

Читать
онлайн
Read
online

Бударина О.В., Скворонская С.А., Иванова С.В.

Международный опыт оценки загрязнения воздуха в районах размещения предприятий, выбросы которых обладают запахом (обзор литературы)

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

В статье представлен обзор литературы, посвящённой оценке загрязнения атмосферного воздуха в районах размещения предприятий — источников запаха. Согласно проведённому анализу, международная практика в области регулирования запахов в атмосфере включает разнообразные методы оценки их воздействия. Рассмотренные подходы — и прогнозные, и наблюдательные (эмпирические) — имеют свои преимущества и недостатки. Так, моделирование атмосферной дисперсии является очень ценным прогнозным инструментом и играет большую роль в оценке окружающих запахов. Тем не менее модели, хотя и основанные на строгих количественных расчётах, — это упрощение реальной ситуации. Точность данного метода существенно уменьшается в случаях непредсказуемых, незапланированных или аварийных выбросов. Более простым в использовании инструментом является качественная (дескриптивная) оценка запаха на основе риска (концепция «источник — путь — рецептор»). Эмпирические подходы (полевая ольфактометрия, группы испытуемых) дают возможность оценить запаховое воздействие в данных реальных условиях, при этом для более объективной оценки нужны длительные исследования. Использование инструментальных методов ограничено тем, что запахи в воздухе обусловлены преимущественно сложными многокомпонентными смесями веществ с неизвестным характером комбинированного действия и уровнями ниже пределов обнаружения и т. д. Поэтому при разработке стратегии оценки запаха необходимо выбрать инструменты, наиболее подходящие в каждом конкретном случае. Согласно мнению многих авторов, для повышения качества и достоверности этой оценки в районах размещения предприятий и других объектов целесообразно применять все имеющиеся эмпирические подходы совместно с моделированием в сочетании с опросом жителей и другими способами анализа состояния здоровья населения. Получаемые в результате такой комплексной оценки данные позволят обосновать мероприятия по снижению загрязнения атмосферного воздуха пахучими веществами. Поиск литературы проводился в англоязычных текстовых базах PubMed, Scopus, Web of Science и в научной электронной библиотеке eLIBRARY.ru (РИНЦ).

Ключевые слова: обзор; запах; подходы к оценке; атмосферный воздух; риск; моделирование дисперсии; полевая ольфактометрия; полевые исследования; электронный нос

Для цитирования: Бударина О.В., Скворонская С.А., Иванова С.В. Международный опыт оценки загрязнения воздуха в районах размещения предприятий, выбросы которых обладают запахом (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2022; 101(11): 1299–1306. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1299-1306> <https://elibrary.ru/ydrjqk>

Для корреспонденции: Бударина Ольга Викторовна, доктор мед. наук, вед. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва. E-mail: obudarina@cspmrz.ru
Скворонская Светлана Александровна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва. E-mail: sko_sveta@mail.ru
Иванова Светлана Владимировна, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва. E-mail: sivanova@cspmrz.ru

Участие авторов: Бударина О.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Скворонская С.А. — сбор и обработка материала, написание текста, редактирование, ответственность за целостность всех частей статьи; Иванова С.В. — сбор и обработка материала, написание текста, редактирование.

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

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания № АААА-А20-120101690059-2.

Поступила: 19.07.2022 / Принята к печати: 04.08.2022 / Опубликована: 30.11.2022

Olga A. Budarina, Svetlana A. Skovronskaya, Svetlana A. Ivanova

International experience of air pollution assessment in areas where enterprises with odorous emissions are located (literature review)

Centre for Strategic Planning of FMBA of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation

The article provides a review of literature data on approaches to the ambient air pollution assessment in the areas where enterprises — sources of odour are located. According to the analysis, international practice in the field of odour management in the atmosphere includes a variety of methods of the odour impact assessing. The considered approaches, both predictive and observational (empirical), have their advantages and disadvantages. Thus, atmospheric dispersion modelling is a very valuable predictive tool and plays an important role in assessing ambient odours. However, the models, although based on rigorous quantitative calculations, are a simplification of the real situation. The accuracy of this method is significantly reduced in cases of unpredictable, unplanned or accidental releases. An easier-to-use tool is a qualitative (descriptive) risk-based odour assessment (source-pathway-receptor concept). Empirical approaches (field olfactometry, sniff tests) make it possible to assess odour exposure in given real conditions, while more objective assessment requires long-term studies. The use of instrumental methods is limited by the fact that odours in the air are mainly due to complex multicomponent mixtures of substances with an unknown nature of the combined action, with levels below the detection limits, etc. When developing an odour assessment strategy, it is necessary to select the tools that are most appropriate in each case. According to many authors, to improve the quality and reliability of this assessment in areas where enterprises and other facilities are located, it is advisable to use all available empirical approaches together with modelling, in combination with community surveys and other methods of analyzing the health status of the population. The data obtained as a result of such a comprehensive assessment will make it possible to substantiate measures to reduce air pollution by odorous substances. The literature search was carried out in the English-language text databases PubMed, Scopus, Web of Science and in the scientific electronic library eLIBRARY.ru. (RSCJ)

Keywords: review; odour; assessment approaches; ambient air; risk; dispersion modelling; field olfactometry; field studies; “electronic” nose

For citation: Budarina O.V., Skovronskaya S.A., Ivanova S.V. International experience of air pollution assessment in areas where enterprises with odorous emissions are located (literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(11): 1299–1306. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1299-1306> <https://elibrary.ru/ydrjqk> (In Russian)

For correspondence: Svetlana V. Ivanova, MD, PhD, senior researcher of the Centre for Strategic Planning of FMBA of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: sivanova@cspmz.ru

Information about the authors:

Budarina O.V., <https://orcid.org/0000-0003-4319-7192> Skovronskaya S.A., <https://orcid.org/0000-0002-6374-9292> Ivanova S.V., <https://orcid.org/0000-0002-2281-1280>

Contribution: Budarina O.V. — concept and design of the study, collection and processing of material, writing the text, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Skovronskaya S.A. — collection and processing of material, writing the text, editing, responsibility for the integrity of all parts of the article; Ivanova S.V. — collection and processing of material, writing text, editing.

