



Зайцева Н.В.¹, Пяташина М.А.², Клейн С.В.¹, Май И.В.¹, Прокофьева М.В.²,
Кириянов Д.А.¹, Клячин А.А.¹, Чигвинцев В.М.¹

Идентификация и приоритизация источников неприятных запахов в атмосферном воздухе населённых мест на основе метода системного гибридного анализа и нечёткой логики

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, 614045, Пермь, Россия;

²Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Татарстан (Татарстан), 420111, Казань, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Неприятные запахи в атмосферном воздухе промышленных центров — значимая медико-социальная проблема.

Цель исследования — разработка и апробация методических подходов к определению потенциальных источников запаха в жилых районах промышленно развитых территорий на основе методов нечёткой логики и системного гибридного анализа данных.

Материал и методы. Предложена и апробирована комплексная восьмизатная методика определения приоритетных источников неприятных запахов в городской среде. Отработку подходов выполняли на реальных данных крупного промышленного центра. Метод определения зон расположения источников запаха — нечёткая логика, где запах представлен лингвистической переменной, учитывающей жалобы населения и метеорологические условия. Проведён анализ 1927 жалоб населения на запах, метеопараметров (2022–2024 гг.), данных мониторинга атмосферного воздуха (на АСКЗА, в репрезентативных точках), выполнены расчётное моделирование для 23 ольфакторно активных веществ с расчётом вкладов источников, сенсорная оценка, GIS-моделирование и пространственный анализ.

Результаты. В ходе апробации методики установлено, что из 375 выбрасываемых в атмосферу веществ 249 обладают ольфакторной активностью. Выявлена пространственно-временная корреляция жалоб с метеоусловиями и временем суток: 67% жалоб при скорости ветра 0–1 м/с; пики в вечерне-ночное (59,3%) и утреннее (22,4%) время. Подтверждено систематическое превышение ПДК_{м.р.} по данным натурных наблюдений: сероводород (до 17,5 ПДК), формальдегид (до 3,2 ПДК), аммиак (до 1,5 ПДК). Определены три зоны размещения потенциальных источников запаха (15,85–31,8 км²), соответствующих промышленным кластерам. Ранжирование 21 потенциального предприятия-загрязнителя выделило шесть приоритетных, формирующих > 80% вклада в концентрации пахучих веществ в точках жалоб.

Ограничения исследования: результаты основаны на штатной работе источников неприятных запахов, не учтены нештатные ситуации.

Заключение. Разработанный универсальный подход к идентификации источников неприятного запаха в условиях неопределённости показал эффективность в разных метеоусловиях и готовность к апробации на других территориях с аналогичными проблемами.

Ключевые слова: атмосферный воздух; запаховое загрязнение; жалобы населения; идентификация источников выбросов

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Зайцева Н.В., Пяташина М.А., Клейн С.В., Май И.В., Прокофьева М.В., Кириянов Д.А., Клячин А.А., Чигвинцев В.М. Идентификация и приоритизация источников неприятных запахов в атмосферном воздухе населённых мест на основе метода системного гибридного анализа и нечёткой логики. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(12): 1589–1597. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1589-1597> <https://elibrary.ru/kankcl>

Для корреспонденции: Клячин Алексей Александрович, e-mail: klyachin@fcrisk.ru

Участие авторов: Зайцева Н.В. — концепция и дизайн исследования; Пяташина М.А., Прокофьева М.В. — сбор материала, редактирование; Клейн С.В. — концепция и дизайн исследования, сбор материала, написание текста; Май И.В., Кириянов Д.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Клячин А.А. — сбор материала и обработка данных, написание текста; Чигвинцев В.М. — сбор материала и обработка данных. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 23.07.2025 / Поступила после доработки: 19.09.2025 / Принята к печати: 02.12.2025 / Опубликовано: 15.01.2026

Nina V. Zaitseva¹, Marina A. Patyashina², Svetlana V. Kleyn¹, Irina V. May¹, Marina V. Prokofyeva²,
Dmitrii A. Kiryanov¹, Aleksey A. Klyachin¹, Vladimir M. Chigvintsev¹

Identifying and defining priority of obnoxious odor sources in ambient air in settlements using systematic hybrid analysis and fuzzy logic

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies of the Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Perm, 614045, Russian Federation;

²Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Tatarstan Regional Office, Kazan, 420111, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Obnoxious odors in ambient air in industrial centers are a significant medical and social issue.

The aim of this study is to develop and test methodical approaches to identifying potential obnoxious odor sources in residential areas of regions with developed industries using fuzzy logic and systematic hybrid data analysis.

Materials and methods. We have developed and tested a complex eight-stage methodology for identifying priority obnoxious odor sources in the urban environment. The suggested approaches have been tested using actual data collected in a large industrial center. Fuzzy logic is used as a method for identifying areas where odor

sources are likely to be located. Within the method, an odor is given as a linguistic variable that considers people's complaints and meteorological conditions. We have analyzed one thousand nine hundred twenty seven people's complaints about obnoxious odors and meteorological parameters (2022–2024), ambient air monitoring data (automated pollution control stations, readings taken at representative points (GC-MS)) and have accomplished computational simulation of 23 olfactory-active substances together with calculating source contributions, sensor estimates, GIS-modeling, and graphic spatial analysis.

Results. *Testing of the developed universal algorithms has established 249 chemicals to be olfactory active out of total 375 ones emitted into ambient air. We have found a spatial-temporal correlation between complaints, meteorological conditions and time: 67% complaints are made when the wind speed is 0–1 m/sec; the peaks are reached in the evening (59.3%) and morning (22.4%). Chemical levels systematically higher than single maximum MPC have been confirmed by field observations: hydrogen sulfide (up to 17.5 MPC), formaldehyde (up to 3.2 MPC), and ammonia (up to 1.5 MPC). We have identified three zones where obnoxious odor sources are likely to be located in the analyzed area (15.85–31.8 km²); these zones correspond to industrial clusters. Ranking of 21 enterprises as potential pollutant sources has established 6 priority ones creating >80% of the total contribution to concentrations of odor chemicals in places where people's complaints are usually made.*

Limitations. *The results are based on routine operation of obnoxious odor sources; emergency situations have not been analyzed.*

Conclusion. *The developed universal approach to identifying obnoxious odor pollution sources under uncertainty has been found to be effective in variable meteorological conditions and to be ready for testing in other areas with similar problems.*

Keywords: *ambient air; odor pollution; people's complaints; emission source identification*

Compliance with ethical standards. *The study does not require approval by an ethical committee or any other documents.*

For citation: Zaitseva N.V., Patyashina M.A., Kleyn S.V., May I.V., Prokofyeva M.V., Kiryanov D.A., Klyachin A.A., Chigvintsev V.M. Identifying and defining priority of obnoxious odor sources in ambient air in settlements using systematic hybrid analysis and fuzzy logic. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(12): 1589–1597. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1589-1597> <https://elibrary.ru/kankcl> (In Russ.)

For correspondence: Aleksey A. Klyachin, e-mail: klyachin@fcrisk.ru

Contributions: *Zaitseva N.V.* – study concept and design; *Patyashina M.A., Prokofyeva M.V.* – data collection, editing the text; *Kleyn S.V.* – study concept and design, data collection, writing the text; *May I.V., Kiryanov D.A.* – study concept and design, editing the text; *Klyachin A.A.* – data collection and analysis, writing the text; *Chigvintsev V.M.* – data collection and analysis. *All authors* are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: July 23, 2025 / Revised: November 19, 2025 / Accepted: December 2, 2025 / Published: January 15, 2026

Введение

В последние годы запаховое загрязнение атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах становится серьёзной медико-социальной проблемой, вызывающей обеспокоенность населения из-за снижения комфортности проживания и негативного влияния на здоровье [1]. Исследования подтверждают, что длительное воздействие даже низких концентраций пахучих соединений приводит к снижению качества жизни, эмоциональной лабильности и уменьшению адаптационных резервов организма. У жителей зон влияния источников пахучих веществ достоверно чаще регистрируются респираторные патологии (хронические бронхиты, астматические состояния), сердечно-сосудистые нарушения (артериальная гипертензия, ишемическая болезнь сердца), неврологические и психические расстройства (повышенная тревожность, депрессивные состояния) [2–5].

