

Анализ данных мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха промышленно-развитого города и аэротехногенного риска здоровью населения

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

Воронежский государственный университет, Российская Федерация
(394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1)

Аннотация. Целью исследования является сопряженная оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэротехногенного риска здоровью населения промышленно-развитого города Воронежа.

Материалы и методы. Исходные данные – результаты систематических наблюдений за уровнем загрязнения атмосферного воздуха на пяти стационарных постах Воронежского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (2018-2023 годы). Анализ динамики концентраций загрязняющих веществ проведен по показателям описательной статистики: среднее значение концентрации, ошибка среднего, среднее квадратичное отклонение, минимум и максимум, асимметрия, эксцесс. Оценены неканцерогенный и канцерогенный аэротехногенные риски для здоровья населения.

Результаты. Наиболее выраженное варьирование содержания в атмосферном воздухе характерно для оксида углерода и взвешенных веществ (коэффициент вариации $V = 42,3-62,3 \%$). Отсутствие нормального распределения большинства величин концентраций подтверждено анализом значений критерия наличия артефактов, асимметрии и эксцесса за исключением оксида азота. Аэротехногенные неканцерогенные риски здоровью выше допустимого уровня по формальдегиду, взвешенным веществам и диоксиду азота (НҚ от 1,55 до 5,67). Канцерогенные риски не превышают величину допустимого (приемлемого) риска.

Выводы. Вариационные ряды большинства концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ не соответствуют закону нормального распределения, что обосновывает целесообразность использования медианного значения концентрации при оценке риска здоровью. Наибольшие неканцерогенные риски отмечены для болезней органов дыхания, а индивидуальные канцерогенные риски от воздействия формальдегида и сажи не превышают величину допустимого (приемлемого) риска.

Ключевые слова: загрязнение, атмосферный воздух, статистический анализ данных, аэротехногенный риск.

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

Для цитирования: Клепиков О. В., Шиш А. В., Куролап С. А. Анализ данных мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха промышленно-развитого города и аэротехногенного риска здоровью населения // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2025, № 1, с. 131-137. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/1/131-137>

ВВЕДЕНИЕ

В России вопросы атмосферного загрязнения имеют высокую значимость и являются одним из общенациональных интересов в сохранении чистой окружающей среды. Однако, несмотря на предпринимаемые меры по сокращению объема выбросов, созданию защитных зон, а также реализацию с 2019 года по настоящее время федерального проекта «Чистый воздух» с охватом 43 городов России, загрязнение воздуха в мегаполисах остается серьезной проблемой, оказывающей негативное влияние на здоровье населения [10].

Многие исследования показывают, что ухудшение качества воздушной среды приводит к появлению и обострению заболеваний, в первую очередь болезней органов дыхания, патологии сердечно-сосудистой и нервной систем [3, 5, 11,]. Для определения приорите-

тов в области охраны атмосферного воздуха в настоящее время совершенствуется система мониторинга уровня аэротехногенного загрязнения, активно применяются количественные методы оценки риска здоровью [4, 7, 12].

Известно, что уровень загрязнения атмосферного воздуха городов зависит не только от объема выбросов, но и метеорологических условий, рациональности планировки, озеленения и других факторов [1, 2].

Вместе с тем адекватная оценка аэротехногенного риска здоровью населения возможна только на основе данных многолетних систематических наблюдений, т.к. большинство заболеваний в реальной обстановке территорий городов возникает не от острых (кратковременных) воздействий, а от длительного воздействия загрязняющих веществ на организм человека

в относительно малых концентрациях, близких к гигиеническим нормам или незначительно превышающих их. В этой ситуации речь идет о хроническом, долгосрочном воздействии аэротехногенных факторов риска, что обосновывает актуальность анализа данных мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэротехногенного риска здоровью населения промышленно-развитых городов.

