



Транспортный шум как фактор риска здоровью населения и установления ограничений использования земельных участков городских и сельских поселений

В.Б. Алексеев, И.В. Май, С.В. Клейн, Д.Н. Кошурников

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, ул. Монастырская, д. 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация

Резюме

Введение. Шум является одним из приоритетных для изучения факторов вредного воздействия на окружающую среду и здоровье населения. Существующая тенденция показывает, что ситуация в крупных городах в части воздействия шума ухудшается. Нужны новые инструменты государственного регулирования по недопущению проживания населения в условиях санитарно-эпидемиологического неблагополучия. Существующая нормативная база, а также научные методические подходы позволяют управлять сложившейся ситуацией с сохранением здоровья граждан.

Цель: зонирование территории крупного города по уровням шума для задач градостроительного регулирования с оценкой риска здоровью городского населения в условиях воздействия автотранспортного шума.

Материалы и методы. В рамках акустического моделирования учтены данные о 4200 участках улично-дорожной сети в виде источников шума, эксплуатируемых порядка 300 тысяч транспортных единиц в сутки. Комплексные акустические расчеты выполнены с использованием программного обеспечения «Эколог-Шум», реализующего действующие нормативно-методические документы по распространению шума на местности. Расчеты выполнены для всей территории города в границах расчетного прямоугольника размером 50 × 35 км с шагом расчетной сетки 200 м. Отображение результатов зонирования выполнено с использованием геоинформационных систем. Расчет потенциального риска нарушений здоровья выполнен согласно действующей методологии по оценке риска здоровью населения от воздействия транспортного шума.

Основные результаты. На основе имитационного и ситуационного акустического моделирования распространения автотранспортного шума выполнено зонирование территории крупного города по уровням шума для задач градостроительного регулирования с оценкой потенциального риска нарушений здоровья городского населения. По результатам моделирования выделены зоны акустического дискомфорта с уровнями шума выше 55 и 45 дБА, принятых в качестве критериев безопасности для дневного и ночного времени суток соответственно. В рамках апробации выделено три основные зоны акустического воздействия на городское население: зона 1 (менее 45 дБА) – 255,44 км², зона 2 (45–55 дБА) – 263,72 км², зона 3 (более 55 дБА) – 289,88 км². Установлено, что большая часть населения проживает в зоне 3 – 893 306 человек, что потенциально может обуславливать формирование рисков нарушения здоровья. Результаты оценки риска здоровью показали, что при длительном (хроническом) воздействии на территории города формируются умеренные риски к 14 годам, высокие – к 45 годам и очень высокие – к 55 годам.

Заключение. Сложившаяся ситуация накладывает ограничения использования на ряд земельных участков города и требует выполнения совокупности шумозащитных мероприятий, минимизации жилой застройки, использования территории для целей, не связанных с постоянным проживанием граждан. На отдельных территориях данные результаты легли в основу принятия управленческих решений по пространственному развитию территорий города.

Ключевые слова: акустическое моделирование, шумовое воздействие, оценка риска от шума, территориальное планирование, пространственное зонирование.

Для цитирования: Алексеев В.Б., Май И.В., Клейн С.В., Кошурников Д.Н. Транспортный шум как фактор риска здоровью населения и установления ограничений использования земельных участков городских и сельских поселений // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 10. С. 25–32. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-10-25-32>

Сведения об авторах:

✉ Алексеев Вадим Борисович – д.м.н., директор; e-mail: root@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5850-7232>.

Май Ирина Владиславовна – д.б.н., профессор, заместитель директора по научной работе; e-mail: may@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>.

Клейн Светлана Владиславовна – д.м.н., доцент, заведующий отделом системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга; e-mail: kleyn@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>.

Кошурников Дмитрий Николаевич – старший научный сотрудник отдела системных методов социально-гигиенического анализа и мониторинга; e-mail: kdn@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5510-7388>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация результатов получение данных для анализа: Алексеев В.Б.; актуальность, заключение: Май И.В., Клейн С.В.; материалы и методы, результаты, обсуждение, аналитическая и экспериментальная часть работы, подготовка рукописи: Кошурников Д.Н. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 26.08.22 / Принята к публикации: 03.10.22 / Опубликовано: 14.10.22

Traffic Noise as a Factor of Health Risks and Restrictions on the Use of Land Plots of Urban and Rural Settlements

Vadim B. Alekseev, Irina V. May, Svetlana V. Kleyn, Dmitry N. Koshurnikov

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Street, Perm, 614045, Russian Federation

Summary

Introduction: Noise is one of the priority risk factors for human health and the environment. Urban noise exposure demonstrates a steady increase. New instruments of government regulation are necessary to prevent sanitary and epidemiological ill-being of the population. The existing regulatory framework and methodological approaches facilitate management of the current situation while maintaining health of citizens.

Objective: To zone the territory of a large city by noise levels for the tasks of urban planning and assessment of health risks posed by road traffic noise.

Materials and methods: Data on 4,200 sections of the road network as sources of urban noise with the average daily traffic of ca. 300,000 vehicles were used for acoustic modeling. Complex acoustic calculations were performed using the “Ecolog-Noise” software incorporating current regulations and guidelines on spatial distribution of noise for the entire area of the city within the boundaries of the computational rectangle sized 50 × 35 km and a grid step of 200 meters. The mapping of zoning results was made using geographic information systems. Potential risks of health disorders were assessed in accordance with the current methodology for assessing human health risk posed by traffic noise.

Results: Based on simulation and situational acoustic modeling of spatial distribution, we zoned the territory of the city by noise levels for the tasks of urban development and assessed potential health risks for its citizens. We established zones of acoustic discomfort with the noise levels above 55 dBA and 45 dBA, taken as safety criteria for daytime and nighttime, respectively. Three major zones with different levels of noise exposure were identified: zone 1 (< 45 dBA) with the area of 255.44 km²; zone 2 (45–55 dBA), 263.72 km²; and zone 3 (> 55 dBA), 289.88 km². We estimated that most city inhabitants (893,306 people) lived in the third zone and were at risk of noise-related health disorders. The results of health risk assessment showed that long-term exposure to urban noise generated moderate risks by 14 years of age and high and very high risks by 45 and 55 years of age, respectively.

Conclusion: Under current circumstances, the use of certain land plots in the city is limited. Such areas require effective noise protection and minimal residential development to eliminate human exposure to harmful noise levels. Our findings have substantiated managerial decisions on the spatial development of urban territories.

Keywords: acoustic modeling, noise exposure, health risk assessment, urban development, spatial zoning.

For citation: Alekseev VB, May IV, Kleyn SV, Koshurnikov DN. Traffic noise as a factor of health risks and restrictions on the use of land plots of urban and rural settlements. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(10):25–32. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-10-25-32>

Author information:

✉ Vadim B. Alekseev, Dr. Sci. (Med.), Director; e-mail: root@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5850-7232>.

Irina V. May, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Deputy Director for Research; e-mail: may@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>.

Svetlana V. Kleyn, Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Head of the Department of System Methods of Public Health Analysis and Monitoring; e-mail: kleyn@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>.

Dmitry N. Koshurnikov, Senior Researcher, Department of System Methods of Public Health Analysis and Monitoring; e-mail: kdn@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5510-7388>.

Author contributions: study conception and design, data acquisition, analysis and interpretation of the results: Alekseev V.B.; relevance, conclusion: May I.V., Kleyn S.V.; materials and methods, results, discussion, analytical and experimental part of work, draft manuscript preparation: Koshurnikov D.N. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Ethics approval was not required for this study.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: August 26, 2022 / Accepted: October 3, 2022 / Published: October 14, 2022

Введение. Обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения является стратегической задачей Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор). В текущих условиях развития мира в целом и РФ в частности с появлением наилучших доступных технологий казалось возможным управлять всеми факторами вредного воздействия. Однако рост количества тиражированных наилучших доступных технологий в развитии промышленного производства и предметов благосостояния населения сводит на нет попытку улучшения качества среды обитания. Установлено, что основными вредными факторами XXI века являются загрязнение атмосферного воздуха, а также воздействие детерминантов физической природы, в частности шума [1].

В последние годы отмечается непрерывное повышение шумового фона городов. Эквивалентные уровни звука в таких городах, как Париж, Рим, Нью-Йорк, Мехико, Москва, достигают 75–80 дБА. Городской шум имеет тенденцию к росту. Уровень шума в городах возрастает ежегодно в среднем на 0,5–1,0 дБА. Эта тенденция сохраняется, несмотря на ужесточение норм к средствам транспорта. По прогнозам, тенденция к усилению шума в городах в ближайшие годы будет сохраняться [2].

Шумовое загрязнение, характерное сейчас для крупных городов, сокращает продолжительность жизни их жителей на 10–12 лет. Всеобщий рост парка транспортных средств, развитие сети автомобильных дорог, приближенных к существующей жилой застройке, развитие новых территорий, обусловленных транспортной доступностью, —

все это приводит к появлению зон акустического дискомфорта, то есть областей, в которых показатели шума превышают предельно допустимые значения.

Выделяют психологический (раздражение), функциональный (мешает какой-либо деятельности) и физиологический (потеря слуха и т. д.) аспекты вредного воздействия шумового фактора.

Согласно нормативам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), сердечно-сосудистые заболевания могут возникнуть, если человек по ночам постоянно подвергается воздействию шума громкостью 50 дБ или выше — такой шум издает улица с неинтенсивным движением. Для того чтобы заработать бессонницу, достаточно шума в 42 дБ; чтобы просто стать раздражительным — 35 дБ (звук шепота) [3–8].

Формируемые нарушения в состоянии здоровья городского населения в первую очередь связаны с условиями проживания (пребывания) людей в объектах капитального строительства и на прилегающей территории [9, 10]. Использование земельных участков городских и сельских поселений должно осуществляться с учетом санитарных правил и нормативов, в том числе по шумовому фактору¹, с установлением зон ограничения использования городских и сельских территорий.

В условиях современного уплотнения городской застройки распространение звуковых волн приобретает новую модель распределения шума с учетом множественных отражений звука и формирования зон акустического дискомфорта на территории как существующей, так и перспективной жилой застройки. Городской, или, как еще называют, «коммунальный», шум обусловлен

¹ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

преимущественно транспортным воздействием, включая автомобильный, авиационный и железнодорожный [11, 12].

По многочисленным исследованиям определено, что наиболее значимым источником транспортного шума является автомобильный транспорт (вклад в акустическое загрязнение крупных городов составляет до 80 %), который характеризуется колоссальным количеством источников шума, представляющих собой совокупность участков улично-дорожной сети (УДС), и значительной протяженностью автомобильных дорог [13–15].

В последние годы широкое применение получило ситуационное и имитационное моделирование распространения шума для задач оценки, контроля и управления воздействием шумовым фактором в условиях крупных мегаполисов с последующим зонированием территории населенного пункта. Данные методические подходы широко применяются в зарубежной и отечественной практике градостроительного планирования и территориального зонирования населенных мест [16–20].

Используемая в отечественной практике методология акустического картирования (зонирования) территорий населенных пунктов по шумовому фактору полностью соответствует Директиве Европейского парламента и Европейского союза 2002/49/ЕС от 25 июня 2002 г. об оценке и регулировании шума окружающей среды².

Однако нормирование шума не отражает характера последствий со стороны здоровья населения городских и сельских населенных пунктов в отдаленной перспективе с учетом длительного проживания под воздействием шума. Согласно введенным в действие в 2012 году МР 2.1.10.0059–12³ в качестве критерия возможности использования городских и сельских территорий могут быть применены критерии риска нарушений здоровья населения под воздействием шумового фактора, рассчитанного на основании эволюционного моделирования с учетом заданных сценариев акустического воздействия. Установленная процедура по оценке риска выполняется по классической схеме (идентификация опасности, оценка зависимостей «экспозиция – ответ» («экспозиция – эффект»), оценка экспозиции, характеристика риска), в которую введены элементы динамичности, учитывается эволюция, нарастание риска с увеличением периода воздействия [21].

В соответствии с методикой МР 2.1.10.0059–12³ для оценки формируемых рисков нарушений здоровья населения оцениваются полученные скорректированные уровни шума как отправная точка для оценки экспозиции за оцениваемый промежуток времени через учет числа и продолжительности шумовых событий. В качестве показателя экспозиции при воздействии шума, согласно методике, используется величина эквивалентного уровня средневзвешенного шума ($L_{Aeq,t}$, дБА) как меры контакта населения с вредным фактором по уравнению (1):

$$L_{DN} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(16 \cdot 10^{\frac{L_{Aday}}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{Anight+10}}{10}} \right) \quad (1)$$

где $L_{Aday} = L_{Aeq,16}$ – эквивалентный скорректированный 16-часовой уровень дневного шума;

$L_{Anight} = L_{Aeq,8}$ – эквивалентный скорректированный 8-часовой уровень ночного шума.

В основе оценки зависимости «экспозиция – ответ» лежат рекуррентные уравнения нарастания риска, построенные на основании признанных парных математических моделей. Для оценки зависимостей в методике приняты модели связи фактора транспортного шума с показателями состояния здоровья населения, доказанными в эпидемиологических исследованиях по трем основным органам и системам: органы слуха, сердечно-сосудистая и нервная системы. Перечисленные органы и системы являются основными органами-мишенями при воздействии шума, что подтверждается докладами ВОЗ⁴ и актуальными научными данными [22, 23]. Оценка агрегированного риска нарушений здоровья в отношении органов-мишеней, основанная на эволюционных математических моделях развития неблагоприятных эффектов под воздействием шума, выполняется решением системы рекуррентных уравнений (2):

$$\begin{cases} R_{t+1}^{Acc} = R_t^{Acc} + \left[0,0118 \cdot R_t^{Acc} + 0,001 \cdot \left\langle \frac{L_{den,t} \cdot (1 - R_t^{Acc})}{50} - 1 \right\rangle \right] C \\ R_{t+1}^{Aci} = R_t^{Aci} + \left[0,052 \cdot R_t^{Aci} + 0,015 \cdot \left\langle \frac{L_{den,t} \cdot (1 - R_t^{Aci})}{58,5} - 1 \right\rangle \right] C \\ R_{t+1}^{Anc} = R_t^{Anc} + \left[0,0074 \cdot R_t^{Anc} + 0,0016 \cdot \left\langle \frac{L_{den,t} \cdot (1 - R_t^{Anc})}{43} - 1 \right\rangle \right] C \end{cases} \quad (2)$$

где: начальные уровни (R_t при $t = 0$): $R_0^{Acc} = 0,023$; $R_0^{Aci} = 0,007$; $R_0^{Anc} = 0,02855$;

R_t^{Ai} – риск нарушения i -й системы органов на начальный (заданный) момент времени t ;

R_{t+1}^{Ai} – риск нарушения i -й системы органов для следующего временного шага ($t + 1$) (зависит от C);

R_t^{Aci} – агрегированный риск развития нарушений различной тяжести слухового аппарата (шум в ушах; кондуктивная нейросенсорная потеря слуха; потеря слуха, вызванная шумом) на момент времени t ;

R_t^{Acc} – агрегированный риск развития нарушений различной тяжести сердечно-сосудистой системы (повышение кровяного давления, гипертензивная болезнь сердца, ишемическая болезнь сердца, стенокардия, инфаркт миокарда) вызванная шумом) на момент t ;

R_t^{Anc} – агрегированный риск развития на момент t нарушений нервной системы (нервное напряжение, расстройство сна, когнитивные нарушения, вегетососудистая дистония);

$L_{den,t}$ – средневзвешенный суточный уровень шума в исследуемый период t , дБ;

² Директива Европейского парламента и Европейского союза 2002/49/ЕС от 25 июня 2002 г. об оценке и регулировании шума окружающей среды [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://base.garant.ru/71148134/> (дата обращения: 10.08.2022 г.).

³ МР 2.1.10.0059–12 «Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума»: Методические рекомендации. Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 40 с.

⁴ WHO Regional Office for Europe. Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018). [Электронный ресурс.] Режим доступа: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2018/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018> (дата обращения: 15.08.2022 г.).

C – временной эмпирический коэффициент;
 $\langle x \rangle$ – скобки Келли, принимающие значения
 $\langle x \rangle = 0$ при $x < 0$ и $\langle x \rangle = x$ при $x \geq 0$.

Стоит отметить, что начальные уровни тяжести формируемых эффектов со стороны здоровья в отношении основных органов-мишеней могут отличаться для разных субъектов Российской Федерации при наличии обоснованных данных о фактически реализованных заболеваниях, обусловленных воздействием шумового фактора.

Действующая методология по оценке риска здоровью населения содержит порядок оценки уровней формируемого риска в виде шкалы риска с последующей проработкой необходимых мероприятий, в частности: *величина индекса риска менее 0,05* характеризуется как пренебрежительно малый, приемлемый риск; *величина индекса риска в диапазоне 0,05–0,35* характеризуется как умеренный, неприемлемый риск; *величина индекса риска в диапазоне 0,35–0,6* характеризуется как высокий, неприемлемый риск; *величина индекса риска более 0,6* характеризуется как очень высокий, неприемлемый риск. К основным процедурам можно отнести проведение мониторинга шумовой нагрузки, внедрение шумозащитных мероприятий, контроль за ними, а также регулярный пересмотр уровней формируемого риска для здоровья населения.

Научная основа обоснования необходимости внедрения шумозащитных мероприятий позволила установить в качестве критерия уровни формируемого риска возможных нарушений здоровья населения. Приведенные критерии позволяют установить ограничения использования земельных участков под перспективное жилищное строительство и иные объекты, нормируемые по шумовому фактору в рамках градостроительного планирования и территориального зонирования городских и сельских территорий.

В рамках настоящего исследования апробирован подход по акустическому зонированию исследуемой территории с оценкой ожидаемых последствий для здоровья населения под воздействием хронической экспозиции автотранспортного шума.

Результаты настоящего исследования будут способствовать принятию обоснованных управленческих решений по размещению новых объектов, развитию территорий и градостроительному планированию, исключая нарушения санитарного законодательства.

Целью исследования являлось зонирование территории крупного города по уровням шума для задач градостроительного регулирования с оценкой риска здоровью городского населения в условиях воздействия автотранспортного шума.

Объектом исследования была определена территория города Перми для задач комплексных акустических расчетов и зонирования территории.

Материалы и методы. В рамках настоящего исследования во внимание были приняты данные об интенсивности и структуре транспортных потоков города с оценкой формируемых уровней транспортного шума. Акустическая характеристика транспортных потоков в виде отдельных участков улично-дорожной сети основывалась на таких параметрах, как интенсивность автомобилей за

единицу времени; средняя скорость движения; уклон и вид дорожного покрытия⁵.

Информация об интенсивности и структуре транспортного потока автотранспортных магистралей города была получена от департамента дорог и транспорта администрации города Перми, а также от иных органов власти, уполномоченных на сбор и анализ информации о транспортных потоках города. Данные об интенсивности транспортных потоков приняты на уровне 2020 года. В отдельных случаях при отсутствии данных об интенсивности и верификации расчетных данных для исследования был привлечен испытательный лабораторный центр ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» с оформлением результатов инструментальных измерений в виде протоколов. Результатом расчета уровня шума являлся эквивалентный уровень звука, являющийся исходным количественным параметром на этапе оценки акустической экспозиции. Пиковые нагрузки вносят наибольший вклад в общую хроническую шумовую экспозицию и формируют основные зоны акустического дискомфорта в условиях плотной городской застройки.

В рамках настоящей исследовательской работы была использована информация о 4200 участках УДС в виде источников шума, эксплуатирующих порядка 300 тысяч транспортных единиц в сутки.

Акустические расчеты выполнены с использованием программного продукта, реализующего действующие нормативно-методические документы на территории Российской Федерации по распространению шума на местности. В частности, акустические расчеты были проведены в программе «Эколог-Шум» (фирма «Интеграл») с использованием дополнительных модулей по расчетам шума. Используемый программный продукт имеет сопряжение с геоинформационными системами (далее – ГИС), которые позволяют визуализировать как исходные данные, так и результаты модельных расчетов.

Значительный вклад в картину распространения шума вносит эффект многократного отражения от фасадов зданий. Сложность учета отражения звука заключается в том, что количество отражений растет экспоненциально с каждой итерацией, т. е. на первой итерации рассматриваются однократные отражения звука от фасадов, на второй – отражения второго порядка и т. д.

Для моделирования была использована векторная карта города Перми, основанная на совокупности электронных слоев градостроительного и ландшафтного характера, положенная в основу для электронной привязки источников шумового воздействия.

Дополнительно в модельных расчетах учтены данные об объектах капитального строительства, расположенных в границах города в виде порядка 12 000 объектов, учтенных в расчетах в качестве объектов экранирования и поглощения звуковых волн.

Принятая УДС характеризовалась наиболее востребованными и загруженными автомагистралями города, предварительными формирующими зоны акустического дискомфорта в районах и микрорайонах города с плотной городской

⁵ Пособие к МГСН 2.04–97 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий». М., 1998. 57 с.

застройкой. В общем виде акустическая оценка г. Перми включала анализ взаимного расположения объектов капитального строительства и линейных источников шума, описание сложившейся градостроительной ситуации с позиций соблюдения установленных экологических и гигиенических критериев шумового воздействия в целом по городу.

Расчеты выполнены для всей территории города в границах расчетного прямоугольника размером 50 × 35 км с шагом расчетной сетки 200 м. Расчеты проводились в приземном слое атмосферы на высоте 1,5 м от земли на уровне слышимости человеком, что целесообразно в первую очередь при нахождении населения на территории.

Результаты. По результатам комплексных акустических расчетов была построена схема шумового воздействия на всей территории города Перми и определены территории акустического дискомфорта, выделенные по действующим экологическим и гигиеническим критериям воздействия шума на селитебную территорию. В частности, на территории города были выделены зоны акустического дискомфорта с уровнями шума выше 55 и 45 дБА, принятых в качестве критериев безопасности для дневного и ночного времени суток соответственно.

В связи с тем что городской шум обусловлен автотранспортным источником воздействия, основные зоны акустического дискомфорта формировались вдоль автотранспортных магистралей, на пересечении улиц, развязок и иных автотранспортных объектов, принятых в качестве источников шума.

Первичный анализ показал, что порядка 60 % селитебной территории города находится в зонах акустического дискомфорта с уровнями шума выше установленных гигиенических нормативов для дневного и ночного времени суток.

По результатам комплексных акустических расчетов на территории города выделены зоны акустического дискомфорта, формирующиеся вдоль основных автомагистралей города Перми с уровнями шума 60–70 дБА. На отдельных территориях спальных районов и внутри групп объектов капитального строительства отмечено формирование эквивалентных уровней для дневного времени в диапазоне 55–65 дБА. На отдельных территориях города формировались зоны акустической тишины с уровнями шума

менее 55 дБА, что обусловлено удаленностью от источников шума, наличием существующей застройки в виде объектов экранирования.

Результаты акустических расчетов показали, что в условиях высокой интенсивности движения (до 1850 машин в час) расчетные уровни шума в точках жилой застройки достигали 77,0 дБА. В зонах акустической тишины, преимущественно расположенных в границах комплексов зданий и кварталов, позволяли сохранить допустимый уровень, при этом минимальные значения составили порядка 37,3 дБА. Частично верифицированные данные результатами инструментальных измерений позволили подтвердить эту тенденцию. В частности, выполненные инструментальные измерения повсеместно были близки расчетным уровням: в дневное время суток были зафиксированы показатели в диапазоне от 50,6 до 76,9 дБА, в вечернее время суток шум отмечен в диапазоне от 61,0 до 74,4 дБА, ночью уровень шума снижался до 44,9–45,5 дБА, достигая нормативов.

По результатам объединения совокупности точек расчетной сетки были выделены три основные зоны акустического воздействия на городское население:

– зона 1 (менее 45 дБА) – характеризуется отсутствием превышения ночного и дневного предельно допустимых уровней шума для территорий жилой застройки;

– зона 2 (45–55 дБА) – характеризуется превышением ночного и отсутствием превышения дневного предельно допустимых уровней шума для территорий жилой застройки;

– зона 3 (более 55 дБА) – характеризуется превышением ночного и дневного предельно допустимых уровней шума для территорий жилой застройки.

Для формирования конкретных ограничений использования земельных участков, обусловленных нарушением санитарных правил и нормативов, для территорий были определены площади, потенциально не предназначенные для размещения объектов жилой застройки и иных нормируемых объектов (табл. 1).

Полученные объединенные зоны были сопоставлены с данными точек проживания населения города для задач определения численности городского населения, проживающего в условиях воздействия вредного шумового фактора (табл. 2).

В целом на исследуемой территории в пределах города проживает 1 042 763 человека. Фактически

Таблица 1. Площадь территории города по зонам с различными уровнями шумового воздействия

Table 1. The area of urban zones with different noise exposure levels

Площадь, км ² / Area, km ²	Зоны с различной шумовой нагрузкой / Zones with different noise levels		
	зона 1 (менее 45 дБА) / zone 1 (< 45 dBA)	зона 2 (45–55 дБА) / zone 2 (45–55 dBA)	зона 3 (более 55 дБА) / zone 3 (> 55 dBA)
В условиях воздействия транспортного шума / Exposed to traffic noise	255,44	263,72	289,88

Таблица 2. Численность населения, проживающего в зонах различного шумового воздействия

Table 2. The size of population living in the urban zones with different noise levels

Население / Population	Зоны с различной шумовой нагрузкой / Zones with different noise levels		
	зона 1 (менее 45 дБА) / zone 1 (< 45 dBA)	зона 2 (45–55 дБА) / zone 2 (45–55 dBA)	зона 3 (более 55 дБА) / zone 3 (> 55 dBA)
В условиях воздействия транспортного шума / Exposed to traffic noise	94 628	54 829	893 306

в условиях воздействия шумового фактора, преимущественно обусловленного транспортным шумом, проживает все население города. Согласно табл. 2 установлено, что большая часть населения проживает на территориях с превышением установленных гигиенических нормативов (зона 3 – 893 306 человек), что потенциально может обуславливать формирование рисков нарушения здоровья. Таким образом, в условиях развитой транспортной сети крупного города фактически порядка 10 % населения проживает в условиях соблюдения допустимых уровней шума. В большинстве случаев формирование рисков нарушения здоровья обусловлено близостью автомагистралей города к селитебным территориям.

Полученные результаты акустической оценки не позволяют всецело оценить возможные риски, связанные с нарушениями здоровья вследствие длительного проживания на территориях, подверженных воздействию транспортного шума. Выполненная в рамках настоящего исследования оценка риска в зоне с наибольшими уровнями шумовой экспозиции позволила обосновать ограничения использования земельных участков для проживания населения. За основу был принят средневзвешенный суточный уровень эквивалентного шума, принятый в среднем по городу на уровне 67,5 дБА, что обусловлено близостью расположения к источникам транспортного шума (табл. 3).

Оценка риска здоровью показала, что уровни средневзвешенного суточного шума $L_{\text{дн}} = 67,5$ дБА при длительном (хроническом) воздействии в первую очередь оказывают влияние на сердечно-сосудистую систему, что приводит к возникновению умеренных рисков к 18 годам, высоких – к 47 годам и очень высоких – к 56 годам. Выявленные нарушения могут проявляться в виде гипертонии, болезней сердца, инфаркта и других.

Установлено, что проживание в течение более 14 лет на территориях с выявленными уровнями шумовой нагрузки может иметь следствием негативные изменения в состоянии здоровья. Ситуация требует выполнения ряда шумозащитных мероприятий, минимизации жилой застройки, использования территории для целей, не связанных с постоянным проживанием граждан. При этом выявлено, что градиент нарастания неблагоприятных эффектов у лиц пожилого возраста более высок, чем у лиц юного и молодого возраста. Это свидетельствует о том, что процесс нарастания риска неравномерен и существуют группы риска населения, которые требуют более пристального внимания и разработки повышенных мер защиты при воздействии шумового фактора [24, 25].

Выводы

1. Для ряда территорий города использование методических подходов по зонированию в рамках реализации комплексных строительных проектов показало, как изменится акустическая ситуация. Данные обоснования легли в основу принятия управленческих решений по пространственному развитию территорий города.

2. Обращаясь к цели настоящего исследования, стоит отметить, что выделение зон акустического

дискомфорта в крупном промышленном центре и оценка динамики в приоритетных зонах являются инструментами территориального зонирования.

3. В качестве перспективы оценки территории города в соответствии с функциональным зонированием или территориальным планированием могут быть использованы критерии риска нарушений здоровья, связанного с воздействием шумового фактора. Оценка обоснования безопасности перспективного проживания населения на планируемых территориях города может быть выполнена с использованием методических подходов, изложенных в МР 2.1.10.0059–12⁶.

4. Использование методических подходов зонирования городских территорий по шумовому фактору, сопряженное с оценкой прогнозного риска нарушений здоровья населения, позволит обосновать использование земельных участков в границах городских территорий, подверженных неблагоприятному воздействию транспортного шума.

5. Результаты исследования могут быть востребованы администрацией города, в том числе как информационная основа для принятия решений по снижению шумового воздействия, обусловленного транспортным шумом. Актуальными для жителей города могут быть любые технические, архитектурно-планировочные, организационные и иные мероприятия, позволяющие обеспечить допустимые нормы шума, дополненные прогнозными величинами риска при длительном проживании на рассматриваемой территории.

6. В качестве перспективы настоящего исследования могут служить последующие детализированные акустические расчеты, передающие механизмы отражения и поглощения звуковых волн с выделением локальных зон акустической тишины. Дополнительно в рамках установления причинно-следственных связей возможных нарушений здоровья, потенциально связанных с автотранспортным шумом, могут быть использованы результаты анкетирования жителей территорий, что рекомендовано ВОЗ⁷.

Список литературы

1. Пыко А.В., Мукалова О.А., Пыко А.А. Влияние транспортного шума и загрязнения воздуха на метаболическую и сердечно-сосудистую заболеваемость и смертность // Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски. 2018. Т. 2. № 1. С. 270–279.
2. Васильев А.В. Шум как фактор экологического риска в условиях урбанизированных территорий // Noise Theory and Practice. 2015. Т. 1. № 2 (2). С. 7–40.
3. Шишелова Т.И., Малыгина Ю.С., Нгуен Суан Дат. Влияние шума на организм человека // Успехи современного естествознания. 2009. № 8 (приложение). С. 14–15.
4. Babisch W. Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: A meta-analysis. *Noise Health*. 2014;16(68):1-9. doi: 10.4103/1463-1741.127847
5. Andersson EM, Ögren M, Molnár P, Segersson D, Rosengren A, Stockfelt L. Road traffic noise, air pollution and cardiovascular events in a Swedish cohort. *Environ Res*. 2020;185:109446. doi: 10.1016/j.envres.2020.109446
6. Christensen JS, Raaschou-Nielsen O, Tjønneland A, et al. Long-term exposure to residential traffic noise and changes in body weight and waist circumference: A cohort study. *Environ Res*. 2015;143(Pt A):154-161. doi: 10.1016/j.envres.2015.10.007
7. Foraster M, Eze IC, Vienneau D, et al. Long-term transportation noise annoyance is associated with subsequent

⁶ МР 2.1.10.0059–12 «Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума»: Методические рекомендации. Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 40 с.

⁷ WHO Regional Office for Europe. Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018). 2018. [Электронный ресурс.] Режим доступа: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2018/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018> (дата обращения: 15.08.2022 г.)

Таблица 3. Риск здоровью населения (\tilde{R}_t^{Acov}) в условиях хронической экспозиции средневзвешенного суточного шума $L_{Adn} = 67,5$ дБА
Table 3. Public health risk (\tilde{R}_t^{Acov}) of long-term exposure to noise with its average daily level $L_{Adn} = 67.5$ dBA

Возраст / Age	Риск нарушений слуха под воздействием фактора / Risk of traffic noise-related cardiovascular diseases	Риск заболеваний нервной системы под воздействием фактора / Risk of traffic noise-related nervous diseases	Дополнительный риск заболеваний сердечно-сосудистой системы под воздействием шума / Additional risk of traffic noise-related cardiovascular diseases	Дополнительный риск заболеваний нервной системы под воздействием шума / Additional risk of traffic noise-related nervous diseases	Приведенный риск заболеваний органов слуха под воздействием фактора / Reduced risk of traffic noise-related hearing loss	Приведенный риск заболеваний сердечно-сосудистой системы под воздействием фактора / Reduced risk of traffic noise-related cardiovascular diseases	Приведенный риск заболеваний нервной системы под воздействием фактора / Reduced risk of traffic noise-related nervous diseases	Совокупный приведенный индекс риска органов слуха, сердечно-сосудистой системы, нервной системы под воздействием шумовой нагрузки / Aggregated reduced index of risk of hearing loss, cardiovascular and nervous diseases posed by traffic noise
t	R_t^{Acc} / R_t^{Acv}	R_t^{Acc} / R_t^{Ans}	$\Delta R_t^{dt} = R_t^{dt} - R_t^{dtfb} / \Delta R_t^{dt} = R_t^{dt} - R_t^{dtfb}$	$\tilde{R}_t^{dt} = \frac{\Delta R_t^{dt}}{1 - R_t^{dtfb}} / R_t^{dt} = \frac{\Delta R_t^{dt}}{1 - R_t^{dtfb}}$	$\tilde{R}_t^{dt} = \frac{\Delta R_t^{dt}}{1 - R_t^{dtfb}} / R_t^{dt} = \frac{\Delta R_t^{dt}}{1 - R_t^{dtfb}}$	$\tilde{R}_t^{Acov} = \frac{\Delta R_t^{Acov}}{1 - R_t^{Acovfb}} / R_t^{Acov} = \frac{\Delta R_t^{Acov}}{1 - R_t^{Acovfb}}$	$\tilde{R}_t^{dtotal} = \frac{\Delta R_t^{dtotal}}{1 - R_t^{dtotalfb}}$	
1	0,0236	0,0296	0,0003	0,0019	0,0009	0,0002	0,001	0,003
5	0,0260	0,0339	0,0016	0,0105	0,0043	0,011	0,004	0,017
10	0,0292	0,0353	0,0033	0,0237	0,0088	0,024	0,009	0,036
14	0,0319	0,041	0,0047	0,0367	0,0124	0,037	0,013	0,054
15	0,0325	0,0452	0,0051	0,0404	0,0133	0,041	0,014	0,059
18	0,0346	0,0487	0,0062	0,0525	0,0161	0,053	0,017	0,075
20	0,0361	0,0511	0,0070	0,0616	0,0180	0,063	0,019	0,087
30	0,0437	0,0634	0,0110	0,1230	0,0278	0,127	0,029	0,162
40	0,0521	0,0765	0,0154	0,2232	0,0381	0,236	0,040	0,278
45	0,0567	0,0833	0,0177	0,2952	0,0435	0,317	0,045	0,360
46	0,0576	0,0847	0,0182	0,3119	0,0446	0,336	0,046	0,379
47	0,0586	0,0861	0,0187	0,3294	0,0457	0,356	0,048	0,399
50	0,0615	0,0903	0,0202	0,3876	0,0490	0,425	0,051	0,466
55	0,0666	0,0975	0,0227	0,5061	0,0547	0,571	0,057	0,605
56	0,0676	0,0990	0,0233	0,5336	0,0558	0,606	0,058	0,638
60	0,0719	0,1049	0,0254	0,6583	0,0605	0,771	0,063	0,792
70	0,0835	0,1204	0,0312	0,7567	0,0725	1,000	0,076	1,000
80	0,0963	0,1367	0,0375	0,5960	0,0852	1,000	0,090	1,000



- lower levels of physical activity. *Environ Int.* 2016;91:341-349. doi: 10.1016/j.envint.2016.03.011
8. Hume KI, Brink M, Basner M. Effects of environmental noise on sleep. *Noise Health.* 2012;14(61):297-302. doi: 10.4103/1463-1741.104897
 9. Хусаинов И. Г. Математическое моделирование защиты объектов от шума // Современная математика и ее приложения: материалы международной научно-практической конференции, Уфа, 18–20 мая 2017 года. Уфа: Башкирский государственный университет, Стерлитамакский филиал, 2017. С. 367–372.
 10. Зинкин В.Н. Негативные последствия промышленного и транспортного шума на окружающую среду и население // Материалы XII международной научной конференции «Системный анализ в медицине» (САМ 2018) / под общ. ред. В.П. Колосова. Благовещенск, 2018. С. 177–181.
 11. Иванов Н.И., Буторина М.В., Минина Н.Н. Проблема защиты от шума // Вестник МГСУ. 2011. № 3-1. С. 135–145
 12. Eriksson C, Bodin T, Selander J. Burden of disease from road traffic and railway noise – a quantification of healthy life years lost in Sweden. *Scand J Work Environ Health.* 2017;43(6):519-525. doi: 10.5271/sjweh.3653
 13. Васильев А.В. Анализ шумовых характеристик селитебной территории г. Тольятти // Экология и промышленность России. 2005. № 4. С. 20–23.
 14. Васильев А.В. Шумовая безопасность урбанизированных территорий. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1. С. 299–305.
 15. Гуськов А.А., Степанов Н.А., Анохин С.А. Исследование транспортного шума в городе Тамбове // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2021. Т. 18. № 5(81). С. 554–564. doi: 10.26518/2071-7296-2021-18-5-554-564
 16. Кошурников Д.Н., Максимова Е.В. Обзор зарубежной и отечественной практики шумового картирования (noise mapping) в условиях плотной городской застройки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2018. № 3 (31). С. 27–43. doi: 10.15593/2409-5125/2018.03.03
 17. Подколзин П.Л., Преликова Е.А. Роль шумовой карты в создании комфортной среды проживания // Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность 2020): Материалы II Международной научно-практической конференции, Уфа, 08 апреля 2020 года. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет. 2020. С. 238–241.
 18. Tsai K-T, Lin M-D, Chen Y-H. Noise mapping in urban environments: A Taiwan Study. *Applied Acoustics.* 2009;70(7):964-972. doi: 10.1016/j.apacoust.2008.11.001
 19. Law CW, Lee CK, Lui ASW, Yeung MKL, Lam KC. Advancement of three-dimensional noise mapping in Hong Kong. *Appl Acoust.* 2011;72(1):534-543. doi: 10.1016/j.apacoust.2011.02.003
 20. Семейкин А.Ю. Оценка шумовой обстановки городской среды в отдельных микрорайонах г. Белгорода // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 9. С. 56–60. doi: 10.12737/article_59a93b0921c674.33606701
 21. Клепиков О.В., Степкин Ю.И., Хорпякова Т.В. Автотранспортный шум в городе и связанный с ним риск для здоровья населения // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2018. № 3. С. 50–55.
 22. Иванова И.Л., Жигаев Д.С., Кислицына Л.В., Вазенина А.А., Транковская Л.В. Гигиеническая оценка шумового загрязнения города Владивостока // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2019. № 2 (78). С. 9–13. doi: 10.5281/zenodo.3262050
 23. Basner M, McGuire S. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and effects on sleep. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;15(3):519. doi: 10.3390/ijerph15030519
 24. Koshurnikov D. Acoustic modeling for the tasks of hygienic assessment of the urban environment. *Akustika.* 2019;34:37-41.
 25. Zaitseva N, May I, Koshurnikov D, Balashov S. Evolution of the health disorders risk in the population under development of urbanized territories. *Akustika.* 2021;39:201-206. doi: 10.36336/akustika202139199
 4. Babisch W. Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: A meta-analysis. *Noise Health.* 2014;16(68):1-9. doi: 10.4103/1463-1741.127847
 5. Andersson EM, Ögren M, Molnár P, Segersson D, Rosengren A, Stockfelt L. Road traffic noise, air pollution and cardiovascular events in a Swedish cohort. *Environ Res.* 2020;185:109446. doi: 10.1016/j.envres.2020.109446
 6. Christensen JS, Raaschou-Nielsen O, Tjønneland A, et al. Long-term exposure to residential traffic noise and changes in body weight and waist circumference: A cohort study. *Environ Res.* 2015;143(Pt A):154-161. doi: 10.1016/j.envres.2015.10.007
 7. Foraster M, Eze IC, Vienneau D, et al. Long-term transportation noise annoyance is associated with subsequent lower levels of physical activity. *Environ Int.* 2016;91:341-349. doi: 10.1016/j.envint.2016.03.011
 8. Hume KI, Brink M, Basner M. Effects of environmental noise on sleep. *Noise Health.* 2012;14(61):297-302. doi: 10.4103/1463-1741.104897
 9. Khusainov IG. Mathematical modeling of protection of objects from noise. In: *Modern Mathematics and its Applications: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Ufa, May 18–20, 2017.* Ufa: Bashkir State University, Sterlitamak branch Publ.; 2017:367-372. (In Russ.)
 10. Zinkin VN. The negative consequences of industrial and transport noise on the environment and the population. In: Kolosov VP, ed. *System Analysis in Medicine: Proceedings of the 12th International Scientific Conference, Blagoveshchensk, October 18–19, 2018.* Blagoveshchensk: Far East Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration Publ.; 2018:177-181. (In Russ.)
 11. Ivanov NI, Butorina MV, Minina NN. Noise protection problem. *Vestnik MGSU.* 2011;(3-1):135-145. (In Russ.)
 12. Eriksson C, Bodin T, Selander J. Burden of disease from road traffic and railway noise – a quantification of healthy life years lost in Sweden. *Scand J Work Environ Health.* 2017;43(6):519-525. doi: 10.5271/sjweh.3653
 13. Vasiliev AV. The analysis of noise characteristics of Tolyatti's residential territories. *Ekologiya i Promyshlennost' Rossii.* 2005;(4):20-23. (In Russ.)
 14. Vasilyev AV. Noise safety as a part of ecological safety of urban territories. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk.* 2014;16(1):299-305. (In Russ.)
 15. Guskov AA, Stepanov NA, Anokhin SA. Traffic noise research in Tambov city. *Vestnik Sibirskogo Gosudarstvennogo Avtomobil'no-Dorozhnogo Universiteta.* 2021;18(5(81)):554-564. (In Russ.) doi: 10.26518/2071-7296-2021-18-5-554-564
 16. Koshurnikov DN, Maksimova EV. Review of foreign and domestic practices of noise mapping in dense urban areas. *Vestnik Permskogo Natsional'nogo Issledovatel'skogo Politehnicheskogo Universiteta. Prikladnaya Ekologiya. Urbanistika.* 2018;(3(31)):27-43. doi: 10.15593/2409-5125/2018.03.03
 17. Podkolzin PL, Prelikova EA. [The role of the noise map in creating a comfortable living environment.] In: *Security Issues (Security 2020): Proceedings of the Second International Scientific and Practical Conference, Ufa, April 8, 2020.* Ufa: Ufa State Aviation Technical University Publ.; 2020:238-241. (In Russ.)
 18. Tsai K-T, Lin M-D, Chen Y-H. Noise mapping in urban environments: A Taiwan Study. *Applied Acoustics.* 2009;70(7):964-972. doi: 10.1016/j.apacoust.2008.11.001
 19. Law CW, Lee CK, Lui ASW, Yeung MKL, Lam KC. Advancement of three-dimensional noise mapping in Hong Kong. *Appl Acoust.* 2011;72(1):534-543. doi: 10.1016/j.apacoust.2011.02.003
 20. Semykin AYU. Assessment of the noise situation of urban environment in certain districts of Belgorod. *Vestnik Belgorodskogo Gosudarstvennogo Tekhnologicheskogo Universiteta im. V.G. Shukhova.* 2017;2(9):56-60. doi: 10.12737/article_59a93b0921c674.33606701
 21. Klepikov OV, Styopkin YuI, Khorpyakova TV. Traffic noise in the city and the associated risk to public health. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya.* 2018;(3):50-55. (In Russ.)
 22. Ivanova IL, Zhigayev DS, Kisilitsyna LV, Vazhenina AA, Trankovskaya LV. Hygienic evaluation noise pollution of Vladivostok. *Zdorov'e. Meditsinskaya Ekologiya. Nauka.* 2019;(2(78)):9-13. doi: 10.5281/zenodo.3262050
 23. Basner M, McGuire S. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and effects on sleep. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;15(3):519. doi: 10.3390/ijerph15030519
 24. Koshurnikov D. Acoustic modeling for the tasks of hygienic assessment of the urban environment. *Akustika.* 2019;34:37-41.
 25. Zaitseva N, May I, Koshurnikov D, Balashov S. Evolution of the health disorders risk in the population under development of urbanized territories. *Akustika.* 2021;39:201-206. doi: 10.36336/akustika202139199

References

1. Pyko AV, Mukalova OA, Pyko AA. [The effect of transport noise and air pollution on metabolic and cardiovascular incidence and mortality.] *Neotlozhnaya Kardiologiya i Kardiovaskulyarnyye Riski.* 2018;2(1):270-279. (In Russ.)
2. Vasilyev AV. 2015 Noise as a factor of ecological risk in conditions of urban territories. *Noise Theory and Practice.* 2015;1(2(2)):27-40. (In Russ.)
3. Shishelova TI, Malgina YuS, Nguyen XD. [Influence of noise on the human organism.] *Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya.* 2009;(8(Suppl)):14-15. (In Russ.)