Рефлекторное воздействие отдельных химических веществ, обладающих запахом, на организм человека является фактором, учитываемым при установлении предельно допустимых концентраций (далее – ПДК) и проведении исследований в области гигиенического нормирования смесей с учётом ольфакторного эффекта [6]. В большинстве случаев запах формируется не отдельным химическим соединением, а сложной многокомпонентной смесью веществ. Состав таких смесей часто остаётся недостаточно изученным, что затрудняет идентификацию конкретных пахучих компонентов. В ходе исследований эти соединения в большинстве случаев не удаётся установить, а их токсикологические и органолептические свойства не всегда определены, что затрудняет на современном этапе процесс установления ПДК [7]. Кроме того, для некоторых веществ отсутствуют утверждённые методы их количественного определения, что дополнительно осложняет нормирование и контроль [8].

Поиск источников неприятного запаха в атмосферном воздухе населённых мест представляет собой сложную и многогранную задачу, требующую применения междисциплинарных подходов и интеграции различных методов исследований [9, 10]. Для моделирования распространения

запаха в атмосфере успешно применяются те же математические подходы и инструменты, которые используются для расчёта рассеивания выбросов загрязняющих веществ, поскольку процессы переноса и диффузии пахучих веществ в атмосферном воздухе подчиняются тем же физическим законам, что и распространение других газообразных загрязнителей [11]. Критический анализ литературы выявил ключевые методологические проблемы. Традиционные инструментальные методы (газовая хроматография, масс-спектрометрия) не всегда позволяют идентифицировать все компоненты смесей и установить их количественные параметры, особенно при следовых концентрациях [11]. Результаты социологических опросов отражают субъективность восприятия вследствие селективного запоминания и психофизиологических особенностей респондентов [5, 12]. Математические модели рассеивания (AERMOD, CALPUFF) часто не учитывают кумулятивного воздействия множества источников и пороговые концентрации запаха, что снижает точность прогнозирования [13–15].

Наличие запахового загрязнения характерно для многих промышленных городов России. В металлургических центрах (Новокузнецк, Череповец, Нижний Тагил, Магнитогорск) основными источниками запахов являются выбросы сероводорода и коксохимических продуктов [16]. В городах с нефтехимической промышленностью (Нижнекамск, Уфа) преобладают летучие органические соединения и серосодержащие вещества [17]. В Красноярске и Норильске негативный эффект усиливается выбросами цветной металлургии и неблагоприятными метеоусловиями [18]. Отдельную проблему представляют полигоны ТКО (Москва, Санкт-Петербург), где запахи обусловлены поступлением в атмосферный воздух аммиака, сероводорода и меркаптанов при разложении отходов [19, 20].

Кроме того, в настоящее время в России отсутствует единая система нормирования смесей ольфакторно активных веществ, что ограничивает регулирование выбросов [4, 21, 22].

Решение указанных задач требует разработки и внедрения объединяющих междисциплинарные подходы усовершенствованных комплексных методик обнаружения источников неприятного запаха.

Материалы и методы

Для определения источников неприятного запаха в атмосферном воздухе жилой застройки предложен методический алгоритм, включающий восемь последовательных этапов системного гибридного анализа данных.

1. Предварительная идентификация потенциально ольфакторно активных веществ на основе анализа перечней загрязняющих соединений, декларируемых промышленными предприятиями, с выделением веществ, обладающих выраженной ольфакторной активностью и потенциальными гедонистическими характеристиками.

2. Сбор, геокодирование, систематизация и анализ данных о жалобах населения на неприятные запахи с детализацией пространственно-временных и субъективных характеристик.

3. Гигиенический анализ и оценка результатов инструментальных исследований качества атмосферного воздуха на постах мониторинга на соответствие требованиям СанПиН 1.2.3685–21 и СанПиН 2.1.3684–21.

4. Идентификация локаций потенциальных источников неприятного запаха на основе нечёткой логики с учётом жалоб населения, метеорологических данных через введение функции принадлежности точки к множеству мест возможного размещения неизвестного источника.

5. Исследование состава атмосферного воздуха с применением методов развёрнутой идентификации (например, методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией) и одномоментным отбором проб загрязняющих веществ, проведением сенсорной оценки (регистрация времени, места, наличия и характера запаха на момент отбора проб атмосферного воздуха с последующим сравнительным анализом полученных данных): а) в репрезентативных точках жилой застройки с учётом пространственного распределения жалоб населения; б) в зонах влияния приоритетных потенциальных источников выбросов (с отбором проб с наветренной и подветренной сторон), включая дополнительный анализ на наличие веществ, не включённых в декларируемые выбросы.

6. Моделирование рассеивания приоритетных ольфакторно активных веществ для преобладающих характерных метеорологических сценариев в точках жалоб населения на запах, точках постов мониторинга качества атмосферного воздуха, равномерной сетки расчётных точек жилой зоны с последующим гигиеническим анализом пространственно распределённых результатов.

7. Оценка и приоритизация потенциальных источников загрязнения атмосферного воздуха (ИЗАВ) на основе определения их средневзвешенного вклада в формирование расчётных максимальных разовых концентраций ольфакторно активных веществ в точках жалоб населения на неприятные запахи.

8. Системный анализ и интегральная оценка результатов с выделением приоритетных потенциальных источников неприятного запаха в атмосферном воздухе и ольфакторно активных веществ, формирующих жалобы населения на неприятный запах.

На первом этапе выполнен анализ сведений о 375 химических соединениях, выбрасываемых в атмосферу (по данным отчёта «Формирование сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха»), с выделением веществ, обладающих выраженной ольфакторной активностью и потенциальными гедонистическими характеристиками.

Второй этап работы включал анализ данных о 1927 жалобах населения на неприятный запах, в том числе прямые обращения жителей, и информацию, систематизированную специалистами Управления Роспотребнадзора (449 сообщений), собранную через чек-листы в период с 01.11.2022 по 30.09.2024 г.

В ходе **третьего этапа** исследования проведён гигиенический анализ результатов инструментального мониторинга, выполняемого Роспотребнадзором на автоматических

станциях контроля загрязнения атмосферного воздуха и постах мониторинга качества атмосферного воздуха, за 2022–2024 гг., а также метеорологических данных за соответствующий период.

Решение задачи **четвёртого этапа** основано на данных о жалобах населения на неприятные запахи, результатах инструментального мониторинга атмосферного воздуха, метеоданных, декларируемых промышленными предприятиями перечнях выбросов (форма 2-ТП Воздух), параметрах источников выбросов, результатах расчётного моделирования рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы с оценкой вкладов источников. Определение зон с высокой и очень высокой вероятностью расположения источников запахового загрязнения осуществляли с использованием методов нечёткой логики, позволяющих интегрировать качественные описания характеристик запаха с количественными характеристиками метеорологических параметров, что особенно важно в условиях неопределённости исходных данных. Практическая реализация данного подхода, выполнена в среде R-studio. Сочетание лингвистических переменных (характер и интенсивность запаха) с данными о направлении и скорости ветра позволяет сформировать нечёткие модели, в рамках которых каждая точка исследуемой территории оценивается по степени принадлежности к множеству возможных мест расположения источников загрязнения атмосферы и формирования запаха. Математический аппарат этапа описан в [23].