Целью исследования является сопряженная оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэротехногенного риска здоровью населения промышленно-развитого города Воронежа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходными данными для исследования являлись результаты систематических наблюдений за уровнем загрязнения атмосферного воздуха на пяти стационарных постах (постах наблюдения за загрязнением – ПНЗ) Воронежского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 2018-2023 годы: ПНЗ № 1 (г. Воронеж, ул. Ростовская, д. 44) по загрязняющим веществам – взвешенные вещества (пыль), ангидрид сернистый (диоксид серы), оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, формальдегид, углерод (сажа); ПНЗ № 7 (г. Воронеж, ул. Лебедева, д. 2) по загрязняющим веществам – пыль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, формальдегид, фенол; ПНЗ № 8 (г. Воронеж, ул. Ворошилова, д. 30) по загрязняющим веществам – пыль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, формальдегид; ПНЗ № 9 (г. Воронеж, ул. Лидии Рябцевой, д. 51Б) по загрязняющим веществам – пыль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, фенол; ПНЗ № 10 (г. Воронеж, ул. 9 Января, д. 49) по загрязняющим веществам – пыль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, формальдегид. Ежегодно проводится от 843 (сажа, ПНЗ № 1) до 4425 (диоксид азота, на всех ПНЗ) исследований на каждый компонент. Для анализа данных о загрязнении атмосферы нами применены методы вероятностно-статистического анализа, включающие расчет показателей описательной статистики – средних значений концентрации загрязняющих веществ (M), определение ошибки средней арифметической концентрации (m), среднего квадратичного отклонения (σ), минимума и максимума за исследуемый период, коэффициента вариации (V), а также оценку нормальности распределения, в т.ч. наличия «выскакивающих» величин (артефактов), асимметрии и эксцесса. Все выводы осуществлялись при вероятности статистической ошибки менее 5% ($p=0,05$).

Для оценки аэротехногенного риска здоровью населения использованы основные положения нормативного документа Р 2.1.10.3968-23 [9]. Рассчитывались коэффициенты опасности (HQ) как соотношение 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 од-

нонаправленного действия на организм рассчитывался индекс опасности (HI) для органов дыхания (взвешенные вещества + диоксид серы + азота диоксид + азота оксид + формальдегид + сажа), крови (оксид углерода + диоксид азота + оксид азота), нервной системы (оксид углерода + фенол). Для веществ, обладающих канцерогенным воздействием (формальдегид и сажа), оценен индивидуальный канцерогенный риск.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что за период наблюдений концентрации загрязняющих веществ имеют значительную вариабельность. Так, концентрации взвешенных веществ варьировали от 0,033 до 3,8 мг/м³ (при среднем значении $0,2316 \pm 0,0034$ мг/м³); диоксида серы – от 0,001 до 0,112 мг/м³ (при среднем значении $0,006 \pm 0,0001$ мг/м³); оксида углерода – от 0,1 до 8,3 мг/м³ (при среднем значении $1,112 \pm 0,0001$ мг/м³); диоксида азота – от 0,006 до 0,194 мг/м³ (при среднем значении $0,0661 \pm 0,0004$ мг/м³); оксида азота – от 0,001 до 0,046 мг/м³ (при среднем значении $0,0203 \pm 0,0003$ мг/м³); формальдегида – от 0,001 до 0,337 мг/м³ (при среднем значении $0,0169 \pm 0,0003$ мг/м³); сажи – от 0,001 до 0,22 мг/м³ (при среднем значении $0,0315 \pm 0,0012$ мг/м³); фенола – от 0,001 до 0,091 мг/м³ (при среднем значении $0,0047 \pm 0,0001$ мг/м³).

Анализ значений коэффициента вариации (V) – основного относительного показателя степени разнообразия оцениваемых величин концентраций загрязняющих веществ по степени варьирования (0-10 % – малое, 11-30 % – среднее, 31-60 % – высокое, 61-100 % – очень высокое варьирование) – показывает, что содержание в атмосферном воздухе диоксида серы, оксида азота, фенола характеризуется малой степенью варьирования (от 5,6 до 6,9 %), диоксида азота, формальдегида, сажи – средней степенью (от 11,4 до 19,2 %), взвешенных веществ – высокой (42,3 %), оксида углерода – очень высокой степенью варьирования (62,3 %). Значительное варьирование свидетельствует о нарушении закона нормального распределения [8]. Причем, если по нижней границе ($M-3\sigma$) величины концентраций можно считать типичными для вариационных рядов, то по верхней границе «нормального» вариационного ряда ($M+3\sigma$), встречающиеся максимальные значения содержания взвешенных веществ, оксида углерода, диоксида азота, формальдегида и сажи нельзя признать относящимися к нормальному распределению, поскольку в пределах интервала нормального распределения находится менее 99,7 % наблюдений.

Отсутствие нормального распределения величин подтверждено также результатами анализа значений критерия наличия артефактов T_{af} , который составляет от 5,7 (азота оксид) до 25,7 (диоксида серы), т.е. все значения T_{af} выше критической величины критерия выпадов ($T_{st}=3,5$) для нормального распределения значений вариационного ряда [8] (табл. 1).

