УДК 504.3.054

doi: 10.25750/1995-4301-2025-2-072-085

Оценка загрязнения приземного слоя атмосферы городской среды

© 2025. Т. Я. Ашихмина[1, 2], д. т. н., г. н. с., зав. лабораторией,
Л. Г. Мальцева[3], руководитель отдела, Е. В. Хайданова[4], заведующая отделом,
Н. В. Сырчина[1], к. х. н., с. н. с., М. Х. Хето[1], аспирант,
[1]Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,
[2]Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
[3]Управление Роспотребнадзора по Кировской области
610027, Россия, г. Киров, ул. Красноармейская, д. 45,
[4]ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кировской области»
610000, Россия, г. Киров, ул. Свободы, д. 64 А,
e-mail: ecolab2@gmail.com

По фондовым материалам, данным федеральных и региональных докладов о состоянии окружающей среды, результатам собственных исследований сделан анализ состояния атмосферного воздуха на территории города Кирова. Наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха приходится на предприятия по обеспечению энергией, сбору, обработке и утилизации отходов, производства химических веществ и продукции, а также предприятия растениеводства и животноводства. У 14 хозяйствующих субъектов, осуществляющих деятельность на 26 промышленных площадках, расположенных в северо-западной, западной и юго-западной частях МО «Город Киров», проведена оценка выбросов, установлены ореолы распространения загрязняющих веществ. По данным проведённой инвентаризации стационарных источников и выбросов вредных (загрязняющих) веществ выявлено 107 химических соединения, выбрасываемых в атмосферный воздух городской среды, из них 59 – жидкие и 48 газообразные. По данным 2023–2024 гг. отмечено отсутствие или незначительное покрытие деревьев лихенофлорой на перекрёстках центральных улиц, что свидетельствует о загрязнении атмосферного воздуха городской среды на данных территориях от передвижных источников загрязнения.

Ключевые слова: городская среда, атмосферный воздух, ореолы распространения, загрязняющие вещества, индикаторы загрязнения.

Assessment of pollution of the urban surface layer of the atmosphere

© 2025. T. Ya. Ashikhmina[1, 2] ORCID: 0000-0003-4919-0047, L. G. Maltseva[3] ORCID: 0009-0008-8942-2061,
E. V. Khaidanova[4] ORCID: 0009-0008-7610-0098, N. V. Syrchina[1] ORCID: 0000-0001-8049-6760,
M. H. Kheto[1] ORCID: 0009-0001-7138-4203,
[1]Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
[2]Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
[3]Department of Rospotrebnadzor in the Kirov region,
45, Krasnoarmeyskaya St., Kirov, Russia, 610027,
[4]Federal Budgetary Health Maintenance Institution
“Center of Hygiene and Epidemiology in the Kirov region”,
64a, Svobodi St., Kirov, Russia, 610000,
e-mail: ecolab2@gmail.com

Based on stock materials, data from federal and regional reports on the state of the environment, an analysis of the atmospheric air status in the territory of the city of Kirov was made. The largest contribution to atmospheric air pollution is made by enterprises providing energy (31% of emissions), collecting, processing and disposing of waste, manufacturing chemicals and products, as well as crop and livestock enterprises. 14 economic entities operating on 26 industrial sites located in the northwestern, western and southwestern parts of the Municipality "Kirov City" carried out emissions assessment and established areas of pollutants distribution. According to the data of the inventory of stationary sources and emissions of harmful (polluting) substances, we identified 107 chemical compounds emitted into the atmospheric air of the urban environment, 59 of which are liquid and 48 are gaseous. In emissions from stationary sources, the maximum volume is methane, soot (carbon) and ammonia, and from mobile sources – carbon monoxide, nitrogen oxides and non-methane volatile compounds, which include 8 compounds with a specific odor: methanol, ammonia, furfural, acetic acid, formaldehyde, hydrogen sulfide, diethyl ether, dimethylamine. The absence or insignificant covering of trees with lichenoflora at the intersections of central streets was noted according to the data of 2023–2024, which indicates the pollution of urban air in these territories from mobile sources of pollution.

Keywords: urban environment, atmospheric air, distribution areas, pollutants, pollution indicators.

Загрязнение атмосферного воздуха, вызванное интенсивной хозяйственной деятельностью, входит в число важнейших проблем современности. Глобальные масштабы соответствующей проблемы обусловлены разрушительными последствиями, к которым приводит накопление загрязняющих веществ (ЗВ) в воздушной среде. Под влиянием ЗВ изменяется климат, разрушается озоновый слой, снижается биологическое разнообразие и устойчивость природных экологических систем, увеличивается заболеваемость и смертность населения [1–3]. Перечень ЗВ, попадающих в атмосферу в результате антропогенной деятельности, весьма широк. К ЗВ относятся мелкодисперсные твёрдые частицы (пыль, дым), оксиды серы, азота, летучие органические соединения (ЛОС), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), диоксины, угарный газ, соединения тяжёлых металлов (ТМ), микроорганизмы и многие другие компоненты атмосферного воздуха, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду, жизнь и здоровье человека. Загрязняющие вещества повышают риск развития заболеваний органов дыхания, кожи, сердечно-сосудистой, нервной, репродуктивной, опорно-двигательной, выделительной систем [4]. Загрязнение воздуха отражается на здоровье 97% человечества и приводит к сокращению средней продолжительности жизни населения планеты более чем на два года [5].

Особенно страдает от низкого качества воздуха население крупных промышленных центров с высокой концентрацией производства и транспорта на ограниченных территориях [6]. В настоящее время во многих странах, включая Россию, предпринимаются активные действия, направленные на охрану атмосферы от загрязнения. Основные усилия концентрируются на таких направлениях, как разработка правовых основ охраны атмосферного воздуха, совершенствование системы мониторинга, инвентаризация, нормирование и сокращение объёмов выбросов ЗВ, внедрение более чистых технологий и процессов, сохранение естественных экосистем [7, 8]. Не меньшее природоохранное значение имеют исследования, направленные на оценку рисков и прогнозирование экологических последствий выбросов в атмосферу относительно новых ЗВ – наночастиц, стойких органических соединений и т. п. В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 20 октября 2023 года № 2909-р в настоящее время перечень ЗВ для атмосферного воздуха, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды РФ, включает 293 позиции. Многие из входящих в перечень соединений имеют специфический запах (аммиак, сероводород, метантиол, бензол, стирол, галогенпроизводные углеводородов, спирты, фенолы, эфиры и др.). Накопление соответствующих соединений в атмосферном воздухе приводит к запаховому загрязнению (ЗЗ), вызывающему особый дискомфорт и раздражение населения [9]. Контроль ЗЗ представляет весьма серьёзную проблему, что обусловлено низким порогом восприятия многих запахообразующих веществ (ЗОВ), сложным компонентным составом неприятных запахов, отсутствием необходимой нормативной базы и оборудования для осуществления эффективного и объективного контроля ЗЗ [10].

