Станишевская Е.В.¹, Кузмичев М.К.¹, Клепиков О.В.^{2,3,4}, Куролап С.А.^{2,4},
Хорпякова Т.В.⁴

**Канцерогены в приземном слое атмосферного воздуха на территории
промышленно-развитого города Воронежа и риск здоровью населения**

¹Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко

²Воронежский государственный университет

³Воронежский государственный университет инженерных технологий

⁴Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина
(Россия, Воронеж)

doi: 10.18411/lj-06-2021-100

Аннотация

На примере промышленно-развитого города Воронежа оценен канцерогенный риск для здоровья населения, обусловленный загрязнением атмосферного воздуха в 2017-2021 годах. С учетом региональных особенностей состава выбросов в атмосферный воздух к приоритетным канцерогенам, требующим систематического контроля и проведения мероприятий по снижению объема выбросов и, соответственно, концентраций в приземном слое атмосферного воздуха, следует отнести 1,3-бутадиен и соединения хрома⁶⁺. Вместе с тем, относительно небольшое число исследований концентраций этих химических веществ вносит существенную неопределенность в оценку риска для здоровья населения. Следует увеличить число ежегодных исследований концентраций этих веществ в атмосферном воздухе.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязнение, канцерогенные риски.

Abstract

On the example of the industrially developed city of Voronezh, the carcinogenic risk to public health was assessed due to atmospheric air pollution in 2017-2021. Taking into account the regional peculiarities of the composition of emissions into the atmospheric air, 1,3-butadiene and chromium⁶⁺ compounds should be classified as priority carcinogens that require systematic monitoring and measures to reduce the volume of emissions and, accordingly, concentrations in the surface layer of atmospheric air. However, the relatively small number of studies on the concentrations of these chemicals introduces significant uncertainty in the assessment of public health risks. The number of annual studies of the concentrations of these substances in the atmospheric air should be increased.

Keywords: atmospheric air, pollution, carcinogenic risks.

Наличие канцерогенов в объектах окружающей среды является одной из приоритетных проблем гигиены и экологии [1, 3]. Анализ структуры и динамики инновационных исследований показывает несомненный научный интерес к изучению данного вопроса [2]. Несмотря на то, что канцерогены имеют беспороговое воздействие на организм человека, контроль соблюдения норм и правил гигиенической и экологической безопасности во многом может снизить канцерогенные риски для здоровья населения [5].

На основе проведения комплексной оценки состояния окружающей среды промышленно-развитого города Воронежа, установлено, что загрязнение атмосферного воздуха вносит приоритетный вклад в риск здоровью населения [4].

В этой связи, оценка канцерогенного риска здоровью населения является актуальной задачей для разработки управленческих решений по снижению воздействия техногенной нагрузки на воздушную среду и первичной профилактике заболеваемости населения.

Целью исследования являлась оценка канцерогенного риска для здоровья населения промышленно-развитого города Воронежа, обусловленного присутствием канцерогенов в атмосферном воздухе.

Материалы и методы исследования. В исследовании использованы фондовые материалы региональной системы социально-гигиенического мониторинга, раздел «Мониторинг уровня загрязнения атмосферного воздуха», ведущегося на базе ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» за 2017-2021 гг., сформирована соответствующая база данных результатов лабораторных исследований на маршрутных постах, разовых наблюдений при подфакельных исследованиях и проведении надзорных мероприятий при контроле соблюдения режимов санитарно-защитных зон предприятий, а также при расследовании обращений (жалоб) населения на неудовлетворительное качество (загрязненность) атмосферного воздуха (рисунок 1).