Анализ показателей асимметрии и эксцесса также свидетельствует о том, что большинство вариационных рядов концентраций не подчиняется закону нор-

Показатели описательной статистики вариационных рядов
концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ*

[Table 1. Indicators of descriptive statistics of variation series of atmospheric air pollutant concentrations]

Показатели описательной статистики / Indicators of descriptive statistics	Определяемые в атмосферном воздухе вещества / Substances detected in atmospheric air							
	Взвешенные вещества (пыль) / Suspended substances (dust)	Ангидрид сернистый (Диоксид серы) / Sulphurous anhydride (Sulfur dioxide)	Углерода оксид / Carbon monoxide	Азота диоксид / Nitrogen dioxide	Азота оксид / Nitrogen oxide	Формальдегид / Formaldehyde	Углерод (сажа) / Carbon black (carbon black)	Фенол / Phenol
Среднее значение концентрации, мг/м ³ (М)	0,2316	0,0060	1,1120	0,0661	0,0203	0,0169	0,0315	0,0047
Ошибка среднего (m)	0,0034	0,0001	0,0099	0,0004	0,0003	0,0003	0,0012	0,0001
Среднее квадратичное отклонение (σ)	0,2036	0,0043	0,6565	0,0294	0,0080	0,0155	0,0340	0,0047
Минимум	0,033	0,001	0,1	0,006	0,001	0,001	0,001	0,001
Максимум	3,8	0,112	8,3	0,194	0,046	0,337	0,22	0,091
Коэффициент вариации, % (V)	42,3	5,6	62,3	11,4	5,6	11,9	19,2	6,9
М-3σ	-0,379	-0,007	-0,857	-0,022	-0,004	-0,030	-0,071	-0,009
М+3σ	0,842	0,019	3,081	0,154	0,044	0,063	0,134	0,019
Удельный вес (%) всех значений выборки в интервале М±3σ	98,48*	99,88	98,46*	99,46*	99,77	99,37*	97,03*	99,91
Критерий наличия артефактов (T _{ар})	18,6*	25,7*	12,6*	6,6*	5,7*	21,7*	6,4*	19,3*
Асимметрия (K _{ас})	3,36	4,08	2,52	0,23	0,07	3,43	2,63	6,12
Ошибка асимметрии (m _{ас})	0,041	0,038	0,037	0,037	0,083	0,041	0,084	0,073
Критерий наличия асимметрии (t _{ас})	82,6*	106,9*	68,5*	6,2*	0,9	82,8*	31,1*	84,2*
Экссесс (E)	32,3	85,1	12,9	0,2	0,1	51,7	8,0	99,1
Ошибка эксцесса (m _е)	0,08	0,08	0,07	0,07	0,17	0,08	0,17	0,15
Критерий наличия эксцесса (t _е)	397,44*	1133,79*	174,72*	2,23	0,82	624,69*	47,32*	681,43*

Примечание: * – значения показателей свидетельствующие, что вариационные ряды концентраций загрязняющих веществ не имеют нормального распределения (при p=0,05)

[Note: * – The values of the indicators indicating that the variation series of pollutant concentrations do not have a normal distribution (at p=0.05)]

мального распределения. Установлено, что вариационные ряды концентраций всех загрязняющих веществ имеют положительную асимметрию. Существенная асимметрия ($t_{ас} > 3$) отмечается по содержанию всех компонентов за исключением оксида азота (критерий наличия асимметрии $t_{ас} = 0,9 < 3$). Наиболее выражены асимметрии в распределении концентраций диоксида серы ($K_{ас} = 4,08$, $t_{ас} = 106,9$), фенола ($K_{ас} = 6,12$, $t_{ас} = 84,2$), формальдегида ($K_{ас} = 3,43$, $t_{ас} = 82,8$), взвешенных веществ ($K_{ас} = 3,36$, $t_{ас} = 82,6$).

Анализ значений критерия наличия эксцесса, характеризующего степень разброса значений выборки относительно среднего значения, позволяет говорить о том, что эксцесс в вариационных рядах концентраций взвешенных веществ, диоксида серы, оксида углерода, формальдегида, сажи, фенола является существенным

($t_{е} > 3$), т.е. выполняется условие, что коэффициент эксцесса в три и более раз превышает свою ошибку по абсолютной величине. Относительно несущественный эксцесс характерен для вариационных рядов концентраций оксида азота ($t_{е} = 0,82$) и диоксида азота ($t_{е} = 2,23$).

