-1092. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1086-1092> <https://www.elibrary.ru/srkjuq> (In Russian)

For correspondence: Natalia V. Efimova, MD, PhD, DSci., Professor, a leading researcher of the Laboratory of environmental and hygienic research East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665826, Russian Federation. E-mail: medecolab@inbox.ru

Information about authors:

Mylnikova I.V., <https://orcid.org/0000-0002-0169-4513> Efimova N.V., <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147> Kudaev A.N., <https://orcid.org/0000-0002-6809-4707>

Contribution: Efimova N.V. – the concept and design of the study, writing the text; Mylnikova I.V. – statistical data processing, text writing; Kudaev A.N. – organization of research, collection of material, writing the text. 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: June 17, 2022 / Accepted: August 04, 2022 / Published: August 30, 2022

Введение

Федеральный закон от 4 декабря 2007 г. № 329-ФЗ «О физической культуре и спорте в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) декларирует принцип обеспечения безопасности жизни и здоровья лиц, занимающихся физической культурой и спортом. При этом в существующих нормативно-правовых документах по вопросам физкультуры и спорта отсутствует гигиенический регламент по обеспечению безопасности здоровья детей. Приказы Минздрава России № 134н (от 01.03.2016 г.) и № 1144н (от 23.10.2020 г.) регламентируют лишь врачебный контроль состояния здоровья лиц, занимающихся спортом, оказание первичной медико-санитарной помощи спортсменам в медпунктах и уровень квалификации врачебного и тренерского состава.

Между тем воздушная среда закрытых спортивных сооружений содержит комплекс различных химических веществ, оказывающих неблагоприятное влияние на здоровье [1]. В работе Чанчаевой Е.А. и соавт. отражены результаты исследования пролонгированного воздействия химических веществ на спортсменов в процессе тренировки в дозах, не позволяющих обнаружить выраженное отравление [2]. При этом отдельные химические вещества (свинец, хром, марганец) обнаружены в концентрациях, которые могут способствовать развитию патологических изменений метаболических процессов. Представляют интерес исследования, в которых при оценке риска для здоровья в связи с загрязнением атмосферного воздуха учитывается характер физической активности [3–7]. В этом случае оценка времени ежедневной физической активности, интенсивности и частоты занятий позволяет установить количественную связь между индексом опасности (НИ) и продолжительностью, интенсивностью, частотой занятий спортом. Имеются данные о том, что польза от занятий спортом в условиях загрязнения атмосферного воздуха больше, чем риски для здоровья от воздействия диоксида азота, твёрдых мелкодисперсных частиц [8–11]. В эксперименте показано, что интенсивный бег в условиях загрязнения воздушной среды выхлопными газами дизельных двигателей приводит к нейтрофилии дыхательных путей, рекрутированию дендритных клеток и продукции провоспалительных цитокинов IL-13, MCP-1, GM-CSF и KC. Влияние перечисленных триггеров сопровождается нарушением регуляции экспрессии плотных соединений и проявляется изменениями в физиологии и целостности дыхательных путей [12]. Как отмечают исследователи, физические упражнения на свежем воздухе представляют собой сложную модель многократного и переменного воздействия загрязнений атмосферного воздуха и их концентраций [13, 14]. Изложенное свидетельствует о необходимости изучения влияния на здоровье юных спортсменов и школьников загрязнения атмосферного воздуха и воздушной среды помещений в спортивных сооружениях и общеобразовательных организациях.

Цель исследования – дать оценку риска для здоровья детей при краткосрочном воздействии химических веществ, загрязняющих воздушную среду открытых и закрытых спортивных сооружений.

Материалы и методы

Проведена гигиеническая оценка загрязнения воздушной среды закрытых спортивных сооружений (залов для единоборств детско-юношеских спортивных школ (ДЮСШ), крытой ледовой арены и спортивных залов пяти общеобразовательных школ (ООШ) и открытых спортивных площадок ДЮСШ), расположенных в городе с развитой нефтехимической промышленностью. Все объекты исследования находятся в селитебной зоне, удалены от промышленных источников загрязнения на 3–7 км. Открытая спортивная площадка ДЮСШ и зал спортивных единоборств находятся в 200 м от пересечения общегородской магистрали и улицы местного значения. Химико-аналитические исследования содержания веществ выполнены в лаборатории аналитической экотоксикологии и биомониторинга ФГБНУ ВСИМЭИ (зав. лабораторией канд. биол. наук О.М. Журба) и в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 28» ФМБА России. Программа исследований в закрытых помещениях ДЮСШ включала контроль за содержанием примесей, согласно РД 52.04.186–89¹ (формальдегид, взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид серы, диоксид азота), анализ предельных углеводородов (этен, пропен, бутен, смесь предельных углеводородов C₁H₄–C₃H₁₂), непредельных углеводородов (суммарно), ароматических углеводородов (бензол, метилбензол, диметилбензол) проведён с использованием комплекса хроматографического газового «Хромос GX-1000» (производитель ООО «Хромос», Россия). Для оценки качества воздуха спортивных залов определяли концентрации приоритетных загрязнителей: формальдегида, оксида углерода, диоксида азота, диоксида серы, взвешенных веществ. Отбор проб воздуха закрытых помещений проводили в феврале – мае (в 13–16 ч местного времени) в трёх точках (в центре и по периметру помещения) на высоте 1,2 м от уровня пола. Объём исследований составил 110 проб. Для выявления влияния работы льдоуборочной машины на содержание примесей в воздухе проведён отбор проб до начала подготовки льда и сразу после прекращения, непосредственно перед началом тренировки и через 3 ч.

