



УДК 504 (06)
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-545-557

Сезонная динамика и пространственное распределение концентраций антропогенных загрязнителей в воздухе г. Воронеж

Акимов Л.М., Акимов Е.Л.

Воронежский государственный университет,
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1
E-mail: akl63@bk.ru

Аннотация. Загрязнение атмосферного воздуха крупных городов является фактором окружающей среды, который обязательно должен учитываться при планировании хозяйственной деятельности, вследствие негативного воздействия на здоровье горожан. Решение проблемы оценки загрязнения воздуха в городах является многофакторной задачей, включающей учёт как антропогенной, так и природной составляющих данного процесса. В отношении г. Воронеж недостаточно научных данных, характеризующих опасность загрязнения воздушного бассейна химическими веществами, воздействующими на здоровье человека в различные сезоны года. В связи с этим авторами проведена оценка распределения концентраций поллютантов, том числе канцерогенных веществ, на территории Воронежа по данным наблюдательных постов за 2015–2019 гг. Установлены сезонные колебания концентраций поллютантов, характерные для разных функциональных зон города, в соответствии с пространственным расположением постов наблюдения за загрязнением атмосферы.

Ключевые слова: концентрация, мониторинг, уровень загрязнения атмосферы, индекс загрязнения атмосферы, антропогенные примеси, поллютанты, канцерогенные вещества.

Благодарность: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 20-17-00172.

Для цитирования: Акимов Л.М., Акимов Е.Л. 2021. Сезонная динамика и пространственное распределение концентраций антропогенных загрязнителей в воздухе г. Воронеж. Региональные геосистемы, 45 (4): 545–557. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-545-557

Seasonal Dynamics and Spatial Distribution of Anthropogenic Pollutants Concentrations in the Air of Voronezh

Leonid M. Akimov, Evgeniy L. Akimov

Voronezh State University,
1 University Sq., Voronezh 394018, Russia
E-mail: akl63@bk.ru

Abstract. Air pollution in large cities is an environmental factor that must be taken into account when planning economic activities, due to the negative impact on the health of citizens. Solving the problem of assessing air pollution in cities is a multifactorial task, including taking into account both anthropogenic and natural components of this process. With regard to Voronezh, there is not enough scientific data characterizing the danger of air pollution with chemicals that affect human health in different seasons of



the year. In this regard, the authors assessed the distribution of the concentrations of pollutants, including carcinogenic substances, in the territory of Voronezh according to the data of observation posts for 2015–2019. Seasonal fluctuations in the concentration of pollutants, typical for different functional zones of the city, have been established in accordance with the spatial location of monitoring posts for atmospheric pollution. It was found that in Voronezh there is a high level of atmospheric pollution with phenol, especially in summer, the concentrations of phenol are 0.012–0.013 mg/m³, which exceeds the maximum permissible concentration by 4 times.

Key words: concentration, monitoring, level of air pollution, air pollution index, anthropogenic impurities, pollutants, carcinogenic substances.

Acknowledgment: The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project № 20-17-00172.

For citation: Akimov L.M., Akimov E.L. 2021. Seasonal dynamics and spatial distribution of anthropogenic pollutants concentrations in the air of Voronezh. *Regional geosystems*, 45 (4): 545–557 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-545-557

Введение

Состояние атмосферного воздуха г. Воронеж, как и большинства крупных городов, его загрязненность является одним из основных факторов, влияющим на здоровье и жизнедеятельность населения.

По заявлению Ю.А. Израэля [1984], «современное состояние загрязнения атмосферного воздуха антропогенными примесями, поступающими от промышленных предприятий, топливно-энергетических объектов, аграрного комплекса, транспорта достигло уровня, угрожающего сохранению экологического равновесия природной среды». С тех пор мало что изменилось. Разработанная Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) 27 сентября 2016 в г. Женева новая модель качества воздуха ВОЗ подтверждает, что 92 % населения мира проживает в местах, где уровни качества воздуха превышают установленные ВОЗ пределы [Оценочные данные..., 2016; 2020], поэтому особое внимание природоохранительных организаций направлено на обеспечение чистоты воздушного бассейна.

Результаты наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Воронежа на 5 стационарных станциях за период с 2015 по 2019 гг. необходимы для планирования мероприятий, нацеленных на обеспечение требуемой чистоты воздушного бассейна, следовательно, и здоровья населения. Концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе зависит от большого числа факторов, поэтому необходима организация мониторинга оценки загрязнения атмосферного воздуха. Совершенствование системы мониторинга количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, проведение анализа их пространственного и временного распределения, а также изучение распространения канцерогенов в атмосфере является важной и актуальной задачей исследователей на современном этапе.

В работах А.К. Сергеева с соавт. [2016], Б.А. Ревича [2018], Клепикова с соавт. [2021] отмечено, что выбросы в атмосферный воздух от промышленных предприятий и автотранспорта, несмотря на проводимые мероприятия по снижению выбросов и организацию санитарно-защитных зон, в настоящее время являются одним из значимых техногенных факторов риска для здоровья населения.