Весьма перспективным направлением контроля загрязнения воздушной среды может стать пространственное моделирование качества воздуха. Соответствующие модели позволяют анализировать значительные объёмы данных в области экологии и метеорологии (температуру, влажность, скорость ветра, атмосферное давление и др.) для выявления интенсивности переноса, характера транс-

формации и распространения ЗВ, а также определения уровня загрязнения атмосферы в пределах определённых территорий. Создание пространственных моделей позволяет прогнозировать распределение, концентрацию и накопление ЗВ в воздухе конкретных ландшафтов, а также выполнять количественную оценку вклада различных источников в общий уровень загрязнения воздуха в том или ином регионе [11]. Данные об уровне и характере загрязнения воздуха селитебных территорий позволяют прогнозировать риски для здоровья населения и предпринимать необходимые меры для снижения количества выбросов ЗВ и оздоровления экологической обстановки. Сбор и обработка соответствующих данных представляет актуальную и практически значимую задачу.

Целью данного исследования является анализ характера и уровня загрязнения приземного слоя атмосферы городской среды на примере г. Кирова.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран административный центр Кировской области – г. Киров, являющийся одним из исторических, культурных, промышленных и научных центров Русского севера. Численность населения города в 2024 г. составила 475464 чел., численность населения одноимённого городского округа – 493691 чел. Площадь городской территории – около 800 км^2. Город расположен в центральной части Кировской области на берегах р. Вятки (природная подзона южной тайги). Климат умеренно континентальный с продолжительной холодной многоснежной зимой и умеренно тёплым летом. Самый тёплый месяц – июль (средняя температура +18,9 °С), самый холодный – январь (средняя температура –11,5 °С). Из-за большого количества промышленных предприятий и жилых строений температура в городе в среднем на 1–3 °С выше температуры окрестностей. Среднегодовое количество осадков – 697 мм. В течение года преобладают юго-западные и южные ветры. Средняя годовая скорость ветра достигает 3–5 м/с.

Основными источниками выбросов ЗВ в атмосферный воздух селитебной территории являются промышленные предприятия (машиностроение и металлообработка, производство резиновых и пластмассовых изделий, металлургия, производство пищевых продуктов, обработка древесины, электроэнергетика, строительство), автомобильный и железнодорожный транспорт, а также промплощадки крупного агрохолдинга, расположенного в юго-западном направлении от города.

В программу мониторинговых исследований атмосферного воздуха в г. Кирове кроме общепромышленных ЗВ включены четыре специфических соединения: фенол, формальдегид, аммиак и сероводород.

Данные о содержании в воздухе ЗВ представлены по фондовым материалам и экспериментальным данным природоохранных организаций, осуществляющих мониторинг состояния атмосферного воздуха городской территории: Кировский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (наблюдения за состоянием климатических условий и атмосферного воздуха на метеостанции г. Кирова); КОГБУ «Кировский областной центр охраны окружающей среды и природопользования» (наблюдения по определению уровня химического загрязнения атмосферного воздуха на территориях вблизи промышленных предприятий и вдоль транспортных магистралей с использованием стационарного оборудования и передвижной химико-аналитической лаборатории); АИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кировской области» (определение ЗВ в атмосферном воздухе вблизи санитарно-защитных зон (СЗЗ) предприятий, в жилой застройке, в местах наибольшего обращения граждан в рамках санитарно-гигиенического мониторинга и в местах наибольшего обращения граждан в рамках государственного надзора); Специализированной инспекцией аналитического контроля (СИАК) (контроль за соблюдением нормативов промышленных выбросов в окружающую среду на предприятиях) [12, 13]. Данные о загрязнении атмосферного воздуха вблизи транспортных магистралей, а также на различных техногенных участках городской среды были получены в результате выполнения научных исследований с применением физико-химических методов анализа и методов биоиндикации [13, 14].

Для оценки фонового содержания анализируемых ЗВ в атмосферном воздухе г. Кирова проводился отбор проб воздуха в Заречном парке – вне зоны влияния автотранспортных потоков и промышленных выбросов.

Моделирование рассеивания пахучих ЗВ в атмосферном воздухе с определением зон влияния предприятий и вклада каждого предприятия в потенциальные концентрации ЗВ в расчётных точках, а также моделирование

вероятности обнаружения неспецифического и специфического запаха выполнено ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кировской области» на основе данных инвентаризации стационарных источников и выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от 14 хозяйствующих субъектов (26 промплощадок), расположенных в северо-западной, западной и юго-западной частях МО «Город Киров»; разработанной геоинформационной основы проекта, а также метеорологических характеристик и коэффициентов, определяющих условия рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе района расположения анализируемых предприятий.

Максимально-разовые и среднегодовые уровни воздействия оценивали на методических принципах, положенных в основу нормативной методики МРР-2017 (Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе») и реализованных в программном комплексе оценки загрязнения воздушного бассейна «Эколог» версия 4 (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020612125), имеющем сертификат соответствия требованиям нормативных документов (№ РОСС RU.ВЯ01.Н047). Данный программный комплекс прошёл экспертизу Росгидромета (письмо Росгидромета от 26.05.2020 г. № 140-03382/2020) и получил подтверждение на соответствие Программного комплекса УПРЗА «Эколог» версия 4.60 формулам и алгоритмам расчётов, содержащихся в разделах, утверждённых приказом Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273 Методов расчётов рассеивания (МРР) выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (МРР 2017).

Для оценки экспозиции была разработана геоинформационная основа в формате «ГИС Эколог», включающая в себя фрагмент электронной карты МО «Город Киров». При расчёте среднегодовых концентраций ЗВ использовали метео-файл по г. Кирову, подготовленный специалистами Главной географической обсерватории им. А.И. Воейкова (ФГБУ «ГГО»). В соответствии с МРР 2017 значение коэффициента, зависящего от температурной стратификации атмосферы, определяющего условия горизонтального и вертикального рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе, принято для Европейской территории РФ и Урала севернее 52° с. ш.

Результаты и обсуждение

Мониторинговые исследования состояния атмосферного воздуха на магистральных улицах и перекрёстках улиц г. Кирова [10–14] не позволили выявить превышение значений ПДК среднесуточного содержания основных ЗВ. Концентрация CO в атмосферном воздухе в течение всего периода наблюдений (2019–2023 гг.) оставалась стабильной. Концентрация H_2S в атмосферном воздухе варьировала от 0,002 до 0,008 мг/м^3. Наиболее высокие значения этого показателя отмечены на перекрёстках улиц Ленина и Профсоюзной, Октябрьского проспекта и ул. Воровского.

Состояние лихенофлоры на деревьях вдоль ул. Ленина ухудшилось по сравнению с 1996 г. Если в 1996 г «лишайниковая пустыня» проявлялась в основном на центральных перекрёстках ул. Ленина и, в особенности, на перекрёстке с ул. Профсоюзной, то в настоящее время она отмечается, за редким исключением, на большинстве деревьев вдоль всей улицы. Отсутствие или незначительное покрытие лишайниками деревьев на перекрёстках центральных улиц свидетельствует о загрязнении атмосферного воздуха.

Анализ содержания примесей в талой снеговой воде (хлоридов, сульфатов, фосфатов, нитратов, натрия, аммония, калия, кальция, железа, взвешенных пылевых частиц) показал, что участки городской территории, расположенные на пониженных участках рельефа, характеризуются повышенным содержанием ЗВ. Самые чистые пробы снега отмечаются в парковых зонах.