Помещение крытой ледовой арены оборудовано системой кондиционирования, соответствующей требованиям СНиП 41–01–2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». Спортивные залы в ДЮСШ и ООШ оснащены искусственной вентиляцией, согласно типовым проектам, разработанным в 60–70-е годы XX века.

Качество атмосферного воздуха изучали по данным ФГБУ «Иркутское УГМС» за 2017–2021 гг. Анализировали среднесуточное содержание взвешенных веществ (в том числе РМ₁₀ и РМ_{2,5}), диоксида серы, оксида углерода, диоксида азота, оксида азота, формальдегида. Ближайший пост наблюдения расположен в 1 км от открытой спортивной площадки, в 0,2–1,5 км от спортивных площадок школ. Общее количество проб составило более 353 тыс. (не менее 280 в год по каждому веществу). Оценку качества воз-

¹ Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186–89. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Министерство здравоохранения СССР. М., 1991.

Таблица 1 / Table 1

Концентрации химических веществ в воздушной среде спортивных залов ледовой арены, детско-юношеской спортивной школы, общеобразовательной организации ($M \pm m$), мг/м³

The concentration of chemicals in the air of the ice arena and sports halls for children ($M \pm m$), mg/m³

Химическое вещество Chemical substance	ПДКм.р., мг/м ³ MPCmax one-time, mg/m ³	Воздушная среда спортивных залов / Indoor air			p
		крытая ледовая арена covered ice arena (1)	ДЮСШ children's and youth sports school (2)	общеобразовательные школы general education schools (3)	
Взвешенные вещества / Particulate matter	0.5	Н.о. / B.d	0.07 ± 0.01	0.27 ± 0.12	0.034 ²⁻³
SO ₂	0.5	0.43 ± 0.02	0.41 ± 0.01	0.04 ± 0.006	0.000 ¹⁻³ 0.000 ²⁻³
CO	5	3.2 ± 0.7	0.6 ± 0.03	0.3 ± 0.006	0.023 ¹⁻³ 0.000 ²⁻³
NO ₂	0.2	0.12 ± 0.007	0.11 ± 0.007	0.15 ± 0.02	0.093 ¹⁻³ 0.042 ²⁻³
Формальдегид / Formaldehyde	0.05	0.058 ± 0.005	0.04 ± 0.001	0.03 ± 0.002	0.002 ¹⁻³ 0.000 ²⁻³
Бензол / Benzene	0.3	0.017 ± 0.009	0.01 ± 0.006	Н.д. / N.d.	0.577 ¹⁻²
Метилбензол / Methylbenzene	0.6	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.01	Н.д. / N.d.	0.784 ¹⁻²
Диметилбензол / Dimethylbenzene	0.2	Н.о. / B.d	Н.о. / B.d	Н.д. / N.d.	
Смесь предельных углеводородов C ₁ H ₄ –C ₅ H ₁₂ Mixture of saturated hydrocarbons C ₁ H ₄ –C ₅ H ₁₂	200	1.4 ± 0.11	1 ± 0.04	Н.д. / N.d.	0.006 ¹⁻²
Бутен / Butene	3	Н.о. / B.d	Н.о. / B.d	Н.д. / N.d.	–
Этен / Eten	3	Н.о. / B.d	0.006 ± 0.002	Н.д. / N.d.	–
Пропен / Propene	3	Н.о. / B.d	Н.о. / B.d	Н.д. / N.d.	–

Примечание. ПДКм.р. – предельно допустимая концентрация (по СанПиН 1.2.3685–21); p – статистическая значимость различий между показателями (1), (2) и (3); Н.д. – нет данных; Н.о. – ниже предела обнаружения.

Note: MACmax – maximum allowable single concentration, Sanitary Rules and Norms 1.2.3685–21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans»; p – Statistical significance of differences between indicators (1), (2) and (3); N.d. – no data; B.d. – below detection limit.

духа закрытых помещений и приземных слоёв атмосферы провели в соответствии с действующими гигиеническими нормативами².

Риск для здоровья при краткосрочном ингаляционном воздействии химических веществ рассчитывали по их средним концентрациям из максимальных разовых проб, отобранных в 13 ч местного времени (данные поста наблюдения, расположенного на расстоянии 1 км от стадиона). Оценка проведена в соответствии с Р 2.1.10.1920–04³ на основании расчёта коэффициентов опасности каждого вещества (HQ) в сравнении с референтными величинами для краткосрочного (острого) воздействия (ARF) и индексов опасности (HI) для критических органов и систем.

Материалы исследования обработали статистически при помощи пакета прикладных программ Statistica версия 10.1 (StatSoft Inc., США). Показатели представлены в виде средних арифметических значений и ошибок к ним ($M \pm m$). Статистическую значимость различий между группами оценивали по *t*-критерию Стьюдента для несвязанных выборок. Критической величиной уровня значимости различий с учётом поправки Бонферрони считали 0,017.

² Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Зарегистрировано в Минюсте 29.01.2021 г. № 62296.

³ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920–04. Утверждено и введено в действие первым заместителем министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г.

Результаты

В табл. 1 приведены концентрации химических веществ в воздухе спортивных помещений ледовой арены, ДЮСШ, ООШ. Установлено, что концентрации исследованных химических веществ не превышали значений ПДКм.р. Некоторые отклонения в концентрациях загрязнений выявлены в воздухе ледовой арены. Так, в единичных пробах концентрация оксида углерода превышала максимальную разовую ПДК в 2,3 раза. Содержание формальдегида в 12,5–37,5% проб превышало ПДКм.р. в 1,7–1,8 раза. Содержание в воздухе бензола – в 7,4 раза, толуола – в 3,7 раза, СО – в 2,3 раза, формальдегида – в 1,2 раза во время работы льдоуборочной машины больше, чем к концу занятия. В воздушной среде спортивных залов ООШ превышение ПДКм.р. в 1,2–1,4 раза выявлено в 8,3–18,9% проб взвешенных веществ.

Сравнительная оценка качества воздушной среды ледовой арены, спортивных залов ДЮСШ и школ выявила некоторые различия. В частности, в спортзалах ООШ концентрация взвешенных веществ была в 3,8 раза выше, чем в ДЮСШ ($p = 0,034$). Концентрация диоксида азота в спортзале ООШ была выше, чем в крытой ледовой арене и ДЮСШ, в 1,2 и 1,4 раза ($p = 0,042$) соответственно. В воздушной среде крытой ледовой арены и ДЮСШ содержание диоксида серы было выше, чем в ООШ, в 10,2 ($p = 0,000$) и 10,7 раза ($p = 0,000$) соответственно. Следует отметить, что в воздухе крытой ледовой арены было выше, чем в спортзалах ДЮСШ и ООШ, содержание оксида углерода – в 5,3 и 10,6 раза соответственно ($p = 0,023$ и $p = 0,000$), формальдегида – в 1,4 и 1,9 раза соответственно ($p = 0,002$ и $p = 0,000$). Кроме того, в воздухе ледовой арены были выше, чем в спортзале ДЮСШ, концентрации бензола – в 1,7 раза ($p = 0,004$), смеси предельных углеводородов C₁H₄–C₅H₁₂ – в 1,4 раза ($p = 0,006$).

Содержание химических веществ (мг/м³) в атмосферном воздухе по месяцам (среднее за период 2017–2021 гг.), $M \pm m$
The content of chemicals (mg/m³) in the outdoor air by months is average in 2017–2021, $M \pm m$

Химическое вещество Chemical substances	ПДК _{с.с.} * MAC _{с.с.} †	Месяц / Months											
		Январь January	Февраль February	Март March	Апрель April	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Сентябрь September	Октябрь October	Ноябрь November	Декабрь December
CO	5	0,838 ± 0,042	0,819 ± 0,049	0,605 ± 0,034	0,445 ± 0,021	0,296 ± 0,04	0,3 ± 0,072	0,4 ± 0,082	0,45 ± 0,064	0,45 ± 0,095	0,5 ± 0,108	0,685 ± 0,096	0,949 ± 0,05
Взвешенные вещества, в том числе: Particulate matter, including:	0,15	0,22 ± 0,019	0,217 ± 0,009	0,233 ± 0,014	0,204 ± 0,02	0,232 ± 0,037	0,197 ± 0,034	0,193 ± 0,028	0,194 ± 0,025	0,188 ± 0,022	0,204 ± 0,031	0,219 ± 0,028	0,196 ± 0,021
PM ₁₀	0,06	0,06 ± 0,013	0,051 ± 0,009	0,035 ± 0,002	0,042 ± 0,002	0,032 ± 0,006	0,037 ± 0,004	0,035 ± 0,004	0,033 ± 0,003	0,027 ± 0,001	0,035 ± 0,002	0,045 ± 0,004	0,058 ± 0,005
PM _{2,5}	0,035	0,024 ± 0,013	0,022 ± 0,006	0,016 ± 0,003	0,025 ± 0,003	0,025 ± 0,003	0,010 ± 0,003	0,010 ± 0,004	0,013 ± 0,004	0,006 ± 0,002	0,009 ± 0,004	0,012 ± 0,006	0,017 ± 0,011
SO ₂	0,5	0,036 ± 0,004	0,139 ± 0,087	0,034 ± 0,002	0,075 ± 0,048	0,021 ± 0,002	0,014 ± 0,003	0,008 ± 0,001	0,009 ± 0,002	0,017 ± 0,005	0,023 ± 0,003	0,033 ± 0,001	0,038 ± 0,002
NO ₂	0,1	0,058 ± 0,013	0,065 ± 0,014	0,05 ± 0,009	0,037 ± 0,006	0,033 ± 0,004	0,032 ± 0,004	0,028 ± 0,004	0,029 ± 0,005	0,033 ± 0,007	0,04 ± 0,008	0,046 ± 0,012	0,061 ± 0,014
Формальдегид Formaldehyde	0,01	0,005 ± 0,001	0,011 ± 0,006	0,007 ± 0,002	0,007 ± 0,003	0,008 ± 0,004	0,01 ± 0,004	0,013 ± 0,005	0,023 ± 0,011	0,015 ± 0,005	0,006 ± 0,002	0,005 ± 0,002	0,004 ± 0,001

Примечание. * – по СанПиН 1.2.3685–21.

