

Зайцева Н.В., Шур П.З., Хасанова А.А., Чигвинцев В.М.

Оценка риска для здоровья населения Пермского края, обусловленного болезнями органов дыхания, при воздействии загрязнения атмосферного воздуха в условиях волн жары

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Роспотребнадзора, 614045, Пермь, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Нарастание антропогенной нагрузки в сочетании с климатическими изменениями обуславливает актуальность задач обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Риск для здоровья, обусловленный болезнями органов дыхания, связанный с химическим загрязнением атмосферного воздуха, может увеличиваться в условиях волн жары, в том числе за счёт повышения уязвимости респираторной системы к воздействию химических веществ.

Цель исследования — количественная оценка риска для здоровья, обусловленного болезнями органов дыхания, при воздействии на население химического загрязнения атмосферного воздуха в условиях волн жары на примере промышленно развитого региона (Пермского края).

Материалы и методы. Расчёт вероятности заболеваемости выполнен при помощи логистических регрессионных моделей. Использованы показатели среднесуточной температуры атмосферного воздуха (аномально тёплые дни), деперсонифицированные показатели заболеваемости, среднесуточные концентрации химических веществ в атмосферном воздухе городов Пермского края.

Результаты. Установлено, что у населения Пермского края уровни риска, обусловленные обострением астмы и хронического бронхита в связи с загрязнением атмосферного воздуха оксидом азота, ксилолами и серы диоксидом выше в условиях волн жары, чем в отсутствие аномально тёплых дней. При фактических концентрациях химических веществ ниже ПДК риск находится в диапазоне приемлемых значений, а период достижения неприемлемого уровня риска составляет от 5 до 22 аномально тёплых дней в зависимости от химического вещества и возрастной группы населения. При увеличении концентраций до уровня ПДК период достижения неприемлемого уровня риска составляет от 1 до 16 аномально тёплых дней.

Ограничение исследования. Логистические регрессионные модели построены с использованием данных по городам одного региона Российской Федерации (Пермский край).

Заключение. Загрязнение атмосферного воздуха в условиях волн жары приводит к увеличению риска обострения болезней органов дыхания, что необходимо учитывать при разработке профилактических мероприятий в рамках программ по адаптации населения к изменениям климата.

Ключевые слова: оценка риска для здоровья населения; волны жары; аномально тёплые дни; болезни органов дыхания; загрязнение атмосферного воздуха; изменение климата и здоровье

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требовало заключения комитета по биомедицинской этике, так как выполнено с использованием данных территориального фонда обязательного медицинского страхования (ТФОМС).

Для цитирования: Зайцева Н.В., Шур П.З., Хасанова А.А., Чигвинцев В.М. Оценка риска для здоровья населения Пермского края, обусловленного болезнями органов дыхания, при воздействии загрязнения атмосферного воздуха в условиях волн жары. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(12): 1757–1763. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1757-1763> <https://elibrary.ru/euwnpe>

Для корреспонденции: Хасанова Анна Алексеевна, e-mail: khasanova@fcrisk.ru

Участие авторов: Зайцева Н.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Шур П.З. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Хасанова А.А. — сбор и обработка материала, написание текста, редактирование, математическая обработка данных; Чигвинцев В.М. — математическая обработка данных. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

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

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 22.10.2025 / Принята к печати: 02.12.2025 / Опубликовано: 15.01.2026

Nina V. Zaitseva, Pavel Z. Shur, Anna A. Khasanova, Vladimir M. Chigvintsev

Assessment of health risks caused by respiratory diseases upon exposure to ambient air pollution during heat waves in Perm region

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

ABSTRACT

Introduction. Growing human impacts on the environment together with ongoing climate change make provision of sanitary-epidemiological wellbeing of the population a truly vital issue. Health risks associated with chemical ambient air pollution and caused by respiratory diseases can grow during heat waves, among other things, due to greater susceptibility of the respiratory system to chemical exposures.

The aim of this study was to quantify respiratory health risks upon exposure to chemical ambient air pollution during heat waves in an industrially developed region (the Perm region) used as an example.

Materials and methods. Likelihood of respiratory diseases was calculated by using logistic regression models. The calculations were based on the following indicators: average daily air temperatures (abnormally warm days), depersonalized incidence rates, and average daily concentrations of chemicals in ambient air in cities in the Perm region.

Results. Risk levels caused by exacerbated asthma and chronic bronchitis among the regional population and associated with such ambient air pollutants as nitrogen oxide, xylenes, and sulfur dioxide were found to be higher during heat waves against their levels without allowing for abnormally warm days. When chemical levels are below MPC in ambient air, the risks are within their acceptable ranges and a period, during which they grow up to unacceptable levels, is between 5 and 22 abnormally warm days depending on a chemical and age group. When chemical levels grow up to MPC, health risks become unacceptable over a period from 1 to 16 abnormally warm days.

Limitations. Logistic regression models were built using data on settlements in only one region of the Russian Federation (the Perm region).

Conclusion. Ambient air pollution during heat waves creates elevated health risks caused by exacerbation of respiratory diseases. This should be considered when developing preventive activities within programs for population adaptation to climate change.

Keywords: health risk assessment; heat waves; abnormally warm days; respiratory diseases; ambient air pollution; climate change and health

Compliance with ethical standards. The study did not require approval by the local ethics committee (it was accomplished using data provided by the regional office of the Mandatory Medical Insurance Fund).

