



Малышева А.Г., Ушакова О.В., Стародубова Н.Ю., Евсеева И.С.

Проблемы идентификации опасности для здоровья за счёт влияния дополнительных загрязняющих веществ – продуктов трансформации, образующихся при использовании воздухоохраных технологий очистки выбросов в производстве кормов для животных

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» ФМБА России, 119992, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Внедрение новых воздухоохраных технологий требует комплексной гигиенической оценки, учитывающей не только снижение концентраций загрязняющих веществ, но и образование их трансформационных продуктов, обладающих иной токсичностью.

Материалы и методы. Методом хромато-масс-спектрометрии исследованы органические вещества в воздухе производственных помещений, на входе/выходе биофильтра и на границе СЗЗ фабрики кормов для животных (г. Ступино).

Результаты. В производственных помещениях идентифицировано 114 соединений, в основном кислородсодержащих (83–97%). На входе в биофильтр — 45 веществ (суммарно 4,328 мг/м³), на выходе — 71 вещество (3,558 мг/м³). Содержание спиртов снизилось в 5,7 раза, альдегидов — в 1,4, кетонов — в 1,9, однако концентрация фенолов выросла в 1,5 раза, появилось 26 новых соединений, включая 1,4-диоксан, нитрометан и продукты метаболизма микроорганизмов. На границе СЗЗ обнаружено 40 веществ (0,146 мг/м³), их концентрации ниже ПДК. Для 33% соединений гигиенические нормативы отсутствуют. Технология признана безопасной.

Ограничение исследования. Исследование ограничено применением метода исследования органических соединений с молекулярной формулой C₅–C₂₀, что не позволяет оценить вклад более летучих и труднолетучих компонентов.

Заключение. Биофилтрация снижает валовое содержание загрязнителей, но сопровождается трансформацией веществ и выделением метаболитов микроорганизмов, что требует контроля полного компонентного состава выбросов на всех этапах очистки и гигиенического нормирования обнаруженных на границе СЗЗ соединений.

Ключевые слова: загрязняющие вещества; продукты трансформации; хромато-масс-спектрометрическая идентификация; атмосферный воздух; здоровьесберегающие технологии; риск для здоровья; выбросы фабрики по производству кормов для домашних животных

Соблюдение этических стандартов. Данное исследование не требует одобрения локального этического комитета.

Для цитирования: Малышева А.Г., Ушакова О.В., Стародубова Н.Ю., Евсеева И.С. Проблемы идентификации опасности для здоровья за счёт влияния дополнительных загрязняющих веществ – продуктов трансформации, образующихся при использовании воздухоохраных технологий очистки выбросов в производстве кормов для животных. *Гигиена и санитария*. 2026; 105(5): 470–479. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-5-470-479> <https://elibrary.ru/ikqcow>

Для корреспонденции: Малышева Алла Георгиевна, e-mail: amalyшева@cspsfmba.ru

Вклад авторов: Малышева А.Г. – концепция и дизайн исследования, написание текста, сбор материала и обработка данных, редактирование; Ушакова О.В. – обработка данных, написание текста, редактирование; Стародубова Н.Ю. – обработка данных, редактирование текста; Евсеева И.С. – написание текста, редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи.

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

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 16.10.2025 / Поступила после доработки: 07.04.2026 / Принята к печати: 20.05.2026 / Опубликовано: 18.06.2026

Alla G. Malysheva, Olga V. Ushakova, Nataliya Yu. Starodubova, Irina S. Evseeva

Problems of identification of health hazards due to the influence of additional pollutants – transformation products formed when using air-protection technologies for cleaning emissions in the production of animal feed

Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency of Russia, Moscow, 119992, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The use of new air protection technologies for cleaning industrial emissions requires a comprehensive hygienic assessment, including an analysis of not only the effectiveness of reducing concentrations of regulated pollutants, but also the possible formation of products of their transformation, which may have different physico-chemical and toxicological properties.

Materials and Methods. Organic substances were conducted in the air of production rooms using a chromatographic-mass-spectrometric method at the inlet and outlet of the biofilter, and at the border of the sanitary protection zone of a pet food factory in Stupino, the Moscow Region.

Results. In the air of production premises, one hundred fourteen organic compounds were identified, mainly oxygen-containing compounds (83–97% of the total). At the inlet of the biofilter, 45 compounds were identified with a total concentration of 4.328 mg/m³, and at the outlet, 71 compound were identified with a concentration of 3.558 mg/m³. There was a 5.7-fold decrease in the concentration of alcohols, a 1.4-fold decrease in the concentration of aldehydes, and a 1.9-fold decrease in the concentration of ketones. However, there was a 1.5-fold increase in the concentration of phenols and the appearance of 26 new compounds, including unsaturated hydrocarbons, esters, 1,4-dioxane, nitromethane, and microbial metabolites. At the SPZ border, 40 compounds were identified with a total concentration of 0.146 mg/m³, which did not exceed the hygienic standards. For 33% of the compounds detected at the SPZ border, no hygienic standards have been established. Technology can be considered safe.

Limitations. The study is limited to the use of a method for studying organic compounds with molecular formulas C₅–C₂₀, which does not allow for the assessment of the contribution of more volatile and hardly-volatile components.

Conclusion. Biofiltration reduces the total content of organic pollutants in feed production emissions, but it also involves the transformation of initial substances and the emission of microbial metabolism products. To assess the hygienic safety of environmental technologies, it is necessary to analyze the trend in the complete component composition of pollutants at all stages of treatment. Compounds identified at the SPZ boundary that do not have regulatory requirements require additional study to justify the priority of their control.

Keywords: pollutants; transformation products; chromatographic mass spectrometric identification; atmospheric air; health-saving technologies; health risk; emissions from animal feed production

Compliance with ethical standards. This study does not require approval by the local ethical committee

For citation: Malysheva A.G., Ushakova O.V., Starodubova N.Yu., Evseeva I.S. Problems of underreporting health risks due to the influence of additional pollutants – by-products of transformation formed during the use of health-saving technologies for emissions treatment in feed production. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2026; 105(5): 470–479. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-5-470-479> <https://elibrary.ru/ikqcow> (In Russ.)

For correspondence: Alla G. Malysheva, e-mail: AMalysheva@cspmz.ru

Contribution: Malysheva A.G. – research concept and design, text writing, data collection and processing, editing; Ushakova O.V. – data processing, text writing, editing; Starodubova N.Yu. – data processing, text editing; Evseeva I.S. – text writing, editing. 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: October 16, 2025 / Revised: April 7, 2026 / Accepted: May 20, 2026 / Published: June 18, 2026

Введение

Один из значимых факторов, определяющих здоровье населения, – качество окружающей среды, особенно атмосферного воздуха. По оценкам отечественных и зарубежных экспертов, состояние здоровья населения определяется качеством окружающей среды в пределах 20–40%, долей генетических факторов – на 15–20%, образом жизни – на 25–50%, а вкладом деятельности служб здравоохранения – примерно на 10% [1–3]. Эксперты Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) полагают, что здоровье населения определяется на 60% социально-экономическими условиями и качеством системы здравоохранения, на 20% – состоянием окружающей среды, на 20% – наследственностью и другими биологическими характеристиками организма, и относят загрязнение атмосферного воздуха к числу приоритетных факторов риска, требующих разработки и внедрения эффективных мер снижения негативного воздействия [4–9].

В соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации № 145 от 28.02.2024 г.) создание и внедрение отечественных технологий, направленных на сохранение здоровья населения и обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия, признаны приоритетными задачами государства. К числу таких технологий относятся различные методы очистки промышленных выбросов, в том числе биологическая фильтрация. Однако внедрение любого технологического решения должно сопровождаться комплексной гигиенической оценкой, учитывающей не только достижение целевого показателя (например, снижение масс выброса нормируемых веществ), но и возможные побочные эффекты, связанные с трансформацией химических соединений.