Note: * MAC_{с.с.} – maximum allowable daily concentration Sanitary Rules and Norms 1.2.3685–21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans».

Поскольку компоненты тренировочного процесса и учебно-образовательная программа в ООШ включают занятия спортом на открытом воздухе, нами была проведена оценка среднемесячного загрязнения атмосферного воздуха в г. Ангарске в 2017–2021 гг. (табл. 2). Среднемесячные концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе Ангарска в период наблюдения были значительно ниже ПДК_{с.с.}. В 2017–2021 гг. максимальные концентрации наблюдались в декабре, январе, феврале (0,819–0,949 мг/м³), минимальные – в мае, июне (0,296–0,3 мг/м³). Среднегодовое содержание оксида углерода в воздушной среде Ангарска составило 0,56 ± 0,04 мг/м³ (0,19 ПДК_{с.г.}).

Среднемесячные концентрации взвешенных веществ (ВВ) в атмосферном воздухе находились в интервале значений от 0,188 до 0,233 мг/м³. На протяжении всего периода исследования отмечено превышение ПДК_{с.с.}, при этом максимальные значения отмечены в период с января по май, минимальное – в сентябре. Установлено, что в среднем в период исследования среднегодовая концентрация составила 0,208 ± 0,02 мг/м³ (2,8 ПДК_{с.г.}). Изучена динамика среднемесячных концентраций фракций РМ₁₀ и РМ_{2,5} с учётом подтверждённой опасности мелкодисперсных частиц для здоровья человека [15–18]. Отмечено, что среднемесячные концентрации РМ₁₀ находились в диапазоне 0,027–0,06 мг/м³ (0,4–1 ПДК_{с.с.}), достигая максимальных значений в январе – феврале, минимального – в сентябре. Анализ среднемесячных концентраций в течение всего периода исследования выявил максимальные значения в январе 2018 г. – 1,3 ПДК_{с.с.} и декабре 2020 г. – 1,2 ПДК_{с.с.}, минимальные – в сентябре 2021 г. (0,4 ПДК_{с.с.}). При этом среднегодовая концентрация РМ₁₀ составила 0,039 ± 0,002 мг/м³ (0,9 ПДК_{с.г.}). Изучение среднемесячных концентраций наиболее опасных в медико-биологическом отношении РМ_{2,5} показало, что содержание в воздухе указанных частиц в период исследования не превышало среднесуточной ПДК. Исключение составил декабрь 2020 г. – 1,7 ПДК_{с.с.}. Среднегодовое значение концентрации РМ_{2,5} составило 0,015 ± 0,004 мг/м³ (0,6 ПДК_{с.г.}).

Среднемесячные концентрации диоксида серы находились в пределах ПДК_{с.с.} – 0,006–0,401 мг/м³. В течение всего анализируемого периода максимальная концентрация определена в феврале 2019 г. (0,401 мг/м³, что составило 8 ПДК_{с.с.}), минимальные значения зафиксированы в июле и августе – 0,006 мг/м³, то есть 0,12 ПДК_{с.с.}. Среднегодовое значение содержания диоксида серы (0,015 ± 0,004 мг/м³) было значительно меньше допустимых значений – 0,03 ПДК_{с.г.}.

Содержание диоксида азота в атмосферном воздухе в течение всего анализируемого периода не превышало ПДК_{с.с.} и находилось в пределах 0,016–0,094 мг/м³. В то же время максимальные значения среднемесячных концентраций зарегистрированы в декабре, январе, феврале (0,08–0,1 мг/м³), минимальные – в июле, августе, сентябре (0,016–0,019 мг/м³). Среднегодовая концентрация диоксида азота в атмосферном воздухе города составляла 0,04 ± 0,007 мг/м³.

Динамика среднемесячных концентраций формальдегида характеризовалась колебанием от 0,001 до 0,052 мг/м³. При этом максимальное содержание отмечено в августе 2019 г. – 0,052 мг/м³, минимальное – в декабре и январе (0,004–0,005 мг/м³), среднегодовая концентрация составила 0,009 ± 0,003 мг/м³ (0,2 ПДК_{с.г.}).

Результаты расчётов коэффициентов и индексов опасности по средним из разовых проб представлены в табл. 3.

