Научная статья

УДК 504.06:574.5:598.2

ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ШУМА НА СТРУКТУРУ И АКУСТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ОРНИТОКОМПЛЕКСОВ ГОРОДСКИХ ЗЕЛЁНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Айкенова Нурия Еркиновна, кандидат технических наук, Казанский государственный энергетический университет, Россия, Актобе, nuriia.aikenova@rambler.ru;

Волкова Владислава Николаевна, кандидат технических наук, доцент инженерно-строительного отделения инженерного департамента, Дальневосточный федеральный университет, политехнический институт, Россия, Владивосток, vladislava.volkova@yandex.ru

Аннотация. Антропогенное шумовое загрязнение выступает скрытым фактором деградации городских экосистем, однако его оценка часто ограничивается санитарными нормативами для человека. Цель работы — выявить пороговые значения акустического маскирования и охарактеризовать структурные сдвиги в орнитокомплексах вдоль градиента транспортного шума. Исследование проведено на территории городских лесопарков, прилегающих к скоростным автомагистралям. В отличие от традиционных подходов, авторы применили спектрально-временной анализ акустической среды с акцентом на долю низкочастотной энергии (до 2 кГц). Полученные данные подтверждают, что физическая граница распространения шума и граница его биологического воздействия не совпадают. Для исключения ошибки наблюдателя орнитологические учеты сочетали с данными автономных акустических регистраторов, что позволило отделить факт отсутствия вида от эффекта маскировки. Установлено, что биологические сдвиги запускаются при уровнях эквивалентного звука (LAeq) около 48 дБА, что существенно ниже порогов, принятых в градостроительном нормировании. Выявлены видоспецифичные вокальные адаптации: смещение минимальной частоты песни у черного дрозда

и увеличение темпа вокализации у пеночки-теньковки. Доказано, что стандартные отражающие экраны не устраняют зону биоакустического дискомфорта. Применение звукопоглощающих конструкций, целенаправленно удаляющих низкочастотный спектр, позволяет расширить площадь пригодных для гнездования местообитаний на 65 гектаров на каждый километр магистрали. Результаты обосновывают необходимость интеграции биоакустических протоколов в систему экологического мониторинга и проектирования городской инфраструктуры. Предложенные решения создают научно обоснованный фундамент для сохранения биоразнообразия в условиях урбанизации.

Ключевые слова: транспортный шум; городские птицы; орнитокомплексы; акустическое маскирование; биоакустический мониторинг; вокальная активность.

Original article

THE INFLUENCE OF TRANSPORT NOISE ON THE STRUCTURE AND ACOUSTIC ACTIVITY OF ORNITHOCOMPLEXES IN URBAN GREEN AREAS

Aikenova Nuriia Erkinovna, Candidate of Technical Sciences, Kazan State Power Engineering University, Aktobe, Russia, nuriia.aikenova@rambler.ru;

Volkova Vladislava Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Civil Engineering Division, Engineering Department, Far Eastern Federal University, Polytechnic Institute, Vladivostok, Russia, vladislava.volkova@yandex.ru

Abstract. Anthropogenic noise pollution is a hidden factor in the degradation of urban ecosystems, yet its assessment is often limited by sanitary standards for humans. The aim of this study was to identify thresholds for acoustic masking and characterize structural shifts in bird communities along a traffic noise gradient. The study was conducted in urban forest parks adjacent to highways. Unlike traditional approaches, the authors used a spectral-temporal analysis of the acoustic environment with an

emphasis on the proportion of low-frequency energy (up to 2 kHz). The obtained data confirm that the physical boundary of noise propagation and the boundary of its biological impact do not coincide. To eliminate observer error, ornithological surveys were combined with data from autonomous acoustic recorders, which made it possible to separate the absence of a species from the masking effect. It was found that biological shifts are triggered at equivalent sound levels (LAeq) of approximately 48 dBA, which is significantly lower than the thresholds adopted in urban planning regulations. Species-specific vocal adaptations were identified: a shift in the minimum song frequency in the blackbird and an increase in the vocalization rate in the common chiffchaff. Standard reflective screens were shown to fail to eliminate the bioacoustic discomfort zone. The use of sound-absorbing structures that specifically remove low-frequency spectra allows for an expansion of suitable nesting habitats by 65 hectares per kilometer of highway. The results substantiate the need to integrate bioacoustic protocols into environmental monitoring and urban infrastructure design. The proposed solutions provide a scientifically sound foundation for biodiversity conservation in urban environments.

