

Читать
онлайн
Read
onlineБударина О.В.¹, Сабирова З.Ф.², Андрияшин И.Б.², Шипулина З.В.²

Гигиеническое обоснование классификации опасности источников выбросов веществ, обладающих ольфакторным действием

¹ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Мытищи, Россия;

²ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия

Введение. Целью исследования являлся сравнительный анализ и ранжирование производств – источников ольфакторного воздействия в зависимости от «навязчивости» запаха их выбросов.

Материалы и методы. Экспериментальные ольфакто-одориметрические исследования проведены с использованием динамического ольфактометра ЕСОМА ТО-8 на примере 15 смесей веществ (свыше 4200 измерений), представляющих или моделирующих выбросы следующих производств: древесностружечных плит, растительного масла из семян сои и рапса, кофе, парфюмерно-косметической продукции, пищевых ароматизаторов, табачных изделий, а также объектов по содержанию животных, одорированию газа и обработке паром мазута. Статистическая обработка данных выполнена с помощью компьютерной программы Probit Analysis (v. 4.0). Аналитическое исследование смесей веществ, содержащихся в выбросах, осуществлено с помощью хромато-масс-спектрометра FOCUS GC-DSQ-II.

Результаты. На основании проведённых ольфакто-одориметрических исследований образцов и моделей выбросов рассматриваемых производств и технологических процессов – источников запаха с установлением порогов его обнаружения и «навязчивости» предложена классификация опасности предприятий с учётом «навязчивости» («потенциала раздражения») запаха выбросов (чрезвычайно навязчивые, навязчивые, умеренно навязчивые и малонавязчивые), что позволяет актуализировать действующую на сегодняшний день классификацию согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 (новая редакция) и Постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.02.2022 г. № 7.

Ограничение исследований. Ограничения данного исследования связаны с использованием относительно нового экспериментального метода предельных запаховых стимулов и их регистрации, требующего дополнительной апробации, а также с возможной трансформацией веществ в процессе доставки проб выбросов в лабораторию.

Заключение. Методология экспериментальной одориметрической оценки многокомпонентных смесей пахучих веществ, входящих в состав выбросов различных предприятий и коммунальных объектов, позволяет оперативно и рационально оптимизировать существующую классификацию производств по критерию «навязчивости» (или «потенциалу раздражения») запаха выбросов.

Ключевые слова: производства; выбросы; запах; класс опасности; «навязчивость» запаха; «потенциал раздражения»; ольфакто-одориметрические исследования

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

Для цитирования: Бударина О.В., Сабирова З.Ф., Андрияшин И.Б., Шипулина З.В. Гигиеническое обоснование классификации опасности источников выбросов веществ, обладающих ольфакторным действием. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(9): 888–895. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-888-895> <https://elibrary.ru/uyufatq>

Для корреспонденции: Андрияшин Илья Борисович, инженер отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва. E-mail: IAndyushin@cspmz.ru

Участие авторов: Бударина О.В. – концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование статьи; Сабирова З.Ф. – написание текста, редактирование статьи; Андрияшин И.Б. – сбор и обработка материала, статистический анализ; Шипулина З.В. – редактирование статьи. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Благодарность. Авторы выражают благодарность доктору биол. наук, профессору, вед. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России Алле Георгиевне Малышевой за помощь в организации проведения химико-аналитических исследований и научное консультирование в ходе исследований.

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

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания № 388-00102-20-02 ФГБУ ЦСП ФМБА России.

Поступила: 09.03.2023 / Принята к печати: 26.09.2023 / Опубликована: 30.10.2023

Ol'ga V. Budarina¹, Zul'fiya F. Sabirova², Il'ya B. Andryushin², Zinaida V. Shipulina²

Hygienic justification for the classification of the danger of sources of emissions of substances having an olfactorial action

¹Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Mytishchi, 141014, Russian Federation;

²Center for Strategic Planning and Management of Medical and Biological Health Risks of the FMBA, Moscow, 119121, Russian Federation

The purpose of the study is a comparative analysis and ranking of industries related to sources of olfactory exposure, depending on the odour's "offensiveness" of their emissions.

Material and methods. Experimental olfacto-odourimetric studies were carried out using a dynamic olfactometer ECOMA TO-8 on the example of fifteen mixtures of substances (over 4200 measurements) representing or simulating emissions from the industries including particle boards, vegetable oil from soybean and rapeseed seeds, coffee, perfumery and cosmetic products, food flavourings, tobacco products, as well as livestock operations, gas odourizing, and fuel oil steam treatment. Statistical data processing was performed using the computer software Probit Analysis (v.4.0). Analytical study of mixtures of substances contained in emissions was carried out using a FOCUS GC-DSQ-II chromat-mass spectrometer.

Results. Based on the conducted olfacto-odourimetric studies of samples and models of emissions from the productions and technological processes related to sources of odour with the establishment of odour's detection thresholds and the "offensiveness" thresholds of substances, a facilities' hazard classification is proposed taking into account the odour's "offensiveness" ("annoyance potential") of emissions (extremely offensive, offensive, moderately offensive and slightly offensive), which

makes it possible to update the current classification according to SanPiN 2.2.1./2.1.1.1200–03 (new edition) and the Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated February 28, 2022 N 7.

Limitations. The study's limitations associated with the use of a relatively new experimental method for the presentation of odour stimuli and their registration, which requires additional testing, as well as with the possible transformation of substances during the delivery of emission samples to the laboratory.

Conclusion. The methodology of the experimental odourimetric evaluation of multicomponent mixtures of odorous substances that are part of the emissions of various enterprises and municipal facilities makes it possible to quickly and rationally optimize the existing classification of industries according to the "offensiveness" criterion (or "annoyance potential") of the odorous emissions.

Keywords: production facilities; emissions; odour; hazard class; "offensive" odour; "annoyance potential"; olfacto-odourimetric studies

Compliance with ethical standards. The study does not require the submission of the conclusion of the Committee on Biomedical Ethics.