В связи с этим актуальность химико-аналитических исследований в гигиене окружающей среды не вызывает сомнений, поскольку именно эти результаты остаются одним из основных критериев гигиенической оценки качества и химической безопасности среды обитания. Одно из важнейших направлений физико-химических исследований в области гигиены – поиск и применение оптимальных и безопасных с эколого-гигиенической точки зрения технологий. Известно, что качество среды обитания ухудшается под воздействием многокомпонентных смесей токсичных веществ, состав которых тесно связан с характером расположенных рядом производств. В основе всех технологий, направленных на снижение риска для здоровья населения, и различных природоохранительных мероприятий, предотвращающих или снижающих химическое загрязнение атмосферного воздуха, лежит химико-аналитический мониторинг входящих в состав выбросов токсичных веществ, которые регламентируются гигиеническими нормативами. Однако химико-аналитический мониторинг нередко осложняется

отсутствием учёта процессов трансформации веществ, входящих в состав выбросов, протекающих на разных стадиях производственного процесса.

Известно, что при воздействии физических, химических и биологических факторов, лежащих в основе работы очистного оборудования, исходные компоненты выбросов могут вступать в реакции, приводящие к образованию новых соединений. Эти вещества зачастую обладают более высокой токсичностью по сравнению с исходными [10–14], поэтому продукты трансформации компонентов выбросов также подлежат контролю. Исследования показывают, что даже из относительно малотоксичных предшественников, таких как терпены, в атмосферном воздухе могут образовываться десятки продуктов трансформации, в том числе соединения с доказанными канцерогенными и мутагенными свойствами [15]. Тем не менее существующая система мониторинга качества воздуха преимущественно ориентирована на ограниченный перечень приоритетных загрязнителей и не учитывает процессов их трансформации, что может приводить к неполной или искажённой оценке реальной химической нагрузки на население [16]. Использование современных методов анализа, таких как газовая хроматография, ВЭЖХ и хромато-масс-спектрометрия с различными видами экстракции, обеспечивает идентификацию и количественное определение широкого спектра органических соединений в воздухе, воде и почве.

На территории Российской Федерации качество среды обитания остаётся неблагоприятным. Установлено, что более 35% поверхностных и свыше 15% подземных источников питьевого водоснабжения не отвечают гигиеническим требованиям по показателям химической безопасности в результате промышленного загрязнения. Воздействию загрязнённого воздуха подвержено более половины городского населения, а число городов Российской Федерации, в которых концентрации отдельных веществ превышают ПДК, – более 200. В мире зарегистрировано свыше 100 млн химических веществ, из которых более 5 млн потенциально опасны. В России разработано ≈ 4,5 тыс. гигиенических нормативов, однако контроль большинства веществ остаётся неполным из-за отсутствия соответствующих методов анализа.

На примере решения одной из актуальных задач – оценки эффективности и химической безопасности применения новых технологий, направленных на снижение риска здоровью населения, – можно продемонстрировать современное состояние гигиенического мониторинга качества и химической безопасности среды обитания и возможные пути его совершенствования.

В атмосферный воздух поступают многокомпонентные выбросы, характер которых зависит от специфики производства. Обзорный анализ состава загрязняющих веществ позволяет выделить приоритетные соединения, в том числе

потенциально канцерогенные. Для многих городских и промышленных территорий актуальна проблема запахового загрязнения. Несмотря на меры государственного контроля, источники запахов вызывают жалобы населения и негативно влияют на здоровье, особенно на состояние дыхательной, сердечно-сосудистой и нервной систем. Основные источники таких выбросов — промышленные предприятия, очистные сооружения и объекты переработки отходов. Контроль качества воздуха осложнён субъективностью восприятия запахов и их многокомпонентностью.

Предприятия по переработке пищевого сырья и производящие корма для животных являются источниками сложных по составу многокомпонентных выбросов, характеризующихся интенсивным запаховым воздействием. На всех этапах технологического процесса — от измельчения сырья до сушки и гранулирования готового продукта — в воздух поступают разнообразные органические соединения: спирты, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, серо- и азотсодержащие вещества, многие из которых обладают низкими порогами обонятельного восприятия и могут вызывать у населения рефлекторные реакции [17–25]. Применяемые методы очистки, в том числе биофильтрация, призваны снизить эту нагрузку, однако их безопасность с точки зрения образования вторичных загрязнителей изучена недостаточно [26–30]. Характерными загрязнениями воздуха являются резкий неприятный запах, ароматизаторы, аэрозоли, пыль, сероводород, амины, аммиак, меркаптаны, скатола, индолы, триптофан, тиол и др.

Изученной в настоящей работе фабрике по производству кормов для домашних животных угрожало переезд из-за многочисленных жалоб населения на неприятный запах. Процесс переезда производства на новое место — мероприятие материально затратное и длительное, поскольку требует остановки деятельности предприятия. В этом случае при условии расположения рядом с предприятием жилых домов Роспотребнадзор требует либо перенести производство, либо устранить неприятный запах от выбросов. Убрать запах гораздо проще, чем переезжать: нужно подобрать эффективный способ очистки на основании характеристик выброса. Фабрика сделала попытку применить новую технологию очистки выбросов для снижения поступления запаха в окружающую среду.

Известно, что при оценке риска для здоровья одним из основных этапов является идентификация опасности, предусматривающая выявление всех источников загрязнения окружающей среды, идентификацию всех загрязняющих веществ и определение среди них приоритетных для последующего установления вредных эффектов и др.¹

Цель исследования — идентифицировать опасность, обусловленную образованием дополнительных загрязняющих веществ — продуктов трансформации, при использовании воздухоохраных технологий очистки выбросов на примере биофильтрации в производстве кормов для домашних животных (г. Ступино Московской области).

Материалы и методы

Исследования веществ, поступающих в воздух в процессе производства кормов для домашних животных, выполнены хромато-масс-спектрометрическим методом, позволяющим идентифицировать и количественно определять с чувствительностью на уровне и ниже гигиенических нормативов широкий спектр органических соединений C_5 – C_{20} в воздухе с неизвестным составом загрязняющих веществ.

Исследования проведены с использованием метрологически аттестованного оборудования: хромато-масс-спектрометрической системы Thermo Fisher Scientific, включающей газовый хроматограф Focus GC с полным электронным

контролем газовых потоков и режимом цифрового контроля давления и потоков с автоматическим определением параметров колонки; масс-спектрометрический детектор DSQ II с квадрупольным масс-анализатором, обеспечивающий измерения в диапазоне массовых чисел от 1 до 1050; термодесорбер 9300 АСЕМ с криофокусированием газовой пробы в соответствии с методическим документом². Система имеет программное обеспечение, контролирующее работу всего прибора, который обеспечивает сбор, хранение всех масс-спектров в процессе проведения хромато-масс-спектрометрического анализа, обработку результатов измерений, количественный анализ, поиск и сравнение с библиотечной масс-спектров NIST 08, в которую включены более 220 тыс. спектров для > 190 тыс. соединений с их химическими структурами.

Пробы воздуха отобраны в трубки, заполненные сорбентом Tenax TA, с использованием 4-канального электрического аспирационного устройства ПУ-4Э. Места отбора проб: трубопровод на входе (при температуре плюс 30 °С) и на выходе из системы очистки (обезвреживания) (при температуре плюс 18 °С). Объём газовой пробы составил 4,2 дм³ при скорости аспирации 0,3 дм³/мин. Пробы отбирались в соответствии с Руководящим документом³.

