

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА ГОРОДА ВОРОНЕЖА

Л.Н. Костылева, С.И. Корыстин, С.А. Куролап

*Воронежская государственная технологическая академия, Россия
Воронежский государственный университет, Россия*

Поступила в редакцию 21 мая 2009 г.

Аннотация: Проведена экологическая оценка состояния воздушного бассейна г. Воронежа в мониторинговых точках контроля за 5-летний период (2004-2008 годы). Выявлены приоритетные загрязняющие вещества, закономерности сезонной динамики загрязнения атмосферы и зоны различного экологического риска для населения, обусловленного аэрогенным фактором.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязнение, экологическая оценка, концентрация вещества.

Abstract: There has been done an ecological assessment of air quality in the Voronezh city in monitoring control points in the last 5 years (2004-2008). Priority pollutants, the patterns of seasonal dynamics of atmospheric pollution and areas of population ecological risk due to aerogenic factor are revealed.

Key words: air, pollution, ecological assessment, substance concentration.

Загрязнение атмосферного воздуха – одна из важнейших экологических проблем современных промышленных городов. На фоне возрастающего техногенного загрязнения среды обитания урбанизированных регионов отчетливо проявляются негативные процессы, связанные со значительным ущербом здоровью горожан, материально-техническим объектам (зданиям, промышленному и транспортному оборудованию, коммуникациям, промышленной продукции), а также зеленым насаждениям [1]. Это повышает актуальность исследований по выявлению приоритетных загрязняющих веществ в атмосфере городов и особенностям их динамики в сезонном аспекте.

Целью настоящего исследования является анализ закономерностей сезонной динамики приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе крупного промышленно-развитого города и выявление зон экологического риска, обусловленного аэрогенным фактором. В качестве объекта исследования выбран город Воронеж, являющийся типичным для России крупным промышленным

центром Центрального Черноземья, в котором проживает около 1 млн. человек. Город имеет разнообразную и насыщенную промышленную и социально-экономическую инфраструктуру, значительный автотранспортный парк, создающие существенную эмиссию загрязняющих веществ в атмосферу.

Методический подход к исследованию качества воздушного бассейна основан на детальном анализе структуры и сезонной динамики загрязнения по ключевым точкам (маршрутным постам наблюдения), расположенным на техногенно-загрязненных территориях, а также в рекреационном «условно-чистом» микрорайоне агроуниверситета.

Среди параметров качества воздуха нами выбраны средние концентрации 8 основных контролируемых ингредиентов ($\text{мг}/\text{м}^3$), в том числе 2 класса опасности (формальдегид, фенол, оксид меди, акролеин); 3 класса опасности (пыль /взвешенные вещества/, диоксид серы, диоксид азота); 4 класса опасности (оксид углерода). Эти вещества – объект постоянных мониторинговых наблюдений, осуществляемых Центром гигиены и эпидемиологии в

Воронежской области [5], предоставившим исходные данные за 5-летний период (2004-2008 гг.) по 5 маршрутным постам наблюдения: ул. Героев стратосферы (Левобережный район); ул. Матросова (Советский район); ул. 20-летия Октября (Ленинский район); Московский пр. (Коминтерновский район); ул. Дарвина (Центральный район).

Анализ аэрогенного загрязнения городской среды осуществлен по принятым методикам расчета индексов загрязнения атмосферы [2]. Так, алгоритм расчета парциального индекса загрязнения атмосферного воздуха (I_n) следующий:

$$I_n = (C_i / \text{ПДК}_i)^k, \quad (1)$$

где C_i – среднегодовая концентрация i -вещества; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -вещества; k – коэффициент изоэффективности (константа), принимающий значения 1,5; 1,3; 1; 0,85 соответственно для веществ 1, 2, 3, 4 классов опасности.