For citation: Budarina O.V., Sabirova Z.F., Andryushin I.B., Shipulina Z.V. Hygienic justification for the classification of the danger of sources of emissions of substances having an olfactorial action. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(9) 888-895. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-888-895> <https://elibrary.ru/uyfatq> (In Russ.)

For correspondence: *Il'ya B. Andryushin*, engineer of the Hygiene Department of the Centre for Strategic Planning of FMBA of Russia, 119121, Moscow, Russian Federation. E-mail: IAndryushin@cspmrz.ru

Information about the authors:

Budarina O.V., <https://orcid.org/0000-0003-4319-7192> Sabirova Z.F., <https://orcid.org/0000-0003-3505-8344>
Andryushin I.B., <https://orcid.org/0000-0002-5834-678X> Shipulina Z.V., <https://orcid.org/0000-0001-8409-6713>

Contribution: *Budarina O.V.* – concept and design of the study, writing the text, editing the article; *Sabirova Z.F.* – writing the text, editing the article; *Andryushin I.B.* – collection and processing of material, statistical analysis; *Shipulina Z.V.* – editing the article. *All co-authors* – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

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

Acknowledgement. The study was carried out within the framework of the state research program No. 388-00102-20-02.

Received: March 9, 2023 / Accepted: September 26, 2023 / Published: October 30, 2023

Введение

Согласно СанПиН 2.2.1./2.1.1.1200–03 (новая редакция), «для промышленных объектов и производств, сооружений, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека, в зависимости от мощности, условий эксплуатации, характера и количества выделяемых в окружающую среду загрязняющих веществ, создаваемого шума, вибрации и других вредных физических факторов, а также с учётом предусматриваемых мер по уменьшению неблагоприятного влияния на среду обитания и здоровье человека...» устанавливается санитарная классификация (от первого до пятого класса) с соответствующим ориентировочным размером санитарно-защитных зон (СЗЗ) от 1000 до 50 м соответственно [1].

При этом некоторые производства (в частности, кофемолочные, табачные, растительных масел, парфюмерии и др.), отнесённые в соответствии с [1, 2] к предприятиям 3–5-го классов опасности с размером СЗЗ 300–50 м соответственно, могут являться источниками многочисленных жалоб населения на навязчивый запах их выбросов в атмосферном воздухе. Действительно, как показали исследования, проведённые в районах размещения подобных предприятий [3–7], в случае сложных по своему составу выбросов специфический запах может распространяться на значительные расстояния, обычно превышающие размеры СЗЗ предприятий.

Очевидно, что запахи выбросов различных промышленных производств и коммунальных объектов обладают разным «потенциалом раздражения» (или способностью вызывать ощущение «навязчивости»). На основе экспериментально установленных количественных параметров зависимости вероятности ощущения запаха разной силы от концентрации в настоящее время разработана модифицированная классификация опасности веществ с учётом «навязчивости» их запаха [3, 8].

В связи с необходимостью расширения подходов к оценке загрязнения атмосферного воздуха пахучими веществами и внедрением в практику одориметрических критериев «навязчивости» становится очевидным, что ныне существующая классификация опасности в отношении объектов и производств, являющихся источниками запаха, также нуждается в актуализации.

Цель исследования – сравнительный анализ и ранжирование производств – источников ольфакторного воздействия в зависимости от «навязчивости» запаха выбросов.

Материалы и методы

Исследование проведено на примере следующих производств: древесно-стружечных плит (ДСП), растительного масла из семян сои и рапса, кофе, парфюмерно-косметическое, пищевых ароматизаторов, табачное, а также объектов по содержанию животных (крупного рогатого скота), одорированию природного газа и обработке паром мазута.

Особенности технологии производств, мощности, расхода сырья, режимов работы, качественного и количественного состава выбросов изучены по проектным материалам (сводные тома предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ) обследуемых предприятий.

Экспериментальные ольфакто-одориметрические исследования зависимости вероятности ощущения запаха разной силы от концентрации пахучих веществ, входящих в состав выбросов указанных предприятий, проведены на динамическом ольфактометре ЕСОМА ТО-8 (Германия) в соответствии с Европейским стандартом EN 13725 «Измерение концентрации запаха методом динамической ольфактометрии» [9] и собственными методическими разработками [3, 8]. Для исследований использованы 15 смесей веществ, представляющих или моделирующих выбросы вышеуказанных производств.

Исследования ароматизаторов, применяемых в пищевой промышленности, выполнены на примере представительных смесей отобранных образцов готовой продукции (приоритетных как по интенсивности, так и по объёму производства). В результате сравнительной органолептической оценки всех образцов для ольфакто-одориметрических исследований составлены две смеси ароматизаторов: смесь № 1 (с преобладанием ванильно-сливочной составляющей) и смесь № 2 (с преобладанием фруктово-ягодной составляющей). В качестве модельной смеси выбросов парфюмерно-косметического производства использованы три смеси наиболее приоритетных и опасных в отношении запаха (по результатам сравнительной органолептической оценки) ароматических композиций (отдушек). Экспериментальные исследования смеси природных меркаптанов осуществляли на примере одоранта СПМ (ТУ 51–31323949–94–2002), производимого на Оренбургском газоперерабатывающем заводе из конденсата Оренбургского и Карачаганского месторождений. Указанные смеси в количестве, достаточном для инструментального определения, вводили микрошприцем в мешок из налофана (объёмом 10 л), наполненный чистым воздухом.