Хромато-масс-спектрометрический анализ выполнен при следующих условиях. Этап термодесорбции проведён при температуре восьмидюймового клапана плюс 150 °С, температуре интерфейса плюс 200 °С, температуре фокусирующей трубки плюс 200 °С и времени её нагрева 2 мин, температуре отдувки сорбционной трубки — 280 °С. Температура сорбционной трубки — плюс 280 °С, время её нагрева — 5 мин, время охлаждения — 2 мин с температурой криофокусировки плюс 10 °С и объёмной скоростью гелия через сорбционную трубку 20 см³/мин.

Газохроматографическое разделение проведено на хроматографической капиллярной колонке из кварцевого стекла DB-5 внутренним диаметром 0,32 мм и длиной 60 м с неподвижной метилсилоксановой фазой (5%-й фенилметилполисилоксан), толщина плёнки 1 мкм с начальной температурой термостата колонки плюс 33 °С. Временное плато начальной температуры термостата колонки составило 3 мин, скорость подъёма температуры термостата колонки — 6°/мин. Промежуточная температура термостата колонки — плюс 60 °С; временное плато промежуточной температуры термостата колонки — 0 мин. Скорость подъёма температуры термостата колонки — 6,5 °/мин, конечная температура термостата колонки — плюс 250 °С; временное плато конечной температуры термостата колонки — 3 мин; объёмная скорость гелия через колонку — 1,5 см³/мин. Масс-селективное детектирование проведено при температуре ионного источника плюс 200 °С; ток детектора составил 300 000. Режим сканирования: время до начала сканирования — 4,3 мин; диапазон сканирования — 41–260; время анализа — 41 мин. При оценке результатов использовали гигиенические нормативы, установленные СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Результаты

Органические соединения, идентифицированные в воздушной среде производственных помещений фабрики по производству кормов для домашних животных. Результаты химико-аналитических исследований, направленных на идентификацию и количественное определение широкого спектра органических соединений в воздушной среде производственных помещений фабрики по производству кормов, представлены в табл. 1 в виде групп органических соединений.

² ГОСТ Р ИСО 16000–6–2007. Воздух замкнутых помещений. Часть 6. Определение летучих органических соединений в воздухе замкнутых помещений и испытательной камеры путём активного отбора проб на сорбент Tenax TA с последующей термической десорбцией.

³ РД 52.04.186–89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы».

¹ Р 2.1.10.3968–23 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. 301 с.

Таблица 1 / Table 1

Органические соединения, идентифицированные в воздушной среде производственных помещений фабрики кормов для домашних животных**Organic compounds identified in the air of the production facilities of a pet food factory**

Соединение Compound	Помещение / Room		
	мельница mill	размещение вторичной упаковки placement of secondary packaging	сушилка drying room
	концентрация, мг/м ³ / concentration, mg/m ³		
Углеводороды / Hydrocarbons	0.064	0.158	0.088
Спирты / Alcohols	0.162	0.926	2.901
Фенолы / Phenols	0.066	0.268	0.537
Альдегиды / Aldehydes	0.079	0.347	0.398
Кетоны / Ketones	0.059	0.147	0.263
Фураны / Furans	0.001	0.005	0.019
Карбоновые кислоты / Carboxylic acids	–	–	0.022
Сложные эфиры / Esters	0.002	0.006	0.006
Галогенсодержащие соединения / Halogen-containing compounds	0.005	0.003	0.001
Серосодержащие соединения / Sulfur-containing compounds	0.002	0.019	0.030
Азотсодержащие соединения / Nitrogen-containing compounds	0.003	0.007	0.010
Всего идентифицированных соединений / Total identified compounds	57	70	62
Концентрация идентифицированных соединений Concentration of identified compounds	0.443	1.894	4.275

Таблица 2 / Table 2

Перечень наиболее показательных органических соединений, идентифицированных на входе в биофильтр и выходе из него**The list of the most significant organic compounds identified at the inlet and outlet from the biofilter**

Соединение Compound	Вход в биофильтр Inlet of the biofilter	Выход из биофильтра Outlet of the biofilter	Гигиенический норматив Hygienic standard		
			ПДК _{м.р.} MPK _{m.r.}	ПДК _{с.с.} MPC _{s.s.}	ОБУВ OEL
	концентрация, мг/м ³ / concentration, mg/m ³				
Углеводороды, в том числе: / Hydrocarbons, including:	0.168	0.212	–	–	–
<i>насыщенные: / saturated:</i>	0.080	0.063	–	–	–
пентан / pentane	–	0.012	100	25	–
гептан / heptane	0.024	0.005	–	–	1.5
додекан / dodecane	0.002	0.002	1	–	–
<i>непредельные: / unsaturated:</i>	–	0.022	–	–	–
1.3-пентадиен 1.3-pentadiene	–	0.019	0.5	–	–
<i>циклические неароматические: / cyclic non-aromatic:</i>	–	0.076	–	–	–
циклогексан / cyclohexan	–	0.011	1.4	–	–
<i>терпеновые / terpenes</i>	0.043	0.003	н/у	н/у	н/у
<i>ароматические: / aromatic:</i>	0.027	0.037	–	–	–
бензол / benzene	0.018	0.009	0.3	0.1	–
м.п-ксилолы / m.p-xylenes	–	0.006	0.25	0.04	–
стирол / styrene	0.004	0.004	0.04	0.002	–
<i>полиядерные ароматические (ПАУ) / polynuclear aromatic</i>	0.018	0.011	н/у	н/у	н/у
Кислородсодержащие соединения, в том числе: / Oxygen-containing compounds, including:	4.066	3.251	–	–	–
<i>спирты: / alcohols:</i>	1.005	0.177	–	–	–
этанол / ethanol	0.088	0.050	5	–	–
изопропанол / isopropanol	0.567	0.062	0.6	–	–
1-пропанол / 1-propanol	0.312	0.014	0.3	–	–
трет-бутанол / tert-butanol	0.019	0.014	0.1	–	–

Продолжение Таблицы 2 на стр. 474 / Continuation of Table 2 on page 474

Продолжение Таблицы 2. Начало на стр. 473 / Continuation of Table 2. Beginning on page 473