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

Acknowledgement. The research was carried out as part of state assignment No. AAAA-A20-120101690059-2.

Received: July 7, 2022 / Accepted: October 3, 2022 / Published: November 30, 2022

Введение

Загрязнение атмосферного воздуха веществами, обладающими запахом, относится к специфическому виду загрязнения, борьбе с которым в последнее время уделяется всё больше внимания в связи с растущими ожиданиями населения в отношении качества жизни и благоприятной окружающей среды.

При этом основная трудность при оценке запаха заключается не только в отсутствии единой меры, которой можно было бы измерить его силу аналогично измерению силы звука, освещённости или температуры, но и в существенной взаимосвязанности с восприятием человека.

Анализ запаха в атмосфере крайне затруднён также и из-за особенностей самого объекта:

- степень загрязнения и соответственно интенсивность запаха могут сильно меняться во времени и пространстве, зачастую в течение довольно короткого периода времени (несколько минут и даже секунд) интенсивный запах может смениться полным его отсутствием;
- концентрации, создаваемые пахучими веществами, в атмосферном воздухе часто значительно ниже предельно допустимых концентраций, а иногда и ниже пределов их обнаружения;
- в подавляющем большинстве случаев запах обусловлен не одним веществом, а сложной смесью, для которой в силу ряда причин не всегда возможно установить предельно допустимую концентрацию по отдельным индикаторным (приоритетным) веществам;
- к самым пахучим веществам сложно идентифицировать.

Международный опыт в области регулирования запахов в окружающем воздухе включает разнообразные подходы к оценке воздействия запаха — как прогнозные, так и наблюдательные (эмпирические) [1–9].

К эмпирическим подходам относятся наблюдение и оценка воздействия или эффекта запаха окружающей среды путём мониторинга: сенсорные методы (полевая ольфактометрия [10, 11], полевые исследования с использованием испытателей [12–14]), инструментальные (анализ химических соединений) и сенсорно-инструментальные методы (электронные носы) [15, 16]). Население в качестве активного или пассивного сенсора также широко привлекается к оценке эффекта запахового воздействия [17–20]. Прогнозные подходы в свою очередь используют в качестве инструментов оценки «модель» — упрощённую версию реальной ситуации для прогноза возможного уровня воздействия (моделирование атмосферной дисперсии, оценка риска с использованием концепции «источник — путь — рецептор», скрининговые модели, справочные таблицы и номограммы) [1, 21–24]. Вышеописанные подходы систематизированы в табл. 1.

При разработке стратегии оценки запаха необходимо выбрать инструменты, наиболее подходящие в каждой конкретной ситуации. Практикой доказано преимущество сочетания различных инструментов (прогнозных и/или эмпирических) оценки запахов выбросов предприятий и других объектов в атмосферном воздухе. Остановимся на них более детально.

Моделирование дисперсии запаха. Моделирование дисперсии в сочетании с установленными критериями экспозиции (критериями «приемлемости» запаха) — широко применяемый инструмент для оценки запаха [2, 21, 25, 26].

Моделирование дисперсии (расчёт рассеивания запаха) применяется в следующих случаях: источники запаха чётко идентифицированы; определены параметры источника (объём, характеристики выброса — температура и скорость); интенсивность выброса запаха не подвержена значительным колебаниям; в районе нет других источников запаха, которые сложно учесть при моделировании; район подходит для моделирования дисперсии, то есть отсутствуют местные топографические особенности, которые уменьшают надёжность результатов (экстремальные значения высоты местности и др.), имеются соответствующие метеорологические данные.

К наиболее распространённым моделям, используемым для расчёта рассеивания запаха, относятся ADMS и AERMOD [1].

Результаты расчёта рассеивания запаха в атмосферном воздухе на различных расстояниях от источника выброса, включая селитебную территорию, обычно выражаются в единицах концентрации запаха ($E3/m^3$ или $EE3/m^3$) [21]. Полученные расчётные значения концентрации запаха в атмосферном воздухе в рассматриваемых контрольных точках сравниваются с критериями экспозиции (критериями «приемлемости» запаха), определёнными для данного производства или вида деятельности [2, 22, 23]. Для визуализации распространения запахового загрязнения результаты расчёта могут быть представлены в виде карт рассеивания с изолиниями концентраций запаха на различных расстояниях от источника, а также с выделением территории с превышением принятых критериев экспозиции. Все оценки запаха основаны на 98-м процентиле среднечасовых значений, соответственно и модель должна быть настроена для прогнозирования этого значения [22].

Число точек, принятых в расчёте, должно быть достаточным для построения карт рассеивания (контурных графиках). Обычные модели рассеивания могут представлять как точечные, так и площадные, линейные и объёмные источники. Коэффициенты выделения запаха для моделирования получают либо из «стандартных» значений выбросов для различных процессов [1], либо из результатов измерений выбросов запаха на источнике [21]. При этом уровни запаха могут сильно отличаться в зависимости от особенностей технологических процессов, изменений условий выбросов и др.