Загрязнение атмосферного воздуха мегаполисов выбросами представлено в трудах таких ученых, как Э.Ю. Безуглая с соавт. [1991; 2002; 2008], Ю.А. Израэль [1984], М.Е. Берлянд [1985], Е.Н. Кузнецова [1999], Н.И. Акинин [2011] и др.

Влияние различных метеорологических аспектов на состояние окружающей среды отобразены в работах Л.К. Исаева [1997], Л.М. Акимова с соавт. [2010; 2011; 2014], Т.О. Талалай с соавт. [2021].

Следует выделить исследования, посвященные влиянию загрязняющих веществ, на состояние здоровья населения. Этой проблематике посвящены работы Б.А. Ревича [1994], С.А. Куролапа с соавт. [2006; 2010].

Вместе с тем, несмотря на наличие большого числа публикаций по данной тематике, остается актуальным вопрос исследования пространственного распределения очагов загрязнения в связи с динамикой развития города и их сезонными особенностями, связанными с меняющимися погодными условиями.

Целью данного исследования является анализ пространственного распределения концентрации загрязняющих и канцерогенных веществ, влияющих на здоровье населения города Воронежа, а также изучение их сезонной динамики.

Объекты и методы исследования

Мониторинг за состоянием окружающей среды в Воронеже осуществляется ФГУ «Воронежский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» на пяти стационарных станциях наблюдений, работающих в соответствии с требованиями РД 52.04.186-89. Станции (рис. 1) подразделяются на «промышленные», вблизи предприятий (посты № 1, 8, 9, 10) и «авто», вблизи автомагистралей в районе с интенсивным движением транспорта (пост № 7).

Посты наблюдения данного центра находятся по адресам: ул. Ростовская, 44 – пост наблюдения № 1; ул. Лебедева, 2 – пост наблюдения № 7; ул. Ворошилова, 30 – пост наблюдения № 8; ул. Л. Рябцевой, 51-Б – пост наблюдения № 9; ул. 9 Января, 49 – пост наблюдения № 10. Наблюдение за содержанием загрязняющих веществ в атмосферном воздухе осуществляется и проводится по ограниченному кругу загрязнителей: оксид углерода, диоксид серы, диоксид азота, взвешенные вещества, формальдегид, фенол.

В статье представлены результаты анализа фактических ежедневных данных наблюдений стационарных постов г. Воронежа за содержанием загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за период с 2015 по 2019 гг. Общий объем выборки составил более 1800 случаев.

В табл. 1 приведены максимальные разовые ПДК и среднесуточные ПДК по ряду наиболее распространенных загрязняющих веществ для большинства городов и регионов России.

Для оценки уровня загрязнения атмосферы использовался интегральный показатель загрязнения атмосферы (ИЗА). Расчет ИЗА осуществляется как сумма парциальных индексов загрязнения, по шести основным загрязнителям, представленным в табл. 1, по формуле:

$$\text{ИЗА} = \sum_{j=1}^m I_{\Pi j},$$

где j – порядковый номер вещества; m – число веществ; $I_{\Pi j}$ – индекс загрязнения атмосферы отдельной примесью (парциальный индекс).



Рис. 1. Схема расположения стационарных постов мониторинга атмосферного воздуха в г. Воронеже

Fig. 1. Layout of stationary atmospheric air monitoring posts in Voronezh

Таблица 1
Table 1

Значения среднесуточных ПДК_{СС} и максимальных разовых ПДК_{мр} (мг/м³)
 Values of average daily MPC_{SS} and maximum one-time MPC_{mr} (mg/m³)

Вещество	Класс вредности	Максимальная разовая ПДК _{мр} (мг/м ³)	Среднесуточная ПДК _{СС} (мг/м ³)
Углерода оксид	4	3,0	1,0
Серы диоксид	3	0,5	0,05
Азота диоксид	2	0,85	0,04
Пыль нетоксичная	3	0,5	0,15
Формальдегид	2	0,035	0,05
Фенол	2	0,01	0,003

Критерии уровня загрязнения атмосферного воздуха, а также формула расчета индекса ИЗА рекомендованы в гигиенических нормативах ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации с изменениями и дополнениями от 31 мая 2018 г. [Об утверждении..., 2017] (табл. 2).

Таблица 2
Table 2Критерии зон экологического риска (среднегодовые значения ИЗА)
Criteria for environmental risk zones (average annual API values)

Критерий риска	Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА)
Опасный	11,12
Вызывающий опасение	10,14
Вызывающий беспокойство	8,39
Предельно допустимый	5,47
Допустимый	4,32

Результаты и их обсуждение

В Воронеже находится большое количество как стационарных, так и подвижных источников загрязнения воздушного бассейна. Область распространения загрязнения, пыли и канцерогенных веществ обусловлена, в основном, особенностями городской застройки.