Учитывая, что вариационные ряды концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ не подчиняются закону нормального распределения, а также что для 7 из 8 веществ характерна асимметричность, то при оценке риска здоровью населения вместо среднего арифметического значения целесообразно использовать медиану, что показано в ряде работ [6].

В целом медианы концентраций оказалась ниже средних арифметических значений в 1,05-1,57 раза, за исключением оксида азота (табл. 2).

Таблица 2

Медиана концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ, мг/м³
 [Table 2. Median of concentrations of atmospheric air pollutants, mg/m³]

Стационарный пост / Stationary station	Взвешенные вещества (пыль) / Suspended solids (dust)	Ангидрид сернистый (диоксид серы) / Sulphurous anhydride (sulfur dioxide)	Углерода оксид / Carbon monoxide	Азота диоксид / Nitrogen Dioxide	Азота оксид / Nitrogen Oxide	Формальдегид / Formaldehyde	Углерод (сажа) / Carbon (soot)	Фенол / Phenol
ПНЗ № 1	0,200	0,006	1,1	0,067	0,020	0,010	0,020	н/о
ПНЗ № 7	0,200	0,009	1,5	0,081	н/о	0,014	н/о	0,004
ПНЗ № 8	0,150	0,005	0,8	0,062	н/о	0,01	н/о	н/о
ПНЗ № 9	0,179	0,005	0,7	0,065	н/о	н/о	н/о	0,001
ПНЗ № 10	0,209	0,006	1,0	0,078	н/о	0,017	н/о	н/о
в целом по ПНЗ	0,200	0,005	1,0	0,069	0,020	0,011	0,020	0,003

Примечание: *) н/о – не определяется (не входит в программу наблюдений на ПНЗ)

[Note: *) – not determined (not included in the observation program at the PMS)]

Установлено, что неканцерогенный риск характеризуется как опасный по формальдегиду (HQ от 3,33 до 5,67), настораживающий – по взвешенным веществам (HQ от 2,00 до 2,67) и диоксиду азота (HQ от

1,55 до 2,03), как допустимый по саже (HQ = 0,80), фенолу (HQ от 0,17 до 0,67), диоксиду серы (HQ от 0,10 до 0,18), оксиду углерода (HQ от 0,10 до 0,18), оксиду азота (HQ = 0,33) (табл. 3).

Таблица 3

Неканцерогенный риск, обусловленный загрязнением атмосферного воздуха (коэффициенты опасности HQ)*

[Table 3. Non-carcinogenic risk caused by atmospheric air pollution (hazard coefficients HQ)]

Стационарный пост / Stationary station	Взвешенные вещества (пыль) / Suspended solids (dust)	Ангидрид сернистый (диоксид серы) / Sulphurous anhydride (sulfur dioxide)	Углерода оксид / Carbon monoxide	Азота диоксид / Nitrogen Dioxide	Азота оксид / Nitrogen Oxide	Формальдегид / Formaldehyde	Углерод (сажа) / Carbon (soot)	Фенол / Phenol
ПНЗ № 1	2,67	0,12	0,37	1,68	0,33	3,33	0,80	н/о
ПНЗ № 7	2,67	0,18	0,50	2,03	н/о	4,67	н/о	0,67
ПНЗ № 8	2,00	0,10	0,27	1,55	н/о	3,33	н/о	н/о
ПНЗ № 9	2,39	0,10	0,23	1,63	н/о	н/о	н/о	0,17
ПНЗ № 10	2,79	0,12	0,33	1,95	н/о	5,67	н/о	н/о
в целом по ПНЗ	2,67	0,10	0,33	1,73	0,33	3,67	0,80	0,50

Примечание: *) – см. примечание к таблице 2

[Note: *) – See note to Table 2]

С учетом однонаправленного действия веществ неканцерогенный риск наиболее высок для органов дыхания (HI от 4,11 до 10,52). Наиболее неблагоприятная ситуация отмечается на ПНЗ № 10 и связана с высокой интенсивностью движения автотранспорта по ул. 9 Января. Риск для кроветворной системы варьирует от 1,82 до 2,53. Риск для нервной системы превышает допустимое значение только на ПНЗ № 7 (HI = 1,17) (рис.).

В целом по постам наблюдения за загрязнением атмосферы наибольшие неканцерогенные риски отмечаются для болезней органов дыхания (HI = 9,29).