Пятый этап включал анализ результатов исследования проб атмосферного воздуха на наличие ольфакторно активных веществ. Отбор проб выполняли по двум программам. Первая программа (август – сентябрь 2024 г.) включала мониторинг в 10 точках в пределах жилой застройки. Точки отбора проб выбраны с учётом плотности жалоб населения, метеорологических характеристик и обеспечения равномерного покрытия изучаемой территории. Вторая программа (сентябрь – октябрь 2024 г.) была направлена на анализ выбросов приоритетных потенциальных ИЗАВ (промышленных предприятий) для идентификации в их выбросах ольфакторно активных загрязняющих веществ и определения «профиля выбросов» этих объектов. Одномоментный отбор проб осуществляли с наветренной и подветренной сторон 11 промышленных объектов – основных потенциальных стационарных ИЗАВ. Анализ проб атмосферного воздуха проводили с использованием следующего оборудования: хроматограф газовый Кристалл 2000М; комплекс аппаратно-программный для медицинских исследований на базе хроматографа «Хроматек-Кристалл 5000», Хроматек-Кристалл 5000; хроматограф жидкостный, Flexag и др. Процедура соответствовала требованиям Руководства пользователя 214.00045–51И. Библиотека данных NIST MASS Spectral search Programm (версия библиотеки 2.4 NIST Mass Spectral search Programm), МУК 4.1.1045–01, МУК 4.1.619–96, МУК 4.1.618–96 и др.

На **шестом этапе** выполнили расчёт рассеивания и последующий гигиенический анализ пространственно распределённых результатов в отношении 23 ольфакторно активных веществ, в том числе вклад источников загрязнения в концентрации в расчётных точках жилых массивов, точках фиксации жалоб. Перечень веществ для расчётов рассеивания сформирован на основании данных мониторинга атмосферного воздуха на постах, результатов анализа 144 проб атмосферного воздуха методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией в репрезентативных точках, «профилей выбросов» потенциальных источников загрязнения атмосферы, ольфакторных характеристик жалоб.

На **седьмом этапе** осуществлена оценка и приоритизация потенциальных ИЗАВ. Эта работа основывалась на двух ключевых механизмах формирования запаха: изолированное воздействие – превышение гигиенических нормативов по одному веществу; комбинированный ольфакторный эффект – синергия смесей веществ с разными свойствами. Идентификация и приоритизация потенциальных ИЗАВ

и формирование жалоб населения реализована на основе расчёта вклада каждого источника в формируемые концентрации в этих точках жалоб. Оценку вклада хозяйствующих субъектов в уровень загрязнения осуществляли на основе расчётов рассеивания загрязняющих веществ в соответствии с требованиями приказа Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273* с применением специализированных программных комплексов (например, УПРЗА «Эколог-город») и с учётом метеорологических параметров (скорости и направления ветра). Данные расчёты не учитывали несанкционированных выбросов предприятий. Вклад каждого субъекта определялся через взвешенное осреднение концентраций загрязняющих веществ в точках регистрации жалоб, для единичного вещества в соответствии с соотношением (1):

$$\delta_i^j = \frac{\sum_k C_{ik} \delta_{ik}^j}{\sum_k C_{ik}}, \quad (1)$$

где C_{ik} — концентрация i -го загрязняющего вещества, формируемого от всех источников выбросов в k -й точке регистрации жалоб, мг/м^3 ; δ_{ik}^j — процент вклада j -го хозяйствующего субъекта (объекта) в концентрацию i -го загрязняющего вещества, формируемого от всех источников выбросов в k -й точке регистрации жалоб, %; δ_i^j — средневзвешенный процент вклада j -го хозяйствующего субъекта (объекта) в формирование жалоб населения на неприятный запах, обусловленный концентрацией i -го загрязняющего вещества, %.

Для смесей веществ:

$$\delta^j = \frac{\sum_i \sum_k C_{ik} \delta_{ik}^j}{\sum_i \sum_k C_{ik}}, \quad (2)$$

где δ^j — средневзвешенный процент вклада j -го хозяйствующего субъекта (объекта) в формирование жалоб населения на неприятный запах, обусловленных концентрацией нескольких веществ, %.

Полученные средневзвешенные показатели позволяют ранжировать ИЗАВ по степени их вклада в формирование жалоб населения для приоритизации регулирующих мер. Ограничения метода включают наличие не учтённых в сводных базах данных о выбросах загрязняющих веществ на территории возможных локальных источников загрязнения (свалки, малые предприятия) и вариативность индивидуальной чувствительности к запахам, что снижает точность корреляции между формируемыми концентрациями и жалобами населения.

На завершающем *восьмом этапе* были проведены системный анализ и интегральная оценка полученных результатов.

Объектом апробации методического алгоритма была зона крупного промышленного города со значительным уровнем ольфакторного загрязнения.

Результаты

Процедура апробации разработанной методики предусматривала последовательное выполнение этапов исследования и позволила получить следующие результаты.

1. На основании анализа перечня выбросов загрязняющих веществ установлено, что из 375 зарегистрированных веществ 249 обладают ольфакторной активностью с широким спектром гедонистических характеристик (от резко неприятных до сладковатых и химических оттенков).

2. Геокодирование точек жалоб населения на неприятные запахи и анализ их пространственно-временного рас-

пределения на исследуемой территории (рис. 1) позволили выявить ряд закономерностей формирования ольфакторного загрязнения. Обращения граждан локализуются в зоне с высокой плотностью расположения промышленных предприятий и коммунальной инфраструктуры. Установлена выявленная закономерность суточной динамики обращений (регистрации жалоб): максимальная частота жалоб (59,3%) зафиксирована в вечерне-ночной период, что коррелирует с формированием температурных инверсий, снижением высоты пограничного слоя атмосферы и возможной активизацией производственных процессов. Вторичный пик (22,4%) отмечен в утренние часы (06:00–09:00), что связано с утренними инверсиями, началом работы предприятий и ростом транспортной нагрузки. Установлена зависимость частоты жалоб от метеорологических параметров: наибольшее число жалоб зарегистрировано при северо-восточном (14,4%) и восточном (11,9%) направлении ветра и низкой его скорости (0–1 м/с) — 67%. При скоростях ветра более 2 м/с частота жалоб минимальна (5%), что может объясняться более эффективным рассеиванием примесей за счёт турбулентного перемешивания воздушных масс. Структурный анализ обращений демонстрирует преобладание жалоб с характеристикой «химический запах» (24,3%), «газ» (22,3%) и сероводород (9,2%), что соответствует профилю промышленного кластера территории (химические, машиностроительные, энергетические предприятия). При этом почти половина обращений (43,4%) содержала неспецифические описания, что затрудняет их однозначную классификацию.

3. Данные автоматических станций контроля загрязнения атмосферного воздуха (АСКЗА-1, АСКЗА-3, АСКЗА-5) за 2022–2024 гг. подтверждают систематические превышения гигиенических нормативов содержания сероводорода с максимальными значениями АСКЗА-1 в 2024 г. до 17,5 ПДК_{м.р.}, 867 случаев превышений (4,5%); АСКЗА-5 в 2024 г. — до 7,1 ПДК_{м.р.}, 544 случая превышений (2,9%); АСКЗА-3 в 2024 г. до 3,25 ПДК_{м.р.}, 8 случаев превышений (0,04%); формальдегида на АСКЗА-3 в 2024 г. — до 3,2 ПДК_{м.р.}, 125 случаев превышений (0,9%). Также отмечены единичные случаи превышения гигиенических нормативов и других химических веществ, обладающих неприятным запахом (аммиак до 1,5 ПДК_{м.р.}, азота диоксид до 1,63 ПДК_{м.р.}, фенол до 1,3 ПДК_{м.р.}, этилбензол до 1,2 ПДК_{м.р.} и др.). При этом прослеживается тенденция к росту числа случаев с превышением предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на АСКЗА-5 (рис. 2).

По данным постов СГМ, нарушения санитарно-эпидемиологических требований зафиксированы у азота диоксида (до 2,05 ПДК_{м.р.}). У формальдегида и сероводорода превышения ПДК_{м.р.} не зафиксированы.