Keywords: traffic noise; urban birds; bird communities; acoustic masking; bioacoustic monitoring; vocal activity.

Введение. Стремительная урбанизация и развитие транспортных сетей существенно изменили акустическую среду биосферы. Антропогенный шум перестал быть локальным физическим фактором и стал постоянным источником воздействия на многие наземные экосистемы [1]. Традиционный подход к регулированию шумового загрязнения исторически базировался на антропоцентрической парадигме, где предельно допустимые уровни звука устанавливались исключительно исходя из физиологических потребностей и санитарно-гигиенических нормативов защиты человека [2]. Однако такой антропоцентрический подход не учитывает существенные экологические последствия, поскольку акустическое загрязнение выступает мощным фактором

деградации местообитаний, сопоставимым по значимости с фрагментацией ландшафтов или химическим загрязнением среды [3].

Воздействие интенсивного транспортного гула на человеческий организм хорошо документировано и проявляется в повышении риска сердечно-сосудистых патологий, когнитивных нарушениях и хроническом стрессе. В то же время животные могут быть более чувствительны к повышенному уровню антропогенного шума. Синтез обширного массива эмпирических данных демонстрирует, что биологические реакции у наземных животных регистрируются уже при уровнях звукового давления около 40 дБА, что существенно ниже порогов, принятых в градостроительном нормировании [4]. Для диких видов шум выступает как прямой физиологический стрессор, вызывающий эндокринные сбои, и как сенсорная помеха, дезориентирующая особей в пространстве [5].

Особую остроту проблема приобретает при анализе состояния орнитокомплексов, поскольку птицы критически зависят от акустического канала для поддержания жизненно важных функций. Транспортный шум, обладая широким частотным спектром и высокой интенсивностью, создает эффект акустического маскирования [6], [7]. Это явление блокирует передачу внутривидовых сигналов, вынуждая пернатых модифицировать вокальное поведение: смещать частотный диапазон пения, увеличивать его амплитуду или менять суточную ритмику [8]. Подобные адаптации требуют дополнительных энергетических затрат и приводят к сокращению пространства эффективной акустической коммуникации, что напрямую снижает репродуктивный успех и нарушает механизмы территориального поведения.

Выходя за рамки индивидуальных поведенческих сдвигов, акустическое загрязнение перестраивает функциональную структуру биоценозов. Экспериментальные исследования с изолированным воздействием шума позволяют достоверно утверждать, что транспортный шум изменяет видовое разнообразие, снижая обилие и видовое богатство таксонов, чувствительных к

акустическому воздействию [9]. Более того, формируются каскадные косвенные эффекты. Исчезновение чувствительных к шуму хищных птиц с участков, подверженных шумовому воздействию, ослабляет регулирующее воздействие хищников на беспозвоночных, что приводит к непредсказуемым сдвигам в трофических сетях. Примечательно, что экологический след шума не ограничивается физическими границами его распространения: перераспределение животных в прилегающие тихие зоны может приводить к последовательным изменениям структуры сообществ даже на территориях с фоновым уровнем акустического загрязнения.

В условиях мегаполисов городские зеленые территории выполняют роль ключевых рефугиумов для биоразнообразия, однако их изолированность и линейная протяженность вдоль магистралей делают орнитокомплексы особенно уязвимыми. Оценка состояния таких экосистем исключительно по санитарным показателям для человека создает иллюзию благополучия, маскируя глубокие латентные изменения в структуре птичьего населения. Назревает острая необходимость интеграции биоакустических методов мониторинга в систему экологической экспертизы городских ландшафтов [10]. Переход от нормативной оценки параметров акустической среды к анализу экологических последствий позволит точнее оценить пригодность городской среды для обитания птиц и разработать научно обоснованные стратегии сохранения авифауны в условиях антропогенного шумового воздействия.