For citation: Zaitseva N.V., Shur P.Z., Khasanova A.A., Chigvintsev V.M. Assessment of health risks caused by respiratory diseases upon exposure to ambient air pollution during heat waves in Perm region. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(12): 1757–1763. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1757-1763> <https://elibrary.ru/euwnpe> (In Russ.)

For correspondence: Anna A. Khasanova, e-mail: khasanova@fcrisk.ru

Contributions: Zaitseva N.V. – study concept and design, Editing the text; Shur P.Z. – study concept and design, Editing the text; Khasanova A.A. – data collection and analysis, writing and editing the text, mathematical data analysis; Chigvintsev V.M. – mathematical data analysis. 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.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: October 22, 2025 / Accepted: December 2, 2025 / Published: January 15, 2026

Введение

В условиях растущей антропогенной нагрузки и меняющегося климата возникают особые задачи при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Система органов дыхания — одна из наиболее уязвимых в организме человека [1–4]. Согласно официальным данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат), в 2024 г. болезни органов дыхания (БОД) остаются одной из основных причин заболеваемости населения Российской Федерации (48,8% от общего числа зарегистрированных случаев болезней)¹.

Релевантными научными источниками подтверждено, что такие загрязняющие вещества, как оксид и диоксид азота, диоксид серы, взвешенные частицы, оксид углерода, ксилол, аммиак и др., могут способствовать обострению хронических болезней органов дыхания и, следовательно, увеличению числа госпитализаций пациентов по причине астмы, острого и хронического бронхита, хронической обструктивной болезни лёгких и др. [1, 4–8]. На фоне прогрессирующих климатических изменений отмечается устойчивая тенденция к росту частоты, интенсивности и продолжительности волн жары [9, 10], которые также оказывают значительное влияние на увеличение заболеваемости населения БОД [10–15].

Согласно имеющимся научным данным, загрязнение атмосферного воздуха в условиях экстремально высоких температур, характерных для волн жары, способствует усилению воздействия на органы дыхания, вызывая снижение функции лёгких, аллергии, обострения хронических респираторных болезней и увеличение смертности населения [1, 2, 16, 17].

Патофизиологически тепловой стресс в сочетании с загрязнением воздуха вызывает воспаление слизистой оболочки бронхов и снижает порог сужения бронхов (бронхоконстрикции). Сопутствующая потеря жидкости дополнительно способствует последующим изменениям перфузии и вентиляции, вызывая острое и хроническое повреждение лёгочной ткани химическими загрязнителями [1, 13, 18, 19]. Также в условиях волн жары происходит расширение сосудов и увеличение скорости вентиляции и объёма лёгких, что может влиять на повышение экспозиции токсичными веществами [2, 20, 21].

Многие работы прямо или косвенно указывают на усиление негативных эффектов при совместном воздействии химического загрязнения атмосферного воздуха и волн жары на рост заболеваемости БОД, однако не было найдено исследований, содержащих количественные параметры вероятности формирования риска возникновения БОД у населения

под влиянием химических веществ в условиях волн жары. Указанные параметры формируют основу количественной оценки риска для здоровья населения — одного из наиболее актуальных направлений методологии анализа риска в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием, позволяющую не только оценить существующие уровни риска, но и прогнозировать его нарастание в условиях изменяющейся экспозиции для дальнейшей разработки регулирующих мер [22].

Пермский край — один из ключевых индустриальных регионов России с высокой концентрацией предприятий химической, нефтехимической, металлургической и машиностроительной промышленности. Города Пермь, Березники, Соликамск — это крупные промышленные центры, в атмосферный воздух которых поступают многие химические вещества, регистрируемые Пермским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Управлением Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Пермскому краю. Основные загрязнители атмосферного воздуха в названных городах — азота диоксид, азота оксид, аммиак, бенз(а)пирен, бензол, ксилолы, углерода оксид, взвешенные вещества, сероводород, сероуглерод, серы диоксид, толуол, фенол и др.² При этом Приволжский федеральный округ, к которому относится Пермский край, в соответствии с данными ФГБУ «Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля», характеризуется значимым коэффициентом линейного тренда увеличения числа дней со средней суточной температурой выше 90-го перцентиля в летний сезон, характеризующего интенсивный рост числа жарких дней, который отмечен начиная с 1990-х годов. Пермский край относится к регионам, в которых зафиксированы максимальные значения коэффициентов линейного тренда всех рассматриваемых индексов экстремумов жары за период 1976–2023 гг.³ На основании статистических данных установлено увеличение заболеваемости населения Пермского края класса БОД: в 2020 г. — 46 072 случая на 100 тыс. населения, в 2023 г. — 50 795,6 случая⁴. Это обуславливает актуальность выбора данной территории для оценки риска, обусловленного БОД, при воздействии на население химического загрязнения атмосферного воздуха в условиях волн жары.

² Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс]. URL: <https://meteo.perm.ru/monitoring-zagryazneniya-okruzhayushchej-sredy/sostoyaniye-atmosfernogo-vozdukh-zagod/>

³ Мониторинг климата. Экстремумы температуры [Электронный ресурс]. ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля». URL: https://www.igce.ru/climatechange/temperature_extremes/

⁴ Деев И.А., Кобякова О.С., Стародубов В.И., Александрова Г.А., Голубев Н.А., Оськов Ю.И., Поликарпов А.В., Шелепова Е.А. и др. *Заболеваемость всего населения России в 2023 году с диагнозом, установленным впервые в жизни: статистические материалы*. М.: ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, 2024. 152 с.