По данным государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в Кировской области в 2023 году» Управления Роспотребнадзора по Кировской области наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха города вносят обрабатывающие производства, предприятия электроэнергетики, а также автомобильный и железнодорожный транспорт. В 2022 г. при проведении исследований в рамках государственного надзора и производственного контроля в атмосферном воздухе г. Кирова регистрировались превышения гигиенических нормативов по содержанию аммиака, сероводорода, оксида азота, оксида углерода, а в 2023 г. были выявлены превышения гигиенических нормативов по содержанию бутилацетата и этилацетата.

По материалам Регионального доклада «О состоянии окружающей среды Кировской

Таблица 1 / Table 1

Количество выбросов загрязняющих веществ (КВЗВ) в атмосферный воздух г. Кирова от стационарных источников в 2023 г. / The amount of pollutant emissions (APE) into the atmospheric air of Kirov from stationary sources in 2023

Специфические ЗВ Specific pollutants	КВЗВ, т APE, t	Специфические ЗВ Specific pollutants	КВЗВ, т. APE , t
CH_4	20287	Пыль комбикормовая / Feed dust	11
Сажа (С) / Soot (C)	4560	HCl	10
NH_3	1759	Фенол / Phenol	9
Пыль неорганическая Inorganic dust	16+1073	Белково-витаминный концентрат (по белку) / Protein-vitamin concentrate (by protein)	8
Метилбензол / Methylbenzene	258	Mn, MnO_2	6
Диметилбензол / Dimethylbenzene	217	Гексан / Hexane	6
Бензин нефтяной малосернистый Low-sulfur petroleum gasoline	92	Гидроксиметилбензол Hydroxymethylbenzene	5
Метанол / Methanol	67	Фурфурол / Furfural	5
Ацетон / Acetone	58	Мазутная зола / Fuel oil ash	4
Формальдегид / Formaldehyde	42	H_2SO_4	3
Пропан-2-ол / Propan-2-ol	38	Этенилбензол / Ethenylbenzene	3
Бутилацетат / Butyl acetate	28	HF	3
Этилбензол / Ethylbenzene	28	Бутан / Butane	3
CH_3COOH	26	Пропан-1-ол / Propan-1-ol	3
HNO_3	22	Cl_2	2
H_2S	20	Полиэтен / Polyethylene	2
CCl_4	13	Диметиламин / Dimethylamine	1
Бензол / Benzene	11	Этоксиэтан / Ethoxyethane	1
Этилацетат / Ethyl acetate	11	Прочие Others	10,981
Масло минеральное нефтяное Mineral petroleum oil	11		

Таблица 2 / Table 2

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу г. Кирова от передвижных источников в 2023 г. Emissions of pollutants into the atmosphere of Kirov from mobile sources in 2023

Загрязняющие вещества Pollutants	Количество выбросов, тыс. т Amount of emissions, thousand t	
	Железнодорожный транспорт Rail transport	Автомобильный транспорт Road transport
Диоксид серы / Sulfur dioxide (SO_2)	0,000581	0,288787
Оксиды азота (NO_x) в пересчёте на NO_2 Nitrogen oxides (NO_x) converted to NO_2	1,149578	13,720929
Неметановые летучие соединения Non-methane volatile compounds	0,134988	8,644902
Оксид углерода(II) / Carbon monoxide (CO)	0,310618	60,690004
Твёрдые частицы в пересчёте на углерод (сажа) Carbon black particulate matter (soot)	0,132956	0,390168
Аммиак / Ammonia (NH_3)	0,000194	0,298895
Метан / Methane (CH_4)	0,005225	0,134231
Всего по региону / Total for the region	1,734141	84,167915
Всего по Приволжскому федеральному округу Total for the Volga Federal District	15,335	429,745

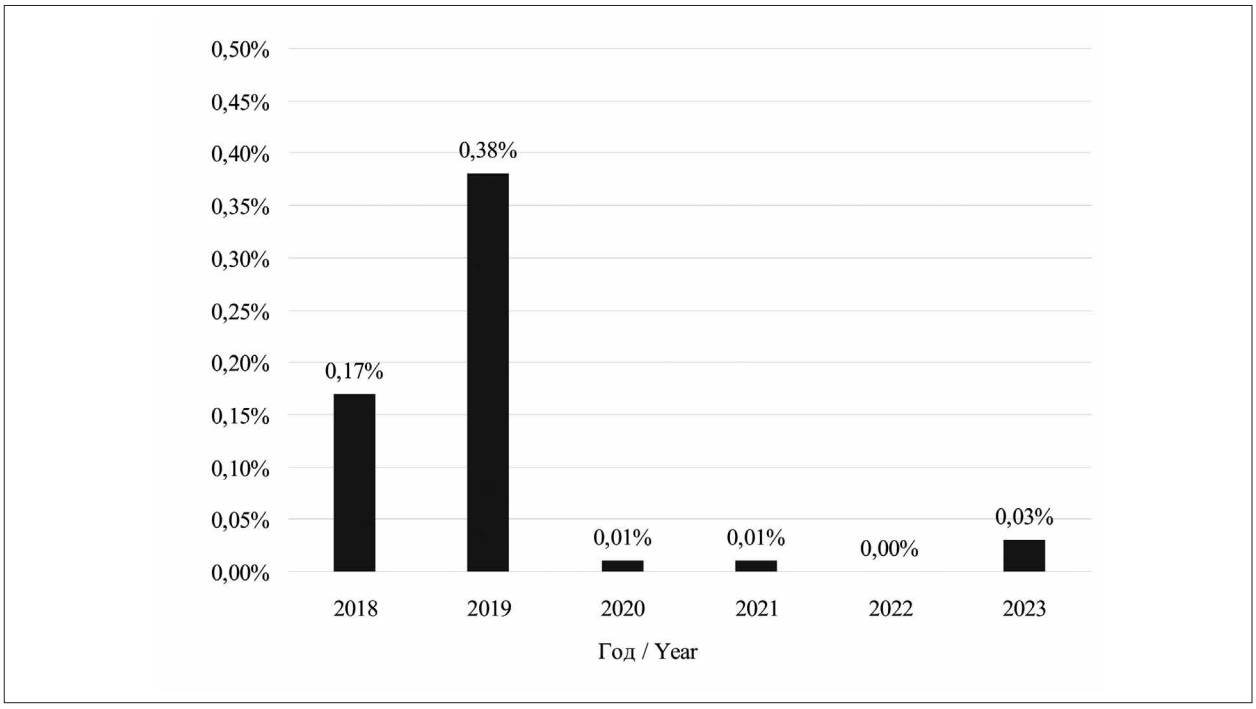

Рис. 1. Доля проб атмосферного воздуха в г. Кирове, не соответствующих гигиеническому нормативу, %
Fig. 1. Proportion of atmospheric air samples in Kirov that do not meet hygienic standards, %

области в 2023 году» в таблицах 1 и 2 представлены данные по выбросам специфических ЗВ от стационарных и передвижных источников.