По величине коэффициента опасности превышение ARF отмечено только по формальдегиду для ледовой арены (Н_Q = 1,21). С учётом однонаправленного действия веществ, присутствующих одновременно в воздухе помещений (формальдегида, диоксида азота, взвешенных веществ, диоксида серы, метилбензола и диметилбензола), возможно развитие рефлекторных реакций органов дыхания: на ледовой арене (Н_I = 2,07), в зале единоборств (Н_I = 1,91), в спортивном зале школы (Н_I = 1,9). Возможно раздражающее воздействие

Таблица 3 / Table 3

Коэффициенты и индексы опасности, связанные с краткосрочным воздействием химических веществ, воздушной среды спортивных помещений

Hazard quotients and indices (HQ and HI) associated with short-term exposure to chemicals in the air of sports facilities

Химическое вещество Chemical substances	ARF, мг/м ³ (mg/m ³)	Воздушная среда спортивных помещений The indoor air of sports facilities		
		крытая ледовая арена covered ice arena	зал единоборств martial arts hall	спортивный зал gym
Формальдегид / Formaldehyde	0.048	1.21	0.83	0.63
NO ₂	0.47	0.26	0.23	0.32
CO	23	0.14	0.03	0.01
Взвешенные вещества / Particulate matter	0.3	0.00	0.23	0.90
SO ₂	0.66	0.61	0.61	0.06
Метилбензол / Methylbenzene	3.8	0.01	0.01	н/д
Диметилбензол / Dimethylbenzene	4.3	0.00	0.00	
Бензол / Benzene	0.15	0.11	0.07	
<i>Индекс опасности / Hazard indices</i>				
НИ органов дыхания / HI for respiratory organs		2.07	1.91	1.90
НИ глаза / HI for an eye		1.21	0.84	0.63
НИ иммунной системы / HI for the immune system		0.11	0.07	0.00

на слизистую оболочку глаз формальдегида, метилбензола и диметилбензола, при этом HI превысил 1,0 только на ледовой арене (HI = 1,21). HI иммунной системы не превышал 0,11, риска возможного влияния на ЦНС, репродуктивную систему, процессы развития организма опасности в момент нахождения в закрытых спортивных сооружениях не выявлено.

С учётом того, что занятия школьников и детей, посещающих спортивные секции ДЮСШ, частично проходят на открытом воздухе, можно предположить негативное воздействие, поскольку авторами обнаружено, что риски,

рассчитанные по средним величинам максимальных разовых концентраций, в отдельные месяцы превышают уровни 1,0 HQ по взвешенным веществам и их фракциям, формальдегиду и NO₂ (табл. 4).

Максимальные величины HQ PM₁₀ достигали 3,9 в декабре, минимальные отмечены в марте, апреле, августе, сентябре. HQ NO₂ зарегистрированы в январе (HQ = 2,2) и в среднем за год незначительно превышали 1,0. Уровни HQ взвешенных веществ в течение всего года периодически превышали допустимую величину и колебались от 2,0 до 5,7. По формальдегиду также практически по всем месяцам отмече-

Таблица 4 / Table 4

Коэффициенты и индексы опасности, связанные с краткосрочным воздействием химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, в 2017–2021 гг. (среднее арифметическое из максимальных разовых проб в 13 ч)

Hazard quotients and indices (HQ and HI) associated with short-term exposure to chemicals contained in the outdoor air in 2017–2021 (arithmetic mean of the maximum one-time samples at 13.00 h.)

Месяц / Months	Химическое вещество / Chemical substances										НИ органов дыхания HI for respiratory organs
	Взвешенные вещества Particulate matter		NO ₂		Формальдегид Formaldehyde		PM ₁₀		PM _{2.5}		
	мг/м ³ (mg/m ³)	HQ	мг/м ³ (mg/m ³)	HQ	мг/м ³ (mg/m ³)	HQ	мг/м ³ (mg/m ³)	HQ	мг/м ³ (mg/m ³)	HQ	
Январь / January	0.9	3	1.018	2.2	0.068	1.4	0.472	3.1	0.099	1.5	8.2
Февраль / February	0.8	2.7	0.721	1.5	0.088	1.8	0.187	1.2	0.066	1.0	5.5
Март / March	0.7	2.3	0.572	1.2	0.092	1.9	0.078	0.5	0.076	1.2	4.8
Апрель / April	0.9	3.0	0.366	0.8	0.069	1.4	0.081	0.5	0.082	1.3	4.0
Май / May	1.7	5.7	0.229	0.5	0.045	0.9	0.212	1.4	0.834	12.8	15.6
Июнь / June	1.1	3.7	0.421	0.9	0.122	2.5	0.199	1.3	0.058	0.9	5.6
Июль / July	1	3.3	0.681	1.4	0.103	2.1	0.143	1.0	0.12	1.8	6.3
Август / August	0.8	2.7	0.366	0.8	0.113	2.4	0.127	0.8	0.213	3.3	7.3
Сентябрь / September	0.9	3.0	0.375	0.8	0.108	2.3	0.075	0.5	0.036	0.6	4.2
Октябрь / October	1.1	3.7	0.538	1.1	0.061	1.3	0.135	0.9	0.12	1.8	5.1
Ноябрь / November	0.7	2.3	0.437	0.9	0.104	2.2	0.232	1.5	0.173	2.7	7.3
Декабрь / December	0.6	2.0	0.422	0.9	0.033	0.7	0.581	3.9	0.168	2.6	8.1
Среднее за год / Yearly average	0.93	3.1	0.512	1.1	0.084	1.7	0.213	1.4	0.20	3.1	7.3

ны повышенные риски рефлекторного воздействия (максимум выявлен в июле, он составил 2,5). В динамике $HQ PM_{2,5}$ наибольшая величина зафиксирована в мае ($HQ = 12,5$), минимальные значения — в июне и сентябре. Вследствие совпадения дней с высоким содержанием изучаемых химических веществ по срокам наблюдения мы сочли возможным рассмотреть HI для органов дыхания. Чрезвычайно высокие риски отмечены в мае ($HI = 15,6$), что в 2,0 раза превышает средний для года уровень. Относительно низкие величины характерны для апреля и сентября (4,0–4,2).