По информации ГУ «Воронежский ЦГМС», индекс суммарного загрязнения воздуха Воронежа, рассчитанный по 17 ингредиентам, в 2019 г. увеличился по отношению к 2018 г. и составил 10,9 [Доклад о природоохранной..., 2020]. Увеличение концентраций загрязняющих веществ наблюдалось по пыли, окиси азота, формальдегида в районе промышленного узла ТЭЦ-1, ОАО «Воронежсинтезкаучук» (ПНЗ № 7, ул. Лебедева, 2). В результате анализа проб атмосферного воздуха на стационарных постах наблюдения и пяти маршрутных точках, превышение максимально-разовых концентраций в воздухе города достигали по пыли – 4,4 ПДК, по оксиду углерода – 2,8 ПДК, по диоксиду азота – 1,3 ПДК, по формальдегиду – 1,2 ПДК. Наибольшее увеличение средних концентраций загрязняющих веществ наблюдалось в теплый период года. Валовый выброс загрязняющих веществ по районам Воронежа за 2019 г. от стационарных источников представлен на рис. 2.

Из анализа рис. 2 видно, что наибольшая концентрация загрязнений наблюдается в Левобережном районе Воронежа. За период 2017–2019 гг. кратность превышения ПДК_{сс} загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Воронежа составила от 1,1 до более 5,0 раз. Доля проб атмосферного воздуха по приоритетным веществам (%) по годам (2017, 2018, 2019 гг.), превышающая 1,0–2,0 ПДК_{сс} с учетом динамики показателя к 2015 г. составила по азоту диоксиду – 5,2; 8,8; 2,6 (понижение); взвешенные вещества – 3,8; 3,1; 3,4 (понижение); фенол – 2,1; 1,5; 1,5 (понижение); озон – 4,0; 12,0; 4,0 (понижение–повышение); серы диоксид – 0,9; 0,8; 0,0 (понижение); углерода оксид – 0,0; 3,8; 0,8 (повышение); формальдегид – 0,0; 0,38; 1,1 (повышение); стирол – 2,5; 7,5; 0,0 (понижение).

Наблюдается устойчивая тенденция увеличения доли проб воздуха, не отвечающих гигиеническим нормативам: превышение норм ПДК в 1,0–2,0 раза по формальдегиду, углерода оксиду, и более 2,1–5,0 ПДК по озону. Наибольший уровень загрязнения, оказываемый на население города, вносят диоксид азота, взвешенные вещества и фенол.

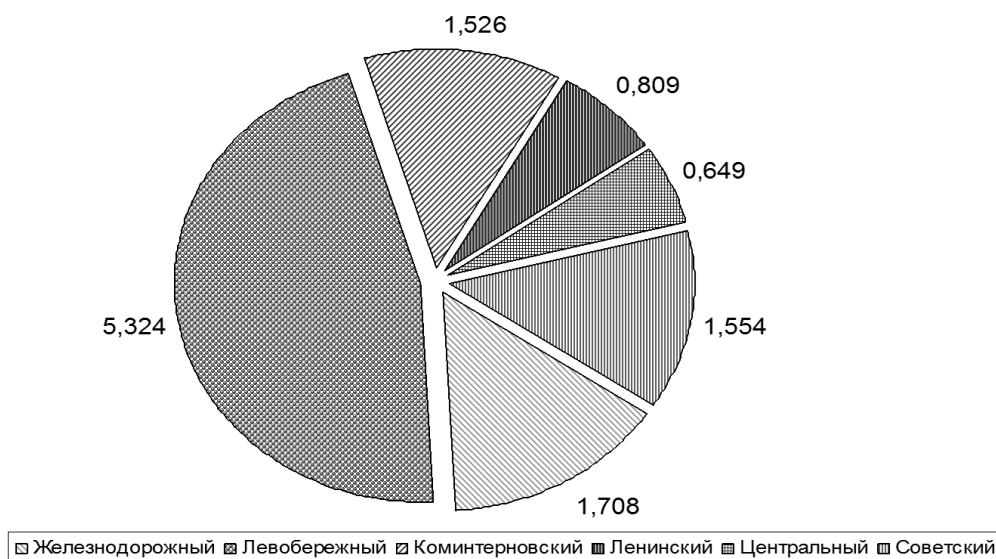


Рис. 2. Валовой выброс загрязняющих веществ от стационарных источников по различным районам Воронежа за 2019 г. (млн. т/год)
 Fig. 2. Gross emission of pollutants from stationary sources in various districts of Voronezh in 2019 (mln.t/year)

При анализе выборки исходного материала для каждого исследуемого года были определены средние за сезон значения концентрации загрязняющих веществ. Полученные результаты стали основой анализа сезонной динамики распределения поллютантов в воздушном бассейне Воронежа в течение года, за период 2015–2019 гг. Установлено, что Воронеж сильно запылен, наибольшая за сезон концентрация загрязнения пылью ($0,31 \text{ мг/м}^3$) приходится на летний период. Затем следуют весенний ($0,26 \text{ мг/м}^3$), осенний ($0,25 \text{ мг/м}^3$) и зимний ($0,22 \text{ мг/м}^3$) периоды. Зимой, а также в начале весны, земля находится под снежным покровом, препятствующим загрязнению окружающей среды пылью. Основным источником пыли в зимний период являются автомобильные дороги, очищенные от снега. В осенний период дожди выпадают чаще, чем весной, поэтому уровень запыленности осенью немного ниже, чем весной. Высокий уровень запыленности в летний период объясняется как природными, так и антропогенными факторами. На территории Центрального Черноземья наблюдается тенденция усиления засушливости климата на фоне высоких температур, что способствует увеличению концентрации пыли в воздухе. Дополнительно к этим факторам, в Воронеже активно ведется строительство и наблюдается интенсивное автомобильное движение. Также в летний период на территории Воронежа преобладает антициклональный тип погоды, малооблачный и со слабыми ветрами, способствующими скоплению пыли, переносимой автотранспортом.