	A	B	C	D	E	F
	Дата отбора	Причина отбора (пост, х/д, жалоба)	Адрес	Городской район	Среднесуточная или максимально-разовая	Концентрация
1						
2	23-24.01.2017	пост	Московский пр. 36	Коминтерновский	среднесуточные	0,00375
3	24-25.01.2017	пост	Московский пр. 36	Коминтерновский	среднесуточные	0,00375
4	25-26.01.2017	пост	Московский пр. 36	Коминтерновский	среднесуточные	0,00375
5	26-27.01.2017	пост	Московский пр. 36	Коминтерновский	среднесуточные	0,00375
6	27-28.01.2017	пост	Московский пр. 36	Коминтерновский	среднесуточные	0,00375
7	13-14.02.2017	пост	Г. Стратосферы, 8	Левобережный	среднесуточные	0,00375
8	14-15.02.2017	пост	Г. Стратосферы, 8	Левобережный	среднесуточные	0,001
9	15-16.02.2017	пост	Г. Стратосферы, 8	Левобережный	среднесуточные	0,001
10	16-17.02.2017	пост	Г. Стратосферы, 8	Левобережный	среднесуточные	0,001
11	18-19.02.2017	пост	Г. Стратосферы, 8	Левобережный	среднесуточные	0,001
12	20-21.03.2017	пост	20 лет Октября, 94	Ленинский	среднесуточные	0,00375
13	21-22.03.2017	пост	20 лет Октября, 94	Ленинский	среднесуточные	0,00375
14	22-23.03.2017	пост	20 лет Октября, 94	Ленинский	среднесуточные	0,00375
15	23-24.03.2017	пост	20 лет Октября, 94	Ленинский	среднесуточные	0,00375
16	24-25.03.2017	пост	20 лет Октября, 94	Ленинский	среднесуточные	0,00375
17	13-14.03.2017	пост	Матросова, 6	Ленинский	среднесуточные	0,008
18	14-15.03.2017	пост	Матросова, 6	Ленинский	среднесуточные	0,00375
19	15-16.03.2017	пост	Матросова, 6	Ленинский	среднесуточные	0,00375
20	16-17.03.2017	пост	Матросова, 6	Ленинский	среднесуточные	0,00375
21	17-18.03.2017	пост	Матросова, 6	Ленинский	среднесуточные	0,00375
22	06-07.02.2017	пост	Дарвина, 1	Центральный	среднесуточные	0,00375
23	07-08.02.2017	пост	Дарвина, 1	Центральный	среднесуточные	0,00375
24	08-09.02.2017	пост	Дарвина, 1	Центральный	среднесуточные	0,00375
25	09-10.02.2017	пост	Дарвина, 1	Центральный	среднесуточные	0,00375
26	10-11.02.2017	пост	Дарвина, 1	Центральный	среднесуточные	0,00375

Рисунок 1 – Фрагмент сформированной базы данных концентраций канцерогенов в атмосферном воздухе города Воронежа

При отборе проб воздуха и проведении лабораторных исследований использовались поверенные средства измерений (СИ) и испытательное (лабораторное) оборудование (ИО) (таблица 1).

Таблица 1

Сведения об использованных средств измерений (СИ) и испытательном оборудовании (ИО), примененных для отбора и лабораторного исследования проб атмосферного воздуха

№ п/п	Наименование, тип	Заводской номер	Номер в Госреестре	Номер и дата свидетельства о поверке/протокола об аттестации	Срок действия (до)
1	Спектрофотометр СПЕКС ССП-715	0771512/002	40591-09	№13/1040 от 16.03.2020	15.03.2021
2	Спектрометр атомно-абсорбционный "Varian AA 240"	AA0911M010	16496-09	№13/145 от 24.01.2020	23.01.2021

3	Хроматограф жидкостный микро-лоночный “Миличром–6” с ФМД	55	29367-09	№13/1481 от 09.04.2020	08.04.2021
4	Хроматограф “Кристалл-5000.2” с ПИД, ТДС	152508	18482-09	№13/2060 от 14.05.2020	13.05.2021
5	Аспиратор ПУ-4Э	4717	14531-13	клеймо от 03.10.2019	02.10.2020
6	Аспиратор ПУ-3Э	1578	14531-13	клеймо от 12.02.2020	11.02.2021
7	Аспиратор ПУ-3Э	1115	14531-13	клеймо от 20.01.2020	19.01.2021

Условия проведения испытаний (отбор проб воздуха и лабораторные исследования) соответствовали требованиям нормативных документов, выполнены в рамках области аккредитации и приведены в технических записях испытательного лабораторного центра ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области».