Оценка риска и эффекта воздействия запаха с использованием концепции «источник — путь — рецептор». Оценка риска и эффекта воздействия запаха — метод прогноза воздействия запаха окружающей среды на население, основанный на анализе гипотетической связи между источником запаха, путём, по которому может произойти воздействие, и рецепторами, на которые оказывается неблагоприятное воздействие (концепция «источник — путь — рецептор») [1, 27, 28]. В отличие от количественного моделирования атмосферной дисперсии оценка запаха на основе риска является качественной (дескриптивной) и поэтому более простой в использовании, но при этом предусматривающей достаточно точный прогноз.

Качественный подход, основанный на оценке риска, используется в следующих случаях: необходимость скрининговой оценки воздействия запаха; отсутствие достаточной информации для детального проведения моделирования

Таблица 1 / Table 1

Подходы к оценке запаха в окружающей среде [1]

Summary of odour assessment tools [1]

Тип Type	Подход Approach	Инструментарий Tool		Оцениваемые параметры Parameters estimated
Прогнозный Predictive	Качественный Qualitative	Оценка риска с использованием концепции «источник – путь – рецептор» Risk-based assessments using Source – Pathway – Receptor concept		Величина относительного риска или дескриптор (незначительный, средний или высокий риск) A relative risk score or descriptor (e.g. negligible, low, medium or high-risk impact)
	Полуколичественный Semi-quantitative	Скрининговые модели, справочные таблицы и номограммы Screening models, look-up tables and nomographs		Оцениваемые концентрации Estimated concentration
	Моделирование (количественный) Modelling	Моделирование атмосферной дисперсии с помощью программ ADMS, AERMOD и др. Atmospheric dispersion modelling with ADMS, AERMOD, etc.		Прогнозные концентрации (ЕЗ/м ³) как 98-й перцентиль среднечасовых значений Predicted concentrations (OU _E /m ³), as 98 th percentiles of 1-hour means
Наблюдательный (эмпирический) Observational / Empirical	Мониторинг запаха в окружающем воздухе Monitoring of odour in ambient air	Сенсорный Sensory	Полевые исследования испытателями Sniff Tests	Интенсивность, частота, длительность и «навязчивость» Intensity, frequency, duration, offensiveness
			Полевая ольфактометрия Field olfactometry	Измеренная концентрация (D/T) с учётом частоты, длительности, «навязчивости» Measured concentration (Dilutions-to-Threshold, together with frequency, duration, offensiveness)
	Компонентный анализ Compound analysis	Анализ содержания H ₂ S, ЛОС и др. H ₂ S, VOCs, etc. analysis	Измеренная концентрация (мг/м ³) и порог обнаружения запаха с учётом частоты, длительности, «навязчивости» Measured concentration (µg/m ³) and odour detection threshold, together with frequency, duration, offensiveness	
	Население в качестве активного «сенсора» Population in terms of active “sensor”	Дневники запаха / Odour diaries		Дни (%), когда запах определялся выше определённой интенсивности Days (%) on which odour detected above a given intensity
		Опрос населения / Community surveys		% населения, испытывающего «раздражение» % of annoyed population
Население в качестве пассивного «сенсора» Population in terms of passive “sensor”	Анализ жалоб / Complaints analysis		Частота жалоб Frequency of complaints	

дисперсии или других оценок; эффект запаха значительно зависит от случайных, неожиданных или неизвестных факторов (непостоянные/диффузные источники и др.); в качестве подтверждения или дополнения к другим оценкам воздействия запаха.

Данная оценка в основном применяется при определении возможности использования территории для размещения потенциального источника запаха или нового жилья и инфраструктуры в районе расположения предприятий и иных объектов – источников выбросов пахучих веществ, то есть в тех случаях, когда другие виды исследований недоступны или ограничены.

Первым шагом в данном подходе является категоризация источника с точки зрения его «потенциала запаха», учитывающая следующие факторы: величина выброса от источника запаха (включает оценку объёма выброса с учётом параметров источника, периодичности выброса и др.); сила выделяемого запаха (пахучесть веществ с учётом порогов обнаружения запаха); относительная приятность/неприятность (гедонический тон) или «навязчивость» («потенциал раздражения») запаха. Результатом такой оценки является дифференциация источника запаха: источники с маленьким, средним или большим запаховым потенциалом.

Далее проводится оценка эффективности пути распространения (переноса) запаха от источника к рецептору. При этом следует учитывать следующие факторы: расстояние чувствительных рецепторов от источника запаха; находятся ли эти рецепторы с подветренной стороны (относительно

преобладающего направления ветра); условия для дисперсии запаха (например, выделение выбросов из высокой дымовой трубы при прочих равных условиях приводит к увеличению разведения и дисперсии); топография и местность между источником и рецептором. Согласно такой оценке, пути распространения запаха от источника к рецептору можно разделить на неэффективные, умеренно эффективные или высокоэффективные.

На третьем этапе результаты оценки потенциала источника запаха и эффективности пути распространения рассматриваются вместе для дальнейшего прогнозирования риска воздействия запаха в месте расположения рецептора, как показано в матрице (табл. 2).

Следующим шагом является оценка эффекта этого запахового воздействия на экспонированный рецептор с учётом его чувствительности¹, как показано в матричной табл. 3.

Согласно табл. 3, градация эффектов запаха – от незначительного, незначительно неблагоприятного, умеренно неблагоприятного до существенно неблагоприятного.

По результатам качественной оценки запаха в атмосферном воздухе с использованием методологии оценки риска возможно сделать прогноз вероятного эффекта запаха, а также определить необходимость проведения дальнейшей детальной оценки загрязнения атмосферного воздуха расчётными и/или эмпирическими методами.

