Шумовое загрязнение

DOI: 10.35634/UdSU.2026.60.11.012

УДК 625.098

О.В. Ладыгина, А.Д. Шахалова, А.В. Калинин

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Аннотация. Шумовое воздействие от автотранспорта, превышающее допустимый уровень, является одним из самых распространенных видов воздействия на урбанизированных территориях и оказывает негативное влияние на здоровье человека. В статье представлены материалы исследования акустического воздействия от автомобильного движения на участке, расположенном в г. Санкт-Петербург. Авторами выполнены расчеты уровней звука и проведено их сравнение с предельно допустимыми значениями. Анализ результатов моделирования совокупного уровня звука на рассматриваемой территории показал, что наблюдаются превышения нормативных значений и требуется разработка и реализация мероприятий по снижению уровня шумового воздействия. В статье предлагаются мероприятия для снижения негативного воздействия.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть; акустическое воздействие; эквивалентные уровни звука; источники шума; мероприятия по снижению уровня акустического воздействия.

Для цитирования: Ладыгина О.В., Шахалова А.Д., Калинин А.В. Исследование акустического воздействия от автомобильных дорог // Управление техносферой: электрон. журнал, 2026. Т. 9. Вып.1. С. 178–192. DOI: 10.35634/UdSU.2026.60.11.012

Введение

Шумовое загрязнение является одной из наиболее острых экологических проблем современных городов. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, среднесуточный уровень шума 55 дБА является пороговым и максимально безопасным для здоровья человека [1]. Однако в реальных условиях городской среды этот показатель регулярно превышается. В России в зоне шумового воздействия автомобильного транспорта проживают около 34 миллионов человек [2].

Основную роль в формировании уровня шума работающего автомобиля играют система выпуска отработавших газов, которая определяется типом глушителя и его исправностью, а также звук от двигателя [3]. Проблема усугубляется наличием трамвайных линий, проходящих вдоль городских магистралей и создающих дополнительное акустическое воздействие [4,5].

В работе проанализированы факторы, определяющие шумовое воздействие автомобильной дороги на прилегающую застройку. Объектом исследования является территория улично-дорожной сети, расположенная в Выборгском районе г. Санкт-Петербурга. С восточной стороны участок дороги ограничен проспектом Культуры, с юга граница проходит по фасадам жилых домов улицы Придорожная аллея, с западной стороны участок упирается в виадук по проспекту Энгельса, с северной стороны граница проходит по территории гаражных кооперативов, АЗС, автобусных и трамвайно-троллейбусных парков, а также охватывает территорию стройплощадок и автосалонов. Рельеф на участке выражен слабо, общий перепад высот с западной границы участка до восточной составляет около 1 метра. Абсолютные отметки поверхности земли по оси улицы Придорожная аллея изменяются от 26,24 м у проспекта Энгельса, до 25,35 м у проспекта Культуры.

С правой стороны улицы расположены жилые дома высотой от 9 до 13 этажей. Левая сторона застроена магазинами, автосалонами и гаражными кооперативами. Растительность исследуемого участка представлена преимущественно берёзами; также здесь встречаются тополя, рябины, яблони, ивы, ели, клёны и липы.



Рис. 1. Ситуационный план исследуемой территории

Материалы и методы исследований

В рамках исследования проведен расчет акустического воздействия согласно требованиям СП 51.13330.2011, были выбраны расчетные точки на границе ближайшей жилой застройки: точка № 1 — улица Придорожная аллея, д.3, точка № 2 — улица Придорожная аллея, д.13, точка № 3 — улица Придорожная аллея, д.31. Допустимые уровни звука устанавливаются в зависимости от назначения территории и времени суток в соответствии с табл. 5.35 СанПиН 1.2.3685-21. Расчеты проводились первоначально до реализации мероприятий и повторно с учетом моделирования планируемых мероприятий.

Для расчета уровней шума использовался программный модуль «Эколог-Шум». Характеристики шума, связанные с движением автомобилей, были получены с использованием программы «Эколог-Шум», а именно её дополнительного модуля «Шум от автомобильных дорог» (версия 1.1.2.4), при этом учитывались скорость и интенсивность транспортных потоков.