Анализ данных таблиц 1 и 2 свидетельствует о том, что в выбросах от стационарных источников максимальный объём приходится на метан (20287 т), сажу (углерод) – 4560 т и аммиак – 1759 т, а от передвижных источников на оксид углерода – 60,69 тыс. т, оксиды азота – 13,72 тыс. т и неметановые летучие соединения – 8,64 тыс. т. Многие ЗВ имеют специфический запах (метанол, аммиак, фуран-2-альдегид, этановая кислота, формальдегид, дигидросульфид, этоксиэтан, диметиламин и др.).

В целом в рамках госнадзора на территории жилой застройки г. Кирова ежегодно исследуется 5–8 тыс. проб атмосферного воздуха, из них в 2023 г. к неудовлетворительным по гигиеническому нормативу отнесено 9–10 проб, что в процентном соотношении составляет не более 0,03% (рис. 1).

По данным государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в Российской Федерации в 2023 году» Кировская область относится к числу субъектов РФ, в которых содержание отдельных ЗВ в атмосферном воздухе городских поселений в 2023 г. превысило 5 ПДК (по содержанию этилацетата).

Мониторинг ЗЗ городской территории имеет большое социальное значение. В последнее время в г. Кирове участились случаи жалоб населения на специфические запахи. Данная проблема становится характерной для многих крупных городов РФ. Факты наличия ЗЗ ряда территорий жилой застройки г. Кирова выявлены такими экологическими службами региона, как Управление Роспотребнадзора по Кировской области, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кировской области», Министерство охраны окружающей среды, Центр лабораторного анализа и технических измерений (ЦЛАТИ).

В летний период 2024 г. специалистами ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кировской области» по заданию Управления Роспотребнадзора в Кировской области были проведены мониторинговые исследования содержания специфических ЗОВ в атмосферном воздухе на территории жилой застройки города в зоне влияния предприятий, выбрасывающих соответствующие ЗВ. В результате лабораторных исследований установлено, что концентрации ЗВ на всех местах отбора проб воздуха были ниже предела обнаружений методик выполнения измерений, а именно: взвешенных веществ – менее 0,15 мг/м^3 (при ПДК 0,5 мг/м^3), оксида углерода(II) – менее 1,5 мг/м^3 (при ПДК 5 мг/м^3), диоксида серы – менее 0,03 мг/м^3 (при ПДК 0,5 мг/м^3), гидроксибензола – менее 0,0018 мг/м^3 (при ПДК 0,01 мг/м^3),

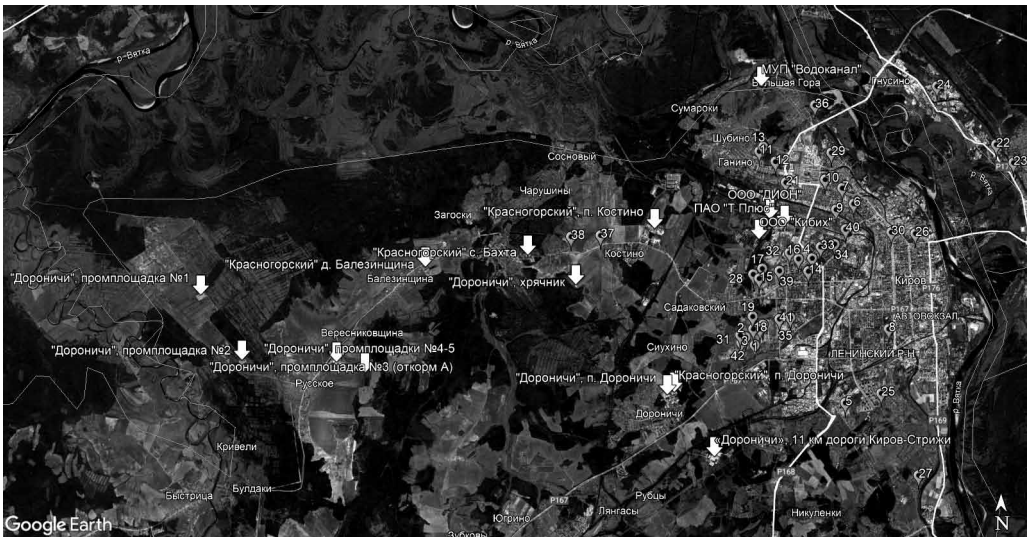

Рис. 2. Карта-схема расположения предприятий – источников выбросов дурнопахнущих веществ, и расчётных точек для целей моделирования рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе / **Fig. 2.** Location of enterprises – sources of odoriferous substances emissions, and calculation points for the purpose of modeling the dispersion of pollutants in the atmospheric air

формальдегида – менее 0,0018 мг/м^3 (при ПДК 0,05 мг/м^3), диоксида азота – менее 0,024 мг/м^3 (при ПДК 0,2 мг/м^3). При этом из сотен замеров содержания ЗОВ в местах выявления запаха превышения ПДК установлены лишь в единичных случаях, то есть используемые в обычной практике средства контроля качества атмосферного воздуха являются недостаточными для мониторинга уровня ЗЗ. Это обусловлено тем, что запах формируется не отдельным веществом, а сложной смесью веществ неизвестного состава, присутствующих в смеси в крайне незначительных количествах.

С целью поиска возможного источника запаха и решения данной проблемы ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кировской области» проведено моделирование рассеивания пахучих ЗВ в атмосферном воздухе с определением зон влияния предприятий и вклада каждого предприятия в потенциальные концентрации ЗВ в расчётных точках, а также моделирование вероятности обнаружения неспецифического и специфического запаха. Моделирование рассеивания в атмосферном воздухе проведено по летним замерам, в связи с тем, что для данного сезона года характерны наибольшие приземные концентрации ЗВ. Выбранные размеры расчётной области, общее количество узлов и шаги расчётной сетки для каждой промплощадки выбирались в соответствии с размерами зоны влияния рассматриваемой совокупности источников выбросов (рис. 2). В целях уточнения уровней экспозиции дополнительно выбраны расчётные точки по содержанию ЗВ в атмосферном воздухе в 2016–2021 гг.

На первом этапе проведённой ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кировской области» научно-практической работы выявлено, что в атмосферный воздух с исследуемых промплощадок, по данным инвентаризации стационарных источников и выбросов вредных (загрязняющих) веществ, выбрасывается 107 химических соединений, из них 59 – жидкие и газообразные, 48 – твёрдые (табл. 3).

При анализе 59 жидких/газообразных веществ на наличие запаха в их характеристиках выявлено, что 45 из них имеют запах, 8 – не имеют, по 6 веществам данные о запахе отсутствовали. Определено, что 96,1% суммарных выбросов пахучих веществ (без учёта диоксида серы и диоксида азота) от изученных предприятий формируют 10 веществ (метанол, аммиак, этанол, фурфурол, этановая кислота, диметилсульфид, формальдегид, алканы С12–С19, этилформиат, дигидросульфид) (рис. 3, см. цв. вкладку III).