Соединение Compound	Вход в биофильтр Inlet of the biofilter	Выход из биофильтра Outlet of the biofilter	Гигиенический норматив Hygienic standard		
			ПДК _{м.р.} MPK _{m.r.}	ПДК _{с.с.} MPC _{s.s.}	ОБУВ OEL
			концентрация, мг/м ³ / concentration, mg/m ³		
1-бутанол / 1-butanol	0.005	0.010	0.1	–	–
1-пентанол / 1-pentanol	0.012	0.011	0.01	–	–
1-гексанол / 1-hexanol	0.002	0.006	0.8	0.2	–
<i>фенолы: / phenols:</i>	1.289	1.905	–	–	–
фенол / phenol	0.027	0.025	0.01	0.003	–
2,6-ди-трет-бутил-п-крезол / 2,6-di-tert-butyl-p-cresol	1.080	1.743	2.0	0.6	–
<i>альдегиды: / aldehydes:</i>	0.965	0.667	–	–	–
формальдегид / formaldehyde	< 0.001	< 0.001	0.05	0.1	–
ацетальдегид / acetaldehyde	< 0.001	< 0.001	0.01	–	–
пропаналь / propanal	< 0.001	< 0.001	0.01	–	–
3-метилбутаналь / 3-methylbutanal	0.134	0.122	–	–	0.03
пентаналь / pentanal	0.061	0.021	0.03	–	–
гексаналь / hexanal	0.163	0.121	0.02	–	–
гептаналь / heptanal	0.042	0.013	0.01	–	–
октаналь / octanal	0.053	0.011	0.02	–	–
нонаналь / nonanal	0.074	0.034	0.02	–	–
деканаль / decanal	0.010	0.017	0.02	–	–
акролеин / acrolein	–	0.010	0.03	0.01	–
2-фуральдегид / 2-furaldehyde	–	0.033	0.08	0.04	–
бензальдегид / benzaldehyde	0.228	0.155	0.04	–	–
<i>кетоны: / ketones:</i>	0.807	0.428	–	–	–
ацетон / acetone	0.402	0.150	0.35	–	–
4-метил-2-пентанон / 4-methyl-2-pentanone	–	0.002	0.1	–	–
ацетофенон / acetophenone	0.152	0.120	0.010	–	–
2,3-бутандион / 2,3-butandione	0.051	0.023	–	–	0.1
<i>простые эфиры / simple esters</i>	–	0.009	н/у	н/у	н/у
<i>сложные эфиры: / esters:</i>	–	0.017	н/у	н/у	н/у
этилоктаноат / ethyloctanoate	–	0.006	н/у	н/у	н/у
этилдеcanoат / ethyl decanoate	–	0.011	н/у	н/у	н/у
<i>другие: / others:</i>	–	0.003	–	–	–
1,4-диоксан / 1,4-dioxane	–	0.003	–	–	0.07
Азотсодержащие соединения: / Nitrogen-containing compounds:	0.015	0.028	–	–	–
нитрометан / nitromethane	–	0.005	–	–	0.1
валеронитрил / valerionitrile	–	0.001	н/у	н/у	н/у
метилвалеронитрил / methylvaleronitrile	–	0.001	н/у	н/у	н/у
бензонитрил / benzonitrile	0.007	0.008	н/у	н/у	н/у
пиразин / pyrazine	–	0.001	н/у	н/у	н/у
2,5-диметилпиразин / 2,5-dimethylpyrazine	0.004	0.005	–	–	0.02
пиридин / pyridine	0.002	0.004	0.08	–	–
2-метилпиримидин / 2-methylpyrimidine	–	0.001	н/у	н/у	н/у
Серосодержащие соединения: / Sulfur-containing compounds:	0.079	0.065	–	–	–
диметилдисульфид / dimethyl disulfide	0.050	0.042	0.7	–	–
метилтиопропаналь / methylthiopropional	0.020	0.014	–	–	0.0001
Азот-, серосодержащие соединения: / Nitrogen-, Sulfur-containing compounds:	–	0.002	–	–	–
бензотиазол / benzothiazole	–	0.002	н/у	н/у	н/у
Всего идентифицированных соединений / Total identified compounds	45	71	–	–	–
Концентрация идентифицированных соединений, мг/м ³ Concentration of identified compounds, mg/m ³	4.328	3.558	–	–	–

Примечание. н/у – не установлен.

Note. н/у – not identified.

В результате проведённых исследований в воздухе производственных помещений фабрики идентифицировано 114 органических соединений, относящихся к различным классам химических веществ.

В воздухе помещений фабрики по производству кормов для домашних животных выявлено более 110 органических соединений, принадлежащих к различным группам химических веществ, в том числе к предельным C_5-C_{17} (12 веществ, без учёта изомеров), непредельным (5), циклическим неароматическим (3), ароматическим (10), терпеновым (4) углеводородам, ПАУ (2); кислородсодержащим соединениям, в том числе спиртам (12), фенолам (4), альдегидам (16), кетонам (18), фуранам (2), карбоновым кислотам (2), сложным эфирам (5); галогенсодержащим (3), серосодержащим (3), азотсодержащим соединениям (8).

В воздушной среде помещения мельницы идентифицированы 57 органических соединений, суммарное содержание которых составило $0,443 \text{ мг/м}^3$. Наибольшую массовую долю среди них имеют кислородсодержащие соединения (83%), из которых спирты – 39%, в том числе *n*- и изопропанол – 26%. Значителен удельный вес фенолов, альдегидов и кетонов: 15; 18 и 13% соответственно.

В воздушной среде помещения вторичной упаковки идентифицировано 70 органических соединений, суммарная концентрация которых составила $1,894 \text{ мг/м}^3$. Наибольшую массовую долю среди идентифицированных соединений имеют кислородсодержащие соединения (90%), из которых 49% – спирты, в том числе *n*- и изопропанол (44%). Значителен удельный вес фенолов, альдегидов и кетонов: 14; 18 и 8% соответственно. Содержание серосодержащих соединений невелико (1%).

В воздушной среде помещения сушилки обнаружены 62 органических соединения, суммарное содержание которых составило $4,275 \text{ мг/м}^3$. Как и в помещениях мельницы и вторичной упаковки, наибольшую массовую долю среди идентифицированных соединений составляли кислородсодержащие соединения (97%), из которых 68% – спирты, в том числе *n*- и изопропанол (67%). Значительна доля фенолов, альдегидов и кетонов: 13; 9 и 6% соответственно. Содержание серосодержащих соединений составило 0,7%.

Наибольшая массовая доля во всех помещениях приходилась на кислородсодержащие соединения: от 83% в помещениях мельницы до 97% в помещении сушилки. Среди них доминировали спирты (39–68% от суммы), преимущественно *n*-пропанол и изопропанол, а также фенолы (13–15%), альдегиды (9–18%) и кетоны (6–13%). Важно, что для 44% идентифицированных соединений гигиенические нормативы содержания в атмосферном воздухе населённых мест в настоящее время не установлены. Для 39% веществ имеются нормативы для воздуха рабочей зоны, при этом превышений ПДК_{р.з.} в обследованных помещениях не зафиксировано.

Анализ органических соединений для оценки эффективности и безопасности биофильтрации на фабрике по производству кормов для животных. Результаты исследования показали, что в аспирационных системах на входе в биофильтр и выходе из него выявлено свыше 70 органических соединений различных классов. Перечень наиболее показательных органических соединений с их концентрациями, составленный по результатам идентификации и количественного определения для оценки эффективности и химической безопасности биофильтра, представлен в **табл. 2**. Дополнительно для сравнения представлены гигиенические нормативы идентифицированных веществ (ПДК_{с.с.}, ПДК_{м.р.} и ОБУВ) в атмосферном воздухе населённых мест, приведённые в СанПиН 1.2.3685–21.

В аспирационных системах на входе в биофильтр и выходе из него выявлено свыше 70 органических соединений, принадлежащих к разным группам химических веществ: углеводородам, в том числе предельным C_5-C_{12} (6 веществ, без учёта изомеров), непредельным (2), циклическим неаро-

матическим (2), ароматическим (7), ПАУ (1); кислородсодержащим соединениям, в том числе спиртам (8), фенолам (3), альдегидам (14), кетонам (9), сложным эфирам (2); серосодержащим (3), азотсодержащим соединениям (9).

В воздухе на входе в биофильтр выявлено 45 органических соединений с суммарной концентрацией $4,328 \text{ мг/м}^3$; 94% выявленных веществ – кислородсодержащие соединения, представленные фенолами (30%), спиртами (23%), альдегидами (22%), кетонами (19%). Доля серосодержащих соединений – менее 2%.

В воздухе на выходе из биофильтра выявлено 71 органическое соединение с суммарной концентрацией $3,558 \text{ мг/м}^3$; 91% выявленных веществ – кислородсодержащие соединения, представленные фенолами (53,5%), альдегидами (19%), кетонами (12%), спиртами (5%). Доля серосодержащих соединений – менее 2%. Результаты сравнительного анализа состава загрязняющих веществ на входе в биофильтр и на выходе из него представлены в **табл. 3**.

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы относительно работы биофильтра.