Результаты и их обсуждение

Согласно данным таблицы 1, анализ расчётных уровней шума до реализации шумозащитных мер показал превышение допустимых значений

эквивалентного и максимального шума во всех трёх контрольных точках по сравнению с санитарно-эпидемиологическими нормами для жилых зон. Наибольшее превышение зафиксировано в точке № 3, что указывает на высокую акустическую нагрузку на близлежащую жилую застройку (рис. 2). Такое состояние требует неотложного внедрения эффективных шумозащитных мероприятий для обеспечения комфортных и безопасных условий проживания.

Таблица 1

Результаты расчета уровней звука до применения шумозащитных мероприятий

Расчетная точка		Координаты точки		Высота (м)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	La.экв	La.макс
	Название	X (м)	Y (м)												
№1	Улица Придорожная аллея, д. 3	825,10	1465,10	1,50	76,1	82,6	65,8	55,1	51,0	56,3	55,7	44,5	38,9	62,0	66,3
№2	Улица Придорожная аллея, д. 13	1586,20	1159,10	1,50	76,8	83,3	72,0	62,3	57,9	63,5	62,9	55,8	41,4	68,3	73,4
№3	Улица Придорожная аллея, д. 31	2541,00	761,80	1,50	77,8	84,3	74,0	64,3	59,7	65,4	64,6	57,5	42,4	70,0	75,3

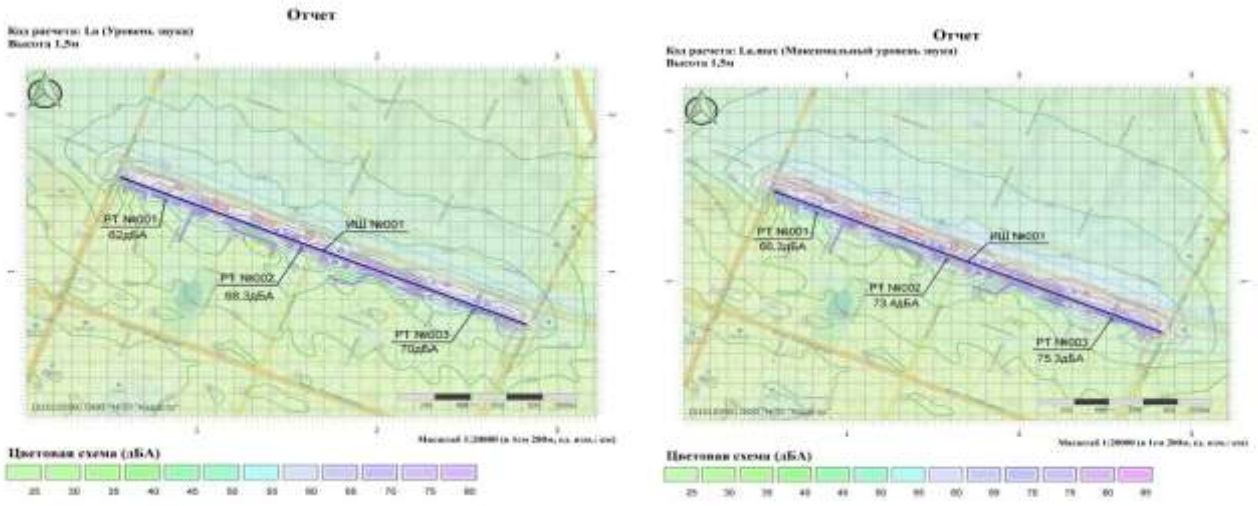


Рис. 2. Пространственные распределения значений (1) эквивалентного и (2) максимального уровней звука в дневное время суток

Для того, чтобы уменьшить негативное влияние шума на прилегающую к автодороге территорию, требуется разработка и реализация мероприятий по снижению шумового воздействия на участках, где зафиксировано превышение нормативных уровней звука.