Анализ средней концентрации пыли по различным сезонам года на постах наблюдений Воронежа, представленный в табл. 3, свидетельствует о высоком её уровне, особенно в теплый период года (летом и осенью).

Наиболее высокие значения ПДК отмечаются на постах № 7 (ул. Лебедева, 2) и № 1 (ул. Ростовская, 44), соответственно $0,24$ и $0,22 \text{ мг/м}^3$, что объясняется их расположением вблизи автомагистралей с интенсивным движением транспорта, а также наличием развитой промышленной зоны. На постах № 8, 9, 10 концентрация пыли в зимний период не превышает ПДК, незначительное превышение наблюдается в теплый период.

Результаты наблюдений средних сезонных концентраций двуокиси серы (SO_2) за период 2015–2019 гг. позволили установить, что максимум приходится на зимний период, значительные превышения наблюдались в 2017 г., когда средняя за сезон концентрация

превышала ПДК в 1,5 раза и составляла 0,085 мг/м³. В остальные сезоны года уровень загрязнения находится в пределах 0,023–0,024 мг/м³.

Таблица 3
Table 3

Распределение средней концентрации пыли (мг/м³) на территории Воронежа по различным сезонам года за период 2015–2019 гг.
Distribution of the average dust concentration (mg/m³) on the territory of Voronezh by different seasons of the year for the period 2015–2019

Сезон	Пост № 7	Пост № 8	Пост № 9	Пост № 10	Пост № 1
Зима	0,21	0,13	0,13	0,14	0,16
Весна	0,22	0,15	0,14	0,15	0,17
Лето	0,24	0,16	0,15	0,16	0,22
Осень	0,22	0,14	0,15	0,14	0,15

Сернистый ангидрид (SO₂) образуется, в основном, при сжигании серосодержащих веществ на воздухе. Резкий скачок выбросов сернистого ангидрида (SO₂) происходит в зимний период за счет сжигания топлива отопительными системами, котельными и другими предприятиями. Средние концентрации сернистого ангидрида (SO₂) на стационарных постах Воронежа в различные сезоны года представлены в табл. 4.

Таблица 4
Table 4

Распределение средней концентрации сернистого ангидрида (мг/м³) в различные сезоны года за период 2015–2019 гг.
Distribution of the average concentration of sulfur dioxide (mg/m³) in different seasons of the year for the period 2015–2019

Сезон	Пост № 7	Пост № 8	Пост № 9	Пост № 10	Пост № 1
Зима	0,085	0,054	0,054	0,073	0,100
Весна	0,070	0,060	0,070	0,059	0,078
Лето	0,070	0,060	0,065	0,060	0,062
Осень	0,081	0,061	0,072	0,061	0,076

Из анализа табл. 4 следует, что наибольшая концентрация диоксида серы SO₂ в атмосфере Воронежа наблюдается в холодный осенне-зимний период года, о чем свидетельствует превышение ПДК в 1,5–2 раза. Наибольшая концентрация сернистого ангидрида наблюдается зимой на посту № 1 (ул. Ростовская, 44) и составляет 0,1 мг/м³, т.е. вдвое превышает ПДК. На постах наблюдения № 8 и 9 средняя за сезон концентрация сернистого ангидрида в зимний период находится в пределах ПДК, но в переходный период (весна, осень) происходит ее увеличение в 1,4 раза. Также превышения более 1,5 ПДК наблюдаются на посту № 7 осенью и зимой.

Анализ средних сезонных концентраций углекислого газа за период 2015–2019 гг. позволил установить, что повышенное значение углекислого газа в весенне-летний период (весна – 0,028 мг/м³; лето – **0,047** мг/м³; осень – 0,01 мг/м³) обусловлено увеличением сгорания различных видов топлива при использовании автомобильного транспорта. Результаты данных постов наблюдений за концентрацией углекислого газа в г. Воронеже в различные сезоны года представлены в табл. 5.



Таблица 5
Table 5

Распределение средней концентрации оксида углерода ($\text{мг}/\text{м}^3$) по различным сезонам года за период 2015–2019 гг.