1. Эффективность очистки зависит от целевых групп веществ. Зафиксировано значительное снижение концентраций спиртов (в 5,7 раза), альдегидов (в 1,4 раза), кетонов (в 1,9 раза) и серосодержащих соединений (в 1,2 раза), что свидетельствует о высокой эффективности биофильтрации в отношении данных классов загрязнителей.

2. Качественное изменение состава выбросов. Несмотря на снижение суммарной концентрации в 1,2 раза, количество идентифицированных соединений на выходе из биофильтра увеличилось в 1,6 раза (с 45 до 71). Это указывает на протекание процессов трансформации исходных веществ во время биологической очистки.

3. Образование новых соединений. На выходе из биофильтра идентифицировано 26 соединений, не обнаруженных во входном потоке. К ним относятся:

- непредельные углеводороды (октен-1, 1,3-пентадиен);
- циклические неароматические углеводороды (метилциклопентан, циклогексан);
- ароматические соединения (этилбензол, ксилолы, фенилацетилен);
- сложные эфиры (этилоктаноат, этилдеcanoат);
- простые эфиры (2-трет-бутил-1,4-диметоксибензол);
- 1,4-диоксан;
- азотсодержащие соединения (нитрометан, валеронитрил, пиазин, 2-метилпиримидин);
- бензотиазол.

Изменение концентраций отдельных групп веществ. Особого внимания заслуживает увеличение суммарной концентрации фенолов в 1,5 раза, в основном за счёт повышения содержания 2,6-ди-трет-бутил-*p*-крезола (с 1,08 до $1,743 \text{ мг/м}^3$). Также отмечено увеличение концентрации азотсодержащих соединений (в 1,9 раза) за счёт появления новых веществ.

Образование ряда соединений, таких как диметилди-сульфид, 2,5-диметилпиазин, вероятно, связано с метаболической активностью микроорганизмов, колонизирующих биофильтр, и может рассматриваться как продукт их жизнедеятельности.

Органические соединения, идентифицированные в атмосферном воздухе на границе санитарно-защитной зоны фабрики производства кормов для домашних животных. Результаты химико-аналитических исследований, проведённых для выявления и количественной оценки широкого спектра органических соединений в атмосферном воздухе на границе санитарно-защитной зоны фабрики по производству кормов для домашних животных, представлены в **табл. 4** в виде групп органических соединений.

В атмосферном воздухе посёлка, расположенного недалеко от фабрики производства кормов, идентифицировано 43 органических соединения, суммарная концентрация которых составила $0,146 \text{ мг/м}^3$. Выявленные соединения относились к различным группам химических соединений:

Таблица 3 / Table 3

Изменение состава загрязняющих веществ в процессе биофильтрации
The change in the composition of pollutants during biofiltration

Показатель Indicator	На входе в биофильтр At the inlet of the biofilter	На выходе из биофильтра At the outlet from the biofilter
Количество идентифицированных соединений / Number of identified compounds	45	71
Суммарная концентрация, мг/м ³ / Total concentration, mg/m ³	4.328	3.558
Классы соединений (концентрация, мг/м ³): / Compound classes (concentration, mg/m ³):		
Спирты / Alcohols	1.005	0.177
Фенолы / Phenols	1.289	1.905
Альдегиды / Aldehydes	0.965	0.667
Кетоны / Ketones	0.807	0.428
Углеводороды (сумма) / Hydrocarbons (total)	0.168	0.212
в том числе насыщенные / including saturated	0.080	0.063
Непредельные / unsaturated	–	0.022
циклические неароматические / cyclic non-aromatic	–	0.076
Ароматические / aromatic	0.027	0.037
Терпеновые / Terpenes	0.043	0.003
ПАУ / PAU	0.018	0.011
Серосодержащие / Sulfur-containing	0.079	0.065
Азотсодержащие / Nitrogen-containing	0.015	0.028
Простые и сложные эфиры / Simple and complex esters	–	0.026
1,4-диоксан / 1,4-dioxane	–	0.003

Таблица 4 / Table 4

Органические соединения, идентифицированные в атмосферном воздухе посёлка вблизи фабрики производства кормов для домашних животных
Organic compounds identified in the atmospheric air of a village near a pet food factory

Соединение Compound	Концентрация, мг/м ³ Concentration, mg/m ³
Углеводороды, в том числе: / Hydrocarbons, including	0.030
спирты / alcohols	0.023
фенолы / phenols	0.003
альдегиды / aldehydes	0.056
кетоны / ketones	0.027
простые эфиры / simple esters	0.001
сложные эфиры / esters	0.001
Галогенсодержащие соединения / Halogen-containing compounds	0.002
Азотсодержащие соединения / Nitrogen-containing compounds	0.002
Серо-, азотсодержащее соединение / Sulfur-, Nitrogen-containing compound	0.001
Концентрация идентифицированных соединений, мг/м ³ / Concentration of identified compounds, mg/m ³	0.146

углеводородам, в том числе предельным (5 соединений), непредельным (1), циклическим неароматическим (3), терпеновым (2), ароматическим (6); кислородсодержащим соединениям, в том числе спиртам (3), фенолам (1), альдегидам (8), кетонам (5), простым (1) и сложным (1) эфирам; галогенсодержащим соединениям (2), азот- (1) и серо-, азотсодержащим (1) соединениям. Концентрации всех веществ, для которых установлены гигиенические нормативы (бензол, толуол, ксилолы, стирол, фенол, ацетофенон, формальдегид и др.), не превышали предельно допустимых значений.

При этом для 33% идентифицированных соединений (13 веществ) гигиенические нормативы в атмосферном воздухе

населённых мест отсутствуют. К числу таких соединений относятся, например, некоторые продукты трансформации и микробного метаболизма (бензотиазол, 1,2-бензоизотиазол, инданон), что затрудняет оценку их потенциального вклада в риск для здоровья населения.

Обсуждение

В воздушной среде производственных помещений фабрики производства кормов для домашних животных, несмотря на различия в суммарном содержании загрязняющих соединений в воздухе (от 0,443 до 4,275 мг/м³, то есть содержание в помещении сушилки почти в 10 раз выше),

качественный состав воздуха примерно одинаков. Основную часть загрязнения составили спирты, в частности *n*-пропанол и изопропанол. Установлено наличие фенолов, альдегидов, кетонов и серосодержащих соединений. Содержание углеводов варьировалось от 2% в помещении сушилки до 14% в воздухе мельницы.

Для 44% выявленных соединений гигиенические нормативы содержания в атмосферном воздухе населённых мест не установлены. Для 39% идентифицированных веществ имеются гигиенические нормативы содержания в воздухе рабочей зоны. В исследуемых помещениях не выявлено превышения ПДК_{р.з.} ни по одному из соединений.

В воздухе на входе в биофильтр обнаружено 45 органических соединений с суммарной концентрацией 4,328 мг/м³, 94% выявленных веществ – кислородсодержащие соединения, представленные фенолами (30%), спиртами (23%), альдегидами (22%), кетонами (19%). Доля серосодержащих соединений была менее 2%. В воздухе на выходе из биофильтра обнаружено 71 органическое соединение с суммарной концентрацией 3,558 мг/м³, 91% идентифицированных веществ – кислородсодержащие соединения, представленные фенолами (53,5%), альдегидами (19%), кетонами (12%), спиртами (5%). Доля серосодержащих соединений – менее 2%.

Оценивая эффективность работы биофильтра, следует отметить:

- высокую степень очистки от спиртов, концентрация которых на выходе снизилась в 5,7 раза;
- очистку от кетонов, альдегидов и серосодержащих соединений, концентрации которых снизились в 1,9; 1,4 и 1,2 раза соответственно.