В условиях плотной городской застройки возможно применение малошумных дорожных покрытий. В российской практике применение малошумных покрытий пока не получило широкого распространения. Однако в г. Москва с 2014 года проводится апробация различных типов малошумных покрытий на участках общей протяженностью более 250 километров [5]. Применение пористых покрытий позволяет снизить уровень шума на величину до 10 дБ, однако такой тип покрытия уступает в прочностных свойствах традиционным асфальтобетонам. В табл. 2 представлены сравнительные характеристики типов малошумных дорожных покрытий, составленная на основе СП 51.13330.2011, ОДМ 218.2.013-2011, ГОСТ Р 58831-2020, ГОСТ Р 58406.2-2020, ГОСТ Р 58400.1-2019.

Следующая распространенная мера по снижению шума – озеленение. Это экологически безопасный и эстетически привлекательный способ уменьшения шумового воздействия на окружающую среду. Он основан на использовании зеленых насаждений (деревьев, кустарников, газонов) для поглощения и рассеивания звуковых волн. Листья, ветви и стволы деревьев поглощают звуковые волны, особенно высокочастотные. Чем плотнее и гуще растительность, тем больше звука она поглощает. Зеленые насаждения создают физический барьер, который рассеивает звуковые волны, снижая их интенсивность. Недостатком озеленения является ограниченная эффективность, а также длительный период, требуемый для достижения деревьями зрелого возраста.

Таблица 2

Сравнительные характеристики типов малошумных дорожных покрытий

Тип покрытия	Снижение шума, дБ	Срок службы, лет	Дополнительная стоимость, %	Особенности
Традиционный асфальтобетон	0 (базовый)	8–10	0	Стандартное решение
Мелкозернистый асфальтобетон	3–5	10–12	+10–15	Снижает вибрацию шин
Пористый асфальтобетон	5–10	8–10	+20–30	Поглощает звук, требует ухода
Тонкослойные смеси (SMA)	3–5	10–15	+15–20	Высокая прочность
Резиново-асфальтовые смеси	4–8	10–15	+25–30	Экологичная переработка шин
Дренирующие покрытия	3–7	8–12	+20–25	Снижают аквапланирование
Комбинированные двухслойные	6–10	12–15	+30–40	Максимальная эффективность

Для достижения максимального эффекта по снижению шума от автомобильных дорог рекомендуется сочетать высокие деревья, кустарники и газоны, что позволяет создать наиболее эффективный звуковой барьер. Например, хороший результат дает посадка хвойных деревьев (ель, сосна) вместе с лиственными (клен, липа), а также кустарниками (сирень, барбарис). При этом хвойные деревья эффективны круглый год, что особенно важно для российских климатических условий [7-9]. В табл. 3 представлена эффективность пород деревьев для снижения уровня шума.

Таблица 3

Эффективность различных пород деревьев для снижения уровня шума [7-11]

Порода дерева	Снижение шума, дБ	Особенности применения
Клен	7,1	Высокая эффективность, хорошо приживается в городских условиях
Тополь	6,0	Быстрый рост, неприхотливость
Липа	4,5	Средняя эффективность, хорошие декоративные качества
Ель	2,3	Эффективна круглый год, сохраняет хвою зимой
Сосна	2,5–3,0	Эффективна круглый год, устойчива к городским условиям
Лиственные породы (общее)	3,0–7,0	В зимний период эффективность снижается на 90%
Хвойные породы (общее)	2,0–4,0	Сохраняют эффективность круглый год
Комбинация деревьев и кустарников (полоса 20–30 м)	10–12	Максимальная эффективность при правильной планировке

Следующая распространенная мера по снижению шумового воздействия от автомобильных дорог – ограничение скорости движения. Это один из наиболее доступных и экономически эффективных способов уменьшения акустического воздействия на окружающую среду, основанный на том, что уровень шума, создаваемого транспортными средствами, напрямую зависит от их скорости.

По данным исследований, при снижении скорости движения в два раза уровень шума на высокоскоростных дорогах снижается на 5-6 дБ [12]. При этом разница в уровне шума между движением со скоростью 110 км/ч и 60 км/ч составляет от 2,8 до 3,3 дБ [13]. Для реализации данного метода необходимо установить знаки, ограничивающие скорость до 50 км/ч в городских условиях,

а также установка камер фиксации скорости, «лежачих полицейских» и других мер контроля.