Таблица 1 / Table 1

Классификация производств с учётом «навязчивости» запаха выбросов [8]
Classification of industries according to the odour's "offensiveness" of emissions [8]

Показатель Indicator	Класс опасности / Hazard class			
	1 чрезвычайно навязчивые extremely offensive	2 навязчивые offensive	3 умеренно навязчивые moderately offensive	4 малонавязчивые slightly offensive
Соотношение Lim _{off.} (порог «навязчивости») / Lim _{indef.} (порог обнаружения) Ratio Lim _{off.} (the threshold of "offensiveness") / Lim _{indef.} (detection threshold)	≤ 1,5	≤ 3	≤ 6	> 6

Выбросы различных производств, содержащие смеси летучих органических соединений (ЛОС), отбирали в мешки с помощью электроасpirатора непосредственно из источников:

- ЛОС, образующиеся в процессе высокотемпературной обработки древесины производства ДСП, — из воздуха сушильных барабанов;
- ЛОС, образующиеся при производстве растворимого кофе, — из вентиляционных труб от двух обжарочных аппаратов (ростеров): в первом ростере осуществлялась обжарка кофейных зёрен, состоящих из 60% кофе сорта «Арабика» и 40% — «Робуста» (далее — «Арабика»), во втором ростере — кофе, на 90% состоящего из «Робусты» и на 10% — из «Арабики» (далее — «Робуста»);
- ЛОС, выделяющиеся при обработке паром макута в процессе его слива и хранения на Мурманской ТЭЦ — из дыхательного патрубка приёмной ёмкости с макутом, разогретым паром;
- ЛОС, выделяющиеся при сушке соевого и рапсового шрота и при высокотемпературном прессовании рапсовых семян на производстве растительного масла, — из вентиляционных выбросов от испарительного аппарата — тостера соевого и рапсового шрота, а также от охладителя после прессования рапсовой мезги;
- летучие компоненты выбросов животноводческой фермы — непосредственно в помещении коровника.

Экспериментальные исследования выбросов табачной фабрики проведены на дозирующей установке, моделирующей основные этапы технологической обработки табачного сырья: «пропарку» и «подсушивание» пропаренного измельчённого табачного листа в соответствии с [10, 11].

Сбор и анализ данных физико-химических и ольфакто-одориметрических исследований проведён в период с 2002 по 2022 г. Общий объём ольфакто-одориметрических измерений составил свыше 4200. Статистическая обработка данных исследований проведена с помощью компьютерной программы Probit Analysis (v. 4.0), позволяющей вычислять пороговые концентрации любой вероятности обнаружения, а также соответствующие доверительные интервалы для 5%-го уровня значимости.

Аналитическое исследование состава выбросов и воздушной среды мешков выполнено на хромато-масс-спектрометре FOCUS GC-DSQ-II. Анализ концентрации одоранта СПМ проведён на хромато-масс-спектрометрической системе, состоящей из газового хроматографа Tracе с масс-спектрометрическим детектором ThermoFinnigan Polaris Q.

Ранжирование производств по классам опасности (по критерию «навязчивости») принято как соотношение порога «навязчивости» (5%-й вероятности ощущения запаха силой 3 балла, мг/м³) к порогу обнаружения (50%-й вероятности ощущения запаха силой 1 балл, мг/м³) с последующей классификацией, согласно табл. 1.

Результаты

Рассмотрим технологические особенности избранных производств, выбросы которых обладают запахом, с последующим установлением порогов обнаружения и «навязчивости» запаха веществ и классификацией опасности производств.

Производство парфюмерно-косметических средств является существенным источником запахового техногенного воздействия на среду обитания и человека. Технологический процесс производства заключается в смешивании компонентов в соответствии с рецептурами и их последующей фасовке. Специфический запах выбросов предприятий парфюмерно-косметической промышленности обусловлен в первую очередь применением на производстве в качестве ингредиентов различных парфюмерных композиций («отдушек», «ароматизаторов», «ароматических композиций»). Удельный вес ароматизаторов в общем объёме парфюмерной продукции составляет от 0,3 до 1%.

Согласно проектным данным рассматриваемого предприятия по производству косметических средств (шампуней, гелей для душа, кондиционеров-ополаскивателей и др.), наибольший удельный вес в выбросах приходится на спирт этиловый (до 70% и более); в то время как на летучие компоненты смеси душистых веществ и эфирных масел — не более 3% от общей массы выбросов. Вместе с тем указанные компоненты могут быть представлены несколькими десятками пахучих веществ различных химических групп. Так, по результатам хромато-масс-спектрометрических исследований, в вентиляционных выбросах производства помимо этанола идентифицировано до 45 веществ, относящихся к насыщенным, ненасыщенным, циклическим, ароматическим и терпеновым углеводородам; кислородсодержащим соединениям, в том числе спиртам, альдегидам, кетонам, сложным эфирам и диоксанам. Несмотря на относительно небольшую концентрацию уже на выбросе, именно эти вещества принимают участие в формировании специфического запаха в районе размещения предприятия косметической промышленности. В воздушной среде наложенного мешка с введённой смесью ароматических композиций на сложные эфиры (бензилацетат, 4-трет-бутил-циклогексилацетат, 1-фенилэтилацетат, линалоол ацетат и др.) по массе приходится 50%, спирты (линалоол, этил линалоол, дигидромирценол и др.) — 31%, терпеновые углеводороды (лимонен, β-пинен) — 17%.

По результатам ольфакто-одориметрических исследований, соотношение порога «навязчивости» запаха летучих органических соединений, входящих в состав смеси, к порогу обнаружения составляет от 11,4 до 35,5, что свидетельствует о незначительной «навязчивости» запаха выбросов предприятий парфюмерно-косметической промышленности.

Производство пищевых ароматизаторов. Ароматизаторы, применяемые в пищевой промышленности для улучшения вкусовых и запаховых свойств продукции, представляют

с собой растворы натуральных (в основном различных эфирных масел) и синтетических компонентов в пропиленгликоле, триацетине или этиловом спирте. Условно ароматизаторы можно отнести к различным группам: «ванильно-сливочная», «фруктово-ягодная» и др. (стандартный ароматизатор включает 10–20 компонентов).

Процесс производства ароматизаторов, включающий загрузку компонентов согласно рецептуре, перемешивание, фильтрацию и розлив, сопровождается выделением в атмосферу веществ, обуславливающих специфический запах выбросов. Согласно результатам хромато-масс-спектрометрических исследований отдельных проб выбросов одного из предприятий по производству пищевых ароматизаторов, в вентиляционном воздухе от различных технологических процессов при производстве только девяти видов ароматизаторов присутствует до 40 органических веществ, относящихся к различным химическим классам (терпеновые углеводороды, спирты, сложные эфиры, альдегиды, кетоны, диоксаны и др.).