В «короткий» список веществ для дальнейшей процедуры моделирования рассеивания ЗВ включены 13 приоритетных веществ по критериям «вклад в суммарный валовый выброс веществ, имеющих запах» и/или «характер запаха – резкий неприятный, тошнотворный». Включённые в «короткий» список 13 веществ составляют 93,5% валового выброса веществ, обладающих запахом, от изучаемых предприятий (без учёта диоксида серы

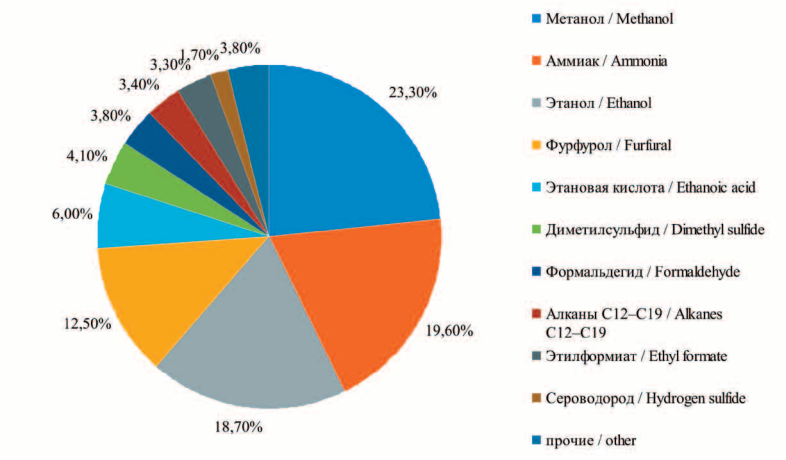

Рис. 3. Вклад в суммарные выбросы пахнущих веществ отдельных химических соединений (без диоксида серы и диоксида азота) / **Fig. 3.** Contribution to total emissions of odorous substances of selected chemical compounds (excluding sulfur dioxide and nitrogen dioxide)

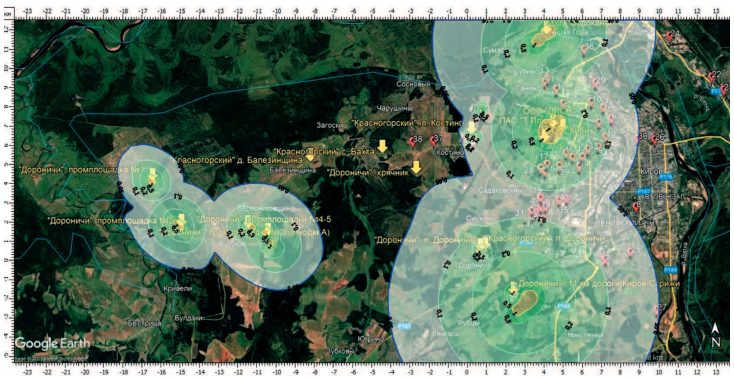

Рис. 4. Пересечение зон влияния выбросов веществ из «короткого списка» от анализируемых источников на фрагменте карты г. Кирова (масштаб 1:100 000)
Fig. 4. Intersection of the zones of emissions effect of the "short list" of substances from the analyzed sources on a fragment of the Kirov map (scale 1:100,000)

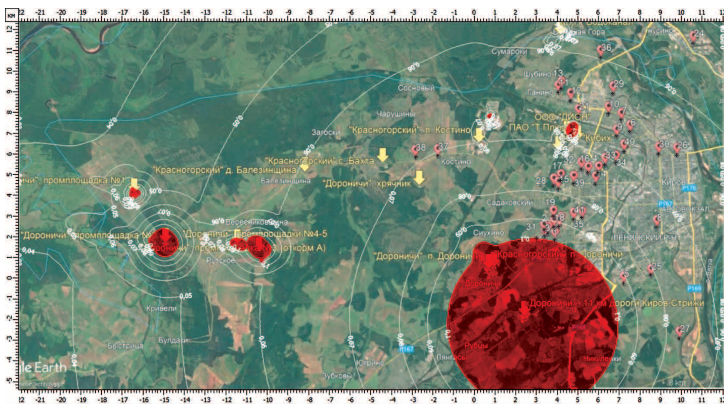

Рис. 5. Вероятность обнаружения неспецифического запаха от суммы веществ из «короткого списка», выбрасываемых источниками, расположенными в юго-западной, западной и северо-западной частях г. Кирова (приемлемое значение = 0,1) (масштаб 1:100 000) / **Fig. 5.** Probability of detecting a non-specific odor from the sum of "short list" of substances emitted by sources located in the southwestern, western and northwestern parts of Kirov (acceptable value = 0.1) (scale 1:100,000)

Таблица 3 / Table 3

Перечень химических соединений, выбрасываемых в атмосферный воздух с исследуемых промплощадок
List of chemical compounds emitted into the atmosphere from the industrial sites under study

№ п/п No.	Загрязняющее вещество / Pollutant		№ п/п No.	Загрязняющее вещество / Pollutant		№ п/п No.	Загрязняющее вещество / Pollutant	
	Код Code	Наименование / Name		Код Code	Наименование / Name		Код Code	Наименование / Name
1	118	TiO_2	37	931	(Хлорметил)оксиран (Chloromethyl)oxirane	73	2754	Алканы $C_{12–19}$ (в пересчёте на С) Alkanes $C_{12–19}$ (in terms of C)
2	123	Fe_2O_3 (в пересчёте на железо) (in terms of iron)	38	967	Хладон-125 (пентафторэтан) Freon-125 (Pentafluoroethane)	74	2868	Эмульсол / Emulsol
3	143	Mn и его соединения (в пересчёте на MnO_2) / Mn and its compounds (in terms of MnO_2)	39	1051	Пропан-2-ол / Propan-2-ol	75	2902	Взвешенные вещества Suspended solids
4	146	CuO (в пересчёте на Cu) (in terms of Cu)	40	1052	Метанол / Methanol	76	2904	Мазутная зола ТЭС (в пересчёте на V) / Fuel oil ash from thermal power plants (in terms of V)
5	150	NaOH	41	1061	Этанол / Ethanol	77	2908	Пыль неорганическая Inorganic dust: 70–20% SiO_2
6	152	NaCl	42	1069	Гидроксиметилбензол Hydroxymethylbenzene	78	2911	Пыль комбикормовая / Feed dust
7	155	Na_2CO_3	43	1071	Фенол / Phenol	79	2920	Пыль меховая / Fur dust
8	183	Hg	44	1088	Глюкоза / Glucose	80	2924	Полимер 2-метилпроп-2-еновой кислоты и метил-2-метилпроп-2-еноат / Polymer of 2-methylprop-2-enoic acid and methyl 2-methylprop-2-enoate
9	203	Cr(VI)	45	1105	Этоксиэтан (диэтиловый эфир) Ethoxyethane (Diethyl Ether)	81	2930	Пыль абразивная / Abrasive dust
10	258	Кальция стеарат / Calcium stearate	46	1206	Бутилпроп-2-еноат Butyl prop-2-enoate	82	2936	Пыль древесная / Wood dust
11	301	NO_2	47	1240	Этилацетат / Ethyl acetate	83	2938	Пыль желатина / Gelatin dust
12	302	HNO_3 (по молекуле) / (by molecule)	48	1246	Этилформиат / Ethyl formate	84	2966	Пыль крахмала / Starch dust
13	303	Аммиак / Ammonia	49	1314	Пропаналь / Propanal	85	2975	Пыль СМС марки «Лотос-М» SMS dust brand “Lotus-M”
14	304	NO	50	1325	Формальдегид / Formaldehyde	86	2977	Пыль талька / Talc dust