Для достижения максимального эффекта рекомендуется комплексный подход, предусматривающий одновременное применение нескольких мер по снижению шума. В данном случае рекомендуется использование малошумных покрытий, ограничение скорости движения, озеленение территории.

В табл. 4 приведены уровни звукового давления, полученные после моделирования мероприятий по снижению уровня шума.

Таблица 4

Результаты расчета уровней звука после применения шумозащитных мероприятий

№ расчетной точки	Уровень звукового давления L, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									La экв, дБА	La макс, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
№ 1 улица Придорожная аллея, д.3	75.8	82.3	63.4	53	49.1	53.8	52.8	41.3	37.5	60.20	63.70
№ 2 улица Придорожная аллея, д.13	76.4	82.9	65.4	56.6	53.1	56.4	55	43.9	40.2	62.00	66.30
№ 3 улица Придорожная аллея, д.31	77.6	84.1	65.8	57.3	53.9	57	55.5	44.4	41.5	62.80	66.90

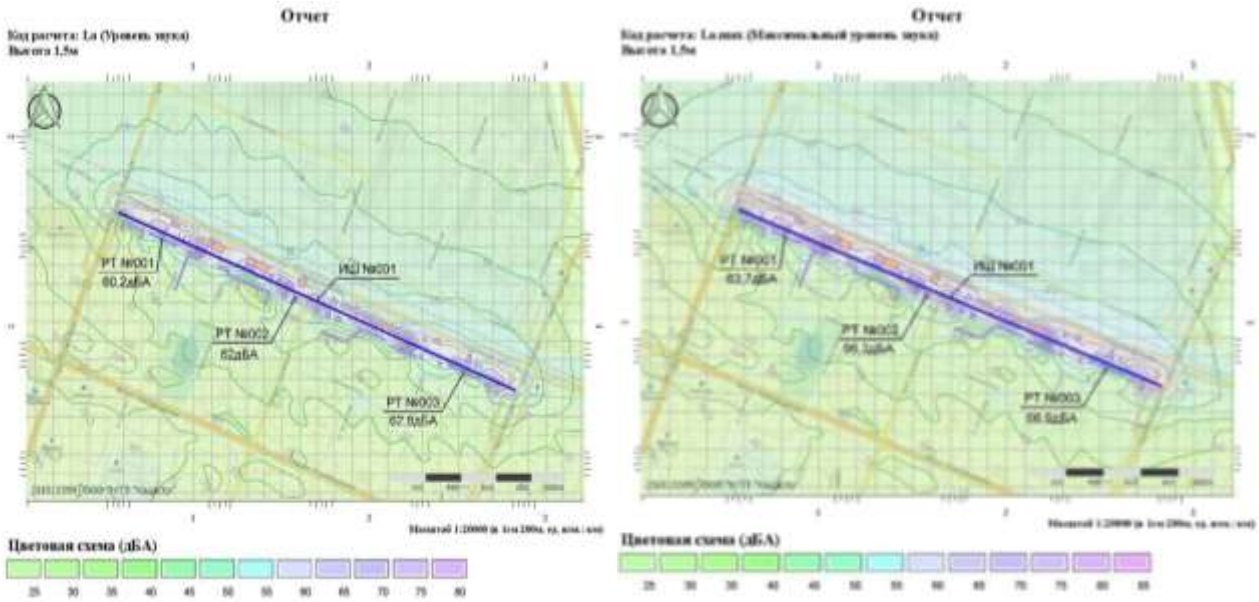


Рис. 3. Пространственные распределения значений (1) эквивалентного и (2) максимального уровней звука в дневное время суток

Результаты расчётов были сопоставлены с предельно допустимыми уровнями шума (ПДУ) для дневного и ночного времени, установленными санитарными нормами. Эти нормы определяют максимально допустимый уровень шума, который не наносит вреда здоровью при длительном воздействии. Так, в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», на территориях, прилегающих к жилым домам, дневной уровень шума не должен превышать 55 дБА.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 (п. 103) эквивалентные и максимальные уровни звука в дБА для шума, создаваемого на территории средствами автомобильного, железнодорожного транспорта, в 2 м от ограждающих конструкций первого эшелона шумозащитных типов жилых зданий, зданий гостиниц, общежитий, обращенных в сторону магистральных улиц общегородского и районного значения, железных дорог, допускается принимать на 10 дБА выше (поправка =+10 дБА). Осреднение эквивалентного уровня звука

осуществляется для дневного времени суток за 16 часов, для ночного времени суток – за 8 часов.