Distribution of the average concentration of carbon monoxide (mg/m^3) for different seasons for the period 2015–2019

Сезон	Пост № 7	Пост № 8	Пост № 9	Пост № 10	Пост № 1
Зима	0,019	0,013	0,014	0,014	0,016
Весна	0,021	0,016	0,015	0,016	0,019
Лето	0,022	0,017	0,016	0,017	0,018
Осень	0,024	0,016	0,016	0,016	0,019

Наибольшая концентрация оксида углерода (см. табл. 5) наблюдается в теплый сезон года. На правом берегу Воронежа (пост № 9 на ул. Л. Рябцевой, 51-Б, пост № 10 на ул. 9 Января, 49 и пост № 8 на ул. Ворошилова, 30) летом концентрация оксид углерода составляет 0,016–0,017 $\text{мг}/\text{м}^3$, на левом берегу (пост № 7 на ул. Лебедева, 2) осенью – 0,024 $\text{мг}/\text{м}^3$, (пост № 1 на ул. Ростовская, 44) весной и осенью – 0,019 $\text{мг}/\text{м}^3$. Наибольшая концентрация оксида углерода в течение года наблюдается на посту № 7 на ул. Лебедева, 2.

Диоксид азота образуется в основном при окислении оксида азота в атмосферном воздухе, при этом его количество, поступающее в атмосферу, практически постоянно. В зимний период небольшое превышение нормы (0,047 $\text{мг}/\text{м}^3$), наблюдаемое за исследуемый период, обусловлено сжиганием топлива отопительными системами. В остальные сезоны года средняя концентрация двуокиси азота находилась в пределах ПДК. Результаты анализа данных постов наблюдений за концентрацией двуокиси азота по различным сезонам года представлены в табл. 6.

Таблица 6
Table 6

Средняя концентрация диоксида азота ($\text{мг}/\text{м}^3$) по различным сезонам года за период 2015–2019 гг.
The average concentration of nitrogen dioxide (mg/m^3) for different seasons of the year for the period 2015–2019

Сезон	Пост № 7	Пост № 8	Пост № 9	Пост № 10	Пост № 1
Зима	0,067	0,047	0,049	0,048	0,054
Весна	0,070	0,047	0,050	0,048	0,053
Лето	0,072	0,049	0,050	0,050	0,055
Осень	0,070	0,048	0,051	0,049	0,053

Наибольшая концентрация диоксида азота на территории Воронежа (см. табл. 6) наблюдается в теплый сезон года. На правобережье Воронежа (посты № 8–10) в течение года, особенно летом, наблюдается незначительное превышение ПДК, концентрация диоксида азота составляет 0,049–0,051 $\text{мг}/\text{м}^3$. На левом берегу концентрация диоксида азота значительно выше, особенно на посту № 7 (ул. Лебедева, 2), и составляет в течение года 0,055–0,072 $\text{мг}/\text{м}^3$ с максимальными значениями концентрации диоксида азота летом. На посту № 7 концентрация диоксида азота в течение года составляет 1,5 ПДК, а на постах № 8, 9, 10 наблюдается небольшое превышение.

Фенол является мощным источником загрязнения атмосферного воздуха города Воронежа, вызванным антропогенным фактором. Производство асфальтобетона, машиностроительное производство, нефтедобывающие, коксохимические, металлургические за-

воды являются основными источниками поступления фенола в атмосферный воздух [Безуглая, Смирнова, 2008].

Результаты анализа средних сезонных концентраций фенола за период 2015–2019 гг. указывают на то, что наблюдаются колебания концентраций с максимумом зимой (0,0052 мг/м³) и осенью (0,0056 мг/м³), и минимумом весной – 0,0028 мг/м³ и летом – 0,0124 мг/м³. При этом средние сезонные концентрации фенола в осенне-зимний период составляют 1,7 ПДК, а весной и летом не превышают ПДК, что, очевидно, обусловлено сезонной работой предприятий, являющихся источником выбросов фенола. Результаты распределения концентрации фенола по сезонам представлены в табл. 7.

Таблица 7
Table 7

Средняя концентрация фенола (мг/м³) по различным сезонам года за период 2015–2019 гг.
The average concentration of phenol (mg/m³) for different seasons of the year for the period 2015–2019

Сезон	Пост № 7	Пост № 1
Зима	0,011	0,010
Весна	0,012	0,011
Лето	0,013	0,012
Осень	0,012	0,011

В Воронеже наблюдается высокий уровень загрязнения атмосферы фенолом, особенно летом. На постах № 1 (ул. Ростовская, 44) и № 7 (ул. Лебедева, 2) концентрации фенола составляют 0,012–0,013 мг/м³, что превышает предельно допустимую концентрацию в 4 раза.

Формальдегид образуется в результате фотохимических реакций и процессов трансформации органических соединений. Автомобильный транспорт, химические предприятия, деревообрабатывающие фабрики (фанера, ДСП и ДВП, МДФ), мусоросжигательные заводы другие продукты горения – все это источники формальдегида в наружном воздухе [Безуглая, Смирнова, 2008].

Формальдегид представляет собой высоко опасное отравляющее вещество, влияющее больше всего на зрение, он внесен в список канцерогенов, резко повышающих риск заболевания раком. В табл. 8 представлены результаты мониторинга формальдегида в Воронеже в различные сезоны года.