Несмотря на то что суммарное содержание выявленных органических соединений на выходе из биофильтра снизилось в 1,2 раза, одновременно в 1,6 раза (с 45 до 71) увеличилось количество идентифицированных соединений.

При этом установлено, что:

- суммарная концентрация фенолов возросла в 1,5 раза, а концентрация 2,6-ди-трет-бутил-*p*-крезола – в 1,6 раза;
- концентрация углеводов увеличилась в 1,3 раза; на выходе идентифицированы углеводороды, не выявленные на входе в биофильтр, в частности непредельные углеводороды (октен и пентадиен), и ряд ароматических углеводородов (этилбензол, ксилолы, фенилацетилен);
- выявлены простые и сложные эфиры, не обнаруженные на входе в биофильтр (2-трет-бутил-1,4-диметоксибензол, этилоктаноат и этилдеcanoат), а также 1,4-диоксан;
- в 1,9 раза увеличилась концентрация азотсодержащих соединений, при этом выявлен ряд азотсодержащих веществ, не обнаруженных на входе.

Концентрации всех соединений, обнаруженных в атмосферном воздухе посёлка вблизи фабрики кормов, соответствовали гигиеническим нормативам и не превышали допустимых уровней. Концентрации фенола и ацетофенона соответствовали ПДК_{с.с.} и ПДК_{м.р.} соответственно. Для 33% соединений нормативы не установлены, однако их качество и состав воздуха соответствуют характеристикам атмосферного воздуха населённых пунктов.

Проведённое исследование демонстрирует, что оценка эффективности природоохранных технологий только по интегральным показателям или по сокращённому перечню нормируемых веществ может быть недостаточной для гигиенического заключения об их безопасности. На примере биофильтра, установленного на фабрике производства кормов для животных, показано, что технология обеспечивает значительное снижение концентраций целевых загрязнителей (спиртов, альдегидов, кетонов), но одновременно приводит к качественному изменению состава выбросов за счёт процессов трансформации исходных веществ.

Увеличение количества идентифицированных соединений на выходе из биофильтра почти в 1,6 раза и появление 26 новых веществ свидетельствует о том, что в био-

логической среде протекают сложные метаболические процессы. Микроорганизмы, иммобилизованные на загрузке биофильтра, не только окисляют поступающие органические соединения до конечных продуктов (CO₂ и H₂O), но и выделяют в воздушный поток разнообразные вторичные метаболиты. Часть из них, такие как диметилдисульфид, 2,5-диметилпипразин, сложные эфиры, являются характерными соединениями, образующимися при микробной деградации белков и других биополимеров, и могут обладать биологической активностью и низкими порогами запаха.

Особое внимание привлекает рост концентрации фенолов, в частности 2,6-ди-трет-бутил-*p*-крезола (ионола), который широко используется как антиоксидант. Увеличение его содержания может быть следствием как десорбции с загрузочного материала биофильтра, так и трансформации других ароматических предшественников. Появление 1,4-диоксана, классифицируемого как вероятный канцероген для человека, также требует оценки, даже при его невысокой концентрации.

Обнаружение на границе СЗЗ 40 соединений при соблюдении нормативов для контролируемых веществ свидетельствует о том, что существующая система мониторинга, ориентированная на ограниченный перечень приоритетных загрязнителей, может не отражать полной картины химического воздействия. Присутствие на границе СЗЗ соединений, для которых не разработаны гигиенические нормативы, ставит вопрос о необходимости дополнительных токсиколого-гигиенических исследований с целью определения потенциальной опасности и обоснования включения в программы контроля приоритетных веществ для данного типа производств.

Таким образом, использованный в работе методологический подход, основанный на максимально полной идентификации компонентного состава на всех этапах газоочистки, позволяет выявить скрытые факторы риска и может служить научной основой для совершенствования системы гигиенической оценки безопасности новых технологий. Полученные данные подтверждают необходимость учёта продуктов трансформации при оценке эффективности природоохранных мероприятий, как это было отмечено в предыдущих исследованиях [11–15].

Заключение

В настоящее время улучшение качества среды обитания и создание комфортных условий жизнедеятельности человека приоритетны для крупных городов и промышленных центров. Обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия с использованием безопасных методов – актуальное направление гигиенической науки. Качество атмосферного воздуха, одного из ведущих факторов среды обитания, в значительной степени определяет здоровье населения и требует постоянного контроля.

Для оценки химической безопасности для здоровья населения важно учитывать многокомпонентный состав загрязнителей и продукты трансформации веществ, образующиеся в процессе применения природоохранных технологий очистки выбросов. Ключевой этап такой оценки – идентификация опасности, предусматривающая выявление всех потенциально вредных факторов, в том числе соединений, возникающих в результате трансформации исходных компонентов выбросов. В то же время существующий мониторинг соблюдения гигиенических нормативов зачастую основан на анализе ограниченного числа веществ и не отражает реальной сложности загрязнённой среды обитания, в том числе процессов трансформации поллютантов под воздействием природных и техногенных факторов. Поэтому для оценки опасности загрязнений необходимо учитывать весь спектр реально присутствующих веществ и их динамику в среде обитания, что позволит более точно оценить их влияние на здоровье населения.