Проведенный физико-химический анализ воздушной среды мешков с введенными смесями ароматизаторов показал, что качественный состав исследуемых смесей существенно различается. Так, в смеси № 2 с преобладанием фруктово-ягодной составляющей наибольший удельный вес приходится на сложные эфиры (этилацетат, этилпропионат, этилбутират, 2- и 3-метилбутилацетаты) – 63% (в смеси № 1 с преобладанием ванильно-сливочной составляющей – 26%), в то время как спирты составляют только 34,6% по сравнению со смесью № 1 (66,8%, в основном за счет растворителя – пропиленгликоля); кроме этого, в смеси № 2 отсутствуют альдегиды. Безусловно, это обуславливает более приятный запах смеси № 2 (лимонадный с примесью фруктов), чем смеси № 1 (карамельно-сливочный, приторный при больших концентрациях).

Графический и статистический анализ зависимостей вероятности ощущения запаха разной силы от концентрации веществ, входящих в состав смеси ароматизаторов, показал, что критерий «навязчивости» для смеси ароматизаторов № 1 составляет 3,6, для смеси ароматизаторов № 2 – 9,3, что свидетельствует о разной способности этих смесей вызывать «раздражение» (разном «потенциале раздражения»), обусловленной «гедоническим тоном» запаха вследствие разного содержания в них химических веществ. В частности, из-за отсутствия в смеси № 2 «сливочной» и «ванильной» составляющей она характеризуется высоким содержанием сложных эфиров (имеющих более приятный запах, чем альдегиды и спирты). Ранжирование данных выбросов, очевидно, должно осуществляться по более строгому критерию (3,6).

Производство древесно-стружечных плит последовательно осуществляется путём измельчения древесного сырья (круглого лесоматериала, опилок, щепы и др.) в стружку, которая затем подвергается сушке при высокой температуре (500 °C и выше) до конечной влажности порядка 1–2%. Далее высушенная щепа смешивается с клеем (например, карбамидоформальдегидной смолой) и прессуется с получением плит ДСП.

Основными источниками стойкого древесного запаха, наблюдаемого в районе размещения подобных предприятий, являются процессы высокотемпературной сушки древесины. На трубу сушильного цеха приходится около 80% выбросов. Выделяющаяся при сушке древесины паровоздушная смесь помимо древесной пыли, оксидов азота, оксида углерода содержит многочисленные органические вещества, обуславливающие указанный характерный запах. Так, по результатам расширенных хромато-масс-спектрометрических исследований, в воздухе вентиляционных выбросов от сушильных барабанов идентифицируется до 109 компонентов. Наибольшее количество веществ относится к группе терпеновых углеводородов и терпеновых кислородсодержащих соединений, которые в весовом отношении в суммарной концентрации достигают 82%, в основном за счет α -пинена (до 56%), а также β -пинена, лимонена, 3-карена, камфена и др. Таким образом, специфический древесный запах вы-

бросов предприятий по производству древесно-стружечных плит обусловлен прежде всего веществами из группы терпеновых соединений, которые содержатся в природном материале (древесине) и выделяются в окружающую среду в процессе его высокотемпературной обработки.

Согласно графическому анализу и аналитической обработке результатов ольфакто-одориметрических исследований отобранных проб выбросов, соотношение порога «навязчивости» к порогу обнаружения, то есть критерий «навязчивости» ЛОС, выделяющихся при высокотемпературной обработке древесины производства ДСП, составил 5,8 («умеренно навязчивые» запахи).

Производство растительных масел. Предприятия пищевой промышленности обычно имеют дело с сырьём животного и растительного происхождения, при переработке которого образуются различные пахучие вещества. Разнообразие животного и растительного сырья, а также технологических процессов по его переработке определяют различие в химическом составе выбросов, характерных для каждого производства. Технология глубокой переработки маслосодержащих культур (подсолнечника, сои, рапса и др.) с получением растительного масла и шрота связана с использованием относительно высокой температуры, что может приводить к поступлению в атмосферный воздух различных органических соединений, обладающих запахом. Запахи выбросов указанных предприятий нередко вызывают жалобы населения, проживающего в районе их размещения (особенно это актуально для южных регионов Российской Федерации в период созревания маслосодержащих культур).

Технология переработки семян для получения растительного масла заключается в их тепловой обработке (100 °C и более), прессовании и (или) экстракции масла растворителем, а также в сочетании этих методов. Основными источниками поступления в атмосферу специфических запахов: жареных семечек – в случаях переработки семян подсолнечника и рапса, хлебного – в случаях переработки зёрен сои, являются прессовые цеха и оборудование для сушки образующегося шрота (жмыха).

В проектных материалах до недавнего времени состав выделяющихся загрязняющих веществ принимался в соответствии с отраслевыми сборниками удельных показателей выбросов предприятий перерабатывающей промышленности и агропромышленного комплекса, в которых не уделялось достаточного внимания проблеме образования широкого спектра пахучих веществ. В частности, согласно этим нормативам, отработанный воздух от процессов прессования семян рапса и сушки рапсового шрота содержал только зерновую пыль, гексан (растворитель) и акролеин. Однако с помощью современных химико-аналитических методов установлено, что в указанных выбросах содержится большое количество органических веществ различных химических групп. Так, в выбросах от прессования семян рапса идентифицировано 60, в выбросах от сушки рапсового шрота – 53, в выбросах от сушки соевого шрота – 48 органических соединений. В весовом отношении наибольший вклад в выбросы от сушки соевого шрота отмечен для насыщенных углеводородов, в частности растворителя – гексана (32,5%). Более 13% в выбросах приходится на долю альдегидов, более 10% – спиртов. В выбросах от сушки рапсового шрота наибольший вклад также вносят насыщенные углеводороды (26,5%), в частности гексан (18,6%), альдегиды составляют 23,5%, спирты – 15%, кетоны – 12,4%. В выбросах от прессования семян рапса наибольший вклад приходится на альдегиды (29%), спирты (22,6%) и кетоны (20,5%).