¹ Деев И.А., Кобякова О.С., Стародубов В.И., Александрова Г.А., Голубев Н.А., Оськов Ю.И., Поликарпов А.В., Шелепова Е.А. и др. *Заболеваемость всего населения России в 2024 году с диагнозом, установленным впервые в жизни: статистические материалы*. М.: ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, 2025. 244 с.

Таким образом, волны жары могут способствовать формированию у населения риска для здоровья, обусловленного БОД, обусловленного химическим загрязнением атмосферного воздуха. В складывающихся условиях для сохранения здоровья населения Пермского края актуальна количественная оценка риска для здоровья, ассоциированного с воздействием химического загрязнения атмосферного воздуха в условиях волн жары.

Цель исследования — провести количественную оценку риска для здоровья, обусловленного БОД, при воздействии на население Пермского края химического загрязнения атмосферного воздуха в условиях волн жары.

Материалы и методы

Источником данных о среднесуточных концентрациях химических веществ в атмосферном воздухе трёх крупных городов Пермского края (Пермь, Березники, Соликамск) за период 2010–2020 гг. были материалы Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Пермскому краю.

В работе использованы данные Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) о среднесуточной температуре воздуха на анализируемых территориях за 2010–2020 гг.⁵ В качестве дней, относящихся к волнам жары (аномально тёплые дни), использованы дни, во время которых среднесуточная температура атмосферного воздуха превышала пороги «умеренных экстремумов» (90-й процентиль многолетнего распределения температур за 2010–2020 гг. в летние месяцы [23], который для Пермского края составил плюс 20,6 °C)^{6,7}. Исходными данными о заболеваемости населения были деперсонифицированные показатели ТФОМС о посuточном числе обратившихся за медицинской помощью и застрахованных в городах (Пермь, Березники, Соликамск) за 2010–2020 гг. по нозологическим формам, относящимся к классу болезней органов дыхания, в разрезе возрастных групп: дети (население младше трудоспособного возраста), население трудоспособного возраста, население старше трудоспособного возраста. В анализ включены хронические неинфекционные болезни, для которых, по данным литературы, характерны обострения в дни, соответствующие волнам жары: хронические болезни миндалин и аденоидов (J35), хронический ларингит и ларинготрахеит (J37), астма (J45), хронический бронхит неуточнённый (J42) [1, 11–14]. Расчёт вероятности заболеваемости, ассоциированной с воздействием каждого химического вещества в аномально тёплые дни, осуществлялся с использованием предложенной логистической регрессионной модели (формула (1)).

На анализируемых территориях 95-й процентиль многолетнего распределения среднесуточных концентраций химических веществ с установленными достоверными связями по результатам моделирования составил для азота оксида 0,06 мг/м³, для ксилолов — 0,036 мг/м³, для серы диоксида — 0,009 мг/м³.

Расчёт и категорирование уровней риска для здоровья населения проведены в соответствии с Р 2.1.10.3968–23⁸.

⁵ Специализированные массивы для климатических исследований [Электронный ресурс]. В.М. Веселов, И.Р. Прибыльская, О.А. Мирзеабасов. ВНИИГМИ-МЦД. URL: <https://aisori-m.meteo.ru/waisori/> (дата обращения: 15.09.2025 г.).

⁶ Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events: Draft version — first review by TT-Dewce december 2015 [Электронный ресурс]. World Meteorological Organization. 2016. 62 p. URL: <https://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/opace/opace2/documents/DraftversionoftheGuide-linesontheDefinitionandMonitoringofExtremeWeatherandClimateEvents.pdf> (дата обращения: 08.10.2025 г.).

⁷ Мониторинг климата. Экстремумы температуры [Электронный ресурс]. ФГБУ «Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля». URL: https://www.igce.ru/climatechange/temperature_extremes/

⁸ Р 2.1.10.3968–23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания / утв. Федеральной службой по надзору в сфере здравоохранения от 5 сентября 2023 г. [Электронный ресурс]. ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. URL: <https://base.garant.ru/408644981/> (дата обращения: 10.09.2025 г.).

Для всех установленных ответов использована величина тяжести 0,105 в соответствии с Р 2.1.10.3968–23 (приложение 7, табл. П 7.1).

Величины ПДК для определения уровней риска, обусловленного БОД, для здоровья населения Пермского края при воздействии химического загрязнения атмосферного воздуха на уровне установленных гигиенических нормативов в условиях волн жары регламентированы СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Для оценки риска, формируемого за один день волны, были использованы ПДК_{м.р.}, а для оценки волн жары — ПДК_{с.с.}. Поскольку для азота оксида и ксилолов величина ПДК_{с.с.} не установлена, использовали значение ПДК_{м.р.}.

Результаты

Для расчёта вероятности заболеваемости, ассоциированной с воздействием химического вещества в аномально тёплые дни, предложено соотношение (1):

$$p = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 C + b_2 T + b_3 CT)}}, \quad (1)$$

где C — среднесуточная концентрация химического вещества в атмосферном воздухе (мг/м³); T — дни, относящиеся к аномально тёплым (качественный показатель); b_0 — свободный член; b_1 — параметр модели, характеризующий вероятность ответа, ассоциированного с воздействием химического вещества в атмосферном воздухе; b_2 — параметр модели, характеризующий вероятность ответа, ассоциированного с влиянием температуры, характерной для аномально тёплых дней; b_3 — параметр математической модели, характеризующий вероятность ответа, ассоциированного с воздействием химического вещества в атмосферном воздухе в аномально тёплые дни.