Комплексная оценка загрязнения атмосферного воздуха проводилась по интегральному показателю загрязнения атмосферы ($K_{\text{атм}}$), рассчитанному по формуле К.А. Буштуевой [1]:

$$K_{\text{атм}} = \sum \left(\frac{C_1}{N_1 \text{ПДКС}_1} + \frac{C_2}{N_2 \text{ПДКС}_2} + \dots + \frac{C_n}{N_n \text{ПДКС}_n} \right) \quad (2)$$

где $C_{1,2,n}$ – среднегодовая концентрация i -вещества; $\text{ПДКС}_{1,2,n}$ – предельно допустимая концентрация C_i – вещества; $N_{1,2,n}$ – коэффициент (константа), величина которого зависит от класса опасности вещества: для I класса – 1, для II класса – 1,5, для III класса – 2, для IV класса – 4; n – число веществ.

По данным городских природоохранных ведомств основной вклад в загрязнение атмосферы вносят транспортный комплекс (более 80%) и предприятия теплоэнергетики, химической про-

мышленности [5]. В атмосферный воздух города загрязняющие вещества поступают более чем от 12000 стационарных источников. Ведущими стационарными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются ТЭЦ-1 «Воронежэнерго» (производство и распределение электроэнергии), ОАО «Воронежсинтезкаучук», ОАО «Амтел–Черноземье» (химическое производство), АООТ «ВАСО» (производство транспортных средств и оборудования), ОАО «Электроприбор» (производство электрооборудования), ОАО «Тяжэкс», ФГУП «Воронежский механический завод» (производство машин и оборудования), ОАО «Комбинат мясной Воронежский» (пищевая промышленность), ОАО «Финист–Парфюмер», формирующие зоны стабильного аэротехногенного, преимущественно углеводородного загрязнения.

В структуре выбросов подавляющая доля (около 80,3%) приходится на газообразные и жидкие загрязняющие вещества. Основное загрязнение связано с выбросами диоксида серы (топливно-энергетический комплекс), диоксида азота, фенола и формальдегида (выбросы автотранспорта, химического производства, пищевой промышленности).

Анализ общей динамики загрязнения атмосферного воздуха по мониторинговым точкам показал, что за 5 лет ситуация в целом стабильна, однако после кратковременного улучшения качества атмосферы и спада удельного веса неудовлетворительных проб (2005 г.) начался медленный подъем (2006-2008 гг.), что вызывает беспокойство (таблица 1). При этом увеличился удельный вес проб воздуха, не отвечающих гигиеническим нормативам, на маршрутных постах по ул. Героев стратосферы (с 0,2 до 2,3%), Матросова (с 0,9 до 2,5%), Московскому проспекту (с 0,9 до 1,8%), а интегральный индекс загрязнения атмосферы по 8 веществам ($K_{\text{атм}}$) сохраняется стабильно высоким

Таблица 1

Качество атмосферного воздуха в мониторинговых точках контроля (по данным Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области)

Маршрутный пост наблюдения	Удельный вес проб, превышающих ПДК (%)					$K_{\text{атм}}$
	2004	2005	2006	2007	2008	
ул. Героев стратосферы, 8	1,0	0,2	1,4	1,6	2,3	6,02
ул. Матросова, 6	4,3	0,9	2,0	1,3	2,5	5,88
ул. 20-летия Октября, 94	нет данных	3,8	1,9	2,5	0,8	6,00
Московский пр., 36	1,8	0,9	0,5	0,8	1,8	5,77
ул. Дарвина, 1	нет данных	0	0	0	0	3,48
Итого по всем постам	2,5	0,8	1,3	1,4	1,6	5,43

в промышленном левобережном секторе города вблизи ТЭЦ-1 и ОАО «Воронежсинтезкаучук». В то же время следует отметить сокращение числа веществ, по которым в 2008 г. регистрировались превышения ПДК. Так, если в 2007 г. повышенные уровни загрязнения атмосферного воздуха отмечались по 7 веществам (оксиду меди, диоксиду азота, фенолу, пыли, оксиду углерода, диоксиду серы, формальдегиду), то в 2008 г. – только по 3 веществам (диоксиду азота, фенолу, оксиду меди). Рост загрязнения атмосферы связан с увеличением автотранспортного парка. Всего на территории города зарегистрировано около 310 тысяч единиц транспортных средств, из них три четверти автомобилей находятся в эксплуатации более пяти лет.