В 2017-2019 году отбор проб воздуха проводился специалистами ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области», в 2020-2021 годах - в присутствии профессора О.В. Клепикова, к.м.н. М.К. Кузмичева, и студентки медико-профилактического факультета Е.В. Станишевской (фото 1 и фото 2).

Фото 1. Профессор О.В. Клепиков участвует в отборе проб воздуха в контрольной точке Московский пр., 36

Фото 2. Профессор О.В. Клепиков участвует в отборе проб воздуха в контрольной точке Ленинский пр., 154

За 2017-2020 г. рассчитаны средние арифметические значения концентраций канцерогенов в отдельных точках и по административным районам города Воронежа (6 районов).

Канцерогенный риск оценивался в соответствии с положениями Руководства Р. 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

Алгоритм оценки канцерогенного риска на обоих этапах исследования включал стандартные задачи: 1) идентификация опасности; 2) оценка зависимости «доза-ответ»; 3) оценка экспозиции (расчет средних концентраций канцерогенов на трех типах территорий – на I этапе, расчет средней концентрации в контрольной точке – на II этапе), определение вероятных среднесуточных доз); 4) количественная оценка индивидуального канцерогенного риска для двух возрастных групп населения (дети 6 лет, взрослые).

Индивидуальный канцерогенный риск (ICR) в течение жизни определяется по формуле $ICR = ADD \times SF_i$, где ADD - средняя суточная доза в течение жизни, мг/(кг×день); SF_i - фактор канцерогенного потенциала, мг/(кг×день)⁻¹.

Результаты исследования.

Формальдегид. По показателям средней концентрации формальдегида за исследуемый период (выполнено 778 определений) можно сделать следующие выводы:

максимальное среднегодовое значение концентрации выявлено в 2018 году; наиболее неблагоприятной точкой являлась точка вблизи Левобережных очистных сооружений города Воронежа («ООО ЛОС») в 2020 году ($0,059 \text{ мг/м}^3$); наиболее неблагоприятный административный район по среднему значению концентрации за исследуемый период и по показателю индивидуального канцерогенного риска – Железнодорожный в 2020 году.

Свинец. По показателям средней концентрации свинца за исследуемый период (выполнено 296 определений) можно сделать следующие выводы: максимальное среднегодовое значение концентрации выявлено в 2017 году; наиболее неблагоприятной точкой была «ул. Переверткина, 47» в 2020 году ($0,00012 \text{ мг/дм}^3$); наиболее неблагоприятный район по среднему значению концентрации за исследуемый период и по показателю индивидуального канцерогенного риска – Левобережный.

Сажа. Концентрация сажи в атмосферном воздухе за исследуемый период (выполнено 224 определения) не превышала $0,015 \text{ мг/м}^3$, канцерогенный риск при такой концентрации ниже 1 случая онкологического заболевания на 10 тыс. населения (1×10^{-4}), что ниже предельно-допустимой величины.

3,4-бенз(а)пирен. По показателям средней концентрации 3,4-бенз(а)пирена за исследуемый период (выполнено 15 определений) можно сделать следующие выводы: максимальное среднегодовое значение концентрации выявлено в 2018 году; наиболее неблагоприятной точкой является «ул. Средне-Московская» в 2018 году ($0,0278 \text{ мкг/100 м}^3$); наиболее неблагоприятный район по среднему значению концентрации за исследуемый период и по показателю индивидуального канцерогенного риска – Центральный.

Соединения хрома⁶⁺. Для показателей, полученных при измерениях уровня содержания оксида хрома⁶⁺ в атмосферном воздухе (20 определений), ранжирование списком не имеет значения, так как по данному показателю исследованы две точки Левобережного района города Воронежа (ул. Героев Стратосферы, 8 – промышленная зона вблизи авиационного завода в 2017 году и ул. Ленинский пр., 154 – в 2020 году). Максимум значения данного показателя – $0,00024 \text{ мг/м}^3$, риск – $1,32 \times 10^{-3}$.