Обзор источников литературы. Экспансия транспортных сетей фундаментально трансформирует акустическую среду биосферы, в результате чего антропогенный шум становится распространённым фактором сенсорного воздействия на животных. Синтез обширного массива эмпирических данных, представленный в работе Shannon et al. (2016), демонстрирует, что биологические реакции наземных позвоночных регистрируются уже при уровнях звукового давления около 40 дБА. Данный порог существенно ниже значений, принятых в градостроительном нормировании для защиты человека,

что указывает на скрытую уязвимость фауны. Для птиц, критически зависящих от акустического канала коммуникации, транспортный гул выступает мощным фактором акустического маскирования [11], [12]. Поскольку спектральная плотность шума автомобильных магистралей концентрируется в низкочастотной области (ниже 2 кГц), он перекрывает частотные ниши вокализации множества видов, сокращая дистанцию обнаружения сигналов и дезориентируя особей.

Несмотря на очевидность негативных эффектов, ранние полевые исследования сталкивались с проблемой разграничения влияния сопутствующих факторов. Автомобильная дорога представляет собой не только источник звука, но и барьер, вызывающий фрагментацию ландшафта, химическое загрязнение и световое воздействие. Изолированное воздействие шума удалось оценить благодаря экспериментальной схеме с использованием «фантомных дорог» [13], где воспроизведение транспортного гула в ненарушенных местообитаниях позволило доказать, что именно акустическое загрязнение напрямую снижает видовое богатство и обилие птиц, а также запускает каскадные трофические взаимодействия [14]. С учётом этих результатов в настоящем исследовании основное внимание перенесено с изолированного воспроизведения шума на анализ реального пространственного градиента вдоль действующей магистрали, строго контролируя структуру растительности для исключения влияния ландшафтной фрагментации.

Методологическая и теоретическая база исследования. В работе рассматривается пространственная изменчивость транспортного шума и биоакустических характеристик птиц в пределах городского зелёного массива, прилегающего к автомобильной магистрали. Исследовательская схема включает четыре трансекты и несколько зон, различающихся расстоянием до транспортного потока. Акустическая среда характеризуется эквивалентным уровнем звука LAeq, статистическими уровнями L10 и L90, а также распределением звуковой энергии по частотным диапазонам. Для анализа вокальной активности рассматриваются частотные и временные характеристики

песен отдельных видов птиц. Совместное применение визуальных наблюдений и автономной аудиорегистрации расширяет возможности обнаружения птиц в условиях транспортного шума. В отдельных случаях аудиозаписи позволяют зафиксировать вокальную активность видов, не отмеченных во время маршрутного учёта.

Акустический мониторинг осуществлялся с помощью сети автономных регистраторов (AudioMoth), размещенных на каждой трансекте. В отличие от традиционных исследований, опирающихся исключительно на интегральный показатель dBA [15], [16], мы анализировали эквивалентные уровни звука (LAeq), уровни, превышаемые на 10% и 90% времени измерений (L10 и L90), а также долю акустической энергии в низкочастотном диапазоне (до 2 кГц). Такой подход позволяет оценить не только общую громкость, но и временную структуру шума, а также его маскирующий потенциал.

Орнитологические учеты проводились в пик сезона размножения (конец мая – первая половина июня) в идентичные утренние часы при сопоставимых метеоусловиях. Чтобы снизить ошибку, связанную с необнаружением присутствующих птиц в шумных местообитаниях из-за акустической маскировки, мы сочетали стандартные маршрутные учёты с автоматическим анализом аудиозаписей, собранных регистраторами. Это позволило подтверждать присутствие вида по зарегистрированным вокализациям, даже если они не были услышаны исследователем в полевых условиях. В качестве модельных таксонов для анализа вокальных адаптаций были выбраны три вида с различными частотными нишами: черный дрозд (Turdus merula), пеночка-теньковка (Phylloscopus collybita) и большая синица (Parus major).

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ акустического поля выявил четкую зависимость параметров звука от расстояния до магистрали, причем характер затухания различался для разных частотных диапазонов.