Таблица 8
Table 8

Средняя концентрация формальдегида (мг/м³) по различным сезонам года за период 2015–2019 гг.
The average concentration of formaldehyde (mg/m³) for different seasons of the year for the period 2015–2019

Сезон	Пост № 7	Пост № 8	Пост № 10
Зима	0,054	0,089	0,045
Весна	0,050	0,087	0,049
Лето	0,061	0,097	0,056
Осень	0,060	0,095	0,054

Анализ многолетнего распределения средних сезонных концентраций формальдегида за период 2015–2019 гг. позволил установить, что средний уровень формальдегида в течение года превышает ПДК и колеблется в пределах от 0,051 мг/м³ летом до 0,059 мг/м³ осенью, а весной и зимой находится примерно на одном уровне – 0,053–0,055 мг/м³. Колебания в отдельные годы, видимо, определены непериодичностью работы предприятий,



которые производят эти выбросы. Распределение концентрации формальдегида в различные сезоны года представлено в табл. 8.

Анализ табл. 8 показывает, что в летний период на посту № 8 (ул. Ворошилова, 30) наблюдается наибольшая концентрация формальдегида – 0,097 мг/м³, что превышает ПДК в 2 раза. На посту № 9 (ул. Л. Рябцевой, 51-Б) наблюдаются наиболее низкие концентрации формальдегида – 0,056 мг/м³, что незначительно превышает ПДК. В Воронеже концентрация формальдегида в два раза больше нормы.

Исследование особенностей пространственного распределения поллютантов в воздушном бассейне Воронежа в течение года проводилось на основании расчета средних по месяцам значений ИЗА, результаты вычислений которых представлены в табл. 9.

Таблица 9

Table 9

Среднемесячные значения ИЗА на территории Воронежа
Average monthly values of API of Voronezh

Месяц	ИЗА				
	Пост № 1	Пост № 7	Пост № 8	Пост № 9	Пост № 10
Январь	8,5	15,8	7,6	5,3	7,5
Февраль	10,5	16,3	7,9	5,5	8,2
Март	9,2	14,8	6,7	5,1	7,1
Апрель	13,6	16,5	9,1	6,2	9,2
Май	12,7	17,7	9,3	6,6	9,3
Июнь	11,5	19,9	9,4	6,3	9,6
Июль	14,2	22,8	10,6	6,2	11,3
Август	11,8	19,5	9,1	5,7	9,8
Сентябрь	13,1	22,5	10,6	6,3	12,5
Октябрь	8,8	15,4	7,8	4,8	7,9
Ноябрь	8,5	13,3	7,3	4,6	7,3
Декабрь	10,3	17,5	8,2	5,7	8,8

Анализ табл. 9 осуществлялся на основании критериев риска, представленных в табл. 2, согласно которым значения ИЗА от 11,1 и выше соответствуют критерию риска «опасный», выше 10,1 – «вызывающий опасение», выше 8,4 – «вызывающий беспокойство» соответственно.

На посту № 1 (ул. Ростовская, 44), согласно результатам, представленным в табл. 8, в теплый период года, с апреля по сентябрь, уровень индекса ИЗА превышает значение 11,1, что соответствует критерию «Опасный». Уровни ИЗА в декабре (10,3) и феврале (10,5) соответствуют критерию «Вызывающий опасение», в ноябре (8,5) и январе (8,5) – «Вызывающий беспокойство». Значения индекса ИЗА на посту № 7 (ул. Лебедева, 2), где сосредоточены предприятия ТЭЦ-1, ОАО «Воронежсинтезкаучук», ЗАО «Воронежский шинный завод» и проходит автомагистраль с интенсивным движением автотранспорта, в течение всего года в 1,5–2,0 раза превышали критериальные значения уровня «Опасный». Значения ИЗА, характеризующие состояние воздушного бассейна на посту № 8 (ул. Ворошилова, 30), в течение года находились в пределах 7,7–9,3, что соответствовало уровню критерия «Вызывающий беспокойство», за исключением июля (ИЗА = 10,4) и сентября (ИЗА = 10,5), когда наблюдался уровень индекса ИЗА «Вызывающий опасение». Значения ИЗА на посту № 9 (ул. Л. Рябцевой, 51-Б) в течение года не превышают критерий «Предельно допустимый», что свидетельствует о наиболее благоприятном состоянии воздушного бассейна. На посту № 10 (ул. 9 Января, 49) значения ИЗА в течение года находятся в пределах критерия «Вызывающий беспокойство», за исключением июля и сентября, когда наблюдается уровень ИЗА – «Опасный».