Литература

1. Сидоренко Г.И., Крутько В.Н. Сохранить здоровье нации. В кн.: *Экологическая альтернатива*. М.: Прогресс; 1990: 760–95.
2. Зайцев В.А. *Промышленная экология*. М.: БИНОМ; 2015.
3. Рахманин Ю.А. Актуализация проблем экологии человека и гигиены окружающей среды и пути их решения. *Гигиена и санитария*. 2012; 91(5): 4–8. <https://elibrary.ru/puhijp>
4. Коптюг В.А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992): Информационный обзор. Новосибирск; 1992.
5. Anastas P.T., Warner J.C. *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press; 1998.
6. Зайцева В.А., Май И.В., Шур П.З. Анализ риска здоровью населения на современном этапе. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2013; (2): 20–4. <https://elibrary.ru/pvqglf>
7. Мироненко О.В., Киселев А.В., Носков С.Н., Панькин А.В., Магомедов Х.К., Шенгелия З.Н. и др. Прогнозирование заболеваемости и оценка риска здоровью при выполнении гигиенических исследований, связанных с химическими факторами воздействия. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина*. 2017; 12(4): 419–27. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2017.410> <https://elibrary.ru/ynsxjf>
8. Зайцев В.А., Кузнецов В.А., Тарасова Н.П. «Зеленая химия» и безотходное производство. В кн.: *Тезисы докладов XVIII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии: в 5 т.* М.: Гранита; 2007.
9. Рахманин Ю.А., Леванчук А.В., Копытенкова О.И., Фролова Н.М., Сазонова А.М. Определение дополнительного риска здоровью населения за счет загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух при эксплуатации дорожно-автомобильного комплекса. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(12): 1171–8. <https://elibrary.ru/ysjkbk>
10. Cramer G.M., Ford R.A., Hall R.L. Estimation of toxic hazard – a decision tree approach. *Food Cosmet. Toxicol.* 1978; 16(3): 255–76. [https://doi.org/10.1016/s0015-6264\(76\)80522-6](https://doi.org/10.1016/s0015-6264(76)80522-6)
11. Малышева А.Г., Стародубова Н.Ю. Гигиенические аспекты обеспечения химической безопасности применения новых здоровьесберегающих технологий утилизации биогаза на полигонах твердых бытовых отходов. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(10): 1114–22. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1118-1126> <https://elibrary.ru/iodyxc>
12. Малышева А.Г. Оценка химической безопасности природоохранных технологий по снижению загрязнения выбросов в атмосферу (на примере процессов лазерной обработки полимерных материалов). *Гигиена и санитария*. 2021; 100(3): 196–203. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-196-203> <https://elibrary.ru/camhwc>
13. Малышева А.Г., Юдин С.М. Трансформация химических веществ в окружающей среде как неучтенный фактор опасности для здоровья населения. *Химическая безопасность*. 2019; 3(2): 45–66. <https://doi.org/10.25514/CHS.2019.2.16005> <https://elibrary.ru/juagyd>
14. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А., Ермаков А.А. Оценка химической безопасности технологий биологической очистки промышленных выбросов и сточных вод. В кн.: *XIII Международный симпозиум «Экология человека и медико-биологическая безопасность населения»*. М.; 2019.
15. Малышева А.Г., Козлова Н.Ю., Юдин С.М. Неучтенная химическая опасность процессов трансформации веществ в окружающей среде при оценке эффективности применения технологий. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(6): 490–7. <https://elibrary.ru/uwamxm>
16. Кузьмин С.В., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицин В.А., Пинигин М.А., Бударина О.В. Воздействие атмосферных загрязнений на здоровье населения: диагностика, оценка и профилактика. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(10): 1145–50. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150> <https://elibrary.ru/eplgkr>
17. Косолапов В.М., Трофимов И.А. Значение кормопроизводства в сельском хозяйстве. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2013; (2): 59–64. <https://elibrary.ru/qnrwth>
18. Комлацкий Г.В. Технологические аспекты снижения выбросов парниковых газов в животноводстве. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2022; (181): 116–26. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-181-012> <https://elibrary.ru/zcntzo>
19. Богомолов И.С. Экологизация отходов животноводческих комплексов для получения и использования биометана. В кн.: *Научно-практические аспекты развития АПК. Материалы национальной научной конференции. Часть 1*. Красноярск; 2021: 8–10. <https://elibrary.ru/vibcos>
20. Тюрин В.Г., Потемкина Н.Н., Семенов В.Г., Виноградов П.Н. Эколого-гигиенические мероприятия для производства безопасной продукции животноводства и охраны окружающей среды. *Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018; (2): 47–55. <https://elibrary.ru/xwvqsd>
21. Аспандиярова М.Т., Гончаров А.В., Догадина М.А., Колесова Е.А. Особенности производства кормов и кормовых добавок. В кн.: *Вектор развития науки. Материалы Международной научно-практической конференции*. Балашиха; 2025: 137–42. <https://elibrary.ru/ikjfv>
22. Штенске К.С., Парамонова О.Н. Исследования по влиянию неблагоприятного воздействия обрабатывающих предприятий на окружающую среду. *Инженерно-строительный вестник Прикамья*. 2023; (3): 43–8. <https://doi.org/10.52684/2312-3702-2023-44-3-43-48> <https://elibrary.ru/aglrwj>
23. Космина О.Ю., Бобылева О.В., Новиков М.В. Экологические аспекты утилизации упаковки товаров зооветеринарного назначения. В кн.: *Актуальные вопросы зоологии, экологии и охраны природы. Материалы национальной научно-практической конференции, посвященной 90-летию организации кафедры зоологии, экологии и охраны природы имени А.Г. Банникова*. М.; 2022: 46–52. <https://elibrary.ru/hvlsqs>
24. Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е. Проблемные вопросы борьбы с пылью на предприятиях производства комбикормов. *Вестник Брянской ГСХА*. 2023; (4): 67–71. <https://elibrary.ru/pczqar>
25. Майоров А.В., Кулалаева А.С., Леухин А.Э. Повышение эффективности фильтрации воздуха на комбикормовых предприятиях. *Инновации. Наука. Образование*. 2021; (43): 1172–8. <https://elibrary.ru/lafcrf>
26. Мизанбекова С.К., Богомолова И.П., Василенко И.Н., Уразова О.А. Инновационные технологии очистки сточных вод для ресурсосберегающей деятельности комбикормовых предприятий. *Техника и технология пищевых производств*. 2021; 51(4): 743–52. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-743-752> <https://elibrary.ru/qimnsh>
27. Андреев Л.Н., Юркин В.В. Защита окружающей среды животноводческих комплексов на основе электрофильтрации воздуха. *Аграрная наука*. 2017; (11–12): 25–6. <https://elibrary.ru/iphgnh>
28. Трунов С.В., Якобчук К.А., Мальгин Е.Л., Деревянкин А.В. Проблемы безопасности при использовании новых технологий в производстве кормов. В кн.: *Современные инновации в науке и технике. Сборник научных трудов 9-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием*. Курск; 2019: 375–80. <https://elibrary.ru/nplegu>
29. Ржавых А.А., Урсакий А.М. Экологическая безопасность и технические инновации в отраслях пищевой промышленности. *Дельта науки*. 2019; (2): 11–5. <https://elibrary.ru/mjetaq>
30. Подлегаева Т.В., Роткина А.С., Тулаева А.А. Влияние производственных технологий пищевой промышленности и сферы питания на окружающую среду. В кн.: *Инновации в пищевой биотехнологии. Сборник тезисов VII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Том 1*. Кемерово; 2019: 279–81. <https://elibrary.ru/nvarwb>

References

1. Sidorenko G.I., Krut'ko V.N. Preserve the Health of the Nation. In: *Environmental Alternative [Ekologicheskaya al'ternativa]*. Moscow: Progress; 1990: 760–95. (in Russian)
2. Zaitsev V.A. *Industrial Ecology [Promyshlennaya ekologiya]*. Moscow: BINOM; 2015. (in Russian)
3. Rakhmanin Yu.A. Updating the problems of human ecology and environmental health and the ways of solving them. *Gigiena i Sanitariia (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2012; 91(5): 4–8. <https://elibrary.ru/puhijp> (in Russian)
4. Koptuyug V.A. *UN conference on Environment and Development 1992: Process and Outcome (Rio de Janeiro, June 1992): Information Overview [Konferentsiya OON po okruzhayushchei srede i razvitiyu (Rio-de-Zhaneiro, iyun' 1992): Informatsionnyi obzor]*. Novosibirsk; 1992. (in Russian)
5. Anastas P.T., Warner J.C. *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press; 1998.
6. Zaitseva N.V., Mai I.V., Shur P.Z. Analysis of population health risk at present. *Zdravookhraneniye Rossiiskoi Federatsii*. 2013; (2): 20–4. <https://elibrary.ru/pvqglf> (in Russian)
7. Mironenko O.V., Kiselev A.V., Noskov S.N., Pan'kin A.V., Magomedov Kh.K., Shengelia Z.N., et al. Prognosis of morbidity and health risk assessment during hygienic research associated with of chemical impact. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Meditsina*. 2017; 12(4): 419–27. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2017.410> <https://elibrary.ru/ynsxjf> (in Russian)
8. Zaitsev V. A., Kuznetsov V. A., Tarasova N. P. «Green chemistry» and waste-free production. In: *Abstracts of the XVIII Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*. Moscow: Granitsa; 2007. (in Russian)
9. Rakhmanin Yu.A., Levanchuk A.V., Kopytenkova O.I., Frolova N.M., Sazonova A.M. Determination of additional health risk due to pollutants in ambient air during operation of road-vehicles complex. *Gigiena i Sanitariia (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(12): 1171–8. <https://elibrary.ru/ysjkbk> (in Russian)
10. Cramer G.M., Ford R.A., Hall R.L. Estimation of toxic hazard – a decision tree approach. *Food Cosmet. Toxicol.* 1978; 16(3): 255–76. [https://doi.org/10.1016/s0015-6264\(76\)80522-6](https://doi.org/10.1016/s0015-6264(76)80522-6)
11. Malysheva A.G., Starodubova N.Yu. Hygienic aspects of ensuring chemical safety of using new health-saving technologies for the utilization of biogas at solid municipal waste landfills. *Gigiena i Sanitariia (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(10): 1114–22. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1118-1126> <https://elibrary.ru/iodyxc> (in Russian)
12. Malysheva A.G. Estimation of chemical safety of environmental protection technologies for atmosphere pollution reduction (a case study of processes of laser treatment of polymer materials). *Gigiena i Sanitariia (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(3): 196–203. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-196-203> <https://elibrary.ru/camhwc> (in Russian)
13. Malysheva A.G., Yudin S.M. Transformation of chemicals in the environment as an overlooked hazard factor for public health. *Khimicheskaya bezopasnost'*. 2019; 3(2): 45–66. <https://doi.org/10.25514/CHS.2019.2.16005> <https://elibrary.ru/juagyd> (in Russian)
14. Malysheva A.G., Rakhmanin Yu.A., Ermakov A.A. Assessment of chemical safety of biological treatment technologies for industrial emissions and wastewater. In: *XIII International Symposium «Human Ecology and Medical and*