С использованием формулы (1) установлены достоверные зависимости воздействия азота оксида, ксилолов и серы диоксида в условиях аномально тёплых дней на обострение астмы и хронического бронхита. Результаты корреляционно-регрессионного анализа приведены в табл. 1 (b_0 , b_1 , b_2 и b_3 — параметры модели, R^2 — коэффициент детерминации, $p < 0,05$).

На основе полученных параметров рассчитаны количественные уровни риска для здоровья населения Пермского края, ассоциированные как с воздействием отдельных химических веществ, так и с их эффектом в дни аномально высоких температур, а также количество аномально тёплых дней (волн жары), при которых будет достигнут неприемлемый уровень риска, ассоциированный с действием фактических концентраций химических веществ (табл. 2).

Для детского населения Пермского края установлено увеличение уровня риска, обусловленного обострением астмы, ассоциированного с действием азота оксида и ксилолов в условиях аномально тёплого дня, на 3,7 и 8,3% соответственно. Вклад химического фактора составил 96,5% для оксида азота и 92,3% — для ксилолов. При 15 аномально тёплых днях (волна жары) будет достигнут неприемлемый для Пермского края уровень риска ($1,07 \cdot 10^{-4}$), ассоциированный с действием фактических концентраций азота оксида, а при 14 днях — с действием ксилолов ($1,06 \cdot 10^{-4}$).

Для населения трудоспособного возраста анализируемой территории установлено повышение уровня риска обострения астмы в аномально тёплые дни, ассоциированного с воздействием серы диоксида, на 0,94%, вклад химического фактора составил 99,1%. Неприемлемый уровень риска ($1,01 \cdot 10^{-4}$), ассоциированный с фактической концентрацией серы диоксида, будет достигнут при продолжительности волны жары 18 дней.

Повышение уровня риска, обусловленного обострением астмы, для населения старше трудоспособного возраста при ассоциации с действием азота оксида и ксилолов в условиях аномально тёплого дня составило 5,7 и 6,2%

Таблица 1 / Table 1

Параметры статистически значимых регрессионных моделей зависимости повышения заболеваемости населения БОД при воздействии химического загрязнения атмосферного воздуха в аномально тёплые дни
Parameters of statistically significant regression models of the dependence of gain in prevalence of the respiratory diseases in the population under exposure to chemical ambient air pollution during abnormally warm days

Группа Group	Вещество Chemical	Нозологическая форма Disease	Параметры моделей / Model parameters					
			<i>p</i>	<i>R</i> ²	<i>b</i> ₀	<i>b</i> ₁ (C)	<i>b</i> ₂ (T)	<i>b</i> ₃ (T*С)
Дети (младше трудоспособного возраста) Children 9 younger than working age)	Азота оксид Nitrogen oxide	Обострение астмы Asthma exacerbation	0.0007	0.82	−9.63	0.002	0.04	0.55
	Ксилолы Xylenes	Обострение астмы Asthma exacerbation	0.006	0.05	−9.64	0.54	0.006	2.2
Население трудоспособного возраста Working age population	Серы диоксид Sulfur dioxide	Обострение астмы Asthma exacerbation	0.0007	0.73	−9.86	1.78	0.003	1.17
Население старше трудоспособного возраста People older than working age	Азота оксид Nitrogen oxide	Обострение астмы Asthma exacerbation	0.002	0.27	−8.55	0.07	0.08	0.79
	Ксилолы Xylenes	Обострение астмы Asthma exacerbation	0.008	0.01	−8.58	0.88	0.09	1.69
	Серы диоксид Sulfur dioxide	Обострение хронического бронхита Chronic bronchitis exacerbation	0.003	0.23	−10.1	2.1	0.007	12.85

Таблица 2 / Table 2

Количественные уровни риска обострения БОД при воздействии на население Пермского края химического загрязнения атмосферного воздуха в условиях аномально тёплого дня и волн жары
Quantitative levels of health risks for the exacerbation of respiratory diseases in the population of the Perm region upon exposure to chemical ambient air pollution during abnormally warm days and heat waves