1,3 – бутадиен. Установлено, что по 1,3-бутадиену (20 определений) наибольшие индивидуальные канцерогенные риски для взрослого населения ($3,42 \times 10^{-3}$) на селитебной территории вблизи производства синтетического каучука. Величина риска, согласно оценочной шкале, относятся к четвертому диапазону и классифицируются как неприемлемая для населения.

Бензол. По показателям средней концентрации бензола за исследуемый период (677 определений) можно сделать следующие выводы: максимальное среднегодовое значение концентрации выявлено в 2019 году; наиболее неблагоприятной точкой являлась «ул. Остужева, 35» в 2019 году (соответствующее полученное значение – $0,0278 \text{ мг/м}^3$); наиболее неблагоприятный административный район по среднему значению концентрации за исследуемый период и по показателю индивидуального канцерогенного риска – Железнодорожный ($4,74 \times 10^{-5}$).

Стирол. По показателям средней концентрации этилбензола (стирола) за исследуемый период (775 определений) можно сделать следующие выводы: максимальное среднегодовое значение концентрации выявлено в 2019 году; наиболее неблагоприятной точкой была «ул. Хользунова, 99б» ($0,142 \text{ мг/м}^3$); наиболее неблагоприятный административный район по среднему значению за исследуемый период и по показателю индивидуального канцерогенного риска – Коминтерновский.

В целом установлено, что наибольшие индивидуальные канцерогенные риски для взрослого населения отмечаются по 1,3-бутадиену ($3,42 \times 10^{-3}$) и соединениям хрома⁶⁺ ($1,32 \times 10^{-3}$) на селитебной территории вблизи промышленных объектов (производства синтетического каучука и предприятия самолетостроения соответственно). Величины этих рисков, согласно оценочной шкале, относятся к

четвертому диапазону и классифицируются как неприемлемые для населения (таблица 2).

Таблица 2

Индивидуальный канцерогенный риск (ICR) от присутствия канцерогенов в атмосферном воздухе городской территории

Канцероген	Территория		
	Транспортная	Промышленная	Фон
Взрослое население			
Формальдегид	$5,65 \times 10^{-5}$	$5,60 \times 10^{-5}$	$4,79 \times 10^{-5}$
Свинец	$6,55 \times 10^{-7}$	$6,15 \times 10^{-7}$	$5,48 \times 10^{-7}$
Сажа (углерод)	$5,56 \times 10^{-5}$	$9,98 \times 10^{-5}$	$4,43 \times 10^{-5}$
Соединения хрома ⁶⁺	$9,26 \times 10^{-4}$	$1,32 \times 10^{-3}$	нет данных
1,3-бутадиен	$3,23 \times 10^{-3}$	$3,42 \times 10^{-3}$	нет данных
бензол	$2,65 \times 10^{-5}$	$4,74 \times 10^{-5}$	нет данных
Стирол (этилбензол)	$1,31 \times 10^{-7}$	$1,34 \times 10^{-7}$	нет данных
Суммарный индивидуальный канцерогенный риск (ICR)	$4,27 \times 10^{-3}$	$4,90 \times 10^{-3}$	$9,27 \times 10^{-5}$
Детское население (6 лет)			
Формальдегид	$5,05 \times 10^{-6}$	$5,01 \times 10^{-6}$	$4,28 \times 10^{-6}$
Свинец	$5,86 \times 10^{-8}$	$5,50 \times 10^{-8}$	$4,90 \times 10^{-8}$
Сажа (углерод)	$4,97 \times 10^{-6}$	$8,93 \times 10^{-6}$	$3,96 \times 10^{-6}$
Бензол	$2,38 \times 10^{-5}$	$4,27 \times 10^{-5}$	нет данных
Соединения хрома ⁶⁺	$8,28 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-4}$	нет данных
1,3-бутадиен	$2,89 \times 10^{-4}$	$3,06 \times 10^{-4}$	нет данных
Стирол (этилбензол)	$1,17 \times 10^{-8}$	$1,20 \times 10^{-8}$	нет данных
Суммарный индивидуальный канцерогенный риск (ICR)	$3,82 \times 10^{-4}$	$3,38 \times 10^{-4}$	$8,29 \times 10^{-6}$