№ п/п No.	Загрязняющее вещество / Pollutant		№ п/п No.	Загрязняющее вещество / Pollutant		№ п/п No.	Загрязняющее вещество / Pollutant	
	Код Code	Наименование / Name		Код Code	Наименование / Name		Код Code	Наименование / Name
15	316	HCl	51	1328	Пентандиаль / Pentandial	87	3085	Карбамазепин / Carbamazepine
16	322	Серная кислота (по молекуле H_2SO_4) / Sulfuric acid (by molecule H_2SO_4)	52	1401	Ацетон / Acetone	88	3094	Целлюлоза микрокристаллическая Microcrystalline cellulose
17	323	SiO_2 аморфный / amorphous	53	1512	Акриловая кислота / Acrylic acid	89	3095	2-гидрокси пропил метил целлюлоза / 2-hydroxypropyl methyl cellulose
18	328	Углерод (сажа) / Carbon (soot)	54	1513	Аскорбиновая кислота / Ascorbic acid	90	3098	Лактобиоза / Lactobiose
19	330	SO_2	55	1531	Капроновая кислота / Caproic acid	91	3119	Мел (кальций карбонат) Chalk (calcium carbonate)
20	333	H_2S	56	1555	CH_3COOH	92	3135	Калия оротат / Potassium orotate
21	337	CO	57	1580	Лимонная кислота / Citric acid	93	3183	Магния стеарат / Magnesium Stearate
22	342	HF	58	1707	Диметилсульфид / Dimethyl sulfide	94	3199	Натрий карбоксиметилцеллюлоза Sodium carboxymethylcellulose
23	344	Фториды плохо растворимые Fluorides, poorly soluble	59	1715	Метилмеркаптан / Methyl Mercaptan	95	3228	Полиэтиленгликоль ПЭГ-6000 Polyethylene glycol PEG-6000
24	349	Cl_2	60	1716	Одорант смесь природных меркаптанов / Odorant mixture of natural mercaptans	96	3342	Карбоновые кислоты C_1–C_6 (по муравьиной кислоте) / Carboxylic acids C1–C6 (by formic acid)
25	403	Гексан / Hexane	61	1728	Этилмеркаптан / Ethyl mercaptan	97	3371	Ципрофлоксацин гидрохлорид Ciprofloxacin hydrochloride
26	410	Метан / Methane	62	1821	N,N-диметилбензиламин N,N-dimethylbenzylamine	98	3381	Амоксициллин тригидрат Amoxicillin trihydrate
27	415	Смесь алканов C_1–C_5 / A mixture of alkanes C_1–C_5	63	1849	Метиламин / Methylamine	99	3623	Поливинилпирролидон Polyvinylpyrrolidone
28	416	Смесь алканов C_6–C_{10} A mixture of alkanes C_6–C_{10}	64	2005	Гидразин-гидрат Hydrazine hydrate	100	3656	Дротаверина хлорид Drotaverine chloride
29	501	Пентилены (смесь изомеров) Pentylenes (a mixture of isomers)	65	2155	Амлодипинамалеат / Amlodipine maleate	101	3714	Угольная зола Coal ash ($20<SiO_2< 70$)
30	602	Бензол / Benzene	66	2425	Фурфурол / Furfural	102	3721	Пыль мучная / Flour dust

№ п/п No.	Загрязняющее вещество / Pollutant		№ п/п No.	Загрязняющее вещество / Pollutant		№ п/п No.	Загрязняющее вещество / Pollutant	
	Код Code	Наименование / Name		Код Code	Наименование / Name		Код Code	Наименование / Name
31	616	Ксилол (смесь изомеров *о-*, *м-*, *п-*) / Xylene (mixture of *o-*, *m-*, *p-* isomers)	67	2546	Симвастатин / Simvastatin	103	3749	Пыль каменного угля / Coal dust
32	620	Стирол / Styrene	68	2602	Белково-витаминный концентрат (БВК) (по белку) / Protein-vitamin concentrate (PVC) (by protein)	104	3809	Верапамил / Verapamil
33	621	Толуол / Toluene	69	2603	Микроорганизмы (по общему бактериальному счёту) Microorganisms (by total bacterial count)	105	3816	Биопаг / Biopag
34	627	Этилбензол / Ethylbenzene	70	2704	Бензин / Petrol	106	3825	Арифон / Arifon
35	703	Бенз(а)пирен / Benz(a)pyrene	71	2732	Керосин / Kerosene	107	3912	Панкреатин / Pancreatin
36	827	Винилхлорид / Vinyl chloride	72	2735	Масло минеральное нефтяное Mineral petroleum oil			

Таблица 4 / Table 4

«Короткий» список веществ, включённых в исследование по критериям «вклад в суммарный валовый выброс веществ, имеющих запах» и/или «характер запаха – резкий неприятный, тошнотворный»
"Short" list of substances included in the study according to the criteria "contribution to total gross emission of odorous substances" and/or "odor charachter – pungent, unpleasant, nauseating"

№	Код Code	Наименование вещества Substance	Вклад в суммарный валовый выброс запаховых веществ, % Contribution to total gross emissions of odorous substances, %	Наличие резкого неприятного, тошнотворного запаха Pungent, unpleasant, nauseating odor
Без учёта диоксида серы и диоксида азота, выбрасываемых Кировской ТЭЦ-4 Excluding sulfur dioxide and nitrogen dioxide emitted by Kirov CHPP-4				
1	1052	Метанол / Methanol	23,3	–
2	303	Аммиак / Ammonia	19,6	+
3	1061	Этанол / Ethanol	18,7	–
4	2425	Фурфурол / Furfural	12,5	–
5	1555	Уксусная кислота / Acetic acid	6,0	+
6	1707	Диметилсульфид / Dimethyl sulfide	3,9	+
7	1325	Формальдегид / Formaldehyde	3,8	+
8	1246	Этилформиат / Ethyl formate	3,3	–
9	333	Сероводород / Hydrogen sulfide	1,7	+
10	1105	Диэтиловый эфир / Diethyl Ether	0,4	+
11	1849	Метиламин / Methylamine	0,3	+
12	1728	Этилмеркаптан / Ethyl mercaptan	0,01	+
13	1715	Метилмеркаптан / Methyl Mercaptan	0,004	+
Итого / Total			93,5	нет данных / no data

Примечание: «+» – присутствует, «–» – отсутствует. / Note: "+" – present, "–" – absent.

и диоксида азота, основная масса которых выбрасывается от «Кировской ТЭЦ-4») (табл. 4).

95,4% вклада в суммарные выбросы 13 приоритетных веществ формируют 3 хозяйствующие субъекта: ООО «ДИОН» – 53,3%; АО «Агрофирма «Дороничи» – 27,6% (промплощадка «Тер. 11 км. автодороги Киров-Стрижи-Оричи» – 19,0%, промплощадки №№1–6 вблизи с. Русское – 7,7%, промплощадка в п. Дороничи – 0,9%); ООО «КИБИХ» – 15,4%. Соответственно, в анализ включены 15 из 26 промплощадок 5 хозяйствующих субъектов, формирующих 99,1% вклада в суммарный выброс веществ из «короткого списка» на изучаемой территории.