Заключение

Проведенный анализ результатов данных постов наблюдений на территории Воронежа свидетельствует о высоком уровне загрязненности атмосферного воздуха. Выявленные тенденции сезонных колебаний концентраций загрязняющих веществ свидетельствуют об их связи с погодными условиями и функциональными особенностями инфраструктуры города. Наибольшая концентрация диоксида азота наблюдается в холодный период, пыли – летом, особенно при высоких температурах. В распределении концентрации пыли важную роль играет циркуляция атмосферы. Преобладание антициклонального типа погоды с малооблачной, тихой погодой и мощной инверсией способствует накоплению взвешенных частиц у поверхности земли. При этом стоит отметить, что в течение года каждый из рассмотренных поллютантов превышает ПДК хотя бы на одном посту наблюдения. Установлено, что наибольшая концентрация загрязняющих веществ наблюдается в районе размещения поста наблюдения № 7 (ул. Лебедева, 2). В течение всего года показатели загрязнения в 1,5–2,0 раза превышали критериальные значения уровня ИЗА – «Опасный». Наиболее благоприятное состояние воздушного бассейна наблюдается на посту № 9 (ул. Л. Рябцевой, 51-Б), где значения ИЗА в течение года не превышают уровень «Предельно допустимый».

Список источников

1. Акинин Н.И. 2011. Промышленная экология: принципы, подходы, технические решения. Долгопрудный, Издательский дом «Интеллект», 312 с.
2. Загрязнение атмосферного воздуха. 2021. Всемирная организация здравоохранения. URL: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата обращения: 18 сентября 2021).
3. ВОЗ публикует оценочные данные (с разбивкой по странам) по воздействию загрязнения воздуха на здоровье человека. 2016. Всемирная организация здравоохранения. URL: <https://www.who.int/news/item/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact> (дата обращения: 18 сентября 2021).
4. Доклад о природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2019 году. 2020. Управление экологии администрации городского округа город Воронеж. Воронеж, 53 с.
5. Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.3492-17 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений: Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 22.12.2017 г. № 165. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556185926> (дата обращения: 18 сентября 2021).

Список литературы

1. Акимов Л.М. 2010. Анализ временного распределения средних концентраций антропогенных примесей в Воронеже с учетом от климатических показателей. В кн.: Экология регионов. III Юбилейная международная научно-практической конференция, 31 декабря – 01 января 2010 г., Владимир, Владимирский государственный университет: 8–12.
2. Акимов Л.М., Якушев А.Б., Куролап С.А. 2011. Геоэкологическая оценка загрязнения воздушного бассейна города Воронежа автотранспортом в зависимости от состояния атмосферы. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2: 158–165.
3. Акимов Л.М., Виноградов П.М., Акимов Е.Л. 2014. Комплексная оценка экологической обстановки с учетом состояния атмосферы и функционально-планировочной структуры города. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 4: 57–67.
4. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. 2008. Воздух городов и его изменения. СПб., Астерион, 253 с.
5. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. 2002. Проблемы загрязнения воздуха. Крупнейшие города России. Инженерные системы АВОК-Северо-Запад, 3: 35–36.



6. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. 1991. Чем дышит промышленный город. Ленинград, Гидрометеиздат, 251 с.
7. Берлянд М.Е. 1985. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Ленинград, Гидрометеиздат, 272 с.
8. Израэль Ю.А. 1984. Экология и контроль состояния природной среды. Ленинград, Гидрометеиздат, 380 с.
9. Исаев Л.К. 1997. Воздействие на организм человека опасных и вредных экологических факторов. В 2 т. Том 1. Метеорологические аспекты. Москва, ПАИМС, 512 с.
10. Кузнецова Е.Н. 1999. О состоянии окружающей природной среды г. Воронежа в 1998 г. Воронеж, Воронежский Государственный Университет, 71 с.
11. Куролап С.А., Епинцев С.А., Клепиков О.В., Федотов В.И., Стёпкин Ю.И., Мамчик Н.П., Корыстин С.С. 2010. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска. Воронеж, Истоки, 207 с.
12. Куролап С.А., Мамчик Н.П., Клепиков О.В. 2006. Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды. Воронеж, Воронежский Государственный Университет, 220 с.
13. Клепиков О.В., Куролап С.А., Седых В.А. 2021. Мониторинг и оценка канцерогенных рисков для здоровья населения города Липецка, обусловленных загрязнением атмосферного воздуха. Региональные геосистемы, 45 (2): 236–245. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-236-245.
14. Ревич Б.А., Демин А.К., Буштуева К.А. 1994. Здоровье населения и химическое загрязнение окружающей среды. Москва, Центр экологической политики России, 83 с.
15. Ревич Б.А. 2018. Качество атмосферного воздуха в мегаполисах и риски здоровью населения. В кн.: Человек в мегаполисе: опыт междисциплинарного исследования. Под ред. Б.А. Ревича, О.В. Кузнецовой. М., ЛЕНАНД: 214–225.
16. Сергеев А.К., Сучков В.В., Анисимов В.Н. 2016. Комплексная оценка риска здоровью населения при воздействии загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городского округа Самара. Смоленский медицинский альманах, 1: 213–216.
17. Талалай Т.О., Лебедева М.Г., Крымская О.В., Крымская А.А. 2021. Содержание загрязняющих веществ в атмосфере города Белгорода в различных синоптических условиях. Региональные геосистемы, 45 (1): 107–117. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-1-107-117.