¹ Чувствительность лиц, подвергающихся воздействию запаха, зависит от вида использования земель, строений и других объектов, времени нахождения, ожиданий и др.

Риск воздействия (экспозиции) запаха в месте расположения рецептора [1]**Risk of odour exposure (impact) at the receptor location [1]**

Эффективность пути воздействия Effectiveness of exposure pathway	Потенциал источника запаха / Source odour potential		
	маленький / roog	средний / medium	большой / large
Высокоэффективный путь Highly effective pathway	Низкий риск Low risk	Средний риск Medium risk	Высокий риск High risk
Умеренно эффективный путь Moderately effective pathway	Незначительный риск Negligible risk	Низкий риск Low risk	Средний риск Medium risk
Неэффективный путь Ineffective pathway	Незначительный риск Negligible risk	Незначительный риск Negligible risk	Низкий риск Low risk

Вероятная величина эффекта запаха в месте расположения рецептора [1]**Likely magnitude of odour effect at the receptor location [1]**

Риск воздействия запаха Risk of odour exposure	Чувствительность рецепторов / Receptor sensitivity		
	низкая / low	средняя / medium	высокая / high
Высокий High	Незначительно неблагоприятный эффект Slightly adverse effect	Умеренно неблагоприятный эффект Moderately adverse effect	Существенно неблагоприятный эффект Substantially adverse effect
Средний Medium	Незначительный эффект Negligible effect	Незначительно неблагоприятный эффект Slightly adverse effect	Умеренно неблагоприятный эффект Moderately adverse effect
Низкий Low	Незначительный эффект Negligible effect	Незначительный эффект Negligible effect	Незначительно неблагоприятный эффект Slightly adverse effect
Незначительный Negligible	Незначительный эффект Negligible effect	Незначительный эффект Negligible effect	Незначительный эффект Negligible effect

Инструментальные (физико-химические) исследования. Инструментальные исследования дают возможность получить количественную информацию о компонентах, обуславливающих специфический запах выбросов и атмосферного воздуха. В каждом конкретном случае выбор применяемого метода определяется исходя из имеющихся данных о составе присутствующих в выбросах химических веществ. Для идентификации и количественного определения широкого спектра органических веществ в сложных по составу выбросах различных производств и в атмосферном воздухе применяется хромато-масс-спектрометрия. В ситуациях с неизвестным составом выбросов широко используется газовая хроматография с использованием масс-селективного детектора [29]. Для идентификации смесей органических компонентов применяются также пламенно-ионизационные детекторы. Определение неорганических пахучих соединений, в частности аммиака и сероводорода, осуществляется ионохроматографическим и флуориметрическим методами [30, 31].

Полевая ольфактометрия. Как известно, одним из распространённых общепринятых сенсорных подходов к оценке запаха в реальных условиях является полевая ольфактометрия. Существует большое количество переносных ольфактометров, включая сцентометр Nasal Ranger®, Scentroid SM100 [1, 7, 10]. Прибор предназначен для контроля за нормативами качества воздуха по запаху (в случаях, когда они установлены в D/T^2), мониторинга в пределах

той или иной зоны контроля, количественного определения силы запаха в окружающей среде.

Полевой ольфактометр используют для определения соотношения уровня запаха в атмосферном воздухе и его порогового значения. Такое соотношение показывает количество разведений, необходимых для того, чтобы сделать тот или иной запах в окружающем воздухе неощущаемым ($D/T = V$ фильтрованного воздуха / V запаха). Исследователь вдыхает смешанный с запахом воздух с интенсивностью 16–20 л в 1 минуту. Вращательное положение поворотного механизма определяет размеры отверстия и, следовательно, объём имеющего запах воздуха, который входит через выбранное отверстие. Определение запаха проходит по принципу «да – нет», а роль детектора выполняет нос исследователя. Регулирующий клапан прибора позволяет выбрать нужную степень разведения пробы атмосферного воздуха. По аналогии с обычными приборами ольфактометр характеризуется чувствительностью, экспрессностью и специфичностью [11].

Достоинствами прибора являются простота применения, возможность количественного определения параметров интенсивности запаха. Прибор популярен в США, а также в Европе (Испания, Франция, Польша, Германия). Недостатки некоторых типов ольфактометров заключаются в длительности времени ответа (у опытного оператора все последовательные стадии разведений для получения требуемой концентрации занимают от 30 с до 1 мин), что определяет их избирательное применение для стабильных, постоянных запахов в окружающей среде.

Полевые исследования с использованием отобранных испытателей. Другим сенсорным методом оценки запаха непосредственно на месте являются полевые исследова-

² D/T (dilutions to threshold) – разведения до порога – единица измерения запаха, показывающая кратность разведения пробы атмосферного воздуха до уровня, когда запах перестаёт ощущаться (порог обнаружения). Применяется в США.

Таблица 4 / Table 4

Пример шкалы оценки интенсивности запаха [12]

Example of the odour intensity scale [12]