4. Идентификация источников запахового загрязнения в условиях значительной неопределённости исходных данных на основе нечёткой логики с учётом жалоб населения и метеорологических данных позволила выделить три ключевые зоны вероятного расположения источников с различными гедонистическими характеристиками: «запах газа» — 15,85 км², «химический» запах — 31 км², запах сероводорода — 31,8 км². Правильность подтверждается пространственным совпадением с расположением промышленных предприятий химического, нефтехимического и энергетического профиля, а также объектов коммунальной инфраструктуры. Сопрежжённый анализ с ГИС-системой подтвердил существование нескольких локальных зон с наибольшими значениями функции принадлежности к множеству потенциальных источников запаха. Карта-схема зон вероятного расположения источников запаха сероводорода представлена на рис. 3.

5. Исследование состава атмосферного воздуха на исследуемой территории проводилось методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией (ГХ-МС) аккредитованной аналитической лабораторией ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» исследуемой территории в соответствии с двумя программами отбора проб.

* Приказ Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».

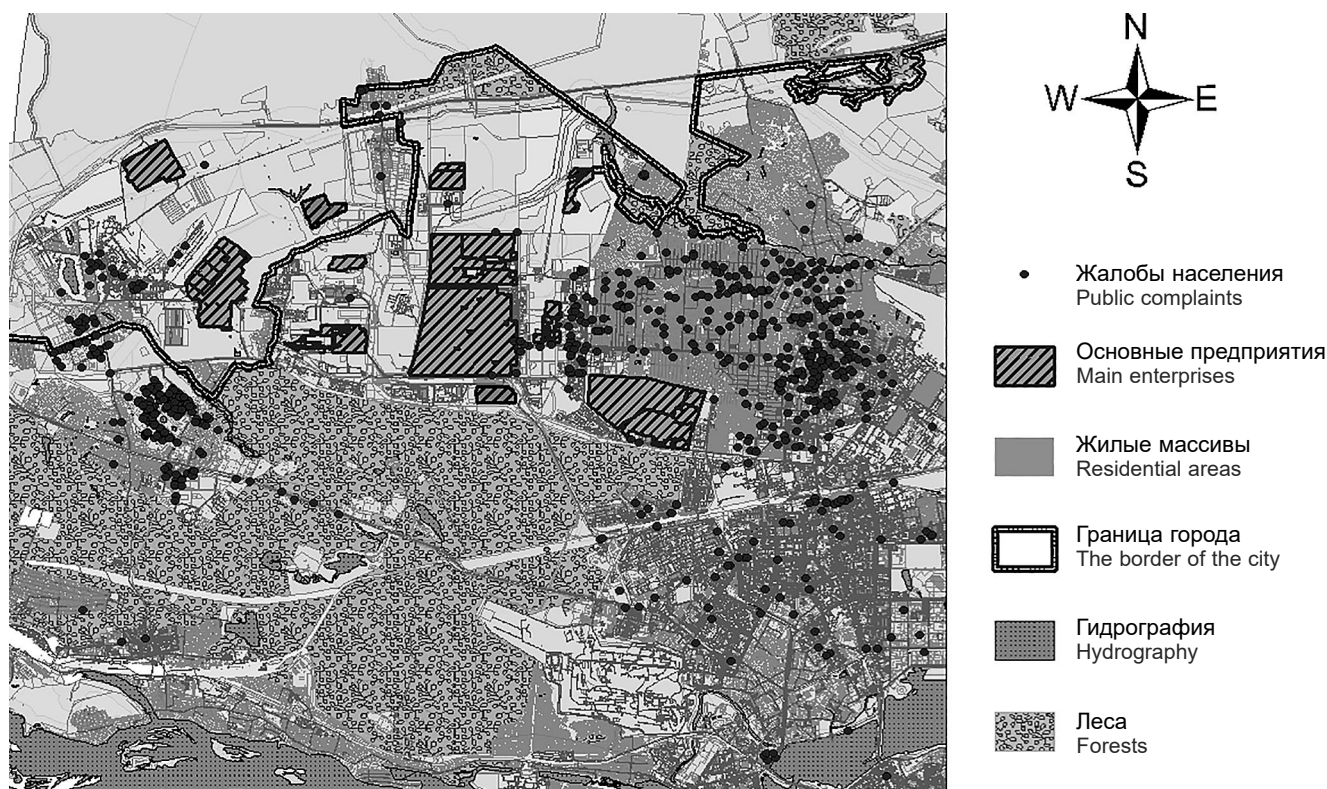


Рис. 1. Карта-схема распределения точек жалоб на неприятный запах.

Fig. 1. The map-chart of the distribution of obnoxious odor complaint sites.

В результате анализа по первой программе идентифицировано 107 соединений, 15 из этих веществ не включены согласно сведениям перечня загрязняющих компонентов, выбрасываемых стационарными и передвижными источниками на исследуемой территории. Среди них – вещества с выраженными ольфакторно активными свойствами (трет-бутиламин, бензальдегид, фенол и др.), что указывает на возможные неучтённые источники загрязнения или недостаточную точность инвентаризации выбросов.

Установлено, что химический состав атмосферного воздуха на различных высотах неодинаков, что обусловлено сочетанием факторов, в числе которых вертикальный градиент концентраций загрязняющих веществ, особенности распределения источников выбросов и специфика атмосферной циркуляции. Наличие вертикальной стратификации подтверждается различиями в данных аналитических проб, отобранных на разных высотах в одной точке мониторинга. Например, на высоте 4-го этажа (точка 10) обнаружен ацетофенон, отсутствующий в приземном слое, что свидетельствует о возможном влиянии высотных источников выбросов, при этом данное соединение присутствует в выбросах ближайшего к участку исследования крупного предприятия (в момент отбора пробы участок отбора пробы находился с подветренной стороны от этого предприятия).

Взаимосвязь жалоб населения и результатов сенсорной оценки подтверждается совпадением субъективных описаний запахов («газ», «химический запах») с выявленными химическими маркерами (дихлорметан, бензол, хлороформ и пр.).

Анализ данных, полученных в рамках второй программы мониторинга, позволил идентифицировать широкий спектр химических соединений, в том числе обладающих выраженными органолептическими свойствами (неприятным запахом). Данные вещества были обнаружены преимущественно с подветренной стороны от источников выбросов, что свидетельствует об их вероятном распространении за пределы источников выбросов. При этом ряд веществ (всего 25 соединений) отсутствовал в пробах, отобранных с наветренной

стороны от соответствующих предприятий в тот же период времени, что также может указывать на наличие неучтённых источников загрязнения, недостаточную точность инвентаризации выбросов или вторичные процессы трансформации веществ в атмосфере.

6. Верификация полученных результатов данными расчётов рассеивания 23 ольфакторно активных веществ для трёх метеорологических сценариев (восточный ветер 1 м/с, западный ветер 0,5 м/с, северо-восточный ветер 1 м/с) с учётом вкладов всех учтённых в сводной базе источников загрязнения атмосферного воздуха (более 100 ИЗАВ в каждой расчётной

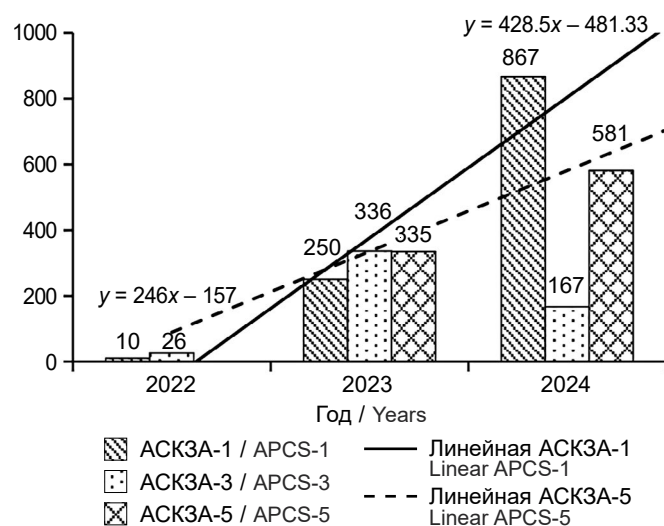
Рис. 2. Число случаев превышений ПДК_{м.р.} на АСКЗА за 2022–2024 гг.