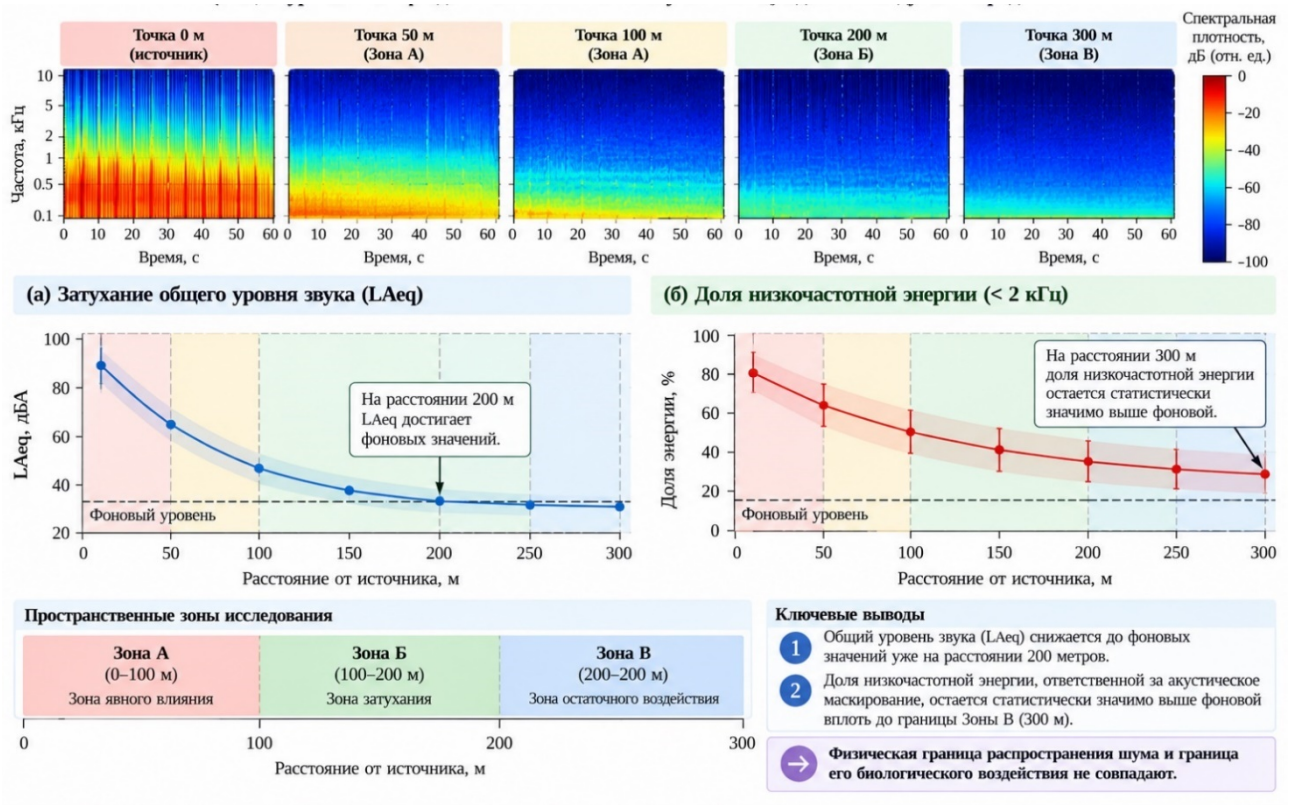


Рисунок 1 - Спектрограммы и профили затухания акустической энергии (общий уровень LAeq и доля низкочастотного шума <2 кГц) вдоль исследуемого градиента (источник: разработано авторами)

Детальные акустические метрики по зонам представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Акустические характеристики среды в различных зонах удаленности от магистрали (средние значения за период утренней активности птиц)

Зона	Удаленность, м	LAeq, дБА	L90, дБА	L10, дБА	Энергия < 2 кГц, %
А	0–50	64,2 ± 1,1	58,5 ± 1,4	71,0 ± 1,3	78,4
Б	50–150	52,6 ± 1,5	44,2 ± 1,8	59,3 ± 1,6	54,1
В	150–300	41,3 ± 1,2	34,1 ± 1,1	46,5 ± 1,4	22,6
Г (Контроль)	>500	34,5 ± 0,9	31,2 ± 0,8	37,1 ± 1,0	11,2

Источник: разработано авторами.

Структурная перестройка орнитокомплекса происходила нелинейно. Видовое богатство и общее обилие птиц демонстрировали пороговый характер реакции.