Факторы наклона (SF), характеризующие пропорцию роста риска на единицу дозы канцерогена при ингаляционном поступлении веществ имеются для сажи (SF = 0,017 (мг/кг в сут.)⁻¹) и формальдегида

(SF = 0,046 (мг/кг в сут.)⁻¹). Для этих веществ с учетом стандартных факторов экспозиции (массы тела, объема вдыхаемого воздуха, времени воздействия) рассчитаны индивидуальные канцерогенные риски для взрослого населения (табл. 4).

Установлено, что индивидуальные канцерогенные риски по ПНЗ от воздействия формальдегида варьируют от $3,46 \times 10^{-5}$ до $5,88 \times 10^{-5}$, от воздействия сажи (ПНЗ № 1) – $2,56 \times 10^{-5}$, и не превышают величину допустимого (приемлемого) риска ($1,0 \times 10^{-4}$), в том числе при суммарном воздействии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что вариационные ряды динамики концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ на всех постах наблюдений города Воронежа

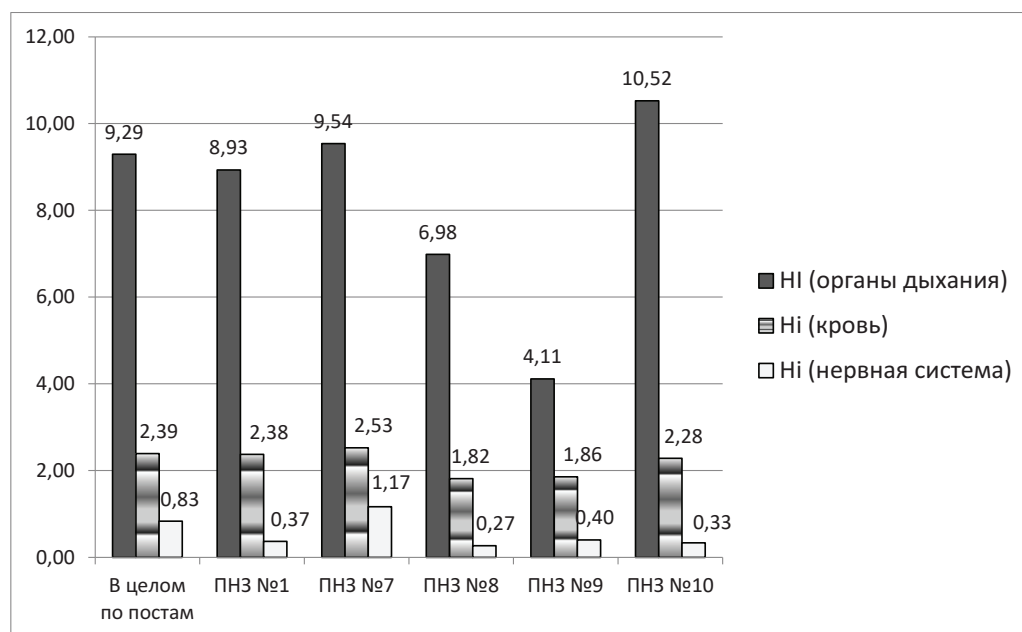


Рис. Неканцерогенный риск, обусловленный однонаправленным воздействием загрязнителей атмосферного воздуха (индексы опасности HI)

[Fig. Non-carcinogenic risk caused by unidirectional exposure to atmospheric air pollutants (HI hazard indices)]

Таблица 4

Индивидуальные канцерогенные риски, обусловленные воздействием загрязняющих атмосферный воздух веществ*
[Table 4. Individual carcinogenic risks caused by exposure to atmospheric air pollutants]

Стационарный пост / Stationary post	Формальдегид / Formaldehyde	Сажа / Soot	Суммарный канцерогенный риск / Total carcinogenic risk
ПНЗ №1	$3,46 \times 10^{-5}$	$2,56 \times 10^{-5}$	$6,02 \times 10^{-5}$
ПНЗ №7	$4,84 \times 10^{-5}$	н/о	-
ПНЗ №8	$3,46 \times 10^{-5}$	н/о	-
ПНЗ №9	н/о	н/о	-
ПНЗ №10	$5,88 \times 10^{-5}$	н/о	-
В целом по ПНЗ	$3,80 \times 10^{-5}$	$2,56 \times 10^{-5}$	$6,36 \times 10^{-5}$

Примечание: *) – см. примечание к таблице 2

[Note: *) – See note to Table 2]

не соответствуют закону нормального распределения. Для 7 из 8 веществ в многолетних рядах данных концентраций характерна асимметричность. В этом случае при оценке риска для здоровья населения вместо среднего арифметического значения концентрации более обосновано (достоверно) использование медианы.