Fig. 2. The number of cases (units) when MPC exceeds as detected by automated ambient air pollution control stations (APCS) over 2022–2024.

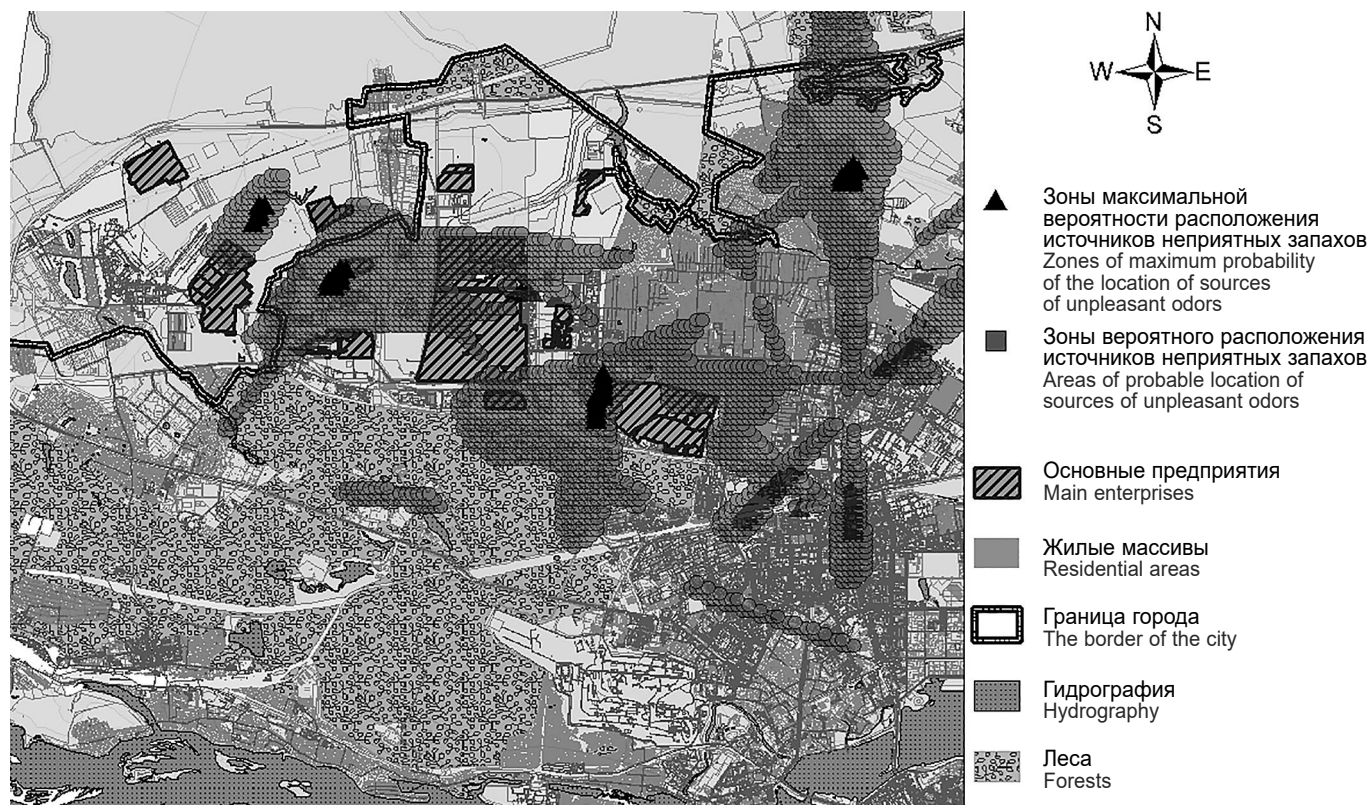


Рис. 3. Карта-схема зон вероятного расположения источников запаха сероводорода.

Fig. 3. The map-chart of probable locations of 'hydrogen sulfide' odor source.

точке) позволила детализировать пространственное распределение загрязняющих веществ на анализируемой территории. Перечень веществ, в отношении которых проводились расчёты рассеивания: аммиак, дигидросульфид, хлор, метан, бензол, (1-метилэтил)бензол, диметилбензол, 2-фенил-1-пропен, этилбензол, метилбензол, этилбензол, гидроксибензол, этилацетат, ацетальдегид, формальдегид, пропан-2-он, 2-меркаптоэтанол, метантиол, одорант СПМ, этилмеркаптан, бензин, сольвент нафта, уайт-спирит.

Анализ полученных расчётных максимальных разовых концентраций во всех расчётных точках выявил превышения гигиенических нормативов по 11 ольфакторно активным веществам: диметилбензол, ацетальдегид, пропан-2-он, сольвент нафта, уайт-спирит, (1-метилэтил)бензол, этилбензол, гидроксибензол, этилацетат, ацетальдегид, формальдегид. Максимальные превышения гигиенических нормативов (по расчётным данным) отмечены при западном ветре (0,5 м/с) для следующих веществ: диметилбензол (до 49,8 ПДК_{м.р.}); сольвент нафта (до 33,4 ПДК_{м.р.}); метилбензол (до 11,8 ПДК_{м.р.}) и пропан-2-он (до 11,2 ПДК_{м.р.}).

Моделирование рассеивания 23 ольфакторно активных веществ с использованием ГИС-технологий, учитывающее как изолированные источники, так и их совокупное воздействие, выявило достоверную пространственную корреляцию выделенных зон большинства анализируемых веществ и распределения жалоб населения на запахи, что подтверждает вклад выявленных источников в формирование запахового дискомфорта на территории.

Результаты детального анализа формируемых расчётных максимальных разовых концентраций 23 ольфакторно активных веществ **в точках жалоб** населения на неприятный запах и расчёт потенциального вклада источников выбросов в формирование этих жалоб выявили сложный характер формирования ольфакторного загрязнения атмосферного воздуха в границах исследуемой территории. По расчётным данным, в точках жалоб на исследуемой

территории установлены превышения гигиенических нормативов (ПДК_{м.р.}) по 10 ольфакторно активным веществам: диметилбензол, сольвент нафта, (1-метилэтил)бензол, метилбензол, этилбензол, гидроксибензол, этилацетат, пропан-2-он, уайт-спирит, формальдегид. Наибольшие расчётные концентрации получены для следующих веществ: диметилбензол (до 49,8 ПДК_{м.р.} при западном ветре), сольвент нафта (до 33,4 ПДК_{м.р.} при западном ветре), формальдегид (до 3,67 ПДК_{м.р.} при северо-восточном ветре).

Моделирование с последующим пересечением участков территории со значимыми вкладами источников загрязнения атмосферы (отдельных предприятий) в формирование повышенных концентраций загрязняющих веществ с точками жалоб населения на запахи (при соответствующем направлении ветра) выявило 56 эпизодов пространственной сопряжённости.

7. Расчёт средневзвешенного вклада в формирование концентраций в точках жалоб населения на неприятный запах показал, что к приоритетным потенциальным источникам ольфакторного загрязнения атмосферы, вносящим вклад в превышение гигиенических нормативов (ПДК_{м.р.}) по 10 веществам в точках регистрации жалоб и суммарно вклад более 80% в концентрации в точках формирования жалоб при разных метеоусловиях, можно отнести 21 хозяйствующий субъект нефтехимической, авиастроительной, энергетической отраслей и транспортную инфраструктуру — вклад варьирует в пределах от 2,43 до 99,98%. Такой разброс свидетельствует о значительной пространственно-временной вариабельности влияния ИЗВ на качество атмосферного воздуха исследуемой территории.