Для детского населения данные риски ниже, что обусловлено, прежде всего, меньшими значениями продолжительности времени воздействия в формуле расчета доз (для взрослых, согласно рекомендациям расчета среднесуточных доз при ингаляционном поступлении веществ с атмосферным воздухом, принято значение 30 лет, для детей 6 лет – 6 лет).

Как известно, предельно допустимая величина индивидуального канцерогенного риска составляет 1×10^{-4} , т.е. 1 дополнительный случай онкологического заболевания на 10000 населения. С учетом региональных особенностей состава выбросов в атмосферный воздух к приоритетным канцерогенам, требующим систематического контроля и проведения мероприятий по снижению объема выбросов и, соответственно, концентраций в приземном слое атмосферного воздуха, следует отнести 1,3-бутадиен и соединения хрома⁶⁺. Данные вещества в зависимости от территории (транспортная или промышленная) вносят соответственно 69,9-75,7% и 21,7-26,9% в суммарные величины индивидуального канцерогенного риска (от $4,27 \times 10^{-3}$ до $4,90 \times 10^{-3}$ для взрослого населения, от $3,38 \times 10^{-4}$ до $3,82 \times 10^{-4}$ для детей 6 лет).

По остальным лабораторно контролируемым канцерогенам (формальдегид, свинец, сажа, стирол) риски не превышают предельно допустимой величины. Вместе с тем, сравнительный анализ данных имеет существенные неопределенности из-за малого числа исследований концентраций соединений хрома⁶⁺, 1,3-бутадиена, 3,4-бенз-а-пирена.

Как и для любого исследования, процесс и результат оценки канцерогенного риска для здоровья населения имеет неопределенности, которые в нашей работе связаны с применением стандартных формул расчета доз без учета индивидуальных особенностей организма и принятого времени пребывания в месте экспозиции (24 часа в сутки), отсутствием возможности дифференцирования концентраций веществ в атмосферном воздухе и в воздухе помещений, дискуссионным вопросом репрезентативности данных мониторинга и, прежде всего, ограниченным числом контрольных точек систематических наблюдений и выполненных в них определений концентраций веществ, а также ограниченным перечнем лабораторно контролируемого содержания канцерогенов в воздушной среде.

*Исследование выполнено в рамках проекта РНФ №20-17-00172
«Урбоэкодиагностика состояния воздушной среды крупных промышленных городов
Центрального Черноземья: воздействие шумового фактора, канцерогенные риски и
обеспечение экологической безопасности».*

1. Боев В.М., Зеленина Л.В., Кряжев Д.А., Тулина Л.М., Неплохов А.А. Анализ канцерогенного риска при воздействии факторов окружающей среды на здоровье населения крупного промышленного города и заболеваемость злокачественными новообразованиями // Здоровье населения и среда обитания. 2016. №6 (279). С. 4-7.
2. Евдокимов В.И., Попов В.И. Анализ структуры и динамики инновационных исследований в сфере гигиены в 1995-2010 гг. // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2012. № 3. С. 87-91.
3. Евдокимов В.И., Попов В.И., Рут А.Н. Проблемы инновационных исследований в гигиене // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 9. С. 5-8.
4. Клепиков О.В., Самойлов А.С., Ушаков И.Б., Попов В.И., Куролап С.А. Комплексная оценка состояния окружающей среды промышленного города // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 8. С. 686-692.
5. Кутьков В.А., Панфилов А.П., Кочетков О.А., Попов В.И., Поленов Б.В., Ярына В.П. Контроль соблюдения требований норм и правил // АНРИ. 2001. № 3 (26). С. 14-15.