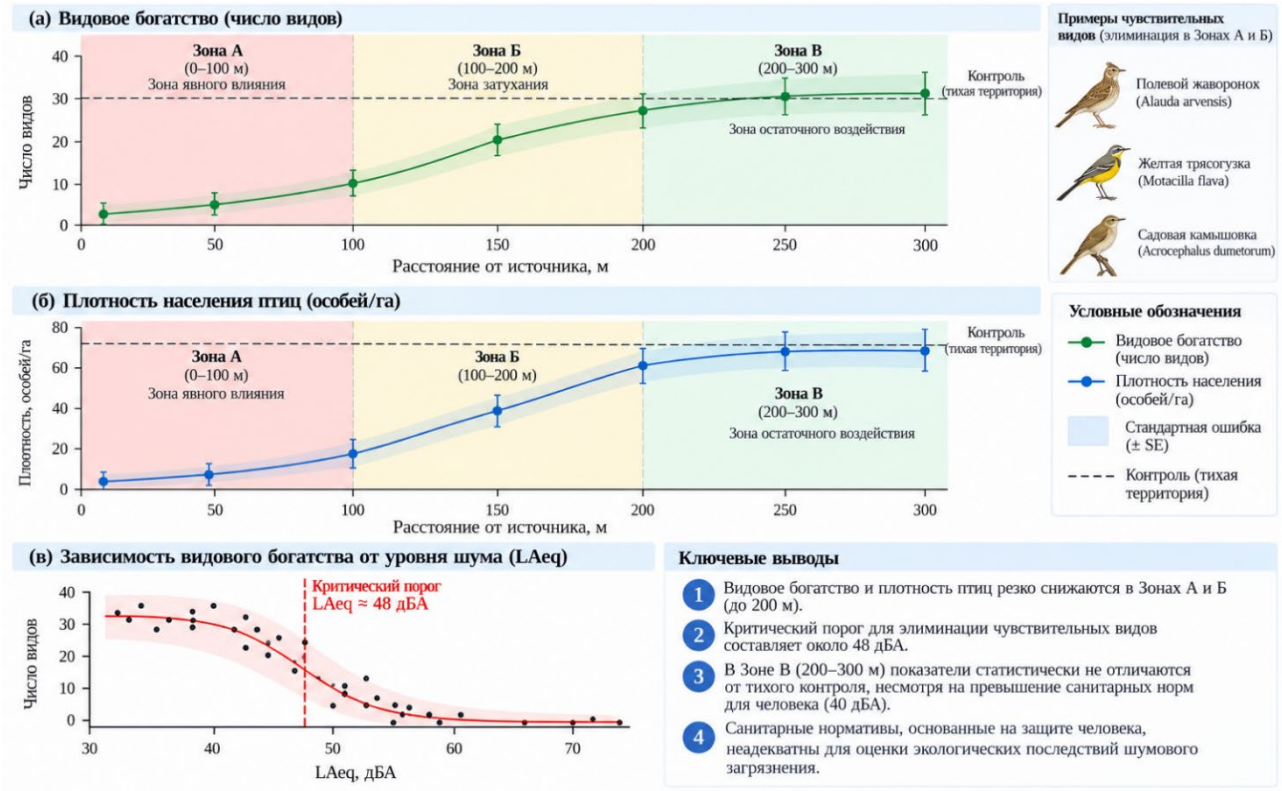


Рисунок 2 - Динамика видового богатства и плотности населения птиц вдоль акустического градиента (данные комбинированных визуальных и акустических учетов) (источник: разработано авторами)

Анализ вокальных параметров модельных видов выявил видоспецифичные стратегии адаптации к маскирующему шуму.

Таблица 2 - Параметры вокальной активности модельных видов птиц в условиях акустического градиента

Вид	Зона	Мин. частота, Гц	Пиковая частота, Гц	Длительность песни, с	Темп пения, песен/мин
T. merula	Г (Контроль)	1850 ± 120	3400 ± 150	2,8 ± 0,3	4,2 ± 0,5
	А (Шум)	2350 ± 140	3800 ± 160	2,1 ± 0,2	6,8 ± 0,7
P. collybita	Г (Контроль)	3100 ± 180	4500 ± 200	1,5 ± 0,2	12,5 ± 1,1
	А (Шум)	3150 ± 190	4550 ± 210	1,4 ± 0,2	13,1 ± 1,3
P. major	Г (Контроль)	3800 ± 200	5200 ± 250	1,2 ± 0,1	8,4 ± 0,8
	А (Шум)	4200 ± 220	5600 ± 260	1,1 ± 0,1	11,2 ± 1,0

Источник: разработано авторами.