Приоритетными потенциальными ИЗВ первого порядка, формирующими максимальный средневзвешенный вклад в повышенные концентрации в точках жалоб от 21,41 до 99,98% и, как следствие, вероятно в формирование жалоб населения на неприятный запах, являются 6 субъектов (рис. 4).

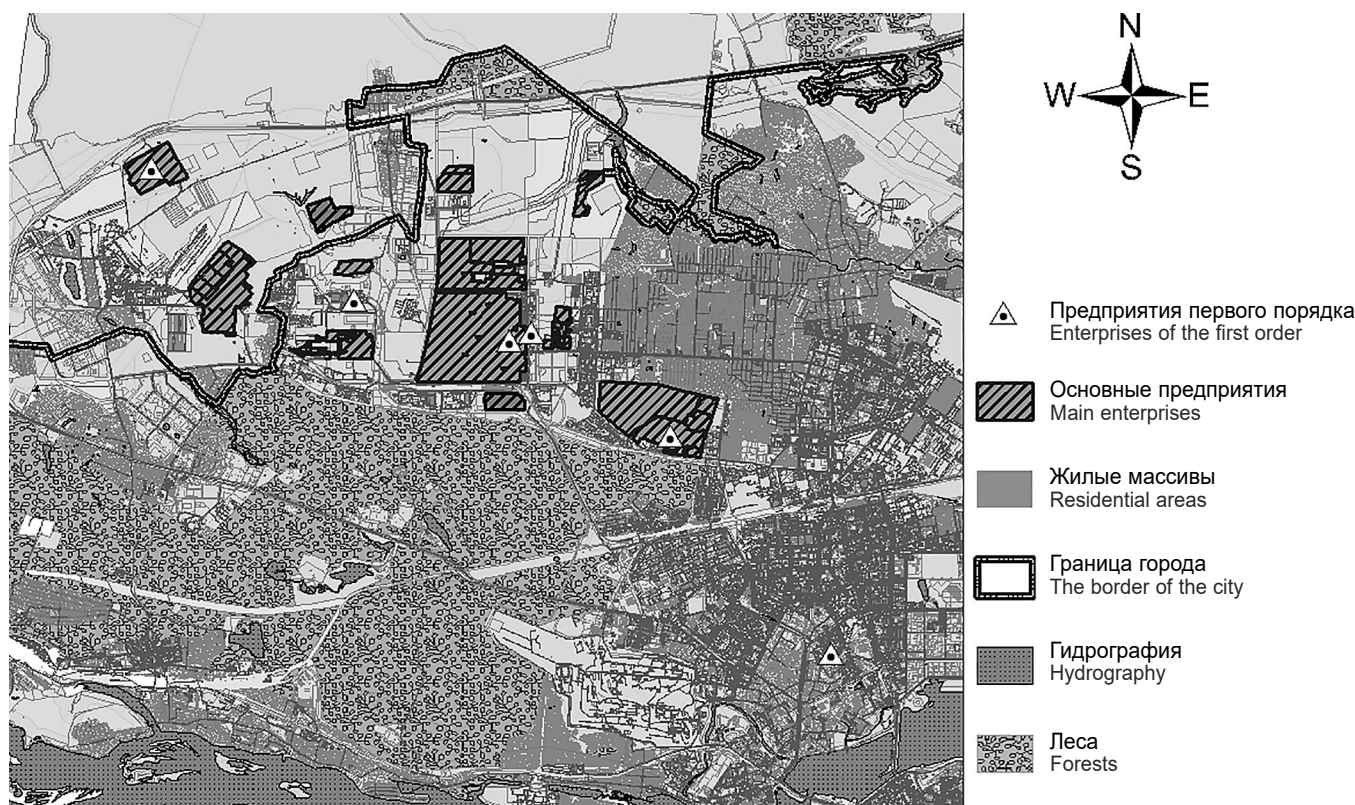


Рис. 4. Карта-схема пространственного расположения приоритетных потенциальных ИЗАВ первого порядка.

Fig. 4. The map-chart of the spatial location of priority potential first-odor obnoxious odor sources.

8. Системный анализ и интегральная оценка позволили идентифицировать промышленные объекты, являющиеся вероятными источниками формирования значимого с социально-гигиенической точки зрения ольфакторного воздействия на исследуемой территории: 21 хозяйствующий субъект и транспортная инфраструктура, из них первого порядка — 6 субъектов. Ведущую роль по критерию средневзвешенного вклада в концентрации в точках формирования жалоб на неприятный запах по ключевым ольфакторно активным соединениям (8 веществ и их смеси) потенциально играют два предприятия нефтехимического комплекса и авиастроения — до 47,48–99,98%.

Обсуждение

Исследование продолжает разработку системы научного нормирования запахового загрязнения в России, основанную на комплексном подходе к идентификации источников неприятных запахов посредством современных аналитических методов [9, 10].

Эффективность разработанных методических подходов, основанных на последовательном использовании способов изучения загрязнения атмосферного воздуха ольфакторно активными веществами, была подтверждена в ходе экспериментальных и натурных исследований [2, 4–7, 9, 10]. Внедрение в алгоритм впервые разработанного и апробированного метода, основанного на использовании нечёткой логики с учётом жалоб населения и метеорологических данных [23], с дальнейшим сопряжённым анализом результатов позволило выявить вероятные источники неприятного запаха на промышленно развитой территории с высокой плотностью хозяйствующих субъектов.

Применение метода нечёткой логики для идентификации источников запахового загрязнения в условиях неопределённости данных показало высокую эффективность и позволило выделить зоны вероятного расположения источников,

демонстрируя значительное совпадение с фактическим расположением промышленных предприятий. Практическая реализация данного подхода показала, что при больших выборках жалоб (тысячи и более) достигается достаточно высокая надёжность верификации итоговых расчётов. Результаты моделирования рассеивания загрязняющих веществ также подтвердили роль выявленных источников, фиксируя пространственную сопряжённость с жалобами населения. Ранжирование 21 хозяйствующего субъекта по степени их вклада в загрязнение и выделение 6 приоритетных создаёт основу для разработки адресных мер.

В настоящее время в России отсутствуют единая система нормирования смесей ольфакторно активных веществ в атмосферном воздухе, а также согласованный методический подход к идентификации источников неприятных запахов на селитебной территории. Это создаёт значительные сложности в регулировании выбросов пахучих веществ, входящих в состав сложных смесей [4, 21, 22]. В результате постоянные жалобы граждан на неприятные запахи вынуждают органы власти и контролирующие структуры применять соответствующие меры, в том числе проводить исследования выбросов предприятий. Однако в условиях отсутствия законодательно установленных нормативов по запаху такие исследования имеют ограниченную эффективность. Они не предоставляют достаточных оснований для применения санкционных мер или требований к предприятиям по снижению выбросов пахучих веществ, образующих смеси. Результаты исследования также подчёркивают необходимость учёта кумулятивного эффекта от множества малых источников, расположенных в жилых зонах, что особенно актуально в условиях интенсивной городской застройки. В этом аспекте предлагаемый метод системного гибридного анализа с элементами нечёткой логики представляет собой перспективный инструмент для идентификации и ранжирования источников неприятных запахов в атмосферном воздухе населённых мест.

Практическая значимость работы заключается в разработке методологии и инструментария, которые могут быть использованы для приоритизации регулирующих мер и оптимизации контроля за выбросами, а также формирования эмпирической базы для задач совершенствования гигиенического нормирования ольфакторно активных веществ с учётом их комбинированного воздействия на здоровье населения и атмосферный воздух.

Ограничения исследования. Полученные результаты отражают штатную ситуацию функционирования источников и требуют дополнительного детального анализа технологических процессов на приоритетных предприятиях с расширенным инструментальным контролем, в том числе с учётом возможных нештатных ситуаций.

Заключение

1. В результате проведённого исследования разработан восьмизадачный универсальный методический подход к идентификации источников неприятных запахов в атмосферном воздухе, основанный на системном гибридном анализе и нечёткой логике в условиях неопределённости данных.

