



УДК 504.054

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-146-156

Оценка экологического риска для здоровья населения вследствие аэротехногенного загрязнения городов Центрального Черноземья

Шиш А.В., Клепиков О.В., Куролап С.А.

Воронежский государственный университет
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1
aleksandrsis634@gmail.com, klepa1967@rambler.ru, skurolap@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – оценка экологического риска для здоровья населения вследствие аэротехногенного загрязнения городов Центрального Черноземья. Для проведения исследования использованы данные за 2018–2023 гг., предоставленные региональными подразделениями ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» – Воронежским, Белгородским и Липецким центрами по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Достоверность различий средних величин концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ ($M \pm m$, где m – статистическая ошибка среднего арифметического) в промышленной и жилых зонах оценивалась с использованием t -критерия Стьюдента при вероятности статистической ошибки вывода 5 % ($\alpha = 0,05$). Количественно оценивался неканцерогенный и канцерогенный риски вследствие аэротехногенного загрязнения. Установлено, что средние многолетние концентрации загрязняющих атмосферный воздух веществ в промышленных зонах городов достоверно выше, чем в жилых зонах ($t_{расч.} > t_{табл.}$ при $\alpha = 0,05$). Из 6 мониторируемых показателей – концентраций взвешенных веществ, диоксида азота, диоксида серы, оксид углерода, фенола, формальдегида – наибольшие величины неканцерогенных рисков в городах характерны для формальдегида и взвешенных веществ. При этом величины неканцерогенных рисков по этим веществам классифицируются как опасные. Величины индивидуальных канцерогенных рисков от воздействия формальдегида классифицируются как приемлемые (допустимые), но наибольшую настороженность вызывают на территории города Воронежа.

Ключевые слова: атмосферный воздух, города, загрязнение, мониторинг, неканцерогенные вещества, канцерогены, статистический анализ, аэротехногенный риск здоровью

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00272, <https://rscf.ru/project/24-27-00272/>

Для цитирования: Шиш А.В., Клепиков О.В., Куролап С.А. 2025. Оценка экологического риска для здоровья населения вследствие аэротехногенного загрязнения городов Центрального Черноземья. Региональные геосистемы, 49(1): 146–156. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-146-156

Assessment of Public Health Environmental Risk due to Central Chernozem Region Cities Aerotechnogenic Pollution

Alexander V. Shish, Oleg V. Klepikov, Semyon A. Kurolap

Voronezh State University
1 Universitetskaya Sq, Voronezh 394018, Russia
aleksandrsis634@gmail.com, klepa1967@rambler.ru, skurolap@mail.ru

Abstract. The purpose of the study is to assess the environmental risk to public health due to aerotechnogenic pollution of the cities of the Central Chernozem region of Russia. The study used data

© Шиш А.В., Клепиков О.В., Куролап С.А., 2025

for 2018–2023 provided by the regional divisions of the Federal State Budgetary Institution "Central Chernozem Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring" – Voronezh, Belgorod and Lipetsk Centers for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. The reliability of differences in the average concentrations of atmospheric pollutants ($M \pm m$, where m is the statistical error of the arithmetic mean) in industrial and residential areas was estimated using the Student's t -test with a probability of a statistical error of 5 % ($\alpha = 0.05$). Non-carcinogenic and carcinogenic risks due to aerotechnogenic pollution were quantified. It has been established that the average long-term concentrations of atmospheric pollutants in industrial areas of cities are significantly higher than in residential areas ($t_{\text{act.}} > t_{\text{table}}$ at $\alpha = 0.05$). Of the six monitored indicators – concentrations of suspended solids, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide, phenol, and formaldehyde – the highest values of non-carcinogenic risks in cities are typical for formaldehyde and suspended solids. At the same time, the values of non-carcinogenic risks for these substances are classified as dangerous. The values of individual carcinogenic risks from exposure to formaldehyde are classified as acceptable, but the greatest concern is caused in the city of Voronezh.

Keywords: atmospheric air, cities, pollution, non-carcinogenic substances, carcinogens, statistical analysis, aerotechnogenic health risk

Acknowledgements: This study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project No. 24-27-00272, <https://rscf.ru/project/24-27-00272/>

For citation: Shish A.V., Klepikov O.V., Kurolap S.A. 2025. Assessment of Public Health Environmental Risk due to Central Chernozem Region Cities Aerotechnogenic Pollution. *Regional Geosystems*, 49(1): 146–156 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-146-156

Введение

Аэротехногенное загрязнение крупных промышленных городов мира – один из важнейших факторов экологического риска, воздействующих на здоровье населения [Covello, Merkhoher, 1993; Myeong, Shahzad, 2021; Исаев и др., 2022; Kiaei et al., 2024]. Загрязнение воздушной среды связано с уплотнением городской застройки, снижением аэрации и площадей зеленых насаждений, прогрессирующим ростом числа объектов автотранспортного комплекса во многих промышленно развитых городах, что неизбежно ведет к увеличению рисков возникновения экологически обусловленных заболеваний населения, прежде всего, респираторных и сердечно-сосудистых болезней, представляющих важную социально-экологическую проблему [Nowak et al., 2018; Yan et al., 2019; Allen, Barn, 2020; Hardoy et al., 2024].