Заключение

Результаты расчетов акустического воздействия от автомобильной дороги показали существенное превышение допустимого уровня на рассматриваемой территории. В связи с этим был предложен комплекс шумозащитных мероприятий, в частности, замена существующего покрытия проезжей части на малошумный асфальтобетон, озеленение территории, ограничение скорости движения транспорта. С учетом поправки =+10 дБА шумовое воздействие будет в пределах установленных требований.

Применение предложенного комплекса мер способствует снижению шумового воздействия на население и повышению акустического комфорта городской среды. Использование лишь одного шумозащитного решения не даст ощутимого эффекта и нецелесообразно с практической точки зрения; гораздо более эффективным является одновременное применение нескольких взаимодополняющих мероприятий, направленных на поэтапное приближение реальных уровней шума к установленным санитарным нормативам.

Предложенный комплекс мер разработан применительно к участку улично-дорожной сети Санкт-Петербурга, где наблюдается плотная застройка и сформировавшиеся, стабильные транспортные потоки. Такие условия характерны не только для этого города, но и для центральных районов многих других населённых пунктов. Реализация данных мер поможет не только ослабить шумовое воздействие от движения автомобилей, но и существенно повысить экологическое благополучие и общий комфорт городской среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пыко А. В., Мукалова О. А., Пыко А. А., Митьковская Н. П. 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. Ефимова Н. В., Тихонова И. В., Kat Н. Н. Шумовое загрязнение как патогенный фактор для здоровья человека // Acta Biomedica Scientifica. 2016. Т. 1, № 3 (109). С. 33–37.
3. Захаров Е. А., Шумский С. Н. Экологические проблемы автомобильного транспорта. Волгоград: РПК «Политех», 2007. 106 с
4. Пасхина А. А., Калинин А. В., Ладыгина О. В. Исследование влияния шума от трамвайного движения и мероприятия по его снижению на примере улично-дорожной сети г. Ярославля // Вестник евразийской науки. 2025. Т. 17. № 2. URL: https://esj.today/PDF/26NZVN225.pdf (дата обращения: 12.12.2025).
5. В Москве измерили шум трамвая [Электронный ресурс] // Российская газета. 2021. 12 окт. – Режим доступа: https://rg.ru/2021/10/12/reg-cfo/v-moskve-izmerili-shum-tramvaia.html
6. Инновации в строительстве автодорог позволят сократить издержки [Электронный ресурс] // Российская газета. 2018. – Режим доступа: https://rg.ru/2018/11/19/innovacii-v-stroitelstve-avtodorog-pozvoliat-sokratit-izderzhki.html (дата обращения: 12.12.2025).
7. Саньков П. Н., Трошин М. Ю., Тархова Е. В. Снижение шума на пути его распространения от источника к жилой застройке. Шумозащитное озеленение // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 5-3. С. 456–458.
8. Новикова С. А., Мартынов Д. Н. Влияние зеленых насаждений на снижение уровня шума от автотранспортных потоков в Иркутске // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2022. № 4. С. 16–25
9. Ахметьянова Ю. М., Камалетдинова Л. М., Байтурина Р. Р. Роль зеленых насаждений в улучшении экологических условий в городской среде // Актуальные исследования. 2023. № 9 (139). – Режим доступа: https://apni.ru/article/5732-rol-zelenikh-nasazhdenij-v-uluchshenii-ekolog (дата обращения: 12.12.2025).
10. Литвенкова И. А. Роль зеленых насаждений в создании оптимальной городской среды // Экология городской среды: урбоэкология: курс лекций. Витебск: Издательство УО «ВГУ им. П. М. Машерова», 2005. С. 136–147.