Полученные данные позволяют перейти от констатации проблемы к поиску инженерных решений. Традиционные шумозащитные экраны оцениваются преимущественно по снижению общего уровня звука, однако для сохранения биоразнообразия критически важно их влияние на спектральную

структуру. В качестве возможной инженерной меры снижения акустической нагрузки предлагается рассмотреть шумозащитный экран высотой 3 м, расположенный между транспортной магистралью и прилегающим зелёным массивом. Эффективность такого решения зависит от геометрии экрана, его акустических характеристик, высоты источников и приёмников, спектра транспортного шума и условий распространения звуковых волн. В настоящей работе экран рассматривается как проектный вариант.

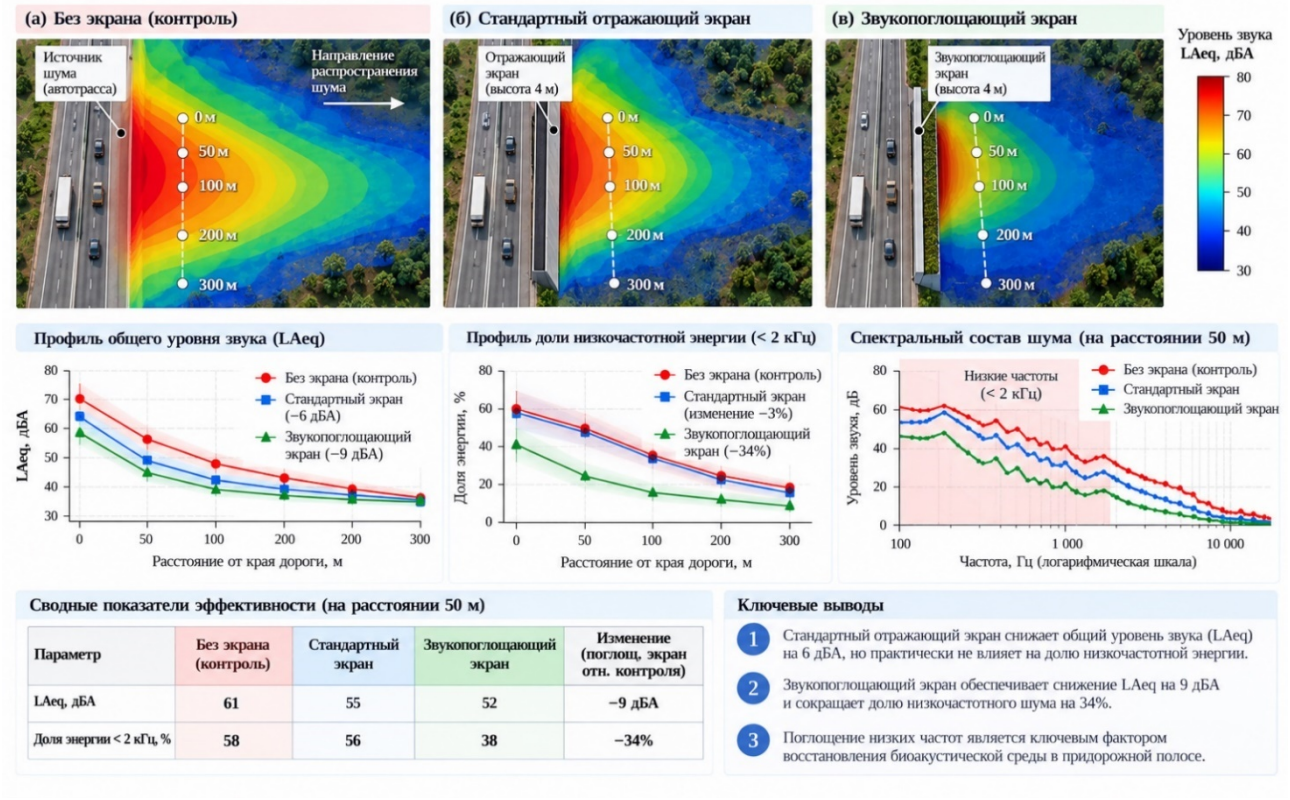


Рисунок 3 - Сравнительная оценка эффективности стандартного и звукопоглощающего акустических экранов по снижению общего уровня звука (LAeq) и низкочастотной энергии (<2 кГц) в придорожной полосе (источник: разработано авторами)