Именно поэтому мониторингу и оценке экологического риска для здоровья населения вследствие техногенного загрязнения воздушного бассейна городов в настоящее время уделяется приоритетное внимание, причем правила контроля качества воздуха населенных мест в России по расположению и количеству стационарных постов наблюдения закреплены в ГОСТ 17.2.3.01-86 [2005]. В настоящее время оценка аэротехногенного загрязнения, влияющего на здоровье населения, проводится на основе требований СанПиН 1.2.3685-21 [2021], в которые в 2021 году введено понятие среднегодовой предельно допустимой концентрации (ПДК), обеспечивающей допустимые (приемлемые) уровни риска при хроническом (не менее 1 года) воздействии, а также методологии оценки риска для здоровья в соответствии с новым руководством Р. 2.1.10.3968-23 [2023], введенным в действие с января 2024 года. Изменение нормативно-методической базы, а также ориентирование научно-практических работ на оценку аэротехногенных рисков обусловили необходимость применения новых критериев результативности воздухоохранной деятельности – показателей неканцерогенного и канцерогенного рисков [Кузьмин и др., 2021; Овчинникова и др., 2022; Зайцева, Май, 2023]. При этом оценка аэротехногенного риска ориентирована на использование долгопериодных средних концентраций вредных веществ в ат-



мосферном воздухе, что существенно снижает неопределенности при анализе вероятности проявления хронических заболеваний, этиологически связанных с постоянным воздействием аэрополлютантов в городах [Исаев и др., 2022; Пшегорода и др. 2022].

Проблема загрязнения атмосферного воздуха крупнейших промышленных центров Черноземья (Воронежа, Белгорода, Липецка) отмечалась в ряде региональных работ. В частности, проведена оценка аэрозольного загрязнения, выявлены проблемные вопросы оценки риска здоровью населения Белгорода на основе сводных расчетов уровня атмосферного загрязнения [Боровлев, 2020; Боровлев и др., 2023], оценено влияние синоптических условий на формирование уровня аэротехногенного загрязнения Белгорода [Талалай и др., 2021], оценивалось воздействие Липецкой промышленной агломерации на уровень загрязнения [Клепиков и др., 2021; Курбаков и др., 2024] с выделением наиболее крупного источника выбросов – металлургического производства ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» [Седых и др., 2021].

Авторами настоящей статьи была поставлена цель – оценить в сравнительном аспекте экологический риск для здоровья населения вследствие аэротехногенного загрязнения городов Центрального Черноземья.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлся приземный слой атмосферного воздуха территорий городов Воронеж, Белгород, Липецк. Предмет исследования – сравнительный анализ аэротехногенного загрязнения двух функционально-планировочных зон (промышленной и жилой) в каждом городе, а также уровней неканцерогенных и канцерогенных экологических рисков здоровью населения, связанных с воздействием атмосферных поллютантов.

Для проведения исследования использованы данные за 2018–2023 гг., предоставленные региональными подразделениями ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» – Воронежским, Белгородским и Липецким центрами по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Для характеристики уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэротехногенных рисков для здоровья населения на территориях жилых и промышленных зон в городах выбраны по два стационарных поста (поста наблюдения за загрязнением атмосферы – ПНЗ). В городе Воронеже для жилой зоны выбран ПНЗ № 8 по адресу ул. Ворошилова, 30, для промышленной зоны – ПНЗ № 7 по адресу ул. Лебедева, 2, район расположения ТЭЦ-1 (ВоГРЭС); в городе Белгороде – ПНЗ № 7 по ул. Мокроусова, 6 и ПНЗ № 8 на ул. Макаренко, 18, соответственно; в городе Липецке – ПНЗ № 8 на ул. 60 лет СССР, 23 микрорайон и ПНЗ № 4 по ул. Коммунистическая, район Липецкого тракторного завода и зона воздействия Новолипецкого металлургического комбината (рис. 1).

Достоверность различий средних величин концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ ($M \pm m$, где m – статистическая ошибка среднего арифметического) оценивалась с использованием t -критерия Стьюдента при вероятности статистической ошибки вывода 5 % ($\alpha = 0,05$).

Риск здоровью рассчитывался в соответствии с положениями Руководства Р 2.1.10.3968-23 [2023]. Для оценки риска использовались осредненные концентрации взвешенных веществ, диоксида азота, диоксида серы, оксид углерода, фенола, формальдегида в промышленной и жилой зонах исследуемых городов Центрально-Черноземного региона за оцениваемый период. Рассчитывали коэффициенты опасности (HQ) как отношение медианы фактической концентрации к референтной концентрации (RfC) для ингаляционного хронического воздействия с ранжированием на уровни: минимальный $HQ < 0,1$; допустимый $0,1 \leq HQ \leq 1$; настораживающий $1,1 \leq HQ \leq 3,0$; опасный $HQ > 3,0$.

Для оценки воздействия веществ, обладающих однонаправленным действием на органы и системы организма, рассчитывали индекс опасности, т. е. индекс комбинированного воздействия смеси загрязняющих веществ (HI).