2. Результаты апробации предложенных подходов на территории крупного промышленного города показали:

- из 375 декларируемых предприятиями химических соединений, выбрасываемых в атмосферный воздух, 249 обладают ольфакторной активностью;
- выявлена взаимосвязь ольфакторного загрязнения исследуемой территории с суточными метеорологическими условиями (вечерне-ночными и утренними инверсиями, преобладанием слабых северо-восточных и восточных ветров) и производственной деятельностью промышленного кластера;
- по данным натурных измерений на постах мониторинга качества атмосферного воздуха установлено фактическое несоответствие качества атмосферного воздуха по ряду ольфакторно активных веществ гигиеническим нормативам;
- определены три ключевые зоны вероятного расположе-

ния источников с различными гедонистическими характеристиками (запах «газа» — 15,85 км², «химический» — 31 км², сероводорода — 31,8 км²), коррелирующие с расположением предприятий химического, нефтехимического и энергетического профиля, объектов коммунальной инфраструктуры;

- результаты ГХ-МС в рамках программы 1 выявили наличие 107 соединений, в том числе 15 веществ, не учтённых в перечне ИЗА (в частности, ольфакторно активные трет-бутиламин, бензальдегид, фенол и пр.), подтверждена вертикальная стратификация веществ и взаимосвязь выявленных химических маркёров с субъективными описаниями запахов в жалобах населения («газ», «химический запах»); программа 2 — установлено распространение ольфакторно активных соединений преимущественно с подветренной стороны от источников выбросов при отсутствии 25 выявленных веществ в пробах с наветренной стороны;
- верификация расчётов рассеивания 23 приоритетных ольфакторно активных веществ для трёх приоритетных сценариев ветра (В: 1 м/с; 3: 0,5 м/с; СВ: 1 м/с) подтвердила превышение ПДК_{м.р.} 11 веществ во всех расчётных точках, в точках локализации жалоб населения выявлены превышения ПДК_{м.р.} 10 ольфакторно активных соединений;
- установлен 21 приоритетный источник запахового загрязнения, из них 6 определены как ключевые, с максимальным вкладом в формируемые концентрации в точках регистрации жалоб населения.

3. Успешный опыт реализации предложенного подхода к системной идентификации источников неприятного запаха с учётом специфики промышленных объектов, градостроительной ситуации, географических и метеорологических условий, плотности населения на примере исследуемой территории с применением современных методов математического моделирования, инструментальных и ГИС-систем может стать примером эффективного решения гигиенических задач и снижения социальной напряжённости, связанной с неприятными запахами. Методика доказала эффективность в различных метеоусловиях и может быть распространена на другие территории с аналогичными проблемами.

Литература

(п.п. 3, 7, 8, 11, 13–15 см. References)

1. Гошин М.Е., Бударина О.В., Ингель Ф.И. Запахи в атмосферном воздухе: анализ связи с состоянием здоровья и качеством жизни взрослого населения города с развитой пищевой промышленностью. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(12): 1339–45. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1339-1345> <https://elibrary.ru/hntnez>
2. Бударина О.В., Скворонская С.А., Иванова С.В. Международный опыт оценки загрязнения воздуха в районах размещения предприятий, выбросы которых обладают запахом (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2022; 101(11): 1299–306. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1299-1306> <https://elibrary.ru/ydrjqk>
4. Гошин М.Е., Бударина О.В., Демина Н.Н. Анализ состояния здоровья населения, проживающего в условиях загрязнения атмосферного воздуха пахучими веществами (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2020; 99(9): 930–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-930-938> <https://elibrary.ru/sehytj>
5. Сырчина Н.В., Пилип Л.В., Ашихмина Т.Я. Контроль запахового загрязнения атмосферного воздуха (обзор). *Теоретическая и прикладная экология*. 2022; (2): 26–34. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-026-034> <https://elibrary.ru/qxkoxr>
6. Кузьмин С.В., Бударина О.В., Рахманин Ю.А., Пинигин М.А., Додина Н.С., Скворонская С.А. Перспективы развития и гармонизации гигиенического нормирования с учётом риска возникновения запаха в атмосферном воздухе. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(2): 96–103. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-2-96-103> <https://elibrary.ru/bvtxvx>
7. Чепегин И.В., Андрияшина Т.В. Выбросы пахучих веществ в атмосферу. Проблемы и решения. *Вестник Казанского технологического университета*. 2013; 16(10): 80–3. <https://elibrary.ru/qilftpr>
9. Бударина О.В., Сабирова З.Ф., Гошин М.Е. Комплексная гигиеническая оценка загрязнения атмосферного воздуха с учетом риска возникновения запаха. В кн.: *Анализ риска здоровью — 2024: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Пермь; 2024: 9–16. <https://elibrary.ru/byrtkk>
10. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Фридман К.Б., Еремин Г.Б., Панькин А.В. Выявление источников выбросов загрязняющих веществ, вызывающих жалобы населения на неприятные запахи. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(6): 601–7. <https://elibrary.ru/cebqhl>
12. Маковецкая А.К., Хрипач Л.В., Гошин М.Е., Бударина О.В., Карманов А.В. Роль социологических методов исследований в осуществлении эколого-гигиенического мониторинга территорий. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(9): 902–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-902-908> <https://elibrary.ru/qplnzf>
16. Долгушина Н.А., Кувшинова И.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха промышленных городов Челябинской области и неканцерогенных рисков здоровью населения. *Экология человека*. 2019; (6): 17–22. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-6-17-22> <https://elibrary.ru/ahpzti>
17. Бактыбаева З.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Рахматуллин Н.Р., Степанов Е.Г., Давлетнуров Н.Х. Эколого-гигиеническая оценка загрязнения атмосферного воздуха на нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих территориях Республики Башкортостан и состоянии здоровья населения. *Здоровье населения и среда обитания — 3НиСО*. 2020; (2): 26–32. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-323-2-26-32> <https://elibrary.ru/xdsvezr>
18. Зайцева Н.В., Май И.В. Качество атмосферного воздуха и показатели риска здоровью как объективные критерии результативности воздухоохранной деятельности на территориях городов-участников федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью*. 2023; (1): 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.01> <https://elibrary.ru/omvwle>
19. Свищков С.В. Пассивная дегазация полигонов. Опыт полигона «Саларьево». *Твердые бытовые отходы*. 2021; (9): 54–7. <https://elibrary.ru/wqlqxb>
20. Карыпкин Л.М., Суетинов В.П., Рахманов Ю.А. Полигон «Красный Бор»: пути и методы решения. *Твердые бытовые отходы*. 2017; (6): 26–7. <https://elibrary.ru/zagqmrz>
21. Цибульский В.В., Яценко-Хмелевская М.А., Хитрина Н.Г., Короленко Л.И. Подходы к нормированию запаха в атмосферном воздухе России на

Original article

основе ольфактометрических измерений запаха в промышленных выбросах. *Экологическая химия*. 2011; 20(1): 1–10. <https://elibrary.ru/sodgqh>

22. Костылева Н.В., Опутина И.П., Гилева Т.Е., Нигматзянова К.Р. К вопросу о нормировании запаха загрязнения в Российской Федерации. *Астраханский вестник экологического образования*. 2024; (4): 12–22. <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2024-4-12-22> <https://elibrary.ru/budvnc>