Группа Group	Вещество Chemical	Ответ Response	Вероятность ответа (в день), ассоциированного с воздействием Likelihood of response (per day) associated with exposure		Количественные уровни риска (в день), ассоциированного с воздействием Quantitative risk levels (per day) associated with exposure		Число аномально тёплых дней (волн жары), при которых будет достигнут неприемлемый уровень риска, ассоциированный с действием фактических концентраций химических веществ The number of abnormally warm days (heat wave) necessary for the health risk caused by exposure to actual chemical concentrations in ambient air to reach its unacceptable level
			химического вещества chemical substances	химического вещества в условиях аномально тёплого дня chemical substance on an abnormally warm day	химического вещества chemical substances	химического вещества в условиях аномально тёплого дня chemical substance on an abnormally warm day	
Дети (младше трудоспособного возраста) Children (younger the working age)	Азота оксид Nitrogen oxide	Обострение астмы Asthma exacerbation	$6.56 \cdot 10^{-5}$	$6.80 \cdot 10^{-5}$	$6.89 \cdot 10^{-6}$	$7.13 \cdot 10^{-6}$	15 дней / days $1.07 \cdot 10^{-4}$
	Ксилолы Xylenes	Обострение астмы Asthma exacerbation	$6.63 \cdot 10^{-5}$	$7.18 \cdot 10^{-5}$	$6.96 \cdot 10^{-6}$	$7.54 \cdot 10^{-6}$	14 дней / days $1.06 \cdot 10^{-4}$
Население трудоспособного возраста Working age population	Серы диоксид Sulfur dioxide	Обострение астмы Asthma exacerbation	$5.30 \cdot 10^{-5}$	$5.35 \cdot 10^{-5}$	$5.57 \cdot 10^{-6}$	$5.62 \cdot 10^{-6}$	18 дней / days $1.01 \cdot 10^{-4}$
Население старше трудоспособного возраста People older than working age	Азота оксид Nitrogen oxide	Обострение астмы Asthma exacerbation	$1.94 \cdot 10^{-4}$	$2.05 \cdot 10^{-4}$	$2.04 \cdot 10^{-5}$	$2.15 \cdot 10^{-5}$	5 дней / days $1.08 \cdot 10^{-4}$
	Ксилолы Xylenes	Обострение астмы Asthma exacerbation	$1.95 \cdot 10^{-4}$	$2.07 \cdot 10^{-4}$	$2.05 \cdot 10^{-5}$	$2.17 \cdot 10^{-5}$	5 дней / days $1.09 \cdot 10^{-4}$
	Серы диоксид Sulfur dioxide	Обострение хронического бронхита Chronic bronchitis exacerbation	$4.10 \cdot 10^{-5}$	$4.60 \cdot 10^{-5}$	$4.31 \cdot 10^{-6}$	$4.83 \cdot 10^{-6}$	22 дня / days $1.06 \cdot 10^{-4}$

Таблица 3 / Table 3

Количественные уровни риска для здоровья населения, обусловленные обострением БОД, при воздействии химического загрязнения атмосферного воздуха на уровне ПДК в условиях аномально тёплых дней и волн жары**Quantitative levels of health risks for the Perm region population caused by exacerbated respiratory diseases upon exposure to MPC of chemicals in ambient air during abnormally warm days and heat waves**

Группа Group	Вещество Chemical	Ответ Response	ПДК, мг/м ³ MPC, mg/m ³	Уровень риска, ассоциированный с действием химического загрязнения атмосферного воздуха на уровне ПДК в условиях аномально тёплых дней (1 день) Health risk level associated with exposure to MPC of a chemical during abnormally warm days (1 day)	Количество аномально тёплых дней (волн жары), при которых будет достигнут неприемлемый уровень риска, ассоциированный с действием химического загрязнения атмосферного воздуха на уровне ПДК Number of abnormally warm days (heat wave) necessary for the health risk caused by exposure to MPC of a chemical in ambient air to reach its unacceptable level
Дети (младше трудоспособного возраста) Children younger than working age	Азота оксид Nitrogen oxide	Обострение астмы Asthma exacerbation	ПДК _{м.р.} = 0.4	$8.70 \cdot 10^{-6}$	12 дней / days $1.04 \cdot 10^{-4}$
	Ксилолы Xylenes	Обострение астмы Asthma exacerbation	ПДК _{м.р.} = 0.2	$1.18 \cdot 10^{-5}$	9 дней / days $1.06 \cdot 10^{-4}$
Население трудоспособного возраста Working age people	Серы диоксид Sulfur dioxide	Обострение астмы Asthma exacerbation	ПДК _{м.р.} = 0.5	$2.40 \cdot 10^{-5}$	5 дней / days $1.20 \cdot 10^{-4}$
			ПДК _{с.с.} = 0.05	$6.34 \cdot 10^{-6}$	16 дней / days $1.01 \cdot 10^{-4}$
Население старше трудоспособного возраста People older than working age	Азота оксид Nitrogen oxide	Обострение астмы Asthma exacerbation	ПДК _{м.р.} = 0.4	$2.96 \cdot 10^{-5}$	4 дня / days $1.18 \cdot 10^{-4}$
	Ксилолы Xylenes	Обострение астмы Asthma exacerbation	ПДК _{м.р.} = 0.2	$3.37 \cdot 10^{-5}$	3 дня / days $1.01 \cdot 10^{-4}$
	Серы диоксид Sulfur dioxide	Обострение хронического бронхита Chronic bronchitis exacerbation	ПДК _{м.р.} = 0.5	$7.00 \cdot 10^{-3}$	< 1 дня / days $1.23 \cdot 10^{-4}$
			ПДК _{с.с.} = 0.05	$8.92 \cdot 10^{-6}$	12 дней / days $1.07 \cdot 10^{-4}$

соответственно. Вклад оксида азота в уровень риска сочетанного действия составил 94,6%, ксилолов — 4,2%. Вместе с тем повышение риска для населения данной возрастной группы, обусловленного обострением бронхита, в условиях сочетанного влияния серы диоксида и аномально тёплой температуры составило 12,2%, а вклад химического фактора — 89,1%. При пяти последовательных аномально тёплых днях будут достигнуты неприемлемые уровни риска, ассоциированного с действием фактических концентраций азота оксида и ксилолов ($1,08 \cdot 10^{-4}$ и $1,09 \cdot 10^{-4}$ соответственно), а при 22 днях — с действием серы диоксида.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что население старше трудоспособного возраста является наиболее уязвимой группой, так как имеет более высокие уровни риска, в том числе обусловленного обострением астмы, ассоциированной с действием азота оксида и ксилолов, по сравнению с детским населением. Также в формирование уровней риска, обусловленных действием химического загрязнения атмосферного воздуха в условиях аномально тёплых температур, наибольший вклад вносят химические вещества (от 89,1 до 99,1%).