References

1. Akimov L.M. 2010. Analiz vremennogo raspredeleniya srednih koncentracij antropogennyh primesej v Voronezhe s uchetom ot klimaticeskikh pokazatelej [Analysis of the temporal distribution of average concentrations of anthropogenic impurities in Voronezh, taking into account climatic indicators]. In: Ekologiya regionov [Ecology of regions]. III Anniversary International Scientific and Practical Conference, 31 December – 01 January 2010, Vladimir, Publ. Vladimir State University: 8–12.
2. Akimov L.M., Yakushev A.B., Kurolap S.A. 2011. Ecological Assessment of Air Pollution by Automobiles, Depending on the State of the Atmosphere of the City of Voronezh. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 2: 158–165 (in Russian).
3. Akimov L.M., Vinogradov P.M., Akimov E.L. 2014. Comprehensive Ecological Assessment with Account of Atmosphere State, Functional and Planning Structure of the City. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 4: 57–67 (in Russian).
4. Bezuglaya E.Yu., Smirnova I.V. 2008. Vozduh gorodov i ego izmeneniya [The air of cities and its changes]. St. Petersburg, Publ. Asterion, 253 p.
5. Bezuglaya E.Yu., Smirnova I.V. 2002. Problemy zagryazneniya vozduha. Krupnejshie goroda Rossii [Air pollution problems. Largest cities in Russia]. Inzhenernye sistemy AVOK-Severo-Zapad, 3: 35–36.
6. Bezuglaya E.Yu., Rastorgueva G.P., Smirnova I.V. 1991. Chem dyshit promyshlennyj gorod [What an industrial city breathes]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 251 p.
7. Berlyand M.E. 1985. Prognoz i regulirovanie zagryazneniya atmosfery [Prediction and regulation of air pollution]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 272 p.
8. Izrael' Yu.A. 1984. Ekologiya i kontrol' sostoyaniya prirodnoj sredy [Ecology and control of the state of the natural environment]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 380 p.

9. Isaev L.K. 1997. Vozdejstvie na organizm cheloveka opasnyh i vrednyh ekologicheskikh faktorov. [The impact on the human body of hazardous and harmful environmental factors]. In 2 vol. Volume 1. Meteorological aspects]. Moscow, Publ. PAIMS, 512 p.
10. Kuznecova E.N. 1999. O sostoyanii okruzhayushchej prirodnoj sredy g. Voronezha v 1998 g. [On the state of the natural environment in Voronezh in 1998 Voronezh]. Voronezh, Publ. Voronezhskiy Gosudarstvennyy Universitet, 71 p.
11. Kurolap S.A., Epincev S.A., Klepikov O.V., Fedotov V.I., Styopkin Yu.I., Mamchik N.P., Korystin S.S. 2010. Voronezh: sreda obitaniya i zony ekologicheskogo riska [Voronezh: habitat and environmental risk zones]. Voronezh, Publ. Istoki, 207 p.
12. Kurolap S.A., Mamchik N.P., Klepikov O.V. 2006. Ocenka riska dlya zdorov'ya naseleniya pri tekhnogenom zagryaznenii gorodskoj sredy [Assessment of the risk to public health in case of technogenic pollution of the urban environment]. Voronezh, Publ. Voronezhskiy Gosudarstvennyy Universitet, 220 p.
13. Klepikov O.V., Kurolap S.A., Sedykh V.A. 2021. Monitoring and assessment of carcinogenic risks for the health of the population of the city of Lipetsk, caused by air pollution. *Regional Geosystems*, 45 (2): 236–245 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-236-245.
14. Revich B.A., Demin A.K., Bushtueva K.A. 1994. Zdorov'e naseleniya i himicheskoe zagryaznenie okruzhayushchej sredy [Public health and chemical pollution of the environment]. Moscow, Publ. Centr ekologicheskoi politiki Rossii, 83 p.
15. Revich B.A. 2018. Kachestvo atmosfernogo vozduha v megapolisah i riski zdorov'yu naseleniya [Ambient air quality in megacities and public health risks]. In: *Chelovek v megapolise: opyt mezhdisciplinarnogo issledovaniya* [A person in a metropolis: an experience of interdisciplinary research]. Ed. B.A. Revicha, O.V. Kuznecovoj. Moscow, Publ. LENAND: 214–225.
16. Sergeev A.K., Suchkov V.V., Anisimov V.N. 2016. Complex Assessment of Population Health Risk Exposed to Pollutants in Atmospheric Air in Samara. *Smolenskij medicinskij al'manah*, 1: 213–216 (in Russian).
17. Talalay T.O., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Krymskaya A.A. 2021. The content of pollutants in the atmosphere of the city of Belgorod in various weather conditions. *Regional Geosystems*, 45 (1): 107–117 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-1-107-117.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Акимов Леонид Мусамудинович, кандидат географических наук, доцент, зав. кафедрой природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

Акимов Евгений Леонидович, кандидат географических наук, преподаватель кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Leonid M. Akimov, candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of nature management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism of the Voronezh State University, Voronezh, Russia

Evgeniy L. Akimov, candidate of Geographical Sciences, Cand. Sci. (Geogr), lecture of nature management, Department of geography, geoecology and tourism of the Voronezh State University, Voronezh, Russia