Сила запаха Odour strength	Уровень интенсивности Intensity level	Комментарии Comments
Запаха нет / Не ощущается No odour / Not perceptible	0	Отсутствие запаха при сравнении с чистой местностью No odour when compared to the clean site
<i>Порог обнаружения запаха (1 ЕЕЗ/м³) находится между 0 и 1 The Odour Detection Threshold (ODT) of 1 OUE/m³ is between 0 and 1</i>		
Незначительный / Очень слабый Slight / Very weak	1	Вероятно, есть некоторые сомнения в том, присутствует ли запах на самом деле There is probably some doubt as to whether the odour is actually present
Незначительный / Слабый Slight / Weak	2	Запах присутствует, но не может быть описан точными словами или терминами The odour is present but cannot be described using precise words or terms
Отчётливый Distinct	3	Характер запаха едва узнаваем The odour character is barely recognisable
<i>Согласно [12], порог распознавания обычно в 3–10 раз выше, чем порог обнаружения (то есть 3–10 ЕЕЗ/м³) According to [12] the recognition threshold intensity is generally 3–10 times higher than the ODT (i.e. 3–10 OUE/m³)</i>		
Сильный Strong	4	Характер запаха легко узнаваем The odour character is easily recognisable
Очень сильный Very strong	5	Запах неприятный. Воздействие при этом уровне будет считаться нежелательным The odour is offensive. Exposure to this level would be considered undesirable
Чрезвычайно сильный Extremely strong	6	Запах неприятный. Инстинктивная реакция уменьшить дальнейшее воздействие The odour is offensive. An instinctive reaction would be to mitigate further exposure

ния с использованием отобранных испытателей (sniff tests) с фиксацией частоты, продолжительности и силы запаха в определённом месте в определённое время. Результаты таких сенсорных исследований будут надёжными и воспроизводимыми, если они проводятся в соответствии со строгой, хорошо продуманной методологией.

Существует два основных метода оценки окружающего запаха отобранными испытателями – так называемый «объективный» и «субъективный» [1]. В соответствии с «объективным» подходом, принятым в США, эксперт сравнивает запах в окружающем воздухе с различными концентрациями бутанола с помощью стандартных sniffing sticks («нюхательных палочек») [32]. В Европе, Австралии и Новой Зеландии широко используется «субъективный» метод оценки запаха, при котором эксперт определяет интенсивность запаха окружающей среды по числовой шкале, связанной с качественными характеристиками, такими как «неощутимый», «слабый», «сильный» и т. д. (табл. 4) [1, 2, 33, 34]. «Сеточный»

метод, принятый в Германии [12, 14], широко распространён, но требует полного годового измерения и большого числа испытателей. В настоящее время разрабатываются методики оценки запаха в окружающем воздухе, сочетающие немецкий «сеточный» подход и методы подфакельного исследования шлейфа запаха.

Задача практиков состоит в том, чтобы в результате этих исследований можно было оценить не только присутствие запаха, но и его воздействие и возможные эффекты на землепользователей.

В табл. 5 приведён пример оценки экспозиции запаха в атмосфере с учётом его интенсивности, частоты и продолжительности по результатам полевых исследований.

После неоднократных измерений полученные данные об общем воздействии запаха объединяются с данными по чувствительности рецептора для оценки эффекта (табл. 6).

Следует отметить, что в первую очередь данные исследования могут применяться в качестве скрининговых

Таблица 5 / Table 5

Матрица для оценки воздействия запаха (нейтральные и неприятные запахи) [1]

Matrix to assess the odour exposure (neutral and unpleasant odours) [1]

Средняя интенсивность Average intensity	Процент времени обнаружения запаха с $I \geq 4$ ($t_{I \geq 4}$) Percentage odour time ($t_{I \geq 4}$) during the test				
	$\leq 10\%$	11–20%	21–30%	31–40%	$\geq 41\%$
6	Сильное / Large	Очень сильное / Very large	Очень сильное / Very large	Очень сильное / Very large	Очень сильное / Very large
5	Среднее / Medium	Сильное Large	Сильное / Large	Очень сильное / Very large	Очень сильное / Very large
4	Слабое / Small	Среднее / Medium	Среднее / Medium	Сильное / Large	Сильное / Large
3	Слабое / Small	Среднее / Medium	Среднее / Medium	Среднее / Medium	Среднее / Medium
2	Слабое / Small	Слабое / Small	Среднее / Medium	Среднее / Medium	Среднее / Medium
1	Слабое / Small	Слабое / Small	Слабое / Small	Отсутствует (N/A)	Отсутствует (N/A)

Таблица 6 / Table 6

Матрица для оценки эффекта запаха [1]
Matrix for estimation of odour effect [1]

Общее воздействие запаха Overall odour exposure	Чувствительность рецептора / Receptor Sensitivity		
	Низкая / Low	Средняя / Medium	Высокая / High
Очень сильное Very large	Существенно неблагоприятный Substantially adverse	Существенно неблагоприятный Substantially adverse	Существенно неблагоприятный Substantially adverse
Сильное Large	Умеренно неблагоприятный Moderately adverse	Умеренно неблагоприятный Moderately adverse	Существенно неблагоприятный Substantially adverse
Среднее Medium	Незначительно неблагоприятный Slightly adverse	Незначительно неблагоприятный Slightly adverse	Умеренно неблагоприятный Moderately adverse
Слабое Small	Незначительный Negligible	Незначительный Negligible	Незначительно неблагоприятный Slightly adverse

для быстрой оценки загрязнения и принятия решения о необходимости дальнейшего углублённого анализа или внедрении срочных мероприятий по уменьшению выбросов. Проведение таких исследований служит ценным дополнением к другим видам оценок загрязнения воздуха пахучими веществами.

Система искусственного обоняния – электронный нос. Получить информацию на месте, быстро, без дополнительных манипуляций, в режиме реального времени, чувствительно и без участия человека с интерпретацией запаховой информации интегрально позволяют химические сенсоры и их массивы в устройствах, называемых «электронные носы». Основой для разработки аналоговых систем являются механические газовые сенсоры, которые имитируют живую обонятельную клетку в первичной системе органа обоняния. При разработке газоанализаторов приоритетная задача – разработка высокоселективных и чувствительных сенсоров [15].