Количественные уровни риска при воздействии химического загрязнения атмосферного воздуха на уровне ПДК для каждого аномально тёплого дня, а также непрерывный период таких дней, когда уровень риска будет недопустимым, приведены в табл. 3.

Для населения старше трудоспособного возраста воздействие диоксида серы на уровне ПДК_{м.р.} способствует формированию недопустимых уровней риска обострения бронхита в условиях химического загрязнения атмосферного воздуха на уровне 0,9 ПДК_{м.р.} ($0,45 \text{ мг/м}^3$) без учёта тем-

пературы атмосферного воздуха или в условиях дня с аномально тёплой температурой при концентрации 0,15 ПДК_{м.р.} ($0,075 \text{ мг/м}^3$). При соблюдении ПДК_{м.р.} для населения старше трудоспособного возраста недопустимые уровни риска могут формироваться при действии химического загрязнения атмосферного воздуха в условиях одного дня с аномально тёплой температурой. При увеличении количества таких дней до 12 недопустимые уровни риска будут достигнуты при соблюдении ПДК_{с.с.}. Для населения трудоспособного возраста недопустимые уровни риска обострения астмы в условиях сочетанного действия серы диоксида и аномально тёплых температур формируются при количестве таких дней до 5 при соблюдении ПДК_{м.р.} и до 16 — при соблюдении ПДК_{с.с.}. Недопустимые уровни риска обострения астмы, ассоциированные с действием азота оксида и ксилолов, формируются при соблюдении ПДК_{м.р.} оксида азота при четырёх аномально тёплых днях для населения старше трудоспособного возраста и при 12 днях для населения младше трудоспособного возраста, а ксилола — при трёх и девяти днях соответственно.

Таким образом, соблюдение ПДК_{м.р.} в условиях аномально тёплой температуры даже в течение одного дня может привести к формированию недопустимого уровня риска для отдельных групп населения, а при более длительных периодах аномально тёплых температур недопустимые уровни риска могут формироваться даже при соблюдении ПДК_{с.с.}. Для территорий с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха недопустимые уровни риска будут достигнуты при меньшей продолжительности волн жары, что необходимо учитывать при разработке профилактических мероприятий, в том числе в рамках адаптации к изменениям климата.

Обсуждение

Повышение заболеваемости населения, в том числе по причинам БОД, ассоциировано с эпизодами экстремально высоких температур и ухудшения качества атмосферного воздуха [1–15]. Хотя многочисленные исследования установили связь независимого влияния повышенных температур и загрязнения воздуха на показатели заболеваемости, эффект их сочетанного воздействия остаётся недостаточно изученным, а существующие зависимости зачастую не имеют параметрических оценок для количественной оценки [2].

По результатам проведённого исследования установлено наличие достоверных связей зависимости обострения астмы и хронического бронхита у населения Пермского края разных возрастных групп при сочетанном действии азота оксида, ксилолов и серы диоксида в условиях аномально тёплых дней, что подтверждается результатами ранее проведённых исследований [2, 8, 13–15, 24, 25]. В работах Witt С. и соавт., Song X. и соавт., Lin S. и соавт. установлено, что волны жары увеличивают количество госпитализаций и обращений в отделения неотложной медицинской помощи у пациентов с обострениями хронических болезней лёгких [13–15]. В исследовании De Sario M. и соавт. показано, что оксиды азота и летучие органические соединения выступают как факторы, способствующие обострению хронических респираторных патологий, в том числе астмы, в летние месяцы [2]. Данные Esposito S. и соавт. свидетельствуют о том, что кратковременное воздействие загрязнённого воздуха усугубляет симптомы у детей с диагностированной астмой, а длительное воздействие загрязняющих веществ, в том числе оксидов азота, может способствовать развитию астмы у здоровых детей [8]. В исследовании Wu D.W. и соавт. установлено, что концентрации в атмосферном воздухе некоторых химических веществ, в том числе азота оксида, серы диоксида, имели положительные корреляционные связи с обострениями хронических болезней органов дыхания, индуцируя воспалительный ответ [24].

В целом результаты исследований воздействия загрязнения атмосферного воздуха и повышенной температуры на развитие БОД свидетельствуют о том, что необходимо изучать их сочетанное влияние, чтобы избежать недооценки формируемых уровней риска [2]. Это подтверждают и рассчитанные количественные параметры. Установлено повышение уровней риска до 12,2% при действии химического загрязнения атмосферного воздуха в условиях аномально тёплых дней по сравнению с риском без учёта температуры воздуха.

Существующее химическое загрязнение атмосферного воздуха представляет собой значительно большую опасность для здоровья населения, чем это следует из оценок риска по отдельным веществам [1, 2, 16, 17], особенно в контек-

сте происходящих изменений климата, выражающихся в том числе в увеличении количества и интенсивности волн жары [9, 10], и на фоне роста распространённости хронических респираторных болезней. Даже при соответствии концентраций химических веществ нормативам высокие температуры действуют как катализатор, провоцируя декомпенсацию патологических состояний на фоне сниженных компенсаторно-адаптационных возможностей организма, усугубляя токсическое действие загрязняющих веществ. Для лиц с хроническими болезнями органов дыхания такое сочетание способствует увеличению частоты обострений, госпитализаций и смертности от БОД. В связи с этим целесообразны дальнейшие исследования риска для здоровья населения в условиях влияния других компонентов химического загрязнения объектов среды обитания и сочетаний метеорологических факторов.