Обсуждение

Оценка загрязнения воздушной среды спортивных помещений крытой ледовой арены, ДЮСШ и ООШ показала, что условия, в которых дети занимаются спортом, соответствуют гигиеническим нормативам. Проведённое исследование загрязнения атмосферного воздуха показало, что концентрации оксида углерода, взвешенных веществ, диоксида серы, диоксида азота выше в зимний период по сравнению с летним. Наблюдаемые колебания среднемесячных концентраций могут быть связаны не только с уровнем эмиссии химических веществ из стационарных и передвижных источников загрязнения, но и с климатическими факторами: высокие уровни — с безветренной и морозной погодой, низкие — с атмосферными осадками (дождь, снег).

Несмотря на то что превышения $ПДК_{м.р.}$ в помещениях выявлены в единичных пробах, определённый интерес представляла оценка коэффициентов и индексов опасности для здоровья. В закрытых помещениях значения HQ и HI для респираторной системы максимальны в воздухе ледовой арены, что очевидно связано с работой дополнительного источника загрязнения — льдоуборочной машины. Максимальный долевого вклад в величину HI вносит формальдегид (58,3%). Именно процесс подготовки льда приводит к поступлению в воздух ледовых арен углеводородов, формальдегида и CO , что подтверждается рядом исследований [19–21].

Поскольку под воздействием воздушной среды спортивных залов школ находится большое число детей, индекс опасности для органов дыхания превышает допустимый уровень. Причём основной долевого вклад вносят взвешенные вещества (47,3%), что может быть связано с низким качеством влажной уборки в помещениях.

Максимальные величины $HQ PM_{10}$ и NO_2 , связанные с содержанием указанных веществ в атмосферном воздухе, зарегистрированы в зимние месяцы, что свидетельствует о значимости выбросов систем теплоэнергетики при формировании уровня риска для здоровья. Это соотносится и с результатами оценок вклада источников выбросов при анализе риска (А. Issakhov и соавт. [22], А.М. Андрушана, С.В. Клейн [23] и др.). Прочие вещества, контролируемые в воздушном бассейне города, в дни с максимальным загрязнением определяли высокие и повышенные уровни HQ вне зависимости от сезона.

Представляют интерес данные о рисках, связанных с содержанием в атмосферном воздухе взвешенных веществ, с учётом фракций PM_{10} и $PM_{2,5}$. Если ориентироваться на максимальные концентрации и HQ общего пула взвешенных веществ, то близкие уровни риска наблюдались в течение всего года (от 2,0 в декабре до 5,7 в мае). Однако сезонная динамика PM_{10} и $PM_{2,5}$ различается. Так, максимальные $HQ = 3,1–3,9$ по PM_{10} отмечены в декабре и январе, а в летний период они в 3–4 раза ниже. Более мелкие частицы определяют чрезвычайно высокий риск в мае ($HQ = 12,5$), а зимой в дни с высоким загрязнением величина находится в пределах $HQ = 1,0–2,5$.

Одной из основных причин высокой контаминации воздушной среды мелкодисперсными частицами во многих ре-

гионах можно считать лесные пожары [24–26]. На изучаемой территории именно май относится к наиболее пожароопасным периодам [27]. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учитывать риски для здоровья от кратковременного ингаляционного воздействия в дни с задымлением приземного слоя и так же, как и в объявленные дни с неблагоприятными условиями для рассеивания выбросов, не проводить занятия на открытом воздухе.

Ограничение результатов исследования связано с недостаточным объёмом исследований в закрытых помещениях. Изучение влияния воздушной среды как в спортивных помещениях, так и на открытом воздухе требует дополнительных исследований качества воздуха помещений: в спортзалах спортивных, начальных и средних школ, многоцелевых помещениях, используемых для физической активности, физического воспитания и любых межшкольных, клубных или очных видов спорта (борьба и др.). Удалённость постов наблюдения гидрометеорологической службы от стадионов и дискретный характер мониторинга вносят определённую погрешность в точность оценок содержания химических веществ в атмосферном воздухе в момент занятий спортсменами, что определяет целесообразность оценок по средним за 5 лет величинам максимальных концентраций. Исследования проведены в городе с развитой нефтехимической промышленностью, поэтому можно предположить, что на территориях с другой промышленной специализацией или при её отсутствии риск для здоровья юных спортсменов и школьников может отсутствовать или иметь другую направленность. Кроме того, ограничения связаны с неполной информацией о влиянии краткосрочных воздействий на здоровье населения, накопленной к настоящему времени. Недостаточно изучен порог негативного влияния на здоровье загрязнения воздуха как при остром, так и при хроническом воздействии [28]. Для оптимизации контроля загрязнения воздуха и профилактики нарушений здоровья юных спортсменов и школьников важно провести оценку длительного воздействия на здоровье химических веществ (в том числе $PM_{2,5}$) с учётом физиологических изменений в момент повышенной физической активности [29].