Сенсоры должны имитировать действие обонятельных рецепторов таким образом, чтобы обнаружить диапазон или класс одорантов, а не один индивидуальный тип. Для практического применения главным образом используются две группы сенсоров. Первая включает сенсоры, изготовленные из полупроводящих оксидов металлов, вторая – из проводящих полимеров.

Предварительно необходимо идентифицировать сложные запахи, обычно обусловленные смесями из сотен химических компонентов. Этого можно достигнуть, используя массив одновременно действующих сенсоров с ограниченными, частично перекрывающимися характеристиками. Обычно массив включает от 12 до 18 сенсоров, но иногда и больше [15].

В практических устройствах сенсорные массивы имеют модульную комплектацию и легко заменяются. В зависимости от типа диагностируемых одорантов используются соответствующие модули сенсоров. Обычно в устройстве применяют одновременно массивы различных типов сенсоров (оксиды металлов, проводящие полимеры, пьезоэлектрические сенсоры), чтобы увеличить его аналитические способности.

Заключение

Проведённый анализ научных данных и действующих нормативно-правовых документов, регламентирующих процедуру управления запахом в атмосферном воздухе в разных странах [1–4, 22–24, 27, 28, 36–46], показал, что в международной практике используются различные подходы к оценке воздействия запаха в районах размещения предприятий-источников.

Все эти подходы – как прогнозные, так и эмпирические – имеют свои преимущества и недостатки. В частности, моделирование рассеивания запаха является весьма ценным инструментом и играет большую роль в оценке загрязнения, однако важно помнить, что модели, даже основанные

на строгих математических расчётах, – это упрощение реальной ситуации. Когда запаховое воздействие обусловлено непредсказуемыми, незапланированными или аварийными выбросами, в том числе из неорганизованных источников, точность этого метода существенно уменьшается [1]. Кроме этого, при использовании расчётных методов оценки запаха отсутствует возможность контроля (мониторинга) на месте.

Эмпирические (наблюдательные) подходы (в частности, полевые исследования отобранными испытателями, полевая ольфактометрия) дают возможность оценить запаховое воздействие в определённой точке при данных конкретных условиях. При этом важно понимать, что для более объективной оценки нужны длительные исследования [12, 14]. Использование инструментальных методов ограничено тем, что запахи обусловлены преимущественно сложно идентифицируемыми многокомпонентными смесями веществ с неизвестным характером комбинированного действия и уровнями ниже пределов обнаружения.

О наличии «навязчивого» запаха в окружающей среде свидетельствуют жалобы населения. Вместе с тем количество жалоб может не отражать общего уровня «раздражения» (недовольства, обеспокоенности) населения запахом [22, 47]. Это обусловлено, во-первых, тем, что люди различаются по своей готовности подавать жалобы (значительная часть населения никогда не обращается с жалобами, в то время как некоторые люди часто жалуются даже в незначительных случаях). Во-вторых, активность жителей в части подачи жалоб зависит от способности местных властей реагировать на них и убеждённости в том, что жалоба вызовет действие.

Наконец, важнейшей мерой неблагоприятного воздействия запаха в атмосферном воздухе служит определённое опросным методом общее количество населения, воспринимающего «навязчивый» (беспокоящий, раздражающий) запах [17–19, 48–53]. Опросы позволяют получить непосредственную картину восприятия и оценки запахом населением, однако их ограничением являются субъективный характер и эмоциональная оценка воспринимаемого запаха респондентами. Поэтому один из основоположников отечественного гигиенического нормирования В.А. Рязанов к данным опросов призывал «относиться критически и считать, что истинный порог лежит выше установленного таким опросом», поскольку население будет ориентироваться на запомнившиеся случаи особо высоких концентраций [44, 54].

Для повышения качества и достоверности оценки запаха в атмосферном воздухе в районах размещения предприятий и других объектов целесообразно применять все имеющиеся эмпирические (наблюдательные) подходы в сочетании с моделированием, опросом жителей и другими способами оценки состояния здоровья населения [1, 7, 9, 36, 46]. Проведение таких комплексных и многопараметровых исследований позволит разработать эффективный алгоритм принятия управленческих решений для сокращения загрязнения атмосферного воздуха в районах размещения предприятий – источников раздражающих (навязчивых) промышленных запахов.

Литература

(п.п. 1–14, 16–19, 21–28, 32–42, 44–53 см. References)

15. Майоров В.А. *Запахи, их восприятие, воздействие, устранение*. М.: Научный мир; 2006.
20. 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>
29. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А. *Физико-химические исследования и методы контроля веществ в гигиене окружающей среды*. СПб.: Профессинал; 2012.
30. МУК 4.1.3181-14. Определение массовой концентрации аммиака в атмосферном воздухе и воздухе замкнутых помещений методом ионной хроматографии. М.; 2015.
31. МУК 4.1.1269-03. Измерение массовой концентрации сероводорода флуориметрическим методом в воздухе рабочей зоны и атмосферном воздухе населенных мест». М.; 2003.
43. *Рекомендации по качеству воздуха в Европе. Второе издание*. М.; 2004.
54. Рязанов В.А. Основные принципы гигиенического нормирования атмосферных загрязнений. *Гигиена и санитария*. 1949; 28(5): 3–9.