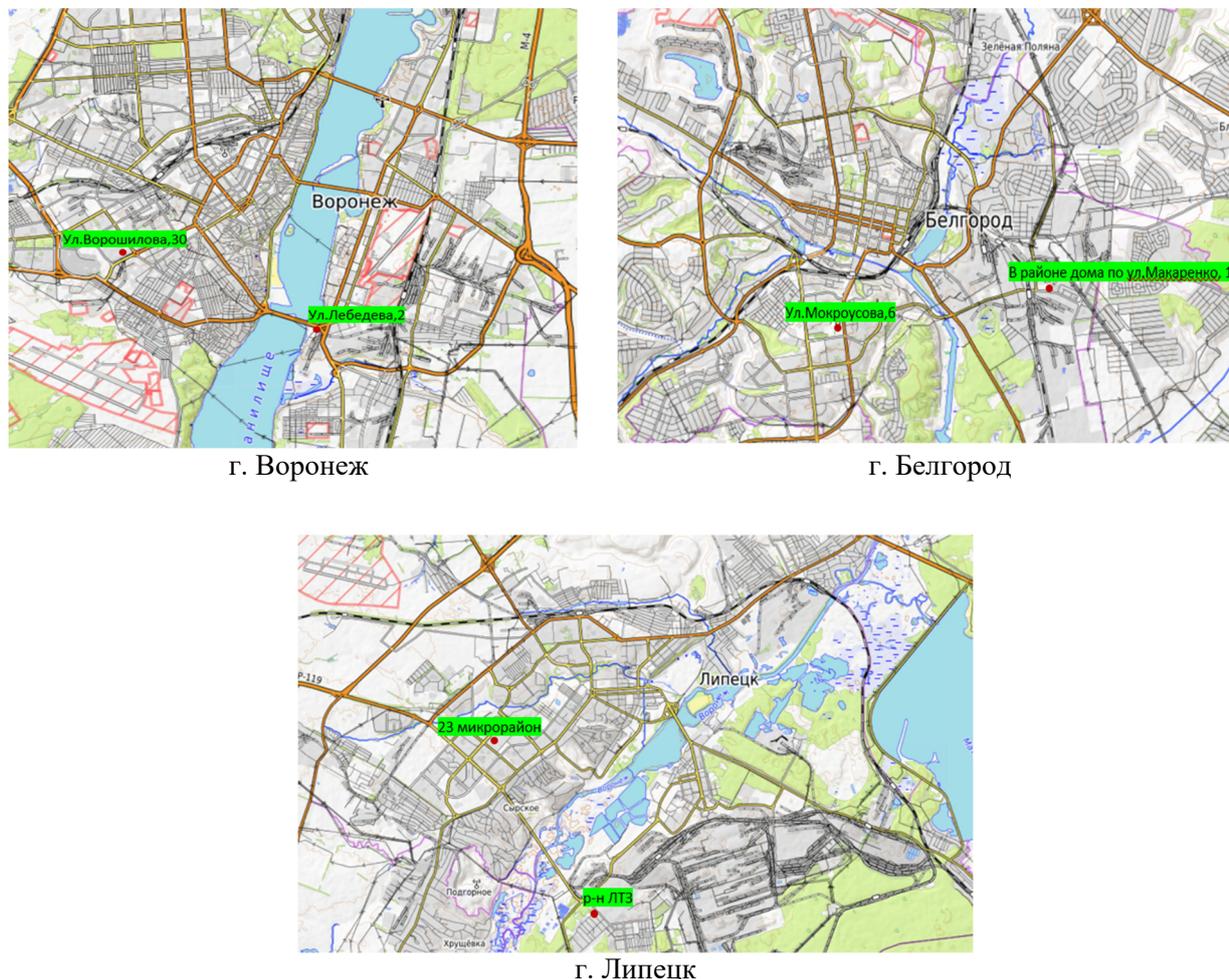


Рис. 1. Расположение мониторинговых точек контроля уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах (ПНЗ)

Fig. 1. Location of monitoring points for monitoring the level of atmospheric air pollution in cities (POP)

Результаты и их обсуждение

Установлено, что средние многолетние концентрации загрязняющих веществ на ПНЗ в промышленной и жилой зонах города Воронежа имеют достоверные различия по всем веществам ($t_{расч.}$ от 12,2 до 34,4 > $t_{табл.} = 1,98$, при $\alpha = 0,05$), что показано в табл. 1.

Наибольшие различия средних величин концентраций веществ в промышленной и жилой зонах выявлены для оксида углерода – в 1,81 раза, наименьшие – для формальдегида – в 1,37 раза. Максимальные значения концентраций веществ за анализируемый период также характерны для промышленной зоны: взвешенные вещества – до 1,80 мг/м³, диоксид азота – до 1,733 мг/м³, диоксид серы – до 0,027 мг/м³, оксид углерода – до 6,50 мг/м³, формальдегид – до 0,070 мг/м³, фенол – до 0,018 мг/м³.

Поскольку в оценке риска для здоровья средние за исследуемый период величины концентраций веществ характеризуют хроническое воздействие, для расчета неканцерогенных рисков (коэффициента опасности – HQ) использованы по аналогии с зарубежными и отечественными стандартами [Jiang, 2005; Jahandari, 2020; Овчинникова и др, 2022;



Shahriyari et al., 2022] референтные концентрации для хронических ингаляционных воздействий (RfC).