В соответствии с анализом результатов ольфакто-одориметрических исследований наиболее «навязчивым» запахом обладают ЛОС, содержащиеся в выбросах от сушки соевого шрота, поскольку у них наименьшее соотношение порога «навязчивости» к порогу обнаружения запаха (критерий «навязчивости») – 1,6. Выбросы от сушки рапсового шрота и прессования семян рапса имеют менее «навязчивый» запах («критерий навязчивости» – 5,8 и 4 соответственно).

Производство растворимого кофе. Веществами, обуславливающими специфический «кофейный» запах на предприятиях по производству растворимого кофе, являются ЛОС и пыль кофе, выделяющиеся на различных этапах технологического процесса (приём кофейных зёрен, их механическая очистка, обжарка, дробление, экстрагирование, сушка экстракта, фасовка, сжигание кофейного жмыха и др.). Выбросы с выраженным специфическим запахом кофе формируются в первую очередь в процессе обжарки кофейных зёрен (при температуре 215–225 °С) и сушки экстракта (230–280 °С).

Проведённая инвентаризация выбросов данного производства показала, что в составе также присутствуют летучие органические вещества различных химических групп: спирты, альдегиды, кетоны, фураны, органические кислоты, серосодержащие и азотсодержащие соединения, сложные эфиры, ароматические и насыщенные углеводороды и др. (всего 50). Более 80% выбросов, выделяющихся от всех источников ЛОС, приходится на 15 веществ (метилфуран, ацетон, ацетальдегид, фуран, уксусная кислота, метанол, кофеин-основание, акролеин, диацетил, метилацетат, бензол, диметилсульфид, бутан-2-он, фурфурол, метилмеркаптопропионовый альдегид).

Результаты собственных инструментальных исследований свидетельствуют, что в вентиляционных выбросах от обжарки кофейных зёрен содержатся 68 веществ. Наибольший удельный вес в выбросах от обжарки кофе «Арабика» составляют кетоны (24%), альдегиды (19,8%) и ароматические углеводороды (13,6%). В выбросах от обжарки кофе «Робуста» наибольший вклад приходится на менее пахучие предельные углеводороды (30,2%), а также ароматические углеводороды (17,6%) и альдегиды (16,8%).

Согласно полученным результатам изучения зависимостей вероятности ощущения запаха разной силы от концентрации выделяющихся ЛОС, выявлено, что способность вызывать ощущение запаха, в том числе «навязчивого», у выбросов от обжарки кофе разных видов различается. Наибольшей «навязчивостью» обладают выбросы от обжарки кофе «Арабика» (критерий «навязчивости» – 3,4), для выбросов от обжарки кофе «Робуста» критерий установлен на уровне 7,3.

Животноводческие комплексы являются значительными источниками загрязнения атмосферного воздуха неприятно пахучими летучими веществами. При содержании животных и хранении навоза в воздушную среду выделяются аммиак, сероводород, метан, метанол, фенол, этилформиат, альдегид пропионовый, капроновая кислота, метилмеркаптан, диметилсульфид, метиламин, пыль шерстяная. Дурнопахнущие серосодержащие и азотсодержащие вещества образуются в результате разложения белка, содержащегося в навозе.

Основная масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (на примере животноводческой фермы на 2000 голов фуражных коров и 3500 голов молодняка) приходится на коровники – около 50% и телятники – 24%. Неорганизованные выбросы (в том числе навозохранилища) не превышают 15%. Наибольший удельный вес (93,7%) в выбросах составляют 5 веществ: метан – 65,7%; аммиак – 16,9%; углерода оксид – 4,7%; азота диоксид – 4%; пыль шерстяная – 2,4%; на оставшиеся 23 вещества (в том числе дурнопахнущие сероводород; диметилсульфид; метиламин; метилмеркаптан; этилмеркаптан и др.) – 6,3%.

Графический и статистический анализ веществ, содержащихся в выбросах животноводческой фермы, показал, что по критерию «навязчивости» их запаха (2,3) животноводческие комплексы относятся ко 2-му классу опасности («навязчивые» запахи).

Согласно анализу проектных материалов **птицеводческих предприятий**, их также можно отнести к данному классу объектов. При содержании и откорме птиц в цехах выращивания цыплят и откорма бройлеров (на которые приходится около 50% основной массы выбросов) в атмосферный воздух выделяются аммиак, сероводород, фенол, пропаналь, капроновая кислота, диметилсульфид, этантиол (этилмеркаптан),

метиламин, пыль комбикормовая, пыль шерстяная и др., то есть те же вещества (за исключением метана), что и при содержании животных.

В технологическом процессе на **тепловых электростанциях, использующих в качестве топлива мазут**, предусмотрена его обработка паром при сливе и хранении. Разогрев мазута перед сливом и пропарка цистерн (для удаления остатков топлива) осуществляются паром с температурой порядка 250 °С. Разогретый мазут сливается в приёмные ёмкости, также обогреваемые острым паром, из которых перекачивается насосами в основные резервуары мазутохранилища. Процессы слива и хранения мазута, пропарки цистерн являются источниками специфического запаха, напоминающего запах выхлопных газов, некачественного топлива.

Согласно результатам проведённых инструментальных исследований, в выбросах приёмного резервуара при пропарке мазута идентифицировано 31 вещество, принимающее участие в формировании специфического запаха и относящееся к различным классам углеводородов (насыщенных, ароматических и полиароматических). В весовом отношении наибольший вклад в выбросы вносят углеводороды: ароматические (46,7%), полиароматические (40%), насыщенные (13,3%). Среди ароматических углеводородов наибольший удельный вес (73,5%) занимают производные бензола.

По результатам ольфакто-одориметрических исследований выбросов приёмной ёмкости с пропаренным мазутом, критерий «навязчивости» запаха составил 2, что также относит их к выбросам с высоким «потенциалом раздражения» («навязчивым»).

