

УДК 614.7

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И АЭРОТЕХНОГЕННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

© Т.В. Хорпякова, О.М. Пасечная

Ключевые слова: загрязнение атмосферы; канцерогенный риск; неканцерогенный риск.

Проведена экологическая оценка аэротехногенного риска для здоровья населения промышленного города по данным лабораторного контроля концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Неприемлемый уровень неканцерогенного риска выявлен для 8 из 19 контролируемых веществ (диоксид азота, акрилонитрил, взвешенные вещества, акролеин, 1,3-бутадиен, оксид меди, хром шестивалентный, марганец). Высокий уровень индивидуального канцерогенного риска отмечен по воздействию 1,3-бутадиена, хрома шестивалентного, акрилонитрила и сажи.

ВВЕДЕНИЕ

Нерациональное размещение производственных сил, несовершенство технологий производства и очистки выбросов, рост численности автотранспорта создали опасные для здоровья населения уровни загрязнения атмосферного воздуха, особенно в крупных промышленных городах, в т. ч. и в г. Воронеже [1–3].

Комплексная оценка риска здоровью населения г. Воронежа при воздействии химических факторов, загрязняющих среду обитания, показала, что наибольший вклад в суммарный многосредовой канцерогенный риск для населения г. Воронежа вносят канцерогены, содержащиеся в атмосферном воздухе (74,57 %), главным образом, за счет 1,3-бутадиена (67,22 %) и хрома шестивалентного (28,48 %) [4].

В этой связи актуальность проведения исследований по оценке риска для здоровья населения, обусловленного воздействием загрязнителей атмосферного воздуха, не вызывает сомнений, поскольку их результаты необходимы для планирования мероприятий по охране воздушной среды.

Целью исследования являлась оценка аэротехногенного риска для здоровья населения, обусловленного воздействием загрязнителей атмосферного воздуха промышленно развитого г. Воронежа.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Городской округ город Воронеж как муниципальное образование включает в себя городские районы и микрорайоны. Площадь территории городского округа г. Воронежа составляет 590,43 км². Численность населения на начало 2010 г. составляет 928 тыс. 505 человек [4]. Город имеет разветвленную и достаточно сложную инженерно-транспортную, промышленную структуру, зоны селитебной застройки и рекреационно-парковых комплексов, в совокупности обеспечивающих относительно высокий уровень техногенного воздействия на воздушный бассейн и население.

Из 343 загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух г. Воронежа, 49 веществ определены как приоритетные, в т. ч. 30 из них обладают канцерогенными свойствами [5].

Критериями приоритетности являлись:

- вещества, обладающие канцерогенным действием;
- вещества, совокупный вклад которых в валовый выброс составляет до 95 %;
- вещества, включенные в перечни приоритетных химических веществ в соответствии с ЕС, РФ, U.S. EPA;
- индексы сравнительной канцерогенной и неканцерогенной опасности.

Качество атмосферного воздуха на территории г. Воронежа оценивалось по данным лабораторных исследований ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» в 5 мониторинговых точках (маршрутных постах) за 2007–2011 гг.

В мониторинговых точках контроля определяются концентрации 19 из 49 приоритетных веществ, 9 из которых относятся к веществам 1–2 классов опасности, 5 веществ (хром шестивалентный, формальдегид, акрилонитрил, 1,3-бутадиен, сажа) являются канцерогенными для человека [5].

На первом этапе работы результаты лабораторных исследований сравнивались с максимально разовыми и среднесуточными предельно допустимыми концентрациями (ПДК_{м.р.} и ПДК_{с.с.}), установленными для воздуха населенных мест [5].

На втором этапе для количественной оценки канцерогенного и неканцерогенного риска здоровью населения применены методы, закрепленные руководством Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (утверждено главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 05.03.2004 г.) [6].

Следует отметить, что риск хронического воздействия методически наиболее правильно оценивать по среднесуточным концентрациям. В этой связи в сложившихся условиях, когда среднесуточные концентра-

ции определялись на маршрутных постах наблюдения ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области», начиная с 2009 г. при оценке риска использованы средние арифметические значения среднесуточных концентраций веществ за 2009–2011 гг.

Канцерогенный риск (CR) в течение жизни определяется по формуле (1):

$$CR = ADD \times SF, \quad (1)$$

где ADD – средняя суточная доза в течение жизни, мг/(кг·день); SF – фактор канцерогенного потенциала, мг/(кг·день)⁻¹.

При этом для оценки экспозиции избран основной путь поступления загрязняющих веществ в организм – ингаляционный. Средняя суточная доза (ADD) рассчитывалась для взрослого населения согласно рекомендациям, изложенным в руководстве Р 2.1.10.1920–04 [6].

Для характеристики неканцерогенного риска от воздействия химических веществ на организм использован коэффициент опасности (HQ), рассчитываемый как отношение фактической концентрации вредного вещества (C_i) к референтной (безопасной) концентрации (RfC_i). Величина $HQ > 1$ свидетельствует о вероят-

ности возникновения вредных токсических эффектов в организме.

При однонаправленном воздействии веществ на органы и системы рассчитывался индекс опасности (HI) по формуле (2):

$$HI = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n, \quad (2)$$

где $HQ_{1...n}$ – коэффициенты опасности для отдельных веществ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно данным формы государственной статистической отчетности «Сведения об охране атмосферного воздуха (2ТП-воздух (2010 г.)), предоставленным Управлением Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Воронежской области, в атмосферный воздух г. Воронежа от организованных источников поступает 343 загрязняющих вещества, общим объемом выбросов 11521,9 т/год. Приоритетными вкладчиками в загрязнение воздушного бассейна города являются предприятия теплоэнергетики (ТЭЦ-1 АО

Таблица 1

Перечень загрязняющих веществ, совокупный вклад которых в общий объем выбросов составляет 95 %
(по материалам Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области)

№ п/п	Вещество	Класс опасности	Выброс вещества, т/год	Удельный вес в общем объеме выбросов, %	Ранг
1	Углерода оксид	4	2940,127	25,5175	1
2	Азота диоксид	3	2843,616	24,6799	2
3	Ангидрид сернистый (Серы диоксид)	3	1150,608	9,98618	3
4	Метан	ОБУВ ^{*)}	751,5114	6,5224	4
5	Азота оксид	3	456,7233	3,96392	5
6	Зола углей (20 % < SiO ₂ < 70 %)	ОБУВ	426,129	3,69839	6
7	Пыль неорганическая: 70–20 % SiO ₂	3	256,2676	2,22416	7
8	Гексан	4	224,6162	1,94945	8
9	Взвешенные вещества	3	177,3863	1,53954	9
10	Уайт-спирит	ОБУВ	176,4234	1,53119	10
11	Бензин нефтяной	4	175,3611	1,52197	11
12	Толуол	3	164,9691	1,43178	12
13	Ксилол	3	163,1439	1,41593	13
14	Спирт этиловый	4	157,4364	1,3664	14
15	Циклогексан	4	124,2506	1,07838	15
16	Гептановая фракция Нефрас ЧС 94/99	ОБУВ	114,8543	0,99683	16
17	Аммиак	4	93,25793	0,80939	17
18	Пыль древесная	ОБУВ	93,25515	0,80937	18
19	Керосин	ОБУВ	85,05309	0,73818	19
20	Железа оксид (в пересчете на железо)	3	84,69752	0,73509	20
21	Ацетон	ОБУВ	77,09818	0,66914	21
22	1,3-Бутадиен (Дивинил)	4	73,27174	0,63593	22
23	Сажа	3	55,67804	0,48323	23
24	Углеводороды предельные C ₁₂ –C ₁₉	4	47,15558	0,40927	24
25	Бутилацетат	4	46,03369	0,39953	25

Примечание: *) – ОБУВ – ориентировочный безопасный уровень воздействия (класс опасности для данного вещества не определен, нормирование проводится по ОБУВ).

Таблица 2

Удельный вес проб атмосферного воздуха, превышающих ПДК, на маршрутных постах наблюдения, %
(по материалам Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области)

Маршрутный пост наблюдения и источник загрязнения	Годы					Динамика к 2010 г.
	2007	2008	2009 ^{*)}	2010 ^{*)}	2011 ^{*)}	
ул. Героев Стратосферы, 8 (автотранспорт и промышленность)	1,6	2,3	8,9	4,5	6,7	↑
ул. Матросова, 6 (автотранспорт)	1,3	2,5	4,4	10,6	8,0	↓
ул. 20 лет Октября, 94 (автотранспорт)	2,5	0,8	5,4	8,1	14,6	↑
Московский пр., 36 (автотранспорт и промышленность)	0,8	1,8	8,4	10,9	9,09	↓
ул. Дарвина, 1 (фоновый мониторинг)	0	0	0	2,4	1,8	↓
В целом по постам	1,4	1,6	5,6	7,3	8,0	↑

Примечание: *) – определялись среднесуточные концентрации.

Таблица 3

Удельный вес исследований приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, не отвечающих
гигиеническим нормативам (%) (по материалам Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области)

Загрязняющие вещества	Годы					Ранг 2011 г.	Динамика к 2010 г.
	2007	2008	2009 ^{*)}	2010 ^{*)}	2011 ^{*)}		
Углерода оксид	0,7	0	0	0	0	9	↑↓
Серы диоксид	0,3	0	3,0	6,9	7,0	4	↑
Азота диоксид	3,0	2,5	24,0	59,7	32,0	1	↓
Взвешенные вещества	1,3	0	20,0	12,5	17,0	2	↑
Фенол	2,7	4,3	4,0	13,9	7,0	5	↓
Формальдегид	0,3	0	1,0	5,6	5,6	6	↑↓
Меди оксид	5,7	9,0	4,0	0	5,0	7	↑
Озон	0	0	0	1,4	12,0	3	↑
Стирол	0	0	0	0	2,5	8	↑

Примечание: *) – определялись среднесуточные концентрации.

«Воронежэнерго», ТЭЦ-2 АО «Воронежэнерго», МП «Воронежтеплосеть»), производство синтетического каучука (ОАО «Воронежсинтезкаучук»), производство самолетов (ОАО «Воронежское акционерное самолетостроительное общество»), в совокупности поставляющие более 50 % выбросов в атмосферный воздух г. Воронежа.

К химическим веществам, совокупный вклад которых в валовый выброс составляет 95 %, отнесены 25 загрязнителей (табл. 1).

Анализ результатов исследований атмосферного воздуха на маршрутных постах ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» свидетельствует об увеличении доли проб, не отвечающих гигиеническим нормативам, с 1,4 % в 2007 г. до 8,0 % в 2011 г. (табл. 2).

Данная ситуация в определенной мере связана с переходом в 2009 г. на определение среднесуточных концентраций веществ. До 2009 г. определялись только максимально разовые концентрации. В то же время рост удельного веса исследований, превышающих ПДК, в 2011 г. относительно данных 2009 г. и 2010 г. говорит об ухудшении качества атмосферного воздуха. Наиболее неблагоприятная ситуация сложилась в районе размещения маршрутного поста на ул. 20 лет Октября, 94 за счет высокой автотранспортной нагрузки:

превышения гигиенических нормативов отмечаются в 14,6 % исследований.

Приоритетными загрязняющими веществами, концентрации которых в 2011 г. превышали гигиенические нормативы в атмосферном воздухе, являлись серы диоксид, взвешенные вещества, азота диоксид, фенол, формальдегид, меди оксид, озон, стирол (табл. 3).

Относительно 2010 г. отмечается рост удельного веса проб, не соответствующих гигиеническим нормативам, по диоксиду серы, взвешенным веществам, озону, оксиду меди, а также стиролу, концентрации которого ранее не превышали ПДК.

Ранжирование загрязняющих веществ в 2011 г. по удельному весу проб, не отвечающих гигиеническим нормативам, показало, что первое ранговое место занимает диоксид азота.

В 2009–2011 гг. концентрации загрязняющих атмосферный воздух веществ в мониторинговых точках контроля превысили ПДК_{сс} в 1,1–5,0 раз.

На основании результатов лабораторных исследований состояния атмосферного воздуха в мониторинговых точках контроля за 2011 г. рассчитаны показатели суммарного загрязнения атмосферного воздуха ($K_{атм}$), которые по средним арифметическим значениям среднесуточных концентраций составили от 2,96 до 4,8 (2010 г.: от 2,42 до 4,49), а по максимальным значениям

среднесуточных концентраций – от 4,97 до 10,15 (2010 г.: от 3,78 до 7,61).

Результаты оценки канцерогенного риска от воздействия канцерогенных веществ (сажи, формальдегида, акрилонитрила, хрома шестивалентного, свинца, стирола, 1,3-бутадиена), поступающих в организм человека ингаляционным путем, свидетельствуют, что уровень индивидуального канцерогенного риска по стиrolу относится к первому диапазону рисков (равный или менее $1 \cdot 10^{-6}$), определен как пренебрежимо малый, не требующий принятия мер по его снижению и подлежащий периодическому контролю. Уровни индивидуального канцерогенного риска, обусловленные воздействием формальдегида (от $1,87 \cdot 10^{-5}$ до $3,78 \cdot 10^{-5}$) и свинца ($2,14 \cdot 10^{-6}$), не превышают рекомендуемую безопасную величину ($1 \cdot 10^{-4}$).

В то же время индивидуальный канцерогенный риск в течение всей жизни в диапазоне более $1 \cdot 10^{-4}$, но менее $1 \cdot 10^{-3}$, который характеризуется как неприемлемый для населения, отмечается по ингаляционному воздействию сажи – $1,07 \cdot 10^{-4}$ и акрилонитрила – $3,29 \cdot 10^{-4}$. Самые высокие уровни канцерогенного риска (более $1 \cdot 10^{-3}$) отмечаются по воздействию 1,3-бутадиена и хрома шестивалентного, составляют $7,19 \cdot 10^{-3}$ и $3,05 \cdot 10^{-3}$ соответственно и характеризуются как неприемлемые ни для населения, ни для профессиональных групп.

При этом наиболее неблагоприятная ситуация складывается в районе расположения поста по ул. Г. Стратосферы, 8 в жилебной территории, подвергающейся воздействию выбросов как промышленных источников, так и автотранспорта. Здесь отмечаются высокие уровни канцерогенного риска от воздействия 1,3-бутадиена и хрома шестивалентного (более $1 \cdot 10^{-3}$), акрилонитрила (более $1 \cdot 10^{-4}$, но менее $1 \cdot 10^{-3}$). Аналогичная ситуация прослеживается и в районе расположения поста по ул. Матросова, 6 от воздействия сажи (более $1 \cdot 10^{-4}$, но менее $1 \cdot 10^{-3}$), что отражают данные в табл. 4.

Результаты ранжирования значений индивидуального канцерогенного риска от аэротехногенных химических загрязнителей в среднем по городу свидетельствуют об имеющей место канцерогенной опасности по воздействию 1,3-бутадиена, соединений хрома шестивалентного, акрилонитрила и сажи (табл. 5).

Помимо канцерогенного эффекта 1,3-бутадиен обладает гонадотропным, тератогенным, мутагенным действием; акрилонитрил – эмбриотропным, гонадотропным, тератогенным и мутагенным действием. В этой связи мониторинг концентраций данных веществ имеет высокую актуальность.

Расчеты неканцерогенного риска (НҚ) показали, что из 19 контролируемых веществ неприемлемый уровень риска (НҚ > 1) отмечается от воздействия диоксида азота, акрилонитрила, взвешенных веществ, акролеина, 1,3-бутадиена, оксида меди, хрома шестивалентного, марганца. По остальным веществам НҚ < 1.

Индексы опасности (НИ) более допустимого значения (НИ > 1) определены при воздействии на органы дыхания, кроветворную систему, сердечно-сосудистую систему.

Таблица 4

Индивидуальный канцерогенный риск для здоровья взрослого населения

Маршрутный пост и источник загрязнения	Вещество	Индивидуальный канцерогенный риск (ICR) *)
ул. Героев Стратосферы, 8 (автотранспорт и промышленность)	акрилонитрил	$3,29 \cdot 10^{-4}$
	1,3 бутадиен	$7,19 \cdot 10^{-3}$
	стирол	$5,48 \cdot 10^{-7}$
	формальдегид	$2,65 \cdot 10^{-5}$
	хром ⁺⁶	$3,05 \cdot 10^{-3}$
ул. Матросова, 6 (автотранспорт)	сажа	$1,07 \cdot 10^{-4}$
	свинец	$2,14 \cdot 10^{-6}$
	формальдегид	$1,87 \cdot 10^{-5}$
ул. 20 лет Октября, 94 (автотранспорт)	стирол	$5,48 \cdot 10^{-7}$
	формальдегид	$2,48 \cdot 10^{-5}$
Московский пр., 36 (автотранспорт и промышленность)	формальдегид	$3,78 \cdot 10^{-5}$
ул. Дарвина, 1 (новый мониторинг)	формальдегид	$3,78 \cdot 10^{-5}$

Примечание: *) Величина ICR > $1 \cdot 10^{-4}$ (т. е. более одного случая онкологического заболевания среди 10000 населения) – неприемлемый уровень риска.

Таблица 5

Индивидуальный канцерогенный риск для здоровья взрослого населения (усредненные по городской территории данные)

Вещество	Индивидуальный канцерогенный риск (ICR) по средне-территориальной концентрации	Уровень риска	Ранг
1,3-бутадиен	$7,2 \cdot 10^{-3}$	неприемлемый ни для населения, ни для профессиональных групп	1
Хром шестивалентный	$3,05 \cdot 10^{-3}$	неприемлемый ни для населения, ни для профессиональных групп	2
Акрилонитрил	$3,3 \cdot 10^{-4}$	неприемлемый для населения	3
Сажа	$1,07 \cdot 10^{-4}$	неприемлемый для населения	4
Формальдегид	$2,1 \cdot 10^{-5}$	не превышает рекомендуемую безопасную величину ($1 \cdot 10^{-4}$)	5
Свинец	$2,1 \cdot 10^{-6}$	не превышает рекомендуемую безопасную величину ($1 \cdot 10^{-4}$)	6
Стирол	$5,5 \cdot 10^{-7}$	пренебрежимо малый, не требующий принятия мер по его снижению	7

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Оценка канцерогенного риска для здоровья населения, проведенная по имеющимся результатам лабораторных исследований качества атмосферного воздуха в мониторинговых точках контроля, показала, что неприемлемые уровни индивидуального канцерогенного риска отмечаются по воздействию 1,3-бутадиена, хрома шестивалентного, акрилонитрила и сажи.

Расчеты неканцерогенного риска показали, что неприемлемый уровень риска ($HQ > 1$) отмечается от воздействия азота диоксида, акрилонитрила, взвешенных веществ, акролеина, 1,3-бутадиена, меди оксида, хрома шестивалентного, марганца. При оценке одностороннего воздействия веществ установлено, что неприемлемый уровень канцерогенного риска ($HI > 1$) характерен для органов дыхания, кровотоковой системы, сердечно-сосудистой системы.

Анализ существующей системы мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Воронежа показал, что она требует своего совершенствования. В настоящее время контроль ведется по ограниченному перечню веществ (19 ингредиентов из 49 приоритетных), что не позволяет в полной мере проводить достоверную оценку степени опасности химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, для здоровья населения.

С целью повышения достоверности оценки риска для здоровья населения от воздействия приоритетных веществ, поступающих в атмосферный воздух г. Воронежа, необходимо разработать сводный том предельно допустимых выбросов (ПДВ), включающий результаты моделирования концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха (в настоящее время ПДВ разработаны для отдельных хозяйствующих субъектов). При этом необходимо сочетание анализа данных мониторинга с результатами моделирования уровня загрязнения воздушной среды, что позволит более аргументировано и адекватно разрабатывать

профилактические мероприятия по снижению и достижению безопасных для здоровья населения г. Воронежа уровней экспозиции аэротехногенных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бережнова Т.А., Мамчик Н.П., Клепиков О.В. Загрязнение атмосферного воздуха как угроза безопасности жизнедеятельности населения // Системный анализ и управление в биомедицинских системах: журнал практической и теоретической биологии и медицины. 2011. Т. 10. № 1. С. 37-39.
2. Куропан С.А., Епринцев С.А., Клепиков О.В. [и др.]. Воронеж: среда обитания из зоны экологического риска. Воронеж: Изд-во «Истоки», 2010. 207 с.
3. Платунин А.В., Клепиков О.В., Коллет И.В., Заряева Е.В. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха // Журнал теоретической и практической медицины. М., 2009. Т. 7. № 4. С. 496-501.
4. Доклад о санитарно-эпидемиологической обстановке в Воронежской области в 2011 году. Воронеж: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области, 2012. 177 с.
5. ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест». М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 77 с.
6. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920-04). М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.

Поступила в редакцию 15 сентября 2012 г.

Khorpyakova T.V., Pasechnaya O.M. ASSESSMENT OF AIR POLLUTION LEVEL AND AIR-TECHNOGENIC HEALTH RISK FOR POPULATION

The ecological assessment of air-technogenic risk for health of population of industrial city according to laboratory control of concentrations of pollutants in the air is conducted. Unacceptable level of non-cancer risk was found for 8 out of 19 controlled substances (nitrogen dioxide, acrylonitrile, suspended matter, acrolein, 1,3-butadiene, copper oxide, hexavalent chromium, manganese). High level of individual cancer risk was observed for effects of 1,3-butadiene, hexavalent chromium, acrylonitrile, and carbon black.

Key words: air pollution; carcinogenic risk; non-cancer risk.

УДК 502.5

РАЗМЫШЛЕНИЯ ОБ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

© Р.В. Шарапов

Ключевые слова: эколого-геологическая система; экология; природно-техническая система.

Рассматриваются вопросы использования понятия «эколого-геологическая система», как расширенного взгляда на проблемы создания и эксплуатации технических систем за счет учета их взаимодействия с геологической средой. Дается понятие эколого-геологической системы. Проводится сравнение природно-технической, лито-технической и эколого-геологической систем. Рассматриваются виды и границы эколого-геологических систем. Обсуждаются вопросы исследования эколого-геологических систем, их воздействия на литосферу и биоту.

ВВЕДЕНИЕ

С давних пор человечество строит конструкции, здания, сооружения, предприятия и т. д., представляющие собой сложные технические системы. Все они

тщательно проектируются, проводится изучение места строительства (чаще всего верхних слоев литосферы и климатических условий). Сооружаемые технические системы с каждым годом становятся все более и более крупными и сложными [1]. Появились такие гигант-