Установлено, что наибольший неканцерогенный риск обусловлен воздействием формальдегида (HQ от 4,00 до 5,46), при этом он классифицируется как опасный и в промышленной и жилой зонах (рис. 2).

Таблица 1
Table 1

Оценка достоверности различий средних величин концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ в промышленной и жилой зонах города Воронежа
Assessment of the reliability of differences in the average concentrations of atmospheric pollutants in industrial and residential areas of Voronezh

Наименование вещества	Статистические характеристики				Критерий Стьюдента $t_{расч}$	Достоверность различий средних (+/-) при $\alpha = 0,05$
	промзона (ПНЗ № 7)		жилая зона (ПНЗ № 8)			
	среднее и ошибка среднего ($M \pm m$), мг/м ³	максимум, мг/м ³	среднее и ошибка среднего ($M \pm m$), мг/м ³	максимум, мг/м ³		
Взвешенные вещества	0,23 ± 0,0048	1,800	0,13 ± 0,0028	0,700	18,2	+
Диоксид азота	0,087 ± 0,0014	1,733	0,054 ± 0,0005	0,128	22,5	+
Диоксид серы	0,0078 ± 0,0001	0,027	0,0046 ± 0,0001	0,022	25,3	+
Оксид углерода	1,50 ± 0,0174	6,500	0,83 ± 0,0089	2,700	34,4	+
Формальдегид	0,016 ± 0,0003	0,070	0,012 ± 0,0002	0,056	12,2	+
Фенол	0,0038 ± 0,00007	0,018	не входит в программу наблюдений на посту		–	

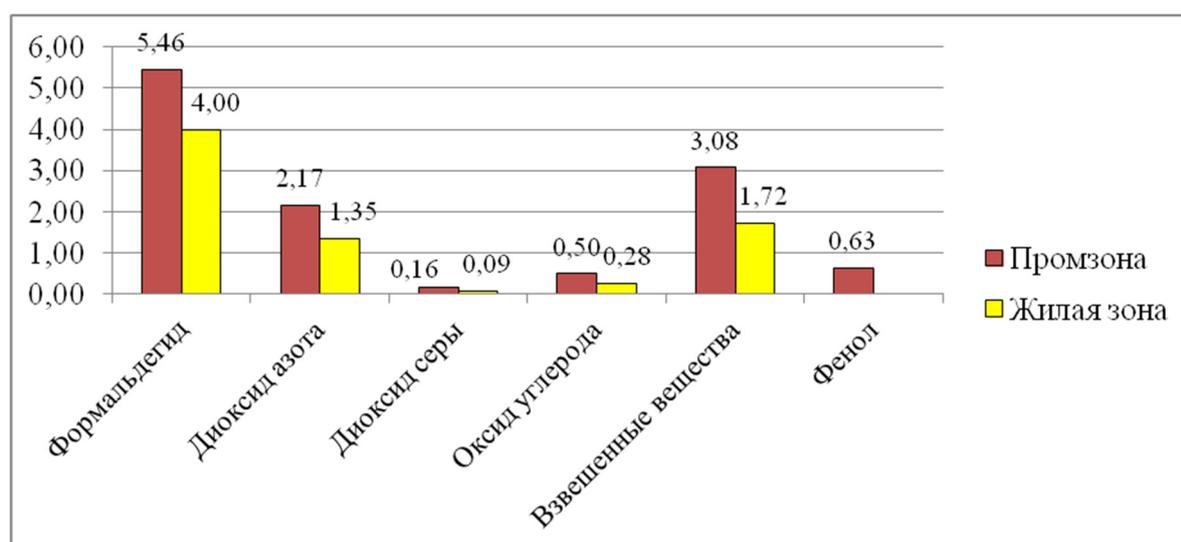


Рис. 2. Неканцерогенные риски, обусловленные воздействием загрязняющих атмосферный воздух веществ в промышленной и жилой зонах города Воронежа (HQ , безразмерная величина)

Fig. 2. Non-carcinogenic risks caused by exposure to air pollutants in industrial and residential areas of the city of Voronezh (HQ , dimensionless value)

К уровню опасного риска относится также воздействие взвешенных веществ в промышленной зоне ($HQ = 3,08$). Настораживающий уровень риска характерен для диоксида азота независимо от типа зоны (HQ от 1,35 до 2,17) и взвешенных веществ ($HQ = 1,72$) в атмосферном воздухе жилой зоны. Для диоксида серы, оксида углерода, фенола неканцерогенные риски классифицируются как допустимые ($0,1 \leq HQ \leq 1$). С учетом однонаправленного воздействия веществ на различные критические органы и системы организма индексы опасности изменяются следующим образом: на органы дыхания HI варьирует от 7,16 в жилой зоне до 10,86 в промышленной зоне; на кровь – от 1,63 в жилой зоне до 2,67 в промышленной зоне.