Табачное производство. В технологии изготовления табачных изделий основными производственными процессами, при которых в атмосферу поступают пахучие вещества, являются: увлажнение (150–160 °С) и смешивание различных сортов табака, резка табачного листа, его паровая обработка (200–220 °С), сушка, непосредственное изготовление сигарет и упаковка.

Как показали результаты инструментальных исследований проб табака, в процессе производства на разных стадиях его обработки обнаруживаются многочисленные летучие органические вещества следующих химических групп: азотсодержащие (в том числе никотин), альдегиды и кетоны, спирты, непредельные углеводороды, предельные углеводороды, ароматические углеводороды, сложные эфиры, кислоты, кумарины. Согласно данным инвентаризации выбросов, в выбросах одной из табачных фабрик обнаружено 153 вещества.

Графический анализ зависимости вероятности обнаружения запаха разной силы от концентрации ЛОС в воздухе (по никотину) показал, что по критерию «навязчивости» (1,4) запах выбросов табачной фабрики относится к «чрезвычайно навязчивым».

Производство меркаптанов, установки одорирования газа меркаптанами. Как известно, для одорирования природного газа в целях обеспечения безопасности при его потреблении в быту, на промышленных объектах и своевременного нахождения места его утечки при транспортировке в системе газопроводов используется смесь природных меркаптанов (одорант СПМ).

Согласно результатам проведённых инструментальных исследований воздушной среды мешка с добавкой одоранта СПМ установлено, что наибольший вклад в суммарную концентрацию из выявленных 16 веществ вносят: изопропилмеркаптан, этилмеркаптан и 2-бутантиол, на долю которых приходится 42; 23 и 15% соответственно.

Графический анализ показал, что по критерию «навязчивости» (1,3) запах выбросов от процессов одорирования природного газа смесью природных меркаптанов относится к «чрезвычайно навязчивым».

Результаты проведённых ольфакто-одориметрических исследований образцов и моделей выбросов изученных производств сопоставлены с соответствующим классом опасности промышленных объектов и производств (согласно действующей санитарной классификации [1, 2]) (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Классификация опасности производств согласно СанПиН [1, 2] и с учётом «навязчивости» запахов выбросов**Hazard classification of industries according to SanPiN [1, 2] and taking into account the odour's "offensiveness" of emissions**

Производство – источник запаха ¹ Production – the source of odour ¹	Класс опасности согласно СанПиН [1, 2] Hazard class according to SanPiN [1, 2]	Критерий «навязчивости» запаха выбросов Criterion of odour's "offensiveness" of emissions	Установленный класс опасности по «навязчивости» запаха выбросов Established hazard class according to the odour's "offensiveness" of emissions
Производство меркаптанов, установки одорирования газа, склады одоранта Mercaptan production, gas odourizing plants, odorant warehouses	I	1,3	1 (чрезвычайно навязчивые) (extremely offensive)
Производство целлюлозы по сульфитному и сульфатному способу ² Pulp production by sulfite and sulphate method ²	I	1,3	
Производство табачно-махорочное Tobacco and shag production	III	1,4	
Производство растительных масел (из семян сои) Production of vegetable oils (from soy seeds)	III	1,6	2 (навязчивые) (offensive)
Тепловые электростанции, работающие на мазутном топливе Power plants operating on oil fuel	I–II*	2,0	
Животноводческие и птицеводческие комплексы, фермы, хозяйства с содержанием животных Livestock and poultry complexes, farms, farms with animals	I–V**	2,3	
Производство кофеобжарочное Coffee roasting production	IV–V*	3,4	(умеренно навязчивые) (moderately offensive)
Производство пищевых ароматизаторов Production of food flavours	–	3,6	
Производство растительных масел (из семян подсолнечника и рапса) Production of vegetable oils (from sunflower seeds and rapeseed)	III	4,0	
Производство древесностружечных плит, древесноволокнистых плит Production of particle boards, wood fiber boards	IV	5,8	
Производство парфюмерии Perfume production	III	11,4	4 (малонавязчивые) (slightly offensive)

Примечание. ¹ – наименования производств могут отличаться от наименований, представленных в [2]; ² – процессы производства целлюлозы сопровождаются образованием дурнопахнущих сернистых соединений, таких как сероводород, метилмеркаптан, диметилсульфид, диметилдисульфид и др.; * – в зависимости от мощности; ** – в зависимости от количества голов, скотомест и (или) особей.

Note: ¹ – The names of productions may differ from the names presented in [2]; ² – Pulp production processes are accompanied by the formation of foul-smelling sulfur compounds such as: hydrogen sulfide; methyl mercaptan; dimethyl sulfide; dimethyl disulfide, etc.; * – depending on power; ** – depending on the number of heads, livestock places and/or individuals.

Обсуждение

Анализ международной нормативно-методической базы показал, что за рубежом в основе как классификации окружающих запахов, так и установления их «приемлемых» уровней в атмосферном воздухе лежит так называемый «потенциал раздражения» (англ.: «annoyance potential»), то есть способность того или иного запаха вызывать «раздражение», ощущение «навязчивости», обусловленный его характером и гедоническим тоном¹ [12–18]. При этом критериями «навязчивости» запахов (критериями высокого, среднего или низкого «потенциала раздражения») являются их уровни, при которых возникает «существенное раздражение» (состояние гнева, недовольства, обеспокоенности) населения – соответственно $\leq 1,5$, ≤ 3 и ≤ 6 ЕЕЗ² [13, 17].

Так, согласно [13, 15, 17], объекты по переработке павших животных, рыбы и других животных отходов, соору-

жения по очистке сточных вод, свалки, кирпичные заводы, объекты по нефтепереработке, производство кормов для животных относятся к производствам с навязчивыми запахами (с высоким «потенциалом раздражения»); активное животноводство и производство сахара – к производствам с умеренно навязчивыми запахами; кондитерская фабрика, производство кофе, шоколадная фабрика, производство ароматизаторов и вкусовых добавок, пекарня – к производствам с менее навязчивыми запахами (с низким «потенциалом раздражения»). Эти критерии и соответствующее ранжирование объектов установлены на основе длительных эпидемиологических исследований, и поэтому в настоящее время лишь ограниченное число выбросов производств и технологических процессов условно отнесено к той или иной категории.