Заключение

Проведённые исследования отражают влияние загрязнения воздушной среды на здоровье детского населения не только при занятиях спортом, но и во время активного отдыха на открытом воздухе в пределах городской территории. Отмечено превышение $ПДК_{м.р.}$ в единичных пробах бензола, формальдегида, CO (на крытой ледовой арене) и взвешенных веществ в спортивных залах школ. Установлено, что риски для здоровья в закрытых спортивных сооружениях могут быть связаны с несоблюдением режима и качества влажной уборки (в спортзалах школ), работой внутренних источников загрязнения (на ледовых аренах). Даже при низком содержании химических веществ в воздухе помещений возможен риск раздражающего воздействия на органы дыхания. При занятиях на открытых площадках в дни с повышенным загрязнением атмосферного воздуха риски от краткосрочных воздействий значительно выше, чем в закрытых помещениях, что требует гигиенической регламентации режима спортивных занятий при неблагоприятных для рассеивания выбросов метеорологических условиях.

Физическая активность и загрязнение воздуха связаны множеством механизмов, и эти связи могут иметь важные последствия для здоровья населения, особенно на городских территориях. Необходимо дополнять доказательную базу в части различных вариантов загрязнения воздушной среды в спортивных помещениях и на открытом воздухе для организации безопасных условий для занятий спортом в спортивных помещениях и на открытом воздухе [6].

Литература

(п.п. 1, 3–17, 20–22, 24–26, 28, 29 см. References)

2. Чанчаева Е.А., Лапин В.С., Кузнецова О.В., Куриленко Т.К., Айзман Р.И. Оценка эколого-гигиенических условий подготовки спортсменов в г. Горно-Алтайске. *Человек. Спорт. Медицина*. 2021; 21(4): 7–13.
18. Айдинов Г.Т., Марченко Б.И., Синельникова Ю.А. Многомерный анализ структуры и долевого вклада потенциальных факторов риска при злокачественных новообразованиях трахеи, бронхов и легкого. *Анализ риска здоровью*. 2017; (1): 45–55. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.1.02>
19. Русаков С.В. Оценка влияния работы льдоборочного комбайна на качество воздуха в зале крытого ледового катка. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование*. 2016; (4): 33–42. <https://doi.org/10.17586/2310-1148-2016-9-4-33-42>
23. Андришунас А.М., Клейн С.В. Предприятия топливно-энергетического комплекса как объекты риск-ориентированного санитарно-эпидемиологического надзора. *Анализ риска здоровью*. 2021; (4): 65–73. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.4.07>
27. Рукавишников В.С., Ефимова Н.В., Елфимова Т.А. Изучение риска здоровью при кратковременной ингаляционной экспозиции в условиях лесных пожаров. *Гигиена и санитария*. 2013; 92(1): 50–2.