При изучении качества городской атмосферы большой интерес представляет рассмотрение се-

зонных колебаний концентраций в воздухе различных вредных примесей. Общая закономерность динамики загрязняющих веществ определяется работой промышленно-транспортного комплекса и сезонной изменчивостью синоптических процессов, влияющих на рассеивающую способность атмосферы [4]. Так, значительное увеличение в холодное время года поступления в атмосферу диоксида серы и взвешенных частиц вызвано работой тепловых сетей, котельных и изменением топливного баланса в теплоэнергетической промышленности (увеличение доли угля и мазута в качестве топлива на ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, котельных ВГК «Тепловые сети» и других предприятиях).

Существенное влияние на условия рассеивания загрязняющих веществ оказывает микроклимат Воронежа (ветровой режим, частота приземных инверсий). С учетом динамики этих атмосфер-

Таблица 2

Сезонные индексы загрязнения атмосферы по маршрутным постам наблюдения *

Сезоны	Парциальные индексы загрязнения атмосферы (I _п)								Комплексный индекс (K _{атм})
	оксид углерода	диоксид серы	диоксид азота	формальдегид	пыль	фенол	оксид меди	акролеин	
Пост : ул. Героев стратосферы, 8									
Зима	0,63	1,84	1,52	3,46	0,57	2,90	0,02	0,80	5,94
Весна	0,59	1,98	0,68	3,58	0,67	1,45	0,41	1,27	5,60
Лето	0,88	2,26	2,25	4,91	0,82	2,10	0,16	1,11	7,21
Осень	0,60	2,58	0,70	2,46	0,68	1,41	0,57	0,87	5,35
Пост : ул. Матросова, 6									
Зима	0,51	1,56	1,12	3,70	0,73	1,41	1,62	0,87	6,07
Весна	0,65	2,11	1,11	1,74	1,03	1,18	0,12	0,87	4,78
Лето	0,80	1,30	1,18	1,89	0,84	2,15	0,16	0,87	4,91
Осень	0,56	3,42	2,38	5,74	0,75	2,10	0,02	0,87	7,76
Пост : ул. 20 лет Октября, 94									
Зима	0,52	0,46	0,83	0,34	0,39	1,04	0,30	0,40	2,52
Весна	0,76	4,07	1,66	2,04	1,09	1,99	0,08	0,83	6,56
Лето	0,79	2,29	1,59	3,06	1,79	1,09	0,26	0,94	6,18
Осень	0,71	4,61	1,60	7,07	1,60	1,65	0,12	0,81	8,75
Пост : Московский пр., 36									
Зима	0,55	1,81	1,22	4,17	0,73	1,60	0,26	0,87	5,79
Весна	0,63	3,50	1,19	1,84	0,74	1,65	0,12	0,88	5,64
Лето	0,76	1,82	2,16	5,80	1,05	1,94	0,08	0,97	7,13
Осень	0,55	1,81	1,22	4,17	0,73	1,60	0,26	0,87	4,53
Пост : ул. Дарвина, 1									
Зима	0,46	0,94	1,08	1,41	0,48	0,59	0,02	0,76	3,24
Весна	0,60	1,00	0,60	1,94	0,53	1,00	0,08	0,87	3,68
Лето	0,59	1,10	1,45	1,45	0,59	0,59	0,08	0,87	3,74
Осень	0,54	1,05	0,61	1,36	0,57	0,71	0,05	0,90	3,27

* Жирным шрифтом выделены значения I_п > 1.



Рис. 1. Сезонная динамика загрязнения атмосферы ($I_{п}$) в жилительно-промышленном микрорайоне (пост наблюдения по ул. Героев стратосферы, 8)



Рис. 2. Сезонная динамика загрязнения атмосферы ($I_{п}$) в жилительно-транспортном микрорайоне (пост наблюдения по ул. Матросова, 6)

ных факторов экологически неблагоприятным следует считать теплый период года (особенно август-сентябрь), когда снижается рассеивающая способность атмосферы при увеличении частоты приземных инверсий, штилей и слабых ветров. В холодный период года (особенно в декабре-январе) рассеивающая способность атмосферы заметно возрастает [4].