Аналогичный подход позволил выявить, что в Белгороде имеют достоверные различия средних многолетних концентраций загрязняющих веществ на ПНЗ в промышленной и жилой зонах, а именно: взвешенных веществ, диоксида азота и оксида углерода ($t_{расч.}$ от 5,7 до 34,4 > $t_{табл.} = 9,7$, при $\alpha = 0,05$); результаты анализа показаны в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Оценка достоверности различий средних величин концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ в промышленной и жилой зонах города Белгорода
Assessment of the reliability of differences in the average concentrations of atmospheric pollutants in industrial and residential areas of Belgorod

Наименование вещества	Статистические характеристики				Критерий Стьюдента $t_{расч}$	Достоверность различий средних (+/-) при $\alpha = 0,05$
	промзона (ПНЗ № 7)		жилая зона (ПНЗ № 8)			
	среднее и ошибка среднего ($M \pm m$), мг/м ³	максимум, мг/м ³	среднее и ошибка среднего ($M \pm m$), мг/м ³	максимум, мг/м ³		
Взвешенные вещества	0,14 ± 0,0016	0,400	0,12 ± 0,0014	0,40	6,7	+
Диоксид азота	0,039 ± 0,0003	0,072	0,036 ± 0,0002	0,075	9,7	+
Диоксид серы	не входит в программу наблюдений на посту		0,0061 ± 0,00005	0,012	–	
Оксид углерода	1,87 ± 0,022	5,000	1,68 ± 0,0023	5,90	5,7	+
Формальдегид	0,006 ± 0,0001	0,011	0,006 ± 0,0001	0,010	1,88	–

Наибольшие различия средних величин концентраций веществ в промышленной и жилой зонах Белгорода выявлены для взвешенных веществ (в 1,12 раза), наименьшие – для формальдегида (достоверные различия отсутствуют). Следует отметить, что по сравнению с Воронежем, различия содержания в атмосферном воздухе загрязняющих веществ на ПНЗ Белгорода менее выражены. Максимальные значения концентраций веществ за анализируемый период в Белгороде ниже, чем в Воронеже. При этом максимум концентрации оксида углерода (5,90 мг/м³) в Белгороде отмечен на ПНЗ № 8 в жилой зоне. По остальным веществам закономерность, что атмосферный воздух промышленной зоны более загрязнен, сохраняется также, как и в Воронеже.

Неканцерогенные риски, обусловленные загрязнением атмосферного воздуха Белгорода, наиболее высокие от воздействия формальдегида (HQ от 1,90 до 1,97) и взвешенных веществ (HQ от 1,63 до 1,82), которые классифицируются как риски настораживающего уровня (рис. 3).

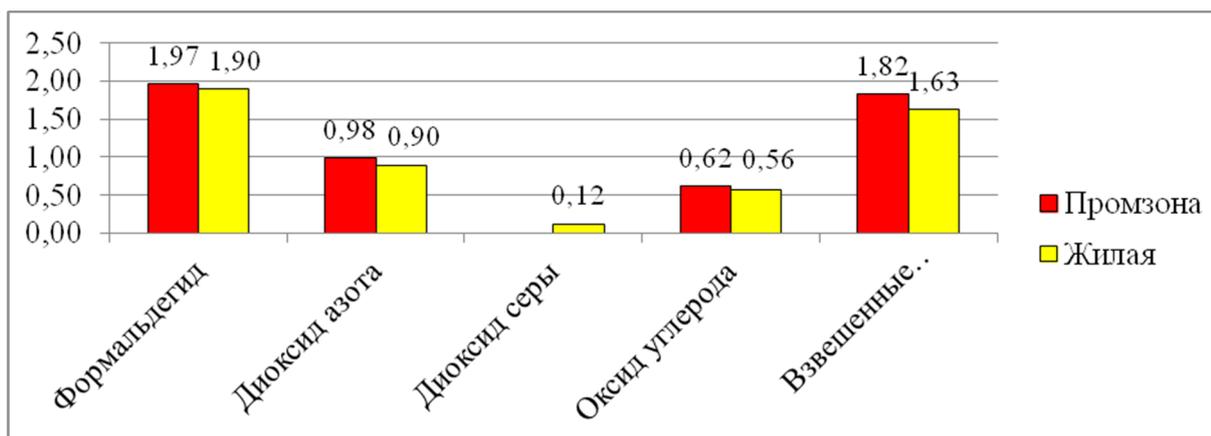


Рис. 3. Неканцерогенные риски, обусловленные воздействием загрязняющих атмосферный воздух веществ в промышленной и жилой зонах Белгорода
Fig. 3. Non-carcinogenic risks caused by exposure to air pollutants in industrial and residential areas of Belgorod (HQ, dimensionless value)

По воздействию диоксида азота, диоксида серы, оксида углерода величины неканцерогенного риска классифицируются как допустимые ($0,1 \leq HQ \leq 1$). С учетом одностороннего воздействия веществ на различные критические органы и системы организма индексы опасности изменяются следующим образом: на органы дыхания HI варьирует от 4,55 в жилой зоне до 4,77 в промышленной зоне; на кровь – от 1,46 в жилой зоне до 1,60 в промышленной зоне.

В городе Липецке на ПНЗ оценивалась концентрация формальдегида как вещества, для которого величина риска наиболее высока [Клепиков и др., 2021; Седых и др., 2023]. Средние значения концентраций формальдегида в промышленной и жилой зонах составили $0,009 \pm 0,0001$ мг/м³ и $0,008 \pm 0,0001$ мг/м³ соответственно, и имеют достоверные различия ($t_{расч.} = 5,44 > t_{крит.} = 1,98$ при $\alpha = 0,05$). Величины неканцерогенных рисков, обусловленных воздействием формальдегида как в промышленной ($HQ = 3,17$), так и в жилой зонах ($HQ = 2,82$) классифицируются какстораживающие.