References

1. Institute of Air Quality Management (IAQM). Guidance on the assessment of odour for planning. London; 2014. Available at: <https://www.iaqm.co.uk/text/guidance/odour-guidance-2014.pdf>
2. Odour management in British Columbia: review and recommendations. Final report. Available at: <https://www.for.gov.bc.ca/hfd/library/documents/bib95377.pdf>
3. Guideline Odour Impact Assessment from Developments. Brisbane: Queensland Environmental Protection Agency; 2013. Available at: https://environment.des.qld.gov.au/_data/assets/pdf_file/0021/90246/guide-odour-impact-assess-developments.pdf
4. Analysis of existing regulation in odour pollution, odour impact criteria 1. D2.2. 2019. Available at: <https://dnoses.eu/wp-content/uploads/2019/10/D2.2-Analysis-of-existing-regulation-in-odour-pollution-odour-impact-criteria-1.pdf>
5. Bayle S., Cadiere A., Cariou S., Despres J.F., Fages M., Roig B., et al. Odour measurements at different methanisation sites. *Chem. Eng. Trans.* 2018; 68: 79–84. <https://doi.org/10.3303/CET1868014>
6. Peters G.M., Murphy K.R., Adamsen A.P.S., Bruun S., Svanström M., Ten Hoeve M. Improving odour assessment in LCA – the odour footprint. *Int. J. Life Cycle Assess.* 2014; 19(11): 1891–900. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0782-6>
7. Chirmata A., Ichou I.A. Odour impact assessment by means of dispersion modeling, dynamic olfactometry and mobile electronic nose around Agadir fishing port in Morocco. *J. Environ. Prot.* 2016; 7(12): 1745–64. <https://doi.org/10.4236/jep.2016.712141>
8. Gebicki J., Byliński H., Namięśnik J. Measurement techniques for assessing the olfactory impact of municipal sewage treatment plants. *Environ. Monit. Assess.* 2016; 188(1): 32. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5024-2>
9. Bokowa A., Diaz C., Koziel J.A., McGinley M., Barclay J., Schaubberger G., et al. Summary and overview of the odour regulations worldwide. *Atmosphere*. 2021; 12(2): 206. <https://doi.org/10.3390/atmos12020206>
10. St. Croix Sensory, Inc. Nasal Ranger – Field Olfactometer. Available at: <https://www.fivesenses.com/equipment/nasalranger/nasalranger/>
11. McGinley M.A., McGinley C.M. Developing a credible odour monitoring program. In: *Proceeding of International Conference on Environmental Odour Management*. Cologne; 2004: 271–80.
12. Dusseldorf, Germany Verband Deutscher Ingenieure. VDI-3940. Determination of odorants in ambient air by field inspections. Dusseldorf, Germany; 1993.
13. Sucker K., Muller F., Bischoff M., Both R., Winneke G. Assessment of frequency, intensity and hedonic tone of environmental odours in the field: A comparison of trained and untrained residents. In: *Proceeding of International Conference on Environmental Odour Management*. Cologne; 2004: 219–28.
14. Detection and Assessment of Odour in Ambient Air (Guideline on Odour in Ambient Air – GOAA). Dated 29 February 2008 with supplement of 10 September 2008. Available at: <https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/gerueche/pdf/GOAA10Sept08.pdf>
15. Mayorov V.A. *Odors, Their Perception, Impact, Elimination [Zapakhi, ikh vospriyatiye, vozdeystviye, ustraneniye]*. Moscow; 2006. (in Russian)
16. Chirmata A., Ichou I.A., Page T.A. Continuous electronic nose odor monitoring system in the city of Agadir Morocco. *J. Environ. Prot.* 2015; 6(01): 54–63.
17. Brancher M., De Melo Lisboa H. Odour impact assessment by community survey. *Chem. Eng. Trans.* 2014; (40): 139–44. <https://doi.org/10.3303/CET1440024>
18. Verein Deutscher Ingenieure. Effects and assessment of odours – Assessment of odour annoyance – Questionnaires. N VDI 3883 BLATT 1; 2015.
19. Odours and Human Health. Environmental Public Health Science Unit, Health Protection Branch, Public Health and Compliance Division, Alberta Health. Edmonton, Alberta; 2017. Available at: <https://open.alberta.ca/publications/9781460131534>
20. Goshin M.E., Bударина 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> (in Russian)
21. European Committee for Standardisation (Comité Européen de Normalisation). Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry. EN 13725:2003; 2003.
22. Horizontal Guidance for Odour. Part 1 – Regulation and Permitting. Draft. IPPC H4. Available at: https://www.zut.edu.pl/fileadmin/pliki/odory/pdf/IPPCC_H4_part_1.pdf
23. Horizontal Guidance for Odour. Part 2 – Assessment and Control. Draft. IPPC H4. Available at: https://www.zut.edu.pl/fileadmin/pliki/odory/pdf/IPPCC_H4_part_2.pdf
24. Assessment of community response to odorous emissions. R&D Technical report P4 – 095/TR, undertaken for the Environment Agency by OdourNet UK Ltd; 2002. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/290405/sp4-095-tr-e-e.pdf
25. Barclay J., Diaz C., Galvin G., Bellasio R., Tinarelli G., Diaz-Robles L.A., et al. New international handbook on the assessment of odour exposure using dispersion modelling. *Chem. Eng. Trans.* 2021; (85): 175–80. <https://doi.org/10.3303/CET2185030>
26. Oettl D., Ferrero E., Moshammer H., Weitenfelder L., Kropsch M., Mandl M. Recent developments in odour modeling and assessment in Styria and Salzburg, Austria. In: *Proceeding of the 19th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes (Harmo 19)*. Bruges, Belgium; 2019.
27. Guidelines for Environmental Risk Assessment and Management Green Leaves III. Defra and the Collaborative Centre of Excellence in Understanding and Managing Natural and Environmental Risks. Cranfield University; 2011. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69450/pb13670-green-leaves-iii-1111071.pdf
28. Odour Guidance for Local Authorities. Department for Environment, Food and Rural Affairs. London; 2010. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/645286/pb13554-local-auth-guidance-100326.pdf
29. Malysheva A.G., Rakhmanin Yu.A. *Physico-Chemical Studies and Methods of Control of Substances in Environmental Health [Fiziko-khimicheskie issledovaniya i metody kontrolya veshchestv v gigiene okruzhayushchey sredy]*. St. Petersburg: Professional; 2012. (in Russian)
30. МУК 4.1.3181-14. Determination of the mass concentration of ammonia in atmospheric air and indoor air by ion chromatography. Moscow; 2015. (in Russian)
31. МУК 4.1.1269-03. Measurement of the mass concentration of hydrogen sulfide by the fluorimetric method in the air of the working area and the atmospheric air of populated areas. Moscow; 2003. (in Russian)
32. Rumeau C., Nguyen D.T., Jankowski R. How to assess olfactory performance with the Sniffin' Sticks test(®). *Eur. Ann. Otorhinolaryngol. Head Neck Dis.* 2016; 133(3): 203–6. <https://doi.org/10.1016/j.anorl.2015.08.004>
33. Jacobsen-Garcia A., Dale M., Desrochers R., Krasner S. Total intensity of odor: A new method to evaluate odors. *J. Am. Water Works Assoc.* 2017; 109(2): E42–8. <https://doi.org/10.5942/jawwa.2017.109.0010>
34. Oettl D., Kropsch M., Mandl M. Odor assessment in the vicinity of a pig-fattening farm using field inspections (EN 16841-1) and dispersion modeling. *Atmos. Environ.* 2018; (181): 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.029>
35. Nicolas J., Romain A.C., Kuske M. The electronic nose: a tool for controlling the industrial odour emissions. In: *Proceeding of International Conference on Environmental Odour Management*. Cologne; 2004: 113–25.
36. Brancher M., David Griffiths K., Franco D., De Melo Lisboa H. A review of odour impact criteria in selected countries around the world. *Chemosphere*. 2016; 168(11): 1532–70. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.160>
37. Air quality and pollution rules. Ministry of the Environment, Conservation and Parks; Ontario, Canada. Available at: <https://www.ontario.ca/page/rules-air-quality-and-pollution>
38. Rules and Compliance. BAAQMD (Bay Area Air Quality Management District); California, USA. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/rule2-6_0.pdf
39. Regulation No.2 Odor Emission. Code of Colorado Regulations. Official Publication of the State Administrative Rules. Available at: <https://www.sos.state.co.us/CCR/NumericalCCRDList.do?deptID=16&agencyID=7>
40. Yang S.B. A comparative study on odor regulation in Japan and Korea. University of Ulsan, Korea. Available at: https://www.env.go.jp/en/air/odor/measure/02_2.pdf
41. Brancher M., Piringer M., Franco D., Belli Filho P., De Melo Lisboa H., Schaubberger G. Assessing the inter – annual variability of separation distances around odour sources to protect the residents from odour annoyance. *J. Environ. Sci. (Chi.)* 2019; 79 : 11–24. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.09.018>
42. Odor Index Regulation and Triangular Odor Bag Method. Office of Odor, Noise and Vibration, Environmental Management Bureau, Ministry of the Environment, Government of Japan. Available at: <https://www.env.go.jp/en/air/odor/regulation/all.pdf>
43. Air quality guidelines in Europe. Second edition. Moscow; 2004. (in Russian)