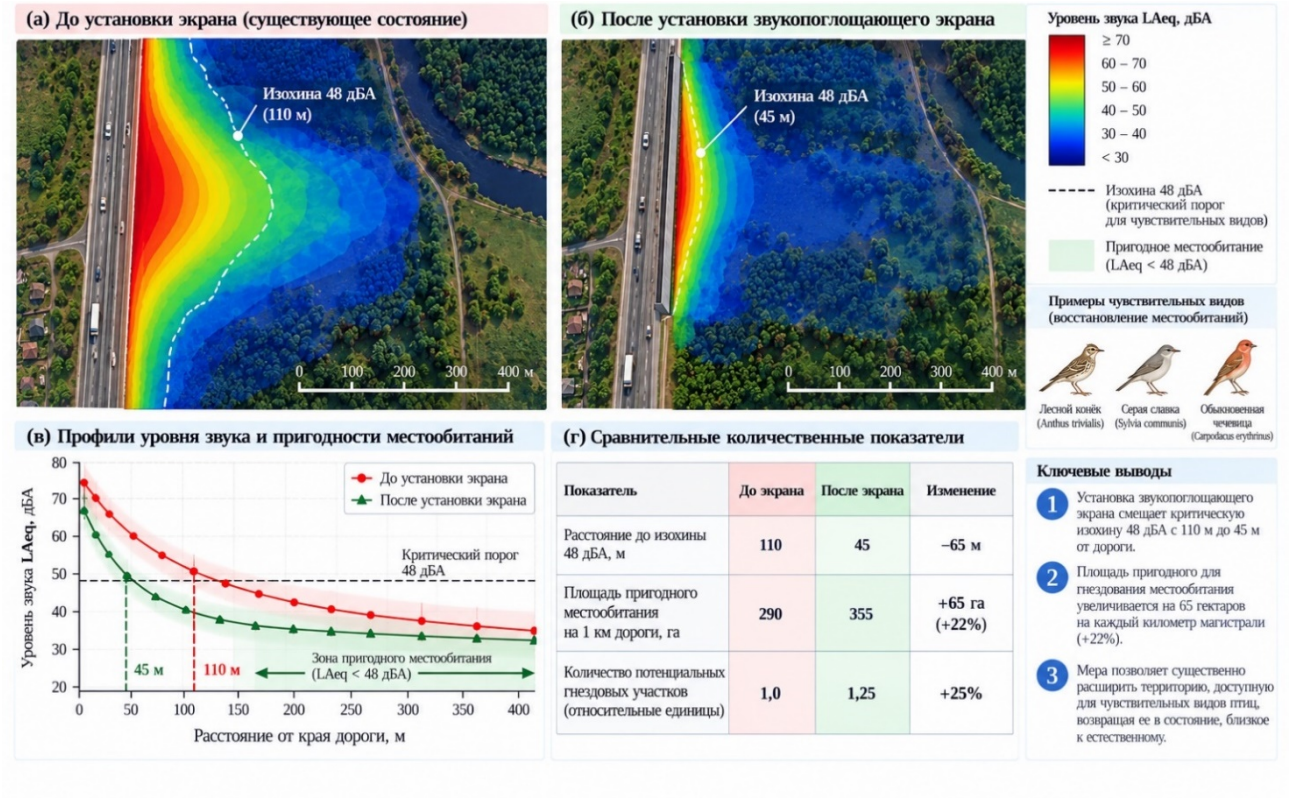


Рисунок 4 - Пространственная модель восстановления пригодности местообитаний для орнитокомплекса после установки звукопоглощающего экрана (источник: разработано авторами)

Таким образом, транспортный шум выступает фактором, изменяющим структуру орнитокомплексов и вынуждающий виды к энергетически затратным вокальным адаптациям. Переход от интегральных акустических метрик к спектрально-временному анализу позволяет выявить скрытые зоны биологического дискомфорта, невидимые при использовании стандартных санитарных нормативов [17], [18]. Применение звукопоглощающих конструкций, обеспечивающих преимущественное ослабление низкочастотных компонентов шума, представляет собой наиболее эффективный и количественно обоснованный метод инженерной экологии для минимизации воздействия инфраструктуры на городское биоразнообразие.