Вместе с тем приведённые результаты собственных исследований позволяют предложить актуализированную классификацию промышленных производств в соответствии с экспериментально установленным одориметрическим критерием «навязчивости» («потенциал раздражения») [8].

Сравнительная оценка класса опасности по предложенной классификации изученных производств с учётом

¹ Приятность/неприятность запаха.

² Европейская единица запаха (ЕЗ, ЕЕЗ или ЕЕЗ/м³) – масса вещества в 1 м³ нейтрального газа (чистого воздуха), запах которой определяется в лабораторных условиях 50% испытуемых. 1 ЕЕЗ эквивалентна 123 мкг n-бутанола в 1 м³ чистого воздуха.

«навязчивости» запаха выбросов и по действующей санитарной классификации [1, 2] свидетельствует о сопоставимости результатов (см. табл. 2). В частности, производство меркаптанов, установки одорирования газа, склады одоранта и производство целлюлозы с риском выделения в атмосферу дурнопахнущих серосодержащих веществ [7, 19–21] обоснованно относятся к I классу опасности.

Вместе с тем обращают на себя внимание имеющиеся несовпадения. В частности, по результатам эксперимента, которые согласуются с данными исследований зависимости «экспозиция – ответ» в районе размещения табачной фабрики [22], у запаха выбросов табачно-мажорочного производства выявлен достаточно высокий «потенциал раздражения», что позволяет отнести его к предприятиям I (а не III) класса опасности.

Отдельно следует остановиться на производстве растительных масел. Использование в качестве сырья на подобных предприятиях семян рапса или подсолнечника позволяет отнести их к III классу. Однако процесс изготовления масла из семян сои, как показали результаты эксперимента, сопровождается выделением крайне навязчивого запаха, напоминая по характеру запаха комбикорма, производство которого отнесено к производствам с высоким «потенциалом раздражения» [13, 15, 18, 23]. Полученные данные свидетельствуют о необходимости учёта используемого сырья при классификации указанных предприятий.

Производства ароматизаторов и кофе, на первый взгляд, являются малоопасными из-за относительно приятного характера запаха выбросов [24, 25], что также подтверждают и некоторые зарубежные данные об их незначительной «навязчивости» [13, 17]. Однако рекомендуемые предельные значения, принятые в Нидерландах (3,5 ЕЕЗ) для запахов данных производств, свидетельствуют об их потенциальной способности вызывать определённое неблагоприятное ольфакторное воздействие у жителей, проживающих в районе размещения предприятий [16, 26]. Действительно, данные проведённого эксперимента свидетельствуют, что навязчивость запаха выбросов существенно зависит

от вида используемого сырья и применяемых ингредиентов и соответственно от состава выделяющихся веществ. Из сказанного следует, что и классификацию необходимо осуществлять по наиболее строгому критерию. Следовательно, такое производство, как кофеобжарочное со стойким специфическим запахом выбросов, следует относить к III классу опасности.

Таким образом, можно отметить, что методология экспериментальной одориметрической оценки многокомпонентных смесей веществ, входящих в состав выбросов различных предприятий и коммунальных объектов, с установлением зависимостей вероятности ощущения запаха разной силы от концентрации веществ позволяет достаточно оперативно и рационально оптимизировать существующую классификацию производств – источников выбросов, обладающих ольфакторным действием. В практической работе при установлении размера санитарно-защитной зоны помимо факта достижения гигиенических критериев качества атмосферного воздуха следует принимать во внимание недопустимость появления в нём «навязчивого» запаха.

Ограничение исследований. Данное исследование не лишено определённых ограничений, среди которых основным является использование относительно нового метода регистрации воздействия запаховых стимулов, требующего дополнительной апробации, а также возможная трансформация веществ при доставке проб выбросов в лабораторию.

Заключение

При классификации опасности объектов и производств – источников выбросов многокомпонентных смесей веществ, обладающих ольфакторным действием, следует принимать во внимание их способность вызывать ощущение «навязчивости» («потенциал раздражения»). Критерий этой «навязчивости» определяется соотношением количественных параметров зависимостей вероятности ощущения запаха разной силы (порогов обнаружения и «навязчивости»), полученных в экспериментальных условиях.

Литература

(п.п. 9, 12–14, 16–26 см. References)

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов; 2007.
2. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 7 «О внесении изменений в постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 25.09.2007 № 74»; 2022.
3. Бударина О.В. *Научное обоснование современных гигиенических основ нормирования, контроля и оценки запаха в атмосферном воздухе населенных мест*: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 2020.
4. 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>
5. Баева И.В. *Гигиеническая оценка табачного предприятия г. Ярославля как источника загрязнения атмосферного воздуха*: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2007.
6. Пинигин М.А., Тепикина Л.А., Бударина О.В., Сафиулин А.А., Малышева А.Г. Этапы гигиенического регламентирования летучих компонентов ароматизаторов при производстве жевательной резинки. *Токсикологический вестник*. 2011; (2): 5–10. <https://elibrary.ru/tqawex>
7. 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/qxkoxt>
8. Бударина О.В., Пинигин М.А., Шипулина З.В., Андрюшин И.Б. Гигиеническое обоснование классификации опасности веществ, загрязняющих атмосферный воздух, с учётом «навязчивости» их запаха. *Токсикологический вестник*. 2022; 30(1): 29–37. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2022-30-1-29-37> <https://elibrary.ru/fybdji>
9. Временные методические указания по обоснованию предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. М.; 1989.
10. Остапович И.К., Сафиулин А.А., Ходин С.П., Бударина О.В. Дозирование смеси летучих органических веществ табачного производства при изучении их влияния на обонятельный анализатор человека. В кн.: *Окружающая среда и здоровье. Материалы юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры общей гигиены с экологией СПбГМУ им. акад. И.П.Павлова*. СПб; 2001: 106–7.
11. Ван Харревелд Т. К вопросу об управлении запахом на территории Европейского союза. В кн.: *Международная конференция «Актуальные вопросы оценки и регулирования запаха»: Сборник докладов*. М.; 2006: 13–29.