References

- Goshin M.E., Budarina O.V., Ingel F.I. The odours in the ambient air: analysis of the relationship with the state of health and quality of life in adults residing in the town with food industries. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(12): 1339–45. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1339-1345> <https://elibrary.ru/hntnez> (in Russian)
- Budarina O.A., Skovronskaya S.A., Ivanova S.V. International experience of air pollution assessment in areas where enterprises with odorous emissions are located (literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(11): 1299–306. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1299-1306> <https://elibrary.ru/ydrjkk> (in Russian)
- Courmoyer M., Maldera A., Gauthier A.C., Dal Maso F., Mathieu M.E. Effect of odor stimulations on physical activity: A systematic review. *Physiol. Behav.* 2024; 273: 114408. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023>
- Goshin M.E., Budarina O.V., Demina N.N. Analysis of the health status of the population living in conditions of air pollution with odorous substances (literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(9): 930–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-930-938> <https://elibrary.ru/sehytj> (in Russian)
- Syrchina N.V., Pilip L.V., Ashikhmina T.Ya. Control of odor pollution of atmospheric air (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2022; (2): 26–34. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-026-034> <https://elibrary.ru/qxkoxr> (in Russian)
- Kuzmin S.V., Budarina O.V., Rakhmanin Yu.A., Pinigin M.A., Dodina N.S., Skovronskaya S.A. Prospects of the development and harmonization of hygienic standardization taking into account the risk of odour in the ambient air. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(2): 96–103. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-2-96-103> <https://elibrary.ru/bvtvxx> (in Russian)
- Chepegin I.V., Andriyashina T.V. Emissions of odorous substances into the atmosphere. Problems and solutions. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013; 16(10): 80–3. <https://elibrary.ru/qilftp> (in Russian)
- Capelli L., Sironi S., Del Rosso R. Odor sampling: techniques and strategies for the estimation of odor emission rates from different source types. *Sensors (Basel)*. 2013; 13(1): 938–55. <https://doi.org/10.3390/s130100938>
- Budarina O.V., Sabirova Z.F., Goshin M.E. A complex hygienic assessment of atmospheric air pollution, taking into account the risk of smell. In: *Health Risk – 2024: Materials of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [Analiz riska zdorov'yu – 2024: Materialy XIV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Perm'; 2024: 9–16. <https://elibrary.ru/byrtkk> (in Russian)
- Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Friedman K.B., Yereim G.B., Pankin A.V. Identification of emission sources of pollutants causing complaints of unpleasant odours. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(6): 601–7. <https://elibrary.ru/cebqhl> (in Russian)
- Brattoli M., de Gennaro G., de Pinto V., Loiotele A.D., Lovascio S., Penza M. Odour detection methods: olfactometry and chemical sensors. *Sensors (Basel)*. 2011; 11(5): 5290–322. <https://doi.org/10.3390/s110505290>
- Makovetskaya A.K., Khrpach L.V., Goshin M.E., Budarina O.V., Karmanov A.V. The role of sociological methods in implementation of environmental hygienic health monitoring for territories. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(9): 902–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-902-908> <https://elibrary.ru/qplnzf> (in Russian)
- Nicell J.A. Assessment and regulation of odour impacts. *Atmos. Environ.* 2009; 43(1): 196–206. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2008.09.033>
- Brancher M., Griffiths K.D., Franco D., de Melo Lisboa H. A review of odour impact criteria in selected countries around the world. *Chemosphere*. 2017; 168: 1531–70. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.160>
- Capelli L. Measuring odours in the environment vs. dispersion modelling: A review. *Atmos. Environ.* 2013; 79: 731–43. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.07.029>
- Dolgushina N.A., Kuvshinova I.A. Air pollution and non-cancerogenic risk assessment in industrial cities of Chelyabinsk region. *Ekologiya cheloveka*. 2019; (6): 17–22. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-6-17-22> <https://elibrary.ru/ahpzti> (in Russian)
- Baktybaeva Z.B., Suleymanov R.A., Valeev T.K., Rahmatullin N.R., Stepanov E.G., Davleturov N.Kh. Environmental and hygienic assessment of ambient air pollution in oil-producing and oil-refining areas of the republic of Bashkortostan and population health status. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2020; (2): 26–32. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-323-2-26-32> <https://elibrary.ru/xdszvr> (in Russian)
- Zaitseva N.V., May I.V. Ambient air quality and health risks as objective indicators to estimate effectiveness of air protection in cities included into the 'clean air' federal project. *Analiz riska zdorov'yu*. 2023; (1): 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.01> <https://elibrary.ru/omvwle> (in Russian)
- Svitkov S.V. Passive degassing of landfills. The experience of the Salaryevo training ground. *Tverdye bytovye otkhody*. 2021; (9): 54–7. <https://elibrary.ru/wqlqxb> (in Russian)
- Karypkin L.M., Suetinov V.P., Rakhmanov Yu.A. Polygon "Red Bor": ways and methods of solution. Firm household waste. *Tverdye bytovye otkhody*. 2017; (6): 26–7. <https://elibrary.ru/zagqzmz> (in Russian)
- Tsibulskii V.V., Yatsenko-Khmelevskaya M.A., Khitrina N.G., Korolenko L.I. Approaches to rationing the smell in the atmospheric air of Russia based on olipactometric measurements of smell in industrial emissions. *Ekologicheskaya khimiya*. 2011; 20(1): 1–10. <https://elibrary.ru/sodgqh> (in Russian)
- Kostyleva N.V., Oputina I.P., Gileva T.E., Nigmatzyanova K.R. On the question of standardizing odor pollution in the Russian Federation. *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2024; (4): 12–22. <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2024-4-12-22> <https://elibrary.ru/budvnc> (in Russian)
- Zaitseva N.V., May I.V., Kiryanov D.A., Kley N.S., Chigvintsev V.M., Klyachin A.A. Methodical approaches to spatial identification of probable sources of obnoxious odors in ambient air based on fuzzy logic. *Health Risk Analysis*. 2024; (4): 14–26. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2024.4.02.eng>

Сведения об авторах

Зайцева Нина Владимировна, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, научный руководитель ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: znv@fcrisk.ru

Патяшина Марина Александровна, руководитель Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан (Татарстан), 420111, Казань, Россия. E-mail: RPN.RT@tatar.ru

Клейн Светлана Владиславовна, доктор мед. наук, профессор РАН, гл. науч. сотр. – зам. директора по научной работе ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: kley@fcrisk.ru

Май Ирина Владиславовна, доктор биол. наук, профессор, гл. науч. сотр. – советник директора ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: may@fcrisk.ru

Прокофьева Марина Викторовна, зам. руководителя Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан, 420111, Казань, Россия. E-mail: RPN.RT@tatar.ru

Кириянов Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, вед. науч. сотр. – зав. отд. математического моделирования систем и процессов ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: kda@fcrisk.ru

Клячин Алексей Александрович, науч. сотр. отд. системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: klyachin@fcrisk.ru

Чигвинцев Владимир Михайлович, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. лаб. ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: cvm@fchisk.ru

Information about authors

Nina V. Zaitseva, DSc (Medicine), professor, academician of the RAS, scientific director of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 614045, Perm, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145> E-mail: znv@fcrisk.ru

Marina A. Patyashina, head, Office of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare of the Republic of Tatarstan (Tatarstan), Kazan, 420111, Russian Federation E-mail: RPN.RT@tatar.ru

Svetlana V. Kley N, DSc (Medicine), professor of the RAS, deputy director for research of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713> E-mail: kley@fcrisk.ru

Irina V. May, DSc (Biological Science), professor, principal researcher-advisor to the Director of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 614045, Perm, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016> E-mail: may@fcrisk.ru

Marina V. Prokofyeva, deputy head, Office of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare of the Republic of Tatarstan (Tatarstan), Kazan, 420111, Russian Federation. E-mail: RPN.RT@tatar.ru

Dmitrii A. Kiryanov, PhD (Engineering), head, Department of systems and processes mathematical modeling, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961> E-mail: kda@fcrisk.ru

Aleksey A. Klyachin, researcher, Department for systemic procedures of sanitary-hygienic analysis and monitoring of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4284-4415> E-mail: klyachin@fcrisk.ru

Vladimir M. Chigvintsev, PhD (Physics and Mathematics), senior researcher, Situation modeling and expert and analytical management techniques laboratory, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0345-3895> E-mail: cvm@fchisk.ru