Величины неканцерогенного риска по уровням характеризуются как опасные по формальдегиду (HQ от 3,33 до 5,67),стораживающие – по взвешенным веществам (HQ от 2,00 до 2,67) и диоксиду азота (HQ от 1,55 до 2,03), допустимые – по саже (HQ=0,80), фенолу (HQ от 0,17 до 0,67), диоксиду серы (HQ от 0,10 до 0,18), оксиду углерода (HQ от 0,10 до 0,18) и оксиду азота (HQ=0,33). Наибольшие неканцерогенные риски отмечаются для болезней системы органов дыхания (HI от 4,11 до 10,52). Индивидуальные канцерогенные риски от воздействия формальдегида и сажи не превышают величину допустимого (приемлемого)

риска. Полученные закономерности целесообразно учитывать при совместном мониторинге аэротехногенного загрязнения и экологических рисков для здоровья населения промышленно-развитого города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов Л. М., Акимов Е. Л. Методология исследования влияния метеорологических условий на загрязнения атмосферы канцерогенами // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки*, 2024, т. 18, № 1, с. 5-17.
2. Акимов Л. М., Акимов Е. Л. Оценка роли метеорологических условий в формировании аэротехногенного загрязнения городской среды // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 3, с. 68-78.
3. Андреева Е. С., Климов П. В., Штенске К. С. Загрязнение атмосферного воздуха как один из факторов неканцерогенного риска здоровью населения Ростова-на-Дону // *География и природные ресурсы*, 2021, т. 42, № 1, с. 42-48.
4. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на формирование риска здоровью населения экологически неблагопо-

лучного района крупного промышленного центра / Ю. В. Мякишева, И. В. Федосейкина, Н. А. Михайлюк, О. Я. Сказкина, Ю. А. Алешина, А. Ф. Павлов // *Здоровье населения и среда обитания* – *ЗНиСО*, 2022, т. 30, № 3, с. 44-52.

5. Герман С. В., Балакаева А. В. Загрязнение атмосферного воздуха как фактор риска болезней системы кровообращения // *РМЖ. Медицинское обозрение*, 2021, т. 5, № 4, с. 200-205.

6. Методические подходы к обработке результатов лабораторного мониторинга качества атмосферного воздуха для целей проведения оценки риска здоровью / Е. Л. Овчинникова, С. В. Никитин, А. С. Колчин, Ю. А. Новикова, В. Н. Федоров, А. С. Крига, О. В. Плотникова, М. Н. Черкашина, И. Г. Винокурова, Н. П. Шмакова // *Здоровье населения и среда обитания* – *ЗНиСО*, 2022, № 3, с. 36-43.

7. Методические подходы к оптимизации программ мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» (на примере города Нижнего Тагила) / В. Б. Гурвич, Д. Н. Козловских, И. А. Власов, И. В. Чистякова, С. В. Ярушин, А. С. Корнилов, Д. В. Кузьмин, О. Л. Малых, Н. И. Кочнева, А. А. Шевчик, Т. М. Цепилова, Е. А. Кузьмина // *Здоровье населения и среда обитания* – *ЗНиСО*, 2020, № 9 (330), с. 38-47.

8. *Практикум по информационным технологиям* / под ред. В. С. Тикунова и С. А. Куrolap. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2008. 266 с.

9. Р 2.1.10.3968-23. *Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания* (утв. Роспотребнадзором 06.09.2023). – URL: <https://base.garant.ru/408644981> (дата обращения: 20.11.2024). – Текст электронный.

10. Ревич Б. А. Эффективен ли проект «Чистый воздух» для улучшения здоровья населения 12 городов? // *Экологический вестник России*, 2020, № 3, с. 58-68.

11. Респираторные риски, обусловленные загрязнением атмосферного воздуха, и заболеваемость органов дыхания у жителей города Омска / Е. Л. Овчинникова, С. В. Никитин, А. С. Колчин, А. С. Крига, О. В. Плотникова, М. Н. Черкашина, И. Г. Винокурова, М. А. Дунаева, С. В. Белус // *Медицина труда и промышленная экология*, 2022, т. 61, № 1, с. 36-42.