11. Петрова И. В., Ярмош Ю. Н. Формирование объектов озеленения комплексного средозащитного назначения на магистральных дорогах // Евразийский союз ученых. 2017. № 2-3 (35). С. 74–77.
12. Способы уменьшения уровня шума и вибрации на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс] // Lokomo. – Режим доступа: https://lokomo.ru/zheleznodorozhnyy-put/uluchshenie-vzaimodeystviya-puti-i-sostava/Page-5.html (дата обращения: 12.12.2025).
13. Кустенко А. А. Исследование влияния шума и вибрации в трамвайном движении // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2015. № 3 (59). С. 109–115.

Поступила в редакцию: 29.01.2026

Сведения об авторах
Шахалова Алина Денисовна
Магистрант, студент Института инженеров строительства и транспорта, Ярославский государственный технический университет, 150023, Московский проспект, д. 88., г. Ярославль, Российская Федерация.
SPIN-код: 7471-6675.
E-mail: alinamagazinuk@gmail.com

Калинин Алексей Вячеславович
Аспирант, старший преподаватель Института инженеров строительства и транспорта, Ярославский государственный технический университет, 150023, Московский проспект, д. 88., г. Ярославль, Российская Федерация.
SPIN-код: 1839-1668.
E-mail: kalininav@ystu.ru

Ладыгина Ольга Викторовна
К.т.н., доцент Института инженеров строительства и транспорта, Ярославский государственный технический университет, 150023, Московский проспект, д. 88., г. Ярославль, Российская Федерация.
SPIN-код: 6195-0860.
E-mail: ladyginaov@ystu.ru

O.V. Ladygina A.D, Shakhlova, A.V. Kalinin

INVESTIGATION OF ACOUSTIC IMPACT FROM AUTOMOBILE ROADS

Annotation. Noise impact from motor transport exceeding the permissible level is one of the most common types of impact in urbanized areas and has a negative effect on human health. The article presents research materials on the acoustic impact from traffic on a site located in the city of St. Petersburg. The authors performed calculations of sound levels and compared them with maximum permissible values. Analysis of the simulation results of the total sound level in the studied area showed that exceedances of standard values are observed and the development and implementation of measures to reduce the level of noise impact is required. The article proposes measures to reduce the negative impact.
***Keywords*:** road network; acoustic impact; equivalent sound levels; noise sources; measures to reduce the level of acoustic impact.

For citation: Ladygina O.V., Shakhlova A.D, Kalinin A.V. [Investigation of acoustic impact from automobile roads]. *Upravlenie tekhnosferoi,* 2026, vol. 9, issue 1, pp. 178–192. DOI: 10.35634/UdSU.2026.60.11.012. (In Russ.).

REFERENCES

1. Pyko A. V., Mukalova O. A., Pyko A. A., Mitykovskaya N. P. Vliyanie transportnogo shuma i zagryazneniya vozduxa na metabolicheskuyu i serdechno-sosudistuyu zabolevaemost` i smertnost` [The impact of traffic noise and air pollution on metabolic and cardiovascular morbidity and mortality]. *Neotlozhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarny`e riski* [*Emergency Cardiology and Cardiovascular Risk*], 2018, vol. 2, no. 1, pp. 270–279 (In Russ.).
2. Efimova N. V., Tikhonova I. V., Kat N. N. Shumovoe zagryaznenie kak patogenny`j faktor dlya zdorov`ya cheloveka [*Noise pollution as a pathogenic factor for human health*]. *Acta Biomedica Scientifica*, 2016, vol. 1, no. 3 (109), pp. 33–37 (In Russ.).
3. Zakharov E. A., Shumskiy S. N. *E`kologicheskie problemy` avtomobil`nogo transporta* [Environmental problems of automotive transport]. Volgograd, RPK «Polytekhnika», 2007, 106 p. (In Russ.).
4. Paskhina A.A., Kalinin A.V., Ladygina O.V. Issledovanie vliyaniya shuma ot tramvajnogo dvizheniya i meropriyatiya po ego snizheniyu na primere ulichno-dorozhnoj seti g. Yaroslavlya [The study of tram traffic noise impact and measures to reduce it on the street and road network of Yaroslavl, Russia]. *Vestnik evrazijskoj nauki* [*The Eurasian Scientific Journal*], 2025, vol. 17, no. 2. (In Russ.).