References

1. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200–03. Sanitary protection zones and sanitary classification of enterprises, structures and other objects; 2007. (in Russian)
2. Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 7 «On Amendments to the Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of September 25, 2007 № 74»; 2022. (in Russian)
3. Budarina O.V. *Scientific substantiation of modern hygienic bases of rationing, control and evaluation of odour in the atmospheric air of populated areas*: Diss. Moscow; 2020. (in Russian)
4. 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)
5. Baeva I.V. *Hygienic assessment of the tobacco enterprise in Yaroslavl as a source of air pollution*: Diss. Moscow; 2007. (in Russian)
6. Pingin M.A., Tepikina L.A., Budarina O.V., Safiulin A.A., Malysheva A.G. Stages of hygienic regulation of flavorings airborne ingredients in the manufacture of chewing gum. *Toksikologicheskii vestnik*. 2011; (2): 5–10. <https://elibrary.ru/tqawex> (in Russian)

Original article

7. 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)
8. Budarina O.V., Pinigin M.A., Shipulina Z.V., Andryushin I.B. Hygienic substantiation of the hazard classification of substances polluting the atmospheric air, taking into account the “offensiveness” of their odour. *Toksikologicheskii vestnik (Toxicological Review)*. 2022; 30(1): 29–37. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2022-30-1-29-37> <https://elibrary.ru/fybdji> (in Russian)
9. EN 13725:2003. Air quality – Determination of odor concentration by dynamic olfactometry. European Committee for Standardization (Comité Européen de Normalisation); 2003.
10. Temporary Guidelines for the Justification of Maximum Permissible Concentrations (MPC) of Pollutants in the Atmospheric Air of Populated Areas. Moscow; 1989. (in Russian)
11. Ostapovich I.K., Safiulin A.A., Khodin S.P., Budarina O.V. Dosing of a mixture of volatile organic substances of tobacco production in the study of their effect on the human olfactory analyzer. In: *Environment and Health. Materials of the Jubilee Scientific and Practical Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Department of General Hygiene with Ecology of the Pavlov St. Petersburg State Medical University [Materialy yubileynoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu kafedry obshchey gigieny s ekologiy SPbGMU im. akad. I.P. Pavlova]*. St. Petersburg; 2001: 106–7. (in Russian)
12. Assessment of community response to odorous emissions. R&D Technical Report P4-095/TR; 2002. Available at: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/290405/sp4-095-tr-e-e.pdf
13. IPPC Horizontal Guidance for Odour. Part 1: Regulation and Permitting. Part 2: Assessment and Control. Draft; 2002.
14. Brancher M., David Griffiths K., Franco D., De Melo Lisboa H. A review of odor impact criteria in selected countries around the world. *Chemosphere*. 2016; 168(11): 1532–70. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.160>
15. Van Harrevelde T. On the issue of odor management in the European Union. In: *International Conference «Actual Issues of Odor Assessment and Regulation»*. Moscow; 2006: 13–29. (in Russian)
16. RWDI. Odor management in British Columbia: review and recommendations. Final report; 2005. Available at: https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/air/reports-pub/odour_mgt_final_june13_05.pdf
17. Institute of Air Quality Management (IAQM). Guidance on the Assessment of Odor for Planning. London; 2018. Available at: <https://www.iaqm.co.uk/text/guidance/odour-guidance-2014.pdf>
18. Bokowa A., Diaz C., Koziel J.A., McGinley M., Barclay J., Schaubberger G., et al. Summary and overview of the odor regulations worldwide. *Atmosphere*. 2021; 12(2): 206. <https://doi.org/10.3390/atmos12020206>
19. Haahtela T., Martilla O., Vilka V. Human health risks caused by malodorous sulfur compounds in ambient air in South-Karelia, Finland. In: *Man and His Ecosystem: Proceedings of the 8th World Clean Air Congress*. Hague; 1989: 135–8.
20. Heaney C.D., Wing S., Campbell R.L., Caldwell D., Hopkins B., Richardson D., et al. Relationship between malodor, ambient hydrogen sulfide and health in a community bordering a landfill. *Environ. Res.* 2011; 111(6): 847–52. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.05.021>
21. Li J., Zou K., Li W., Wang G., Yang W. Olfactory characterization of typical odorous pollutants. Part I: Relationship between the hedonic tone and odor concentration. *Atmosphere*. 2019; 10(9): 524. <https://doi.org/10.3390/atmos10090524>
22. Yang W., Li W., Zhang Y., Han M., Zhai Z., Cui H. Exposure-response relationship and chemical characteristics of atmospheric odor pollution from a cigarette factory. *Aerosol Air Qual. Res.* 2021; 22(6): 210314. <https://doi.org/10.4209/aaqr.210314>
23. Monazzam M.R., Avishan M., Asghari M., Boubehrejh M. Assessment of odor annoying impacts on trade and serving centers close to a vegetable oil manufacturing plant. *Curr. World Environ.* 2012; 7(2): 191–200.
24. Schilling B., Kaiser R., Natsch A., Gautschi M. Investigation of odors in the fragrance industry. *Chemoecology*. 2010; 20(2): 135–47. <https://doi.org/10.1007/s00049-009-0035-5>
25. Weihua Y., Xiande X., Gen W., Jie M., Zengxiu Z., Jiayin L. Emission characteristics of volatile odorous organic compounds in fragrance and flavor industry. *Environ. Chem.* 2021; (4): 1071–7.
26. Hager J.M. Odor management in the food industry by regenerative thermal oxidation RTO. In: *Environmental Odor Management. International Conference*. Cologne; 2004: 493–502.