12. Четверкина К. В. Оценка риска развития заболеваний системы кровообращения среди взрослого населения пермского края в условиях химического загрязнения атмосферного воздуха // *Гигиена и санитария*, 2020, т. 99, № 8, с. 861-865.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 03.12.2024

Принята к публикации: 20.02.2025

UDC 502/504

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/1/131-137>

Analysis of Data on Monitoring the Level of Atmospheric Air Pollution in an Industrially Developed City and Aerotechnogenic Risk to Public Health

O. V. Klepikov ✉, A. V. Shish, S. A. Kurolap

Voronezh State University, Russian Federation
(1, Universitetskaya Sq., Voronezh, 394018)

Abstract. The purpose of the study is a combined assessment of the level of atmospheric air pollution and aerotechnogenic health risk to the population of the industrially developed city of Voronezh.

Materials and methods. The initial data are the results of systematic observations of the level of atmospheric air pollution at five stationary posts of the Voronezh Centre for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (2018-2023). The analysis of the dynamics of pollutant concentrations was carried out using descriptive statistics: mean concentration, error of the mean, standard deviation, minimum and maximum, asymmetry, kurtosis. Non-carcinogenic and carcinogenic aerotechnogenic risks to public health were assessed.

Results. The most pronounced variation in the content in the atmospheric air is characteristic of carbon monoxide and suspended matter (variation coefficient $V = 42.3-62.3\%$). The absence of a normal distribution of most concentration values is confirmed by the analysis of the values of the criterion for the presence of artifacts, asymmetry and kurtosis, with the exception of nitrogen oxide. Aerotechnogenic non-carcinogenic health risks are above the permissible level for formaldehyde, suspended matter and nitrogen dioxide (HQ from 1,55 to 5,67). Carcinogenic risks do not exceed the permissible (acceptable) risk.

Conclusions. The variation series of most concentrations of air pollutants do not correspond to the normal distribution law, which justifies the expediency of using the median concentration value when assessing health risks. The highest non-carcinogenic risks are noted for respiratory diseases, and individual carcinogenic risks from exposure to formaldehyde and soot do not exceed the permissible (acceptable) risk.

Key words: pollution, atmospheric air, statistical data analysis, aerotechnogenic risk.

Funding: The research was supported by the grant from the Russian Science Foundation No. 24-27-00272, <https://rscf.ru/project/24-27-00272/>.



For citation: Klepikov O. V., A. V. Shish, S. A. Kurolap Analysis of Data on Monitoring the Level of Atmospheric Air Pollution in an Industrially Developed City and Aerotechnogenic Risk to Public Health. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografia. Geoekologia*, 2025, no. 1, pp. 131-137 (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/1/131-137>

REFERENCES

1. Akimov L. M., Akimov E. L. Metodologiya issledovaniya vliyanija meteorologicheskikh uslovij na zagriznenija atmosfery kancerogenami [Methodology for studying the influence of meteorological conditions on atmospheric pollution by carcinogens]. *Izvestija Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki*, 2024, vol. 18, no. 1, pp. 5-17. (In Russ.).
2. Akimov L. M., Akimov E. L. Ocenka roli meteorologicheskikh uslovij v formirovanii aerotekhnogenogo zagriznenija gorodskoj sredy [Assessment of the role of meteorological conditions in the formation of aerotechnogenic pollution of the urban environment]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografia. Geoekologia*, 2023, no. 3, pp. 68-78. (In Russ.).
3. Andreeva E. S., Klimov P. V., Shtenske K. S. Zagriznenie atmosfernogo vozduha kak odin iz faktorov nekancerogenogo riska zdorov'ju naselenija Rostova-na-Donu [Atmospheric air pollution as one of the factors of non-carcinogenic risk to the health of the population of Rostov-on-Don]. *Geografija i prirodnye resursy*, 2021, vol. 42, no. 1, pp. 42-48. (In Russ.).
4. Vlijanie zagriznenija atmosfernogo vozduha na formirovanie riska zdorov'ju naselenija jekologicheskimi neblagopoluchnogo rajona krupnogo promyshlennogo centra / Ju. V. Mjakisheva, I. V. Fedosejkina, N. A. Mihajljuk, O. Ja. Skazkina, Ju. A. Aleshina, A. F. Pavlov [The influence of atmospheric air pollution on the formation of a public health risk in an ecologically disadvantaged area of a large industrial center]. *Zdorov'e naselenija i sreda obitaniya - ZNiSO*, 2022, vol. 30, no. 3, pp. 44-52. (In Russ.).
5. German S. V., Balakaeva A. V. Zagriznenie atmosfernogo vozduha kak faktor riska boleznej sistemy krovoobrashhenija [Atmospheric air pollution as a risk factor for diseases of the circulatory system]. *RMZh. Medicinskoe obozrenie*, 2021, vol. 5, no. 4, pp. 200-205. (In Russ.).
6. Metodicheskie podhody k obrabotke rezul'tatov laboratornogo monitoringa kachestva atmosfernogo vozduha dlja celej provedenija ocenki riska zdorov'ju [Methodological approaches to processing the results of laboratory monitoring of atmospheric air quality for the purposes of health risk assessment] / E. L. Ovchinnikova, S. V. Nikitin, A. S. Kolchin, Ju. A. Novikova, V. N. Fedorov, A. S. Kriga, O. V. Plotnikova, M. N. Cherkashina, I. G. Vinokurova, N. P. Shmakova. *Zdorov'e naselenija i sreda obitaniya - ZNiSO*, 2022, no. 3, pp. 36-43. (In Russ.).
7. Metodicheskie podhody k optimizacii programm monitoringa zagriznenija atmosfernogo vozduha v ramkah realizacii federal'no-