Из числа рассматриваемых веществ только формальдегид обладает канцерогенным действием. В связи с этим рассчитан индивидуальный канцерогенный риск (ICR) для взрослого населения (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Индивидуальные канцерогенные риски от воздействия формальдегида (ICR)
Individual carcinogenic risks from exposure to formaldehyde (ICR)

Город	Промышленная зона	Жилая зона
Воронеж	$5,66 \times 10^{-5}$	$4,14 \times 10^{-5}$
Белгород	$2,04 \times 10^{-5}$	$1,97 \times 10^{-5}$
Липецк	$3,28 \times 10^{-5}$	$2,93 \times 10^{-5}$

Наибольшая величина канцерогенного риска от воздействия формальдегида выявлена на ПНЗ в промышленной зоне города Воронежа: $ICR = 5,66 \times 10^{-5}$. Все величины канцерогенных рисков не превышают приемлемую величину (1×10^{-4}).

Заключение

На основе сравнительного анализа уровней загрязнения воздушного бассейна функционально-планировочных зон городов установлено, что средние многолетние концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на ПНЗ в промышленной и жилой зонах, как правило, имеют достоверные различия, т. е. прослеживается общая законо-

мерность: чем ближе расположен пост к источникам выбросов, тем регистрируется более высокий уровень загрязнения. Тем не менее, эти различия из числа рассматриваемых городов более выражены в городе Воронеже. Наибольшие величины неканцерогенных рисков в городах характерны для формальдегида и взвешенных веществ. При этом величины неканцерогенных рисков по этим веществам классифицируются как опасные. Величины индивидуальных канцерогенных рисков от воздействия формальдегида, содержащегося в атмосферном воздухе городов, классифицируются как приемлемые (допустимые). Однако наибольшую настороженность канцерогенные риски имеют в городе Воронеже, а наименьшую – в Белгороде.

Для снижения риска аэротехногенного загрязнения городов Центрального Черноземья целесообразно предусмотреть систему мероприятий по снижению выбросов и уровня загрязнения приземного слоя воздуха. В перспективе для снижения неопределенностей, связанных с мониторингом уровня загрязнения атмосферного воздуха, следует увеличить число постов, синхронизировать и расширить перечень веществ, входящих в программы мониторинга городов, т. к. всегда остается дискуссионный вопрос, на какое расстояние от ПНЗ можно применять полученные на нем результаты определения концентраций загрязняющих веществ.

Список источников

- ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населённых пунктов. 2005. М., Стандартинформ, 3 с.
- Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. (утв. Роспотребнадзором 06.09.2023). Электронный ресурс. URL: <https://base.garant.ru/408644981/> (дата обращения 12.01.2025)..
- СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 2021. М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 469 с.

Список литературы

- Боровлев А.Э. 2020. Проблемные вопросы оценки риска здоровью населения Белгородской области на основе сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха. Управление городом: теория и практика, 4(38): 53–56.
- Боровлев А.Э., Корнилов А.Г., Киселев В.В., Зеленская Е.Я. 2023. К вопросу оценки пылевого загрязнения атмосферного воздуха Белгорода. Региональные геосистемы, 47(4): 619–629. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-619-629>.
- Зайцева Н.В., Май И.В. 2023. Качество атмосферного воздуха и показатели риска здоровью как объективные критерии результативности воздухоохранной деятельности на территориях городов-участников федерального проекта «Чистый воздух». Анализ риска здоровью, 1: 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.01>.
- Исаев Д.С., Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б., Крутикова Н.Н. 2022. Оценка риска здоровью городского населения с использованием фоновых долгопериодных средних концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе. Здоровье населения и среда обитания, 30(5): 23–31. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-23-31>.
- Клепиков О.В., Куролап С.А., Седых В.А. 2021. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха и оценка канцерогенных рисков для здоровья населения города Липецка Региональные геосистемы, 45(2): 236–245. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-2-236-245>.
- Кузьмин С.В., Авалиани С.Л., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицин В.А., Синицына О.О. 2021. Практика применения оценки риска здоровью в федеральном проекте «Чистый воздух» в городах-участниках (Череповец, Липецк, Омск, Новокузнецк): проблемы и перспективы. Гигиена и санитария, 100(9): 890–896. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896>
- Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Саруханов А.В., Дементьева Н.В., Новикова Н.В., Кречетников В.В. 2024. Экологическое состояние объектов окружающей среды в зоне



воздействия Липецкой промышленной агломерации. Экология и промышленность России, 28(9): 45–51. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-9-45-51>