44. Good Practice Guide for Assessing and Managing Odour. Wellington; 2016. Available at: <https://environment.govt.nz/assets/Publications/good-practice-guide-odour.pdf>
45. Additional guidance for H4 Odour Management. How to comply with your environmental permit. Environment Agency. Bristol; 2011. <https://naturalresources.wales/media/1214/how-to-comply-with-your-environmental-permit-additional-guidance-for-h4-odour-management.pdf>
46. Zhang X. Comparison and research progress on determination and evaluation methods of odor monitoring. *Chin. Environ. Prot. Ind.* 2018; (11): 63–5.
47. Odor Complaint Investigation Procedures. Texas Commission on Environmental Quality; 2007. Available at: http://wpna.fried.cc/Odor_Complaint_Procedures.pdf
48. Invernizzi M., Capelli L., Sironi S. Quantification of Odour Annoyance–Nuisance. *Chem. Eng. Trans.* 2016; (54): 205–10. <https://doi.org/10.3303/CET1654035>
49. Boers D., Geelen L., Erbrink H., Smit L.A., Heederik D., Hooiveld M., et al. The relation between modeled odor exposure from livestock farming and odor annoyance among neighboring residents. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* 2016; 89(3): 521–30. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1092-4>
50. Claeson A.S., Liden E., Nordin M., Nordin S. The role of perceived pollution and health risk perception in annoyance and health symptoms: a population-based study of odorous air pollution. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* 2013; 86(3): 367–74. <https://doi.org/10.1007/s00420-012-0770-8>
51. De Feo G., De Gisi S., Williams I.D. Public perception of odour and environmental pollution attributed to MSW treatment and disposal facilities: a case study. *Waste Manag.* 2013; 33(4): 974–87. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.12.016>
52. Moshhammer H., Oetl D., Mandl M., Kropsch M., Weitensfelder L. Comparing annoyance potency assessment for odors from different livestock animals. *Atmosphere.* 2019; 10(11): 659. <https://doi.org/10.3390/atmos10110659>
53. Weitensfelder L., Moshhammer H., Öttl D., Payer I. Exposure-complaint relationships of various environmental odor sources in Styria, Austria. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2019; 26(10): 9806–15. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04410-z>
54. Ryazanov V.A. Basic principles of hygienic regulation of atmospheric pollution. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 1949; 28(5): 3–9. (in Russian)