По результатам моделирования рассеивания выявлено, что пересечение (объединение) зон влияния выбросов изучаемых пахучих веществ при заданных метеоусловиях отмечается для следующих групп промплощадок ((рис. 4, см. цв. вкладку III):

1 группа промплощадок расположена вблизи с. Русское и включает в себя промплощадки АО «Агрофирма «Дороничи» – репродуктор, доращивание, откорм А, Б, В, биопруды;

2 группа промплощадок расположена в северо-западной, западной и юго-западной частях г. Кирова и включает в себя: животноводческий комплекс АО «Агрофирма «Дороничи», тер. 11 км автодороги Киров-Стрижи-Оричи; АО Агрокомбинат племзавод «Красногорский», животноводческий комплекс в п. Дороничи; производственную базу в п. Дороничи АО «Агрофирма «Дороничи»; ООО «ДИОН»; ООО «КИБИХ»; МУП «Водоканал».

Большое количество выбранных контрольных точек по критерию выбора «максимальная концентрация жалоб населения либо регистрация неудовлетворительных результатов исследований в атмосферном воздухе в 2016–2021 гг.» попадает в зону влияния выбросов второй группы промплощадок (рис. 4).

При анализе территориального распределения вероятности обнаружения неспецифического запаха от суммы приоритетных пахучих веществ в заданных условиях в разрезе расчётных точек выявлено, что наибольшая вероятность обнаружения неспецифического запаха при воздействии суммы пахучих веществ (0,1) отмечается в точках № 31 (ул. Капитана Дорофеева, д. 5), № 1 (ул. Энтузиастов,

д. 15), № 2 (ул. Энтузиастов, д. 60/1), № 42 (сл. Фадино), № 3 (ул. Энтузиастов, д. 62) (рис. 5, см. цв. вкладку III). До 59,0% вклада в вероятность обнаружения неспецифического запаха при воздействии расчётных концентраций вносит диметилсульфид (при этом его расчётные максимально разовые концентрации составляют до 0,03 $ПДК_{мр}$). На втором месте (до 27,9%) – аммиак при расчётных максимально разовых концентрациях до 0,07 $ПДК_{мр}$.

При анализе вклада источников выбросов в формирование максимально разовых концентраций, наиболее значимых с точки зрения вероятности обнаружения неспецифического и навязчивого запаха ЗВ на примере отдельных расчётных точек, выявлено, что повышенная концентрация диметилсульфида создаётся в основном источниками промплощадки АО «Агрофирма «Дороничи» «Животноводческий комплекс, тер. 11 км автодороги Киров-Стрижи-Оричи» на всей исследуемой территории; а приоритетные источники загрязнения атмосферного воздуха аммиаком различаются в расчётных точках с различной локализацией (к приоритетным в разных частях города могут относиться АО «Агрофирма «Дороничи» «Животноводческий комплекс, тер. 11 км автодороги Киров-Стрижи-Оричи», ООО «ДИОН», МУП «Водоканал»).

При этом следует отметить, что промплощадка АО «Агрофирма «Дороничи» расположена в 3 км от границы г. Кирова и в 9 км от его центра, а промплощадки ООО «ДИОН» и ООО «КИБИХ» расположены в городской черте на расстоянии 5,7 км от центральной части города. Ореол (шлейф) распространения ЗЗ от промплощадки АО «Агрофирма «Дороничи» составляет около 6 км (рис. 4), т. е. не достигает центральной части города.

Следовательно, улучшение ситуации по ЗЗ атмосферного воздуха в городской черте напрямую связано с добросовестностью предприятий-загрязнителей. В настоящее время предприятиями ООО «ДИОН», ООО «КИБИХ», АО «Агрофирма «Дороничи» разработаны и реализуются санитарно-противоэпидемические мероприятия, направленные на снижение уровней воздействия на атмосферный воздух, разрабатываются проекты СЗЗ.

Выводы

По материалам проведённых исследований загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха в г. Кирове сделаны следующие выводы:

1. Наибольший вклад в загрязнение атмосферы в г. Кирове приходится на предприятия по обеспечению энергией (31% от объёма выбросов), при этом в составе выбросов 50% приходится на оксид углерода и 25% на оксиды азота. На втором месте по выбросам в атмосферный воздух находятся предприятия по сбору, обработке и утилизации отходов, третье место по загрязнению атмосферного воздуха приходится на производство химических веществ и продукции. Существенный выброс ЗВ в атмосферу приходится на предприятия растениеводства и животноводства, где из числа всех ЗВ 41% составляют углеводороды, 29% – оксид углерода.

2. В общем объёме выбросов ЗВ в атмосферу в 2023 г. выбросы от автотранспорта составляли 48,6% и основной объём приходился на оксид углерода, оксиды азота и ЛОС. Несмотря на увеличение количества автомобильного транспорта, общий объём выбросов ЗВ в атмосферный воздух снижается. Во многом это обусловлено использованием двигателей высоких классов Евро-4 и Евро-5 и переходом автотранспорта на газообразное топливо.

3. В атмосферном воздухе г. Кирова в разные годы регистрировались превышения гигиенических нормативов по содержанию аммиака, сероводорода, оксида азота, оксида углерода, бутилацетата и этилацетата. В выбросах от стационарных источников максимальный объём приходился на метан, сажу (углерод) и аммиак, а от передвижных источников – на оксид углерода, оксиды азота и неметановые летучие соединения, в составе которых 8 соединений со специфическим запахом: метанол, аммиак, фурфурол, уксусная кислота, формальдегид, сероводород, диэтиловый эфир, диметиламин.

4. Анализ состояния атмосферного воздуха на магистральных улицах и перекрёстках улиц г. Кирова свидетельствует о том, что из общепромышленных ЗВ и специфических соединений (метана, сероводорода, аммиака) ни по одному из них не было зафиксировано превышения значений ПДК среднесуточного содержания. Однако отмечено, что концентрация сероводорода в атмосферном воздухе городской среды на перекрёстках улиц Ленина и Профсоюзной, Октябрьский проспект и ул. Воровского в отдельные периоды года колебалась от 0,002 до 0,008 мг/м^3 (при ПДК 0,008 мг/м^3).

5. В сравнении с данными 1996 г., полученными по состоянию лихенофлоры (индикатора атмосферного загрязнения)

в 2023–2024 гг. отмечено незначительное покрытие или полное отсутствие лишайников на деревьях на перекрёстках центральных улиц, что свидетельствует о загрязнении атмосферного воздуха городской среды на данных территориях от передвижных источников загрязнения.

6. Поскольку по результатам моделирования рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе г. Кирова наибольший вклад в вероятность обнаружения неспецифического и навязчивого запаха (до 81,7%) вносит диметилсульфид, а расчётные ПДК$_{мр}$ указанного вещества при наличии высокой вероятности обнаружения неспецифического и навязчивого запаха составляют лишь доли ПДК (до 0,03 ПДК$_{мр}$), необходима разработка комплекса мероприятий, направленных на снижение содержания диметилсульфида в атмосферном воздухе г. Кирова. Основная точка приложения усилий – выбросы ИЗА № 6050 (Биологические пруды) АО «Агрофирма «Дороничи» «Животноводческий комплекс, тер. 11 км автодороги Киров-Стрижи-Оричи».