Достоверны и сезонные различия структуры загрязнения атмосферы (таблица 2, рис. 1-3). Так, в холодный период наиболее высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха фенолом наблюдается в Северном и Левобережном секторах го-

рода (среднесезонная концентрация фенола составляет 0,0043-0,0068 мг/м³). Превышения ПДК по диоксиду серы и формальдегиду в холодное время года наблюдаются по ул. 20 лет Октября и ул. Матросова. Загрязнение атмосферного воздуха диоксидом серы на этих участках в основном связано с развитой улично-дорожной сетью. Вследствие исторически сложившегося построения внешних связей и городских магистралей почти все транспортные потоки проходят через центр города.

Среднегодовое содержание в воздухе оксида углерода не превышает ПДК, однако в летнее время его концентрация несколько повышается по



Рис. 3. Сезонная динамика загрязнения атмосферы (I_a) в селитебно-рекреационном микрорайоне (пост наблюдения по ул. Дарвина, 1)

всем постам наблюдения. Видимо, это связано с возрастанием количества автотранспортных единиц на улицах города в теплое время года.

Максимальные превышения ПДК загрязняющих веществ в холодный период наблюдаются в Левобережном секторе преимущественно в промышленно-транспортной зоне по ул. Героев стратосферы: по диоксиду серы (5,6 ПДК); диоксиду азота (4,9 ПДК); формальдегиду (10,3 ПДК); фенолу (8,9 ПДК).

Однако летом в воздушном бассейне города содержание загрязняющих веществ значительно повышается по всем постам наблюдений, что связано с увеличением автотранспортных единиц и снижением рассеивающей способности атмосферы. Так, средние концентрации диоксида азота и фенола повышаются в микрорайонах вблизи крупных автомагистралей (Московский проспект и ул. Матросова). Наиболее высокие концентрации этих веществ наблюдаются в Правобережной части города по Московскому проспекту и в промышленной зоне Левобережного района города (по ул. Героев стратосферы). Вблизи автомагистралей средние значения концентраций диоксида азота достигают 2,2-2,3 ПДК, а фенола 1,7-1,8 ПДК.

В летнее время отмечается повышенная запыленность воздуха по всем постам наблюдения, а максимальная концентрация пыли отмечается по ул. 20 лет Октября. В целом максимальные превышения ПДК загрязняющих веществ в летний период наблюдаются по диоксиду серы (Московский пр. – 8,6 ПДК; ул. Героев стратосферы – 5,6 ПДК), диоксиду азота (ул. 20 лет Октября –

10,5 ПДК; Московский пр. – 7,0 ПДК), формальдегиду (Московский пр. – 12,7 ПДК; ул. 20 лет Октября – 11,7 ПДК; ул. Героев стратосферы – 11 ПДК), пыли (ул. 20 лет Октября – 5,3 ПДК), фенолу (ул. Героев стратосферы – 14,7 ПДК; ул. Матросова – 10 ПДК).

Многочисленные низкие источники вредных атмосферных выбросов преимущественно в Левобережном юго-восточном секторе по ул. Героев стратосферы и Правобережной промышленной зоне, примыкающей к Московскому проспекту в сочетании с транспортной загруженностью создают потенциальную угрозу опасного загрязнения окружающей среды.

Большинство крупных предприятий города построены без учета розы ветров, что создает напряженную экологическую обстановку в ряде жилых массивов. Низменный рельеф Левобережной части города и слабая проветриваемость в условиях плотной застройки усиливают неблагоприятное воздействие выбросов загрязняющих веществ на качество воздушного бассейна.