Ограничения исследования обусловлены тем, что в качестве исходных данных для расчёта вероятности заболеваемости, ассоциированной с влиянием химических веществ при наличии волн жары, были использованы сведения по одному региону Российской Федерации.

Заключение

Уровни риска, обусловленные обострением астмы и хронического бронхита, у населения Пермского края разных возрастных групп, достоверно связанные с химическим загрязнением атмосферного воздуха оксидом азота, ксилолами и серы диоксидом, в условиях волн жары выше до 12,2% уровней без учёта аномально тёплых дней. Вклад химического фактора в уровень риска составляет до 99,1%. Население старше трудоспособного возраста является наиболее уязвимой группой, так как для него характерны более высокие уровни риска.

Проведённая оценка показала, что при существующем уровне химического загрязнения, не превышающем гигиенических нормативов, в Пермском крае уровни риска находятся в диапазоне приемлемых значений, а период достижения неприемлемого уровня риска составляет от 5 до 22 аномально тёплых дней в зависимости от химического вещества и возрастной группы населения. При увеличении концентраций до уровня ПДК прогнозируемый период достижения неприемлемого уровня риска составит от 1 до 16 аномально тёплых дней.

Химическое загрязнение атмосферного воздуха в условиях волн жары приводит к увеличению риска для здоровья населения по причине обострения болезней органов дыхания, что необходимо учитывать при разработке профилактических мероприятий в рамках программ адаптации населения к изменениям климата.

Литература

(п.п. 1–5, 8, 9, 11–21, 24, 25 см. References)

- Бакиров А.Б., Гимранова Г.Г., Абдрахманова Е.Р., Масыгутова Л.М., Власова Н.В., Сагадиева Р.Ф. и др. Использование данных социально-гигиенического мониторинга для оценки риска развития болезней органов дыхания при воздействии аэрополлютантов. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(9): 980–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-980-985> <https://elibrary.ru/qrcbsa>
- Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. Здоровье населения как целевая функция и критерий эффективности мероприятий федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью*. 2019; (4): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.01> <https://elibrary.ru/mlcdpg>
- Ревич Б.А., Григорьева Е.А. Риски здоровью Российского населения от погодных экстремумов в начале XXI в. Волны жары и холода. *Проблемы анализа риска*. 2021; 18(2): 12–33. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33> <https://elibrary.ru/kaetme>
- 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): 4–20. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.01> <https://elibrary.ru/imrune>
- Шапошников Д.А., Ревич Б.А. О некоторых подходах к вычислению рисков температурных волн для здоровья. *Анализ риска здоровью*. 2018; (1): 22–31. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.03> <https://elibrary.ru/uyuogr>

References

- Grigorieva E., Lukyanets A. combined effect of hot weather and outdoor air pollution on respiratory health: literature review. *Atmosphere*. 2021; 12(6): 790. <https://doi.org/10.3390/atmos12060790>
- De Sario M., Katsouyanni K., Michelozzi P. Climate change, extreme weather events, air pollution and respiratory health in Europe. *Eur. Respir. J.* 2013; 42(3): 826–43. <https://doi.org/10.1183/09031936.00074712>
- Tran H.M., Tsai F.J., Lee Y.L., Chang J.H., Chang L.T., Chang T.Y., et al. The impact of air pollution on respiratory diseases in an era of climate change: a review of the current evidence. *Sci. Total Environ.* 2023; 898: 166340. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166340>
- Schraufnagel D.E., Balmes J.R., Cowl C.T., Matteis S., Jung S.H., Mortimer K., et al. Air pollution and noncommunicable diseases: a review by the forum