- Овчинникова Е.Л., Никитин С.В., Колчин А.С., Новикова Ю.А., Федоров В.Н., Крига А.С., Плотникова О.В., Черкашина М.Н., Винокурова И.Г., Шмакова Н.П. 2022. Методические подходы к обработке результатов лабораторного мониторинга качества атмосферного воздуха для целей проведения оценки риска здоровью. Здоровье населения и среда обитания, 30(3): 36–43. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-36-43>
- Пшегорода А.Е., Просвирякова И.А., Гриценко Т.Д. 2022. Количественная оценка популяционного неканцерогенного риска здоровью населения при различной степени загрязнения атмосферного воздуха. Здоровье и окружающая среда, 32: 45–48.
- Седых В.А., Куролап С.А., Беляева Л.Н., Мазуров Г.И., Козлов А.Т., Закусилов В.П. 2023. Загрязнение воздушной среды формальдегидом и оценка риска канцерогенных эффектов. Теоретическая и прикладная экология, 2: 73–79. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-073-079>.
- Седых В.А., Куролап С.А., Кондауров Р.А. 2021. Геоэкологическая оценка аэротехногенного загрязнения воздушной среды города Липецка. Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки, 15(1): 96–103. <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2021-15-1-96-103>.
- Талалай Т.О., Лебедева М.Г., Крымская О.В., Крымская А.А. 2021. Влияние синоптических условий на содержание загрязняющих веществ в атмосфере г. Белгорода. Региональные геосистемы, 45(1): 107–117 <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-1-107-117>.
- Allen R.W., Barn P. 2020. Individual and Household-Level Interventions to Reduce Air Pollution Exposures and Health Risks: a Review of the Resent Literature. Current Environmental Health Reports, 7(4): 424–440. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00296-z>.
- Covello V.T., Merkhoher M.W. 1993. Risk Assessment Methods: Approaches for Assessing Health and Environmental Risks. New York, London, Springer Science & Business Media: 318 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1216-9>.
- Hardoy J.E., Mitlin D., Satterthwaite D. 2024. Environmental Problems in Third World Cities. New York, Taylor & Francis: 224 p. <https://doi.org/10.4324/9781315070322>.
- Jahandari A. 2020. Pollution Status and Human Health Risk Assessments of Selected Heavy Metals in Urban Dust of 16 Cities in Iran. Environmental Science and Pollution Research, 27(18): 23094–23107. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08585-8>.
- Jiang Q.T., Lee T.K.M., Chen K., Wong H.L., Zheng J.S., Giesy J.P., Lo K.K.W., Yamashita N., Lam P.K.S. 2005. Human health risk assessment of organochlorines associated with fish consumption in a coastal city in China. Environmental pollution, 136(1): 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.09.028>.
- Kiaei R., Pardakhti A., Zahed M.A. 2024. The Role of Health Risk Assessment Techniques in Controlling Air Pollution: a Mini Review. Health Nexus, 2(3): 60–70. <https://doi.org/10.61838/kman.hn.2.3.8>.
- Myeong S., Shahzad Kh. 2021. Integrating Data-Based Strategies and Advanced Technologies with Efficient Air Pollution Management in Smart Cities. Sustainability, 13(13): 7168. <https://doi.org/10.3390/su13137168>.
- Nowak D.J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M., Pasher J. 2018. Air Pollution Removal by Urban Forests in Canada and Its Effect on Air Quality and Human Health. Urban Forestry & Urban Greening, 29: 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>.
- Shahriyari H.A., Nikmanesh Y., Jalali S., Tahery N., Zhiani Fard A., Hatamzadeh N., Zarea K., Cheraghi M., Mohammadi M.Ja. 2022. Air Pollution and Human Health Risks: Mechanisms and Clinical Manifestations of Cardiovascular and Respiratory Diseases. Toxin Reviews, 41(2): 606–617. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1887261>.
- Yan D., Wu S., Zhou S., Tong G., Li F., Wang Y., & Li B. 2019. Characteristics, Sources and Health Risk Assessment of Airborne Particulate PAHs in Chinese Cities: A Review. Environmental Pollution, 248: 804–814. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.068>.

References

- Borovlev A.E. 2020. Problematic Issues of Health Risk Assessment in the Belgorod Region Based on Summary Calculations of Air Pollution. Upravleniye gorodom: teoriya i praktika, 4 (38): 53–56 (in Russian).