В переходные сезоны наблюдается повышение концентраций диоксида серы, диоксида азота и формальдегида на ул. 20 лет Октября и ул. Героев стратосферы. Источником фенола и формальдегида в Левобережном районе является, прежде всего, предприятие ОАО «Воронежсинтезкаучук». Причем, неравномерная динамика концентраций загрязняющих веществ является следствием сезонных различий повторяемости ветров. Так, в зимне-весенний период увеличивается повторяемость юго-восточных ветров, а в летне-осенний – север-

Сезонный вклад (коэффициенты корреляции) отдельных загрязняющих веществ в комплексный показатель загрязнения атмосферы ($K_{атм}$)

Сезоны	Оксид углерода	Диоксид серы	Диоксид азота	Формальдегид	Пыль	Фенол	Оксид меди	Акролеин
Зима	0,55	0,97	0,76	0,98	0,89	0,68	0,39	0,82
Весна	0,66	0,90	0,76	0,23	0,61	0,96	0,18	0,12
Лето	0,76	0,85	0,84	0,94	0,40	0,61	0,22	0,83
Осень	0,72	0,98	0,83	0,98	0,70	0,85	-0,12	-0,82
Год в целом	0,67	0,92	0,80	0,78	0,65	0,77	0,17	0,23
Ранг значимости «сезонного вклада» (ранг 1 – максимальный вклад)*								
	5	1	2	3	6	4	8	7

* Чем больше порядковый номер (выше ранг), тем слабее корреляции среднесезонных концентраций соответствующего ингредиента с величиной $K_{атм}$

ных и северо-западных [3]. Это проявляется в увеличении концентраций многих загрязняющих веществ летом и осенью в южном (автотранспортном) секторе города по ул. Матросова.

Максимальные превышения ПДК загрязняющих веществ в переходные периоды (весна и осень) наблюдаются по диоксиду серы (ул. 20 лет Октября – 10 ПДК; ул. Героев стратосферы – 8,2 ПДК; ул. Матросова – 9,4 ПДК), диоксиду азота (ул. 20 лет Октября – 6,6 ПДК; ул. Матросова – 7,0 ПДК), формальдегиду (ул. 20 лет Октября – 9,7 ПДК; ул. Героев стратосферы – 6,0 ПДК; ул. Матросова – 11,7 ПДК), пыли (ул. 20 лет Октября – 3,3 ПДК), фенолу (ул. Матросова – 6,7 ПДК).

В отличие от промышленно-развитых участков в селитебно-рекреационном микрорайоне северной окраины города по ул. Дарвина экологическая ситуация относительно благополучна. Сезонные различия концентраций загрязняющих веществ невысоки, и практически по всем параметрам контроля качества атмосферы микрорайон характеризуется минимальным загрязнением при некотором повышении концентраций формальдегида в весенний период. Эта зона города характеризуется высокой степенью озеленения, отсутствием крупных промышленных предприятий, ограниченным движением автотранспорта.

Расчеты корреляций между парциальными (I_p) и комплексным ($K_{атм}$) показателем загрязнения атмосферы показали, что наиболее типичными «индикаторами» загрязнения атмосферы служат диоксид серы, диоксид азота и формальдегид. Более репрезентативными для оценки структуры суммарного загрязнения являются летний и зимний периоды, а наиболее специфичная (отличная от

других) ситуация наблюдается в осенний период (таблица 3).

Проведенное исследование подтверждает, что степень загрязнения атмосферы в целом согласуется с уровнем техногенной нагрузки на городскую среду, а зоны наибольшего экологического риска приурочены к промышленно-транспортным микрорайонам (преимущественно юго-восточное левобережье города). В зимний период атмосферный воздух в городе менее загрязнен, но повышается удельный вклад в аэрогенное загрязнение диоксида серы и пыли из-за работы отопительных систем. Наибольшее загрязнение приходится на теплое время года, когда повышаются концентрации оксида углерода, диоксида серы, диоксида азота и пыли в основном за счет увеличения количества автомашин на улицах города и формирования локальных «островов тепла» в центральном секторе города с пониженной турбулентностью и рассеивающей способностью атмосферы. Повышенные концентрации формальдегида и фенола в течение всего года обусловлены выбросами промышленных предприятий и работой автотранспортного комплекса.