Original article

- of international respiratory societies' environmental committee, Part 1: The damaging effects of air pollution. *CHEST*. 2019; 155(2): 409–16. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.042>
5. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide; 2021. Available at: <https://who.int/publications/i/item/9789240034228>
 6. Bakirov A.B., Gimranova G.G., Abdrakhmanova E.R., Masyagutova L.M., Vlasova N.V., Sagadieva R.F., et al. The use of public health monitoring data for the assessment of the risk of developing respiratory organs under exposure to aeropollutants. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(9): 980–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-980-985> <https://elibrary.ru/qpcbsa> (in Russian)
 7. Popova A.Yu., Zaitseva N.V., May I.V. Population health as a target function and criterion for assessing efficiency of activities performed within “pure air” federal project. *Health Risk Analysis*. 2019; (4): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.01> <https://elibrary.ru/ohxxbj>
 8. Esposito S., Fainardi V., Titolo A., Lazzara A., Menzella M., Campana B., et al. How air pollution fuels respiratory infections in children: current insights. *Front. Public Health*. 2025; 13: 1567206. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1567206>
 9. Perkins-Kirkpatrick S.E., Lewis S.C. Increasing trends in regional heatwaves. *Nat. Commun.* 2020; 11(1): 3357. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16970-7>
 10. Revich B.A., Grigorieva E.A. Health risks to the Russian population from weather extremes in the beginning of the XXI century. Part 1. Heat and cold waves. *Problemy analiza riska*. 2021; 18(2): 12–33. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33> <https://elibrary.ru/kaetme> (in Russian)
 11. Xu Z., Sheffield P.E., Su H., Wang X., Bi Y., Tong S. The impact of heat waves on children's health: a systematic review. *Int. J. Biometeorol.* 2014; 58(2): 239–47. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0655-x>
 12. Rocque R.J., Beaudoin C., Ndjaboue R., Cameron L., Poirier-Bergeron L., Poulin-Rheault R.A., et al. Health effects of climate change: an overview of systematic reviews. *BMJ Open*. 2021; 11(6): e046333. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-046333>
 13. Witt C., Schubert A.J., Jehn M., Holzgreve A., Liebers U., Endlicher W., et al. The effects of climate change on patients with chronic lung disease. A systematic literature review. *Dtsch. Arztebl. Int.* 2015; 112(51-52): 878–83. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2015.0878>
 14. Song X., Wang S., Li T., Tian J., Ding G., Wang J., et al. The impact of heat waves and cold spells on respiratory emergency department visits in Beijing, China. *Sci. Total Environ.* 2018; 615: 1499–505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.108>
 15. Lin S., Hsu W.H., Van Zutphen A.R., Saha S., Lubner G., Hwang S.A. Excessive heat and respiratory hospitalizations in New York State: estimating current and future public health burden related to climate change. *Environ. Health Perspect.* 2012; 120(11): 1571–7. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104728>
 16. Analitis A., De' Donato F., Scortichini M., Lanki T., Basagana X., Ballester F., et al. Synergistic effects of ambient temperature and air pollution on health in Europe: results from the PHASE Project. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018; 15(9): 1856. <https://doi.org/10.3390/ijerph15091856>
 17. Klea K., Analitis A. Investigating the synergistic effects between meteorological variables and air pollutants: results from the European PHEWE, EUROHEAT and CIRCE Projects. *Epidemiology*. 2019; 20(6): S264. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000362883.27030.8f>
 18. Liu C., Chen R., Lei J., Zhu Y., Zhou L., Meng X., et al. Ambient nitrogen dioxide and hospitalizations of full-spectrum respiratory diseases: a national case-crossover study. *Environ. Health*. 2023; 1(2): 130–8. <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00039>
 19. Monteiro A., Carvalho V., Oliveira T. Excess mortality and morbidity during the July 2006 heat wave in Porto, Portugal. *Int. J. Biometeorol.* 2013; 57(1): 155–67. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0543-9>
 20. Beker B.M., Cervellera C., Vito A., Musso C.G. Human physiology in extreme heat and cold. *Int. Arch. Clin. Physiol.* 2018; 1(1): 1–8. <https://doi.org/10.23937/iacph-2017/1710001>
 21. Perlot N.H., Castelo Branco C.W. The vulnerability of children lung to environmental hazards during the sensitive developmental periods. *J. Lung Health Dis.* 2018; 2(2): 10–4. <https://doi.org/10.29245/2689-999X/2017/2.1126>
 22. Zaitseva N.V., Onishchenko G.G., May I.V., Shur P.Z. Developing the methodology for health risk assessment within public management of sanitary-epidemiological welfare of the population. *Health Risk Analysis*. 2022; (3): 4–20. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.01> <https://elibrary.ru/naciyf>
 23. Shaposhnikov D.A., Revich B.A. On some approaches to calculation of health risks caused by temperature waves. *Health Risk Analysis*. 2018; (1): 22–31. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.03> <https://elibrary.ru/sbuxtl>
 24. Wu D.W., Chen S.C., Tu H.P., Wang C.W., Hung C.H., Chen H.C., et al. The impact of the synergistic effect of temperature and air pollutants on chronic lung diseases in subtropical Taiwan. *J. Pers. Med.* 2021; 11(8): 819. <https://doi.org/10.3390/jpm11080819>
 25. Schapiro L.H., McShane M.A., Marwah H.K., Callaghan M.E., Neudecker M.L. Impact of extreme heat and heatwaves on children's health: A scoping review. *J. Clim. Change Health*. 2024; 19: 100335. <https://doi.org/10.1016/j.joclim.2024.100335>

Сведения об авторах

Зайцева Нина Владимировна, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, научный руководитель ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», Пермь, 614045, Россия. E-mail: znv@fcrisk.ru

Шур Павел Залманович, доктор мед. наук, гл. науч. сотр. — учёный секретарь ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», Пермь, 614045, Россия. E-mail: shur@fcrisk.ru

Хасанова Анна Алексеевна, науч. сотр. отд. анализа риска здоровью ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», Пермь, 614045, Россия. E-mail: khasanova@fcrisk.ru

Чигвинцев Владимир Михайлович, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. лаб. ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», Пермь, 614045, Россия. E-mail: cvm@fcrisk.ru

Information about the authors

Nina V. Zaitseva, DSc (Medicine), professor, academician of the RAS, scientific director, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Technologies for Managing Population Health Risks, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145> E-mail: znv@fcrisk.ru

Pavel Z. Shur, DSc (Medicine), secretary of the academic council, chief researcher, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Technologies for Managing Population Health Risks, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105> E-mail: shur@fcrisk.ru

Anna A. Khasanova, researcher, Health risk analysis department, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Technologies for Managing Population Health Risks, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7438-0358> E-mail: khasanova@fcrisk.ru

Vladimir M. Chigvinsev, PhD (Physics and Mathematics), Senior Researcher, Laboratory of situational modeling and expert-analytical methods of management, department of mathematical modeling of systems and processes, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Technologies for Managing Population Health Risks, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0345-3895> E-mail: cvm@fcrisk.ru