References

1. Cunningham G.B., Wicker P., McCullough B.P. Pollution, health, and the moderating role of physical activity opportunities. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(17): 6272. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176272>
2. Chanchaeva E.A., Lapin V.S., Kuznetsova O.V., Kurilenko T.K., Ayzman R.I. Assessment of environmental and hygienic conditions of training in Gorno-Altai. *Chelovek. Sport. Meditsina*. 2021; 21(4): 7–13. (in Russian)
3. Dong J., Zhang S., Xia L., Yu Y., Hu S., Sun J., et al. Physical activity, a critical exposure factor of environmental pollution in children and adolescents health risk assessment. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018; 15(2): 176. <https://doi.org/10.3390/ijerph15020176>
4. Xia L. *Research on the Recommended Value of Outdoor Physical Activity Exposure Factor of Children and Adolescents in Polluted Air in Shanghai*. Shanghai, China: Tongji University; 2017.
5. An R., Kang H., Cao L., Xiang X. Engagement in outdoor physical activity under ambient fine particulate matter pollution: A risk-benefit analysis. *J. Sport Health Sci*. 2020; 11(4): 537–44. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.09.008>
6. Tainio M., Jovanovic Andersen Z., Nieuwenhuijsen M.J., Hu L., de Nazelle A., An R., et al. Air pollution, physical activity and health: A mapping review of the evidence. *Environ. Int.* 2021; 147: 105954. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105954>
7. Zoladz J.A., Nieckarz Z. Marathon race performance increases the amount of particulate matter deposited in the respiratory system of runners: an incentive for “clean air marathon runs”. *PeerJ*. 2021; 9: e11562. <https://doi.org/10.7717/peerj.11562>
8. Averett N. Exercising in polluted areas: study suggests benefits outweigh the health risks of NO₂ exposure. *Environ. Health Perspect.* 2015; 123(6): A158. <https://doi.org/10.1289/ehp.123-A158>
9. Rundell K.W., Smoliga J.M., Bougault V. Exercise-induced bronchoconstriction and the air we breathe. *Immunol. Allergy Clin. North Am.* 2018; (2): 183–204. <https://doi.org/10.1016/j.iac.2018.01.009>
10. Shendell D.G., Gonzalez L.N., Panchella J.A., Morrell J. Time-resolved characterization of indoor air quality due to human activity and likely outdoor sources during early evening secondary school wrestling matches. *J. Environ. Public Health*. 2021; 2021: 5580616. <https://doi.org/10.1155/2021/5580616>
11. Bae H.R., Chandy M., Aguilera J., Smith E.M., Nadeau K.C., Wu J.C., et al. Adverse effects of air pollution-derived fine particulate matter on cardiovascular homeostasis and disease. *Trends Cardiovasc. Med.* 2021; 3(1): S1050-1738(21)00116-X. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2021.09.010>
12. Decaestecker T., Vanhoffelen E., Trekels K., Jonckheere A.C., Cremer J., Vanstapel A., et al. Differential effects of intense exercise and pollution on the airways in a murine model. *Part. Fibre Toxicol.* 2021; 18(1): 12. <https://doi.org/10.1186/s12989-021-00401-6>
13. Morici G., Cibella F., Cogo A., Palange P., Bonsignore M.R. Respiratory effects of exposure to traffic-related air pollutants during exercise. *Front. Public Health*. 2020; 8: 575137. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.575137>
14. Meng H., Zhang X., Xiao J., Zhang Y., Lin W., Li Z. A simple physical-activity-based model for managing children's activities against exposure to air pollutants. *J. Environ. Manage.* 2021; 279: 111823. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111823>
15. Han Y., Zhu T. Health effects of fine particles (PM_{2.5}) in ambient air. *Sci. China Life Sci.* 2015; 58(6): 624–6. <https://doi.org/10.1007/s11427-015-4878-4>
16. Kowalska M., Kocot K. Short-term exposure to ambient fine particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and the risk of heart rhythm abnormalities and stroke. *Postepy Hig. Med. Dosw. (Online)*. 2016; 70(0): 1017–25. <https://doi.org/10.5604/17322693.1220389>
17. Xing Y.F., Xu Y.H., Shi M.H., Lian Y.X. The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system. *J. Thorac. Dis.* 2016; 8(1): E69–74. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19>
18. Aydinov G.T., Marchenko B.I., Sinel'nikova Yu.A. Multivariate analysis of structure and contribution per shares made by potential risk factors at malignant neoplasms in trachea, bronchial tubes and lung. *Analiz riska zdorov'yu*. 2017; (1): 45–55. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.1.02> (in Russian)
19. Rusakov S.V. Assessment of the impact of the ice resurfacers the air quality in the hall of an indoor ice rink. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie*. 2016; (4): 33–42. <https://doi.org/10.17586/2310-1148-2016-9-4-33-42> (in Russian)
20. Creswell P.D., Meiman J.G., Nehls-Lowe H., Vogt C., Wozniak R.J., Werner M.A., et al. Exposure to elevated carbon monoxide levels at an indoor ice arena – Wisconsin, 2014. *MMWR Morb. Mortal. Wkly Rep.* 2015; 64(45): 1267–70. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6445a3>
21. Kahan E.S., Martin U.J., Spungen S., Ciccolella D., Criner G.J. Chronic cough and dyspnea in ice hockey players after an acute exposure to combustion products of a faulty ice resurfacers. *Lung*. 2007; 185(1): 47–54. <https://doi.org/10.1007/s00408-006-0094-0>
22. Issakhov A., Alimbek A., Issakhov A. A numerical study for the assessment of air pollutant dispersion with chemical reactions from a thermal power plant. *Eng. Appl. Comp. Fluid Mech.* 2020; 14(1): 1035–61. <https://doi.org/10.1080/19942060.2020.1800515>
23. Andrishunas A.M., Kleyn S.V. Fuel and energy enterprises as objects of risk-oriented sanitary-epidemiologic surveillance. *Analiz riska zdorov'yu*. 2021; (4): 65–73. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.4.07> (in Russian)
24. Efmova N.V., Rukavishnikov V.S. Assessment of smoke pollution caused by wildfires in the Baikal region (Russia). *Atmosphere*. 2021; 12(12): 1542. <https://doi.org/10.3390/atmos12121542>
25. Liu J.C., Mickle L.J., Sulprizio M.P., Dominici F., Yue X., Ebisu K., et al. Particulate air pollution from wildfires in the Western US under climate change. *Clim. Change*. 2016; 138(3): 655–66. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1762-6>
26. Yao J., Brauer M., We J.I., McGrail K.M., Johnston F.H., Henderson S.B. Sub-Daily exposure to fine particulate matter and ambulance dispatches during wildfire seasons: a case-crossover study in British Columbia, Canada. *Environ. Health Perspect.* 2020; 128(6): 67006. <https://doi.org/10.1289/EHP5792>
27. Rukavishnikov V.S., Efmova N.V., Efmova T.A. The study of health risk in short-term inhalation exposure in conditions of forest fires. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2013; 92(1): 50–2. (in Russian)
28. Li F., Liu Y., Lü J., Liang L., Harmer P. Ambient air pollution in China poses a multifaceted health threat to outdoor physical activity. *J. Epidemiol. Community Health*. 2015; 69(3): 201–4. <https://doi.org/10.1136/jech-2014-203892>
29. Yang Z., Mahendran R., Yu P., Xu R., Yu W., Godellawattage S., et al. Health effects of long-term exposure to ambient PM_{2.5} in Asia-Pacific: a systematic review of cohort studies. *Curr. Environ. Health Rep.* 2022; 9(2): 130–51. <https://doi.org/10.1007/s40572-022-00344-w>