- Borovlev A.E., Kornilov A.G., Kiselev V.V., Zelenskaya E.Ya. 2023. On the Issue of Assessing the Dust Pollution of the Atmospheric Air of the City of Belgorod. *Regional Geosystems*, 47(4): 619–629 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-619-629>.
- Zaitseva N.V., May I.V. 2023. Atmospheric Air Quality and Health Risk Indicators as Objective Criteria for the Effectiveness of Air Protection Activities in the Territories of Participating Cities of the Federal Clean Air Project. *Health risk analysis*, 1: 4–12 (in Russian). <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.01>.
- Isaev D.S., Mozzhukhina N.A., Eremin G.B., Krutikova N.N. 2022. Health Risk Assessment in Towns Based on Background Long-Term Concentrations of Ambient Air Pollutants. *Public Health and Life Environment*, 30(5): 23–31 (in Russian). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-23-31>.
- Klepikov O.V., Kurolap S.A., Sedykh V.A. 2021. Monitoring of Atmospheric Air Pollution and Assessment of Carcinogenic Risks for the Health of the Population of the City of Lipetsk. *Regional geosystems*, 45(2): 236–245 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-2-236-245>.
- Kuzmin S.V., Avaliani S.L., Dodina N.S., Shashina T.A., Kislitsin V.A., Sinitsyna O.O. 2021. The Practice of Applying Health Risk Assessment in the Federal Project “Clean Air” in the Participating Cities (Cherepovets, Lipetsk, Omsk, Novokuznetsk): Problems and Prospects. *Hygiene and Sanitation*, 100(9): 890–896 (in Russian). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896>.
- Kurbakov D.N., Kuznetsov V.K., Sidorova E.V., Sarukhanov A.V., Dementieva N.V., Novikova N.V., Krechetnikov V.V. 2024. Ecological State of Environmental Facilities in the Zone of Influence of the Lipetsk Industrial Agglomeration. *Ecology and Industry of Russia*, 28(9): 45–51 (in Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-9-45-51>
- Ovchinnikova E.L., Nikitin S.V., Kolchin A.S., Novikova Yu.A., Fedorov V.N., Kriga A.S., Plotnikova O.V., Cherkashina M.N., Vinokurova I.G., Shmakova N.P. 2022. Methodological Approaches to Processing Laboratory Results of Ambient Air Quality Monitoring for the Purposes of Human Health Risk Assessment. *Public Health and Life Environment*, 30(3): 36–43 (in Russian). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-36-43>.
- Pshegroda A.E., Prosviryakova I.A., Gritsenko T.D. 2022. Quantitative Assessment of the Population Non-Carcinogenic Risk to Population Health Under Different Degrees of Atmospheric Air Pollution. *Health and the environment*, 32: 45–48 (in Russian).
- Sedykh V.A., Kurolap S.A., Belyaeva L.N., Mazurov G.I., Kozlov A.T., Zakusilov V.P. 2023. Formaldehyde Air Pollution and Risk Assessment of Carcinogenic Effects. *Theoretical and Applied Ecology*, 2: 73–79 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-073-079>.
- Sedykh V.A., Kurolap S.A., Kondaurov R.A. 2021. Geoecological Assessment of Technogenic Air Pollution of Atmospheric Environment in Lipetsk. *Proceedings of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences*, 15(1): 96–103 (in Russian). <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2021-15-1-96-103>.
- Talalay T.O., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Krymskaya A.A. 2021. Influence of Synoptic Conditions on the Content of Pollutants in the Atmosphere of Belgorod. *Regional geosystems*, 45(1): 107–117 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-1-107-117>.
- Allen R.W., Barn P. 2020. Individual and Household-Level Interventions to Reduce Air Pollution Exposures and Health Risks: a Review of the Resent Literature. *Current Environmental Health Reports*, 7(4): 424–440. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00296-z>.
- Covello V.T., Merkhoher M.W. 1993. *Risk Assessment Methods: Approaches for Assessing Health and Environmental Risks*. New York, London, Springer Science & Business Media: 318 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1216-9>.
- Hardoy J.E., Mitlin D., Satterthwaite D. 2024. *Environmental Problems in Third World Cities*. New York, Taylor & Francis: 224 p. <https://doi.org/10.4324/9781315070322>.
- Jahandari A. 2020. Pollution Status and Human Health Risk Assessments of Selected Heavy Metals in Urban Dust of 16 Cities in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18): 23094–23107. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08585-8>.
- Jiang Q.T., Lee T.K.M., Chen K., Wong H.L., Zheng J.S., Giesy J.P., Lo K.K.W., Yamashita N., Lam P.K.S. 2005. Human health risk assessment of organochlorines associated with fish consumption in a coastal city in China. *Environmental pollution*, 136(1): 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.09.028>.



- Kiaei R., Pardakhti A., Zahed M.A. 2024. The Role of Health Risk Assessment Techniques in Controlling Air Pollution: a Mini Review. *Health Nexus*, 2(3): 60–70. <https://doi.org/10.61838/kman.hn.2.3.8>.
- Myeong S., Shahzad Kh. 2021. Integrating Data-Based Strategies and Advanced Technologies with Efficient Air Pollution Management in Smart Cities. *Sustainability*, 13(13): 7168. <https://doi.org/10.3390/su13137168>.
- Nowak D.J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M., Pasher J. 2018. Air Pollution Removal by Urban Forests in Canada and Its Effect on Air Quality and Human Health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29: 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>.
- Shahriyari H.A., Nikmanesh Y., Jalali S., Tahery N., Zhiani Fard A., Hatamzadeh N., Zarea K., Cheraghi M., Mohammadi M.Ja. 2022. Air Pollution and Human Health Risks: Mechanisms and Clinical Manifestations of Cardiovascular and Respiratory Diseases. *Toxin Reviews*, 41(2): 606–617. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1887261>.
- Yan D., Wu S., Zhou S., Tong G., Li F., Wang Y., & Li B. 2019. Characteristics, Sources and Health Risk Assessment of Airborne Particulate PAHs in Chinese Cities: A Review. *Environmental Pollution*, 248: 804–814. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.068>.

*Поступила в редакцию 14.01.2025;
поступила после рецензирования 29.01.2025;
принята к публикации 15.02.2025*

*Received January 14, 2025;
Revised January 29, 2025;
Accepted February 15, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шиш Александр Витальевич, аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Клепиков Олег Владимирович, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Куролап Семен Александрович, доктор географических наук, профессор, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, заведующий кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды, декан факультета географии, геоэкологии и туризма, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. Shish, postgraduate student of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia

Oleg V. Klepikov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia

Semyon A. Kurolap, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Professor of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Head of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Dean of the Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russia