Выводы. Существующая практика городского экологического мониторинга исторически опирается на санитарно-гигиенические нормативы, ориентированные исключительно на защиту здоровья человека. Однако полученные в ходе настоящего исследования данные, согласующиеся с

выводами масштабных международных метаанализов, убедительно доказывают несостоятельность такого антропоцентрического подхода при оценке состояния городской биоты. Биологические сдвиги в орнитокомплексах запускаются при уровнях звукового давления, значительно превышающих естественный фон, но зачастую остающихся в пределах условно «допустимых» для человека значений. Формирование полноценной системы экологической безопасности требует перехода от регистрации интегральной громкости к анализу спектрально-временных характеристик акустической среды, поскольку именно низкочастотное маскирование выступает главным фактором деградации местообитаний и разрыва внутривидовых коммуникаций.

Ключевым шагом в модернизации мониторинга должно стать внедрение биоакустических протоколов, учитывающих специфику сенсорного восприятия животных. Вместо повсеместно используемого показателя dBA, который нивелирует важные частотные нюансы, оценочные процедуры необходимо дополнять измерением эквивалентных уровней звука (LAeq) и расчетом доли акустической энергии в диапазоне до 2 кГц. Такой подход позволяет объективно выделять зоны скрытого экологического дискомфорта, невидимые при стандартном шумовом картографировании. Одновременно необходимо совершенствовать методы орнитологических учётов. Опора исключительно на визуальное обнаружение птиц в шумных локациях неизбежно ведет к занижению реального видового богатства из-за маскировки сигналов. Изменения частотных и временных характеристик вокализации могут отражать поведенческую пластичность птиц в условиях акустического маскирования. В рассматриваемом исследовании зарегистрированы различия параметров песен между шумовыми и контрольными зонами.

Инженерно-планировочные решения в городской среде также нуждаются в концептуальном пересмотре. Практика проектирования показывает, что традиционные шумозащитные экраны, эффективно снижая общий уровень звука, часто недостаточно ослабляют низкочастотный шум магистралей,

который продолжает маскировать акустические сигналы животных. Внедрение пористых звукопоглощающих конструкций, целенаправленно удаляющих низкочастотный спектр, способно кардинально изменить ситуацию. Показано, что количественная оценка экологического эффекта от установки таких барьеров должна включать не только физическое сокращение площади шумового шлейфа, но и расчет восстановления пригодности местообитаний для чувствительных таксонов. Подобный расчет, базирующийся на выявленных пороговых значениях акустического маскирования, позволит обосновать природоохранную целесообразность инвестиций в инфраструктурные проекты.

Одним из основных выводов работы является необходимость учитывать акустический фактор при оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании новых транспортных развязок. Транспортный шум следует рассматривать не только как физическое загрязнение, но и как фактор нарушения экологических связей. Включение спектрального анализа шума и биоакустического мониторинга в систему градостроительного нормирования создаст научную основу для сохранения биоразнообразия в урбанизированных ландшафтах. Для практической реализации предложенных подходов мы разработали матрицу интеграции акустических и биоакустических показателей в систему городского экологического контроля (Таблица 3).

Таблица 3 - Предлагаемая матрица интеграции акустических и биоакустических показателей в систему городского экологического мониторинга

Уровень оценки	Традиционный подход (исключается / ограничивается)	Предлагаемый эколого-акустический подход	Критерии оценки эффективности природоохранных мероприятий
Физическое поле	Измерение максимального и эквивалентного уровня в dBA.	Измерение LAeq, L10, L90. Анализ спектральной плотности в диапазоне 0,1–2,0 кГц. Оценка временной структуры шума.	Снижение доли низкочастотной энергии на 30% и более. Сокращение площади зоны с LAeq > 45 дБА.
Биоакустическое поле	Визуальные маршрутные	Комбинированный метод: визуальные учеты	Восстановление естественных

	учеты птиц. Фиксация факта регистрации.	+ автоматический анализ аудиозаписей (song rate, минимальная и пиковая частоты вокализации модельных видов).	спектральных характеристик песен модельных видов. Возвращение показателя song rate к фоновым значениям.
Структура сообщества	Подсчет общего количества особей и видов без учета зон маскирования.	Оценка видового богатства и обилия с применением пороговых значений акустического дискомфорта. Учет каскадных эффектов на беспозвоночных.	Увеличение индекса видового богатства в буферных зонах. Восстановление