Original article

- Biological Safety of the Population» [XIII Mezhdunarodnyi simpozium «Ekologiya cheloveka i mediko-biologicheskaya bezopasnost' naseleniya»]. Moscow; 2019. (in Russian)*
15. Malysheva A.G., Kozlova N.Yu., Yudin S.M. The unaccounted hazard of processes of substances transformation in the environment in the assessment of the effectiveness of the application of technologies. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)*. 2018; 97(6): 490–7. <https://elibrary.ru/uwamxm> (in Russian)
 16. Kuzmin S.V., Dodina N.S., Shashina T.A., Kislitsin V.A., Pinigin M.A., Budarina O.V. The impact of atmospheric pollution on public health: diagnosis, assessment, and prevention. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)*. 2022; 101(10): 1145–50. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150> <https://elibrary.ru/eplgkr> (in Russian)
 17. Kosolapov V.M., Trofimov I.A. Role of forage production in agriculture. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2013; (2): 59–64. <https://elibrary.ru/qnrwth> (in Russian)
 18. Komlatsky G.V. Technological aspects of greenhouse gases emission reduction in livestock. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; (181): 116–26. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-181-012> <https://elibrary.ru/zcntzo> (in Russian)
 19. Bogomolov I.S. Ecologization of waste from livestock complexes to obtain and use biomethane. In: *Scientific and Practical Aspects of Agro-Industrial Complex Development. Proceedings of the National Scientific Conference. Part 1 [Nauchno-prakticheskie aspekty razvitiya APK. Materialy natsional'noi nauchnoi konferentsii. Chast' I]*. Krasnoyarsk; 2021: 8–10. <https://elibrary.ru/vibcos> (in Russian)
 20. Tyurin V.G., Potemkina A.H., Semenov V.G., Vinogradov P.N. The ecological and hygienic actions for making safe production of livestock products and environmental protection. *Vestnik Chuvashskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2018; (2): 47–55. <https://elibrary.ru/xwpqsd> (in Russian)
 21. Aspandiyarova M.T., Goncharov A.V., Dogadina M.A., Kolesova E.A. Features of the production of feed and feed additives. In: *Vector of Science Development. Materials of the International Scientific and Practical Conference [Vektor razvitiya nauki. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii]*. Balashikha; 2025: 137–42. <https://elibrary.ru/iktjfv> (in Russian)
 22. Shtenske K.S., Paramonova O.N. Analysis of the adverse impact of manufacturing industries on the environment. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya*. 2023; (3): 43–8. <https://doi.org/10.52684/2312-3702-2023-44-3-43-48> <https://elibrary.ru/aglrwj> (in Russian)
 23. Kosmina O.Yu., Bobyleva O.V., Novikov M.V. Environmental aspects of the disposal of packaging for veterinary products. In: *Current Issues in Zoology, Ecology, and Nature Conservation. Proceedings of the National Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th Anniversary of the Department of Zoology, Ecology, and Nature Conservation named after A.G. Bannikov [Aktual'nye voprosy zoologii, ekologii i okhrany prirody. Materialy natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu organizatsii kafedry zoologii, ekologii i okhrany prirody imeni A.G. Bannikova]*. Moscow; 2022: 46–52. <https://elibrary.ru/hvlsqs> (in Russian)
 24. Khristorov E.N., Sakovich N.E. Problematic issues of dust control at compound feed production enterprises. *Vestnik Bryanskoi GSKHA*. 2023; (4): 67–71. <https://elibrary.ru/pczqar> (in Russian)
 25. Maiorov A.V., Kulalava A.S., Leukhin A.E. Improving the efficiency of air filtration in feed mills. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*. 2021; (43): 1172–8. <https://elibrary.ru/lafcrf> (in Russian)
 26. Mizanbekova S.K., Bogomolova I.P., Vasilenko I.N., Urazova O.A. Innovative wastewater treatment technologies for resource-saving activities of feed mills. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*. 2021; 51(4): 743–52. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-743-752> <https://elibrary.ru/iphqsq> (in Russian)
 27. Andreev L.N., Yurkin V.V. Protection of environment of livestock facilities on the basis of air electrofiltration. *Agrarnaya nauka*. 2017; (11–12): 25–6. <https://elibrary.ru/qimnbn> (in Russian)
 28. Trunov S.V., Yakobchuk K.A., Mal'gin E.L., Derevyankin A.V. Safety issues in the use of new technologies in feed production. In: *Modern Innovations in Science and Technology. Collection of scientific papers of the 9th All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation [Sovremennye innovatsii v nauke i tekhnike. Sbornik nauchnykh trudov 9-i Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Kursk; 2019: 375–80. <https://elibrary.ru/nplegu> (in Russian)
 29. Rzhavykh A.A., Ursakii A.M. Environmental safety and technical innovations in the food industry. *Del'ta nauki*. 2019; (2): 11–5. <https://elibrary.ru/mjetaq> (in Russian)
 30. Podlegaeva T.V., Rot'kina A.S., Tulaeva A.A. The impact of food industry and nutrition production technologies on the environment. In: *Innovations in Food Biotechnology. Collection of Abstracts of the VII International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Volume 1 [Innovatsii v pishchevoi biotekhnologii. Sbornik tezisev VII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh. Tom 1]*. Kemerovo; 2019: 279–81. <https://elibrary.ru/nvarwb> (in Russian)

Сведения об авторах

Мальшева Алла Георгиевна, доктор биол. наук, профессор, вед. науч. сотр. отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: AMalysheva@cspmrz.ru

Ушакова Ольга Владимировна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. отд. гигиены НИИ ЭЧигОС им. А.Н. Сысина ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: OUshakova@cspfmmba.ru

Стародубова Наталия Юрьевна, канд. биол. наук, начальник сводно-аналитического отд. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: Starodubova@cspmrz.ru

Евсеева Ирина Сергеевна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд. гигиены НИИ ЭЧигОС им. А.Н. Сысина ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: IEvseeva@cspfmmba

About the authors

Alla G. Malysheva, DSc (Biology), professor, leading researcher, Department of hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3112-0980> E-mail: AMalysheva@cspmrz.ru

Olga V. Ushakova, PhD (Medicine), leading researcher, Department of hygiene, A.N. Syzin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation <https://orcid.org/0000-0003-2275-9010> E-mail: OUshakova@cspfmmba.ru

Nataliya Yu. Starodubova, PhD (Biology), head, Consolidated Analytical Department, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-5072-204X> E-mail: Starodubova@cspmrz.ru

Irina S., Evseeva, PhD (Medicine), senior researcher, Department of hygiene, A.N. Syzin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5765-0192> E-mail: IEvseeva@cspfmmba