go proekta «Chistyj vozduh» (na primere goroda Nizhnego Tagila) [Methodological approaches to optimizing air pollution monitoring programs within the framework of the implementation of the federal project «Clean Air» (on the example of Nizhny Tagil)] / V. B. Gurvich, D. N. Kozlovskih, I. A. Vlasov, I. V. Chistjakova, S. V. Jarushin, A. S. Kornilkov, D. V. Kuz'min, O. L. Malyh, N. I. Kochneva, A. A. Shevchik, T. M. Cepilova, E. A. Kuz'mina. *Zdorov'e naselenija i sreda obitaniya - ZNiSO*, 2020, no. 9 (330), pp. 38-47. (In Russ.).

8. Praktikum po informacionnym tekhnologijam / Pod red. V. S. Tikunova i S. A. Kurolap. Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj universitet, 2008, 266 p. (In Russ.).

9. R 2.1.10.3968-23. Rukovodstvo po ocenke riska zdorov'ju naselenija pri vozdejstvii himicheskikh veshhestv, zagriznjajushchih sredu obitaniya. (utv. Rospotrebnadzorom 06.09.2023) [Guidelines for assessing the risk to public health from exposure to chemicals that pollute the environment. (approved by Rospotrebnadzor on 09/06/2023). – URL: <https://base.garant.ru/408644981> (accessed 20.11.2024). – Text: electronic. (In Russ.).

10. Revich B. A. Jeffektivn li proekt «Chistyj vozduh» dlja uluchshenija zdorov'ja naselenija 12 gorodov? [Is the Clean Air project effective for improving the health of the population of 12 cities?]. *Jekologicheskij vestnik Rossii*, 2020, no. 3, pp. 58-68. (In Russ.).

11. Respiratornye riski, obuslovlennye zagrizneniem atmosfernogo vozduha, i zaboлеваemost' organov dyhanija u zhitel'ev goroda Omska [Respiratory risks caused by atmospheric air pollution and respiratory morbidity among residents of Omsk] / E. L. Ovchinnikova, S. V. Nikitin, A. S. Kolchin, A. S. Kriga, O. V. Plotnikova, M. N. Cherkashina, I. G. Vinokurova, M. A. Dunaeva, S. V. Belus. *Medicina truda i promyshlennaja jekologija*, 2022, vol. 61, no. 1, pp. 36-42. (In Russ.).

12. Chetverkina K. V. Ocenka riska razvitiya zabolevanij sistemy krovoobrashhenija sredi vzroslogo naselenija permskogo kraja v uslovijah himicheskogo zagriznenija atmosfernogo vozduha [Assessment of the risk of developing circulatory system diseases among the adult population of the Perm region in conditions of chemical pollution of atmospheric air]. *Gigiena i sanitarija*, 2020, vol. 99, no. 8, pp. 861-865. (In Russ.).

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 03.12.2024

Accepted: 20.02.2025

Клепиков Олег Владимирович

Доктор биологических наук, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-9228-620X, e-mail: klepa1967@rambler.ru

Шиш Александр Витальевич

Аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0009-0003-5648-223X, e-mail: aleksandrsis634@gmail.com

Куrolap Семен Александрович

доктор географических наук, профессор, декан факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-6169-8014, e-mail: skurolap@mail.ru

Oleg V. Klepikov

Dr. Sci. (Biol.), Prof. at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-9228-620X, e-mail: klepa1967@rambler.ru

Alexander V. Shish

Postgraduate Student at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-6169-8014; e-mail: aleksandrsis634@gmail.com

Semen A. Kurolap

Dr. Sci. (Geogr.), Prof., Dean of the Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-6169-8014, e-mail: skurolap@mail.ru