С целью научного обоснования системы управления качеством атмосферного воздуха с учётом риска возникновения запаха в 2024 г. заключён договор о сотрудничестве Управления Роспотребнадзора по Кировской области и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кировской области» с ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора. Экологическими службами региона, а также учёными ВятГУ продолжаются исследования загрязнения приземного слоя атмосферы городской среды пылегазовыми выбросами, оценке уровня влияния вредных веществ от автотранспортных потоков на наиболее загруженных перекрёстках г. Кирова и на границах СЗЗ предприятий, проводится лабораторный контроль за загрязнением атмосферного воздуха в городе по актуальным ЗВ в зоне влияния предприятий. По полученным данным планируется разработка программы экологического мониторинга атмосферного воздуха городской среды.

Литература

1. Cichowicz R., Bochenek A.D. Assessing the effects of urban heat islands and air pollution on human quality of life // Anthropocene. 2024. V. 46. Article No. 100433. doi: 10.1016/j.ancene.2024.100433

2. Zhang Z., Lin H. Air pollution: a pressing threat to functioning in the older adults // J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci. 2023. V. 78. No. 12. P. 2307–2308. doi: 10.1093/gerona/glad145

3. Azimi M.N., Rahman M.M. Unveiling the health consequences of air pollution in the world's most polluted nations // Sci. Rep. 2024. V. 14. No. 1. Article No. 9856. doi: 10.1038/s41598-024-60786-0

4. Sigsgaard T., Hoffmann B. Assessing the health burden from air pollution // Science. 2024. V. 384. No. 6691. P. 33–34. doi: 10.1126/science.abo3801

5. Erum N., Musa K., Sari R.N., Sanusi Z.M., Said J. Quality of governance and urbanization as moderators in the relationship between air quality, inclusive development, and life expectancy // Air Qual. Atmos. Health. 2025. doi: 10.1007/s11869-025-01714-7

6. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. Environmental and health impacts of air pollution: a review // Front. Public Health. 2020. V. 8. Article No. 14. doi: 10.3389/fpubh.2020.00014

7. Seesaard T., Kamjornkittikoon K., Wongchoosuk C. A comprehensive review on advancements in sensors for air pollution applications // Sci. Total Environ. 2024. V. 951. Article No. 175696. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175696

8. Cheng L., Ye Z., Wei W., Wang K., Wang R., Yang L., Cheng S., Zhang C. Study on the establishment of air pollutant and carbon emission inventory and collaborative emission reduction potential of China's coking industry from 2012 to 2022 // Sci. Total Environ. 2024. V. 951. Article No. 175183. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175183

9. Сырчина Н.В., Пилип Л.В., Ашихмина Т.Я. Основные подходы к снижению запахового загрязнения окружающей среды предприятиями животноводства (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 3. С. 6–19. doi: 10.25750/1995-4301-2024-3-006-019

10. Сырчина Н.В., Пилип Л.В., Ашихмина Т.Я. Контроль запахового загрязнения атмосферного воздуха (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 26–34. doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-026-034

11. Badawy H. Recent trends in spatial modeling studies of air quality (2010–2023) // Earth Sci. Inform. 2025. V. 18. No. 2. Article No. 193. doi: 10.1007/s12145-024-01667-y

12. Абашев Т.Э., Ашихмина Т.Я., Хето М.Х. Сравнительная экологическая оценка техногенного воздействия на воздушный бассейн территории Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 2. С. 35–47. doi: 10.25750/1995-4301-2024-2-035-047

13. Хето М.Х., Рутман В.В. Содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Кирова // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XXII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров: Вятский государственный университет, 2024. С. 105–108.

14. Рутман В.В., Хето М.Х. Динамика состояния атмосферного воздуха на территории г. Кирова // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XXII Всероссийской

научно-практической конференции с международным участием. Киров: Вятский государственный университет, 2024. С. 108–113.

References

1. Cichowicz R., Bochenek A.D. Assessing the effects of urban heat islands and air pollution on human quality of life // Anthropocene. 2024. V. 46. Article No. 100433. doi: 10.1016/j.ancene.2024.100433

2. Zhang Z., Lin H. Air pollution: a pressing threat to functioning in the older adults // J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci. 2023. V. 78. No. 12. P. 2307–2308. doi: 10.1093/gerona/glad145

3. Azimi M.N., Rahman M.M. Unveiling the health consequences of air pollution in the world's most polluted nations // Sci. Rep. 2024. V. 14. No. 1. Article No. 9856. doi: 10.1038/s41598-024-60786-0

4. Sigsgaard T., Hoffmann B. Assessing the health burden from air pollution // Science. 2024. V. 384. No. 6691. P. 33–34. doi: 10.1126/science.abo3801

5. Erum N., Musa K., Sari R.N., Sanusi Z.M., Said J. Quality of governance and urbanization as moderators in the relationship between air quality, inclusive development, and life expectancy // Air Qual. Atmos. Health. 2025. doi: 10.1007/s11869-025-01714-7

6. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. Environmental and health impacts of air pollution: a review // Front. Public Health. 2020. V. 8. Article No. 14. doi: 10.3389/fpubh.2020.00014

7. Seesaard T., Kamjornkittikoon K., Wongchoosuk C. A comprehensive review on advancements in sensors for air pollution applications // Sci. Total Environ. 2024. V. 951. Article No. 175696. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175696

8. Cheng L., Ye Z., Wei W., Wang K., Wang R., Yang L., Cheng S., Zhang C. Study on the establishment of air pollutant and carbon emission inventory and collaborative emission reduction potential of China's coking industry from 2012 to 2022 // Sci. Total Environ. 2024. V. 951. Article No. 175183. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175183

9. Syrchina N.V., Pilip L.V., Ashikhmina T.Ya. Basic approaches to reducing odor pollution of the environment by livestock farms (review) // Theoretical and Applied Ecology. 2024. No. 3. P. 6–19 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2024-3-006-019

10. Syrchina N.V., Pilip L.V., Ashikhmina T.Ya. Control of odor pollution of atmospheric air (review) // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 2. P. 26–34 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-026-034

11. Badawy H. Recent trends in spatial modeling studies of air quality (2010–2023) // Earth Sci. Inform. 2025. V. 18. No. 2. Article No. 193. doi: 10.1007/s12145-024-01667-y

12. Abashev T.E., Ashikhmina T.Ya., Kheto M.H. Ecological assessment of technogenic impact on the air basin of the Kirov region // Theoretical and Applied Ecology. 2024. No. 2. P. 35–47 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2024-2-035-047

13. Kheto M.H., Rutman V.V. Content of pollutants in Kirov atmospheric air // Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems: Materialy XXII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii c mezhdunarodnym uchastiem. Kirov: Vyatka State University, 2024. P. 105–108 (in Russian).

14. Rutman V.V., Kheto M.H. Air quality dynamics in Kirov // Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems: Materialy XXII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii c mezhdunarodnym uchastiem. Kirov: Vyatka State University, 2024. P. 108–113 (in Russian).