5. *V Moskve izmerili shum tramvaya* [Tram noise measured in Moscow]. Available at: https://rg.ru/2021/10/12/reg-cfo/v-moskve-izmerili-shum-tramvaia.html (accessed 29.01.2026). (In Russ.).
6. *Innovacii v stroitel`stve avtodorog pozvolyat sokratit` izderzhki* [Innovations in road construction will help reduce costs]. Available at: https://rg.ru/2018/11/19/innovacii-v-stroitelstve-avtodorog-pozvoliat-sokratit-izderzhki.html (accessed 29.01.2026). (In Russ.).
7. Sankov P. N., Troshin M. Y., Tarkhova, E. V. Snizhenie shuma na puti ego rasprostraneniya ot istochnika k zhiloj zastrojke. Shumozashhitnoe ozelenenie [Noise reduction along the propagation path from the source to residential areas: Noise-protective landscaping]. *Mezhdunarodny`j studencheskij nauchny`j vestnik* [*International Student Scientific Bulletin*], 2016, no. 5–3, pp. 456–458 (In Russ.).
8. Novikova S. A., Martynov D. N. Vliyanie zeleny`x nasazhdenij na snizhenie urovnya shuma ot avtotransportny`x potokov v Irkutske [The effect of greenery on traffic noise reduction in Irkutsk]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [*Moscow University Bulletin. Series 5: Geography*], 2022, no. 4, pp. 16–25 (In Russ.).
9. Akhmet'yanova Y. M., Kamaletdinova L. M., Bayturina R. R. Rol` zeleny`x nasazhdenij v uluchshenii e`kologicheskix uslovij v gorodskoj srede [The role of green spaces in improving urban environmental conditions]. *Aktual`ny`e issledovaniya* [*Current Research*], 2023, no. 9 (139). Available at: https://apni.ru/article/5732-rol-zelenikh-nasazhdenij-v-uluchshenii-ekolog (accessed 29.01.2026). (In Russ.).
10. Litvenkova I. A. *Rol` zeleny`x nasazhdenij v sozdanii optimal`noj gorodskoj sredy`* [The role of green spaces in creating an optimal urban environment]. In Urban Ecology: Lecture Notes. Vitebsk: Publ. UO «VGU im. P. M. Masherovapp. 136–147. (In Russ.).
11. Petrova I. V., Yarmosh Y. N. Formirovanie ob``ektov ozeleneniya kompleksnogo sredozashhitnogo naznacheniya na magistral`ny`x dorogax [Designing green infrastructure for integrated environmental protection along arterial roads]. *Evrazijskij soyuz ucheny`x* [*Eurasian Union of Scientists*], 2017, no. 2–3 (35), pp. 74–77 (In Russ.).
12. *Sposoby` umen`sheniya urovnya shuma i vibracii na zheleznodorozhnom transporte* [Methods for reducing noise and vibration in railway transport]. Available at: https://lokomo.ru/zheleznodorozhnyy-put/uluchshenie-vzaimodeystviya-puti-i-sostava/Page-5.html (accessed 29.01.2026). (In Russ.).
13. Kustenko A. A. Issledovanie vliyaniya shuma i vibracii v tramvajnom dvizhenii [Study of noise and vibration effects in tramway operation]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta*

putej soobshheniya [*Bulletin of Rostov State University of Railway Engineering*], 2015, no. 3 (59), pp. 109–115 (In Russ.).

Received: 29.01.2026

About the Authors

Ladygina Olga Viktorovna
Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Institute of Civil and Transport Engineers, Yaroslavl State Technical University, 150023, Moskovsky Prospekt, 88 Yaroslavl, Russian Federation.
E-mail: ladyginaov@ystu.ru

Shakhalova Alina Denisovna
Master's student, Institute of Civil and Transport Engineers, Yaroslavl State Technical University, 150023, Moskovsky Prospekt, 88 Yaroslavl, Russian Federation.
E-mail: alinamagazinuk@gmail.com

Kalinin Aleksei Viacheslavovich
Graduate student, postgraduate senior lecturer at the Institute of Civil and Transport Engineers, Yaroslavl State Technical University, 150023, Moskovsky Prospekt, 88 Yaroslavl, Russian Federation.
E-mail: kalininav@ystu.ru