Установлены 3 типа сезонной динамики загрязнения атмосферы по преобладающему типу городской застройки и ее функциональному назначению: 1) селитебно-промышленный (рис. 1), 2) селитебно-транспортный (рис. 2), 3) селитебно-рекреационный (рис. 3). В селитебно-промышленных микрорайонах наибольшее загрязнение атмосферы наблюдается в летний период года, что связано с формирующимися локальными «островами тепла». В транспортно-напряженных микрорайонах пик загрязнения смещается на осенний пе-

риод, вследствие сезонного ухудшения рассеивающей способности атмосферы при увеличении частоты штилей и приземных инверсий в течение августа-октября. Селитебно-рекреационные микрорайоны отличаются относительно равномерной сезонной динамикой загрязнения с некоторой тенденцией увеличения концентраций загрязняющих веществ в весенне-летний период на фоне снижения рассеивающей способности атмосферы из-за увеличения частоты приземных инверсий в мае [3] и летних «островов тепла».

Лучшими «индикаторами» сезонного загрязнения атмосферы независимо от функциональной специфики микрорайона служат диоксид серы, диоксид азота и формальдегид – наиболее чувствительные к сезонным колебаниям рассеивающей способности атмосферы и отражающие существенный вклад в загрязнение атмосферы автотранспорта и предприятий теплоэнергетики.

Таким образом, анализ состояния атмосферного воздуха с учетом показателей техногенной нагрузки свидетельствует о формировании в городе контрастных экологических районов с различной сезонной динамикой загрязнения атмосферного воздуха. Для улучшения контроля состояния атмосферы необходимо совершенствование системы

мониторинга воздушного бассейна с более полным охватом территории города сетью постов контроля, модернизация дорожно-транспортной сети для ограничения давления автотранспорта на среду обитания, комплексное благоустройство и озеленение внутригородской территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинов В.М. Охрана природы / В.М. Константинов. – М.: Академия, 2000. – 190 с.

2. Куролап С.А. Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды / С.А. Куролап, Н.П. Мамчик, О.В. Клепиков. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2006. – 220 с.

3. Назаренко А.В. Исследование уровня загрязнения воздуха г. Воронежа при использовании аэросиноптического материала / А.В. Назаренко, С.А. Дьяков // Высокие технологии в экологии: сб. материалов VI Международ. науч.-практ. конф. – Воронеж, 2003. – С. 41-45.

4. Назаренко А.В. Классификация синоптических процессов в целях геоэкологического мониторинга воздушного бассейна / А.В. Назаренко // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География и Геоэкология. – 2006. – № 1. – С. 39-46.

5. Чубирко М.И. Доклад «О санитарно-эпидемиологической обстановке в городе Воронеже в 2008 году» / М.И. Чубирко, Ю.И. Степкин. – Воронеж: Упр. Роспотребнадзора по Воронеж. обл., 2009. – 97 с.

Костылева Людмила Николаевна
старший преподаватель кафедры промышленной экологии Воронежской государственной технологической академии, г. Воронеж, т. (4732) 72-09-58.

Корыстин Сергей Иванович
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной экологии Воронежской государственной технологической академии, г. Воронеж, т. (4732) 49-60-24.

Куролап Семен Александрович
доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (4732) 66-56-54. e-mail: root@geogr.vsu.ru, kurolap@vmail.ru

Kostyleva Lyudmila Nikolayevna
Senior lecturer of the industrial ecology of the Voronezh State Technological Academy, Voronezh, tel. (4732) 72-09-58

Korystin Sergey Ivanovitch
Doctor of Technical Sciences, professor, Head of the industrial ecology department of the Voronezh State Technological Academy, Voronezh, tel. (4732) 49-60-24

Kurolap Semyon Aleksandrovitch
Doctor of Geography, Professor, Head of the department of geoecology and environmental monitoring of the Voronezh State University, Voronezh, tel. (4732) 66-56-54, e-mail: root@geogr.vsu.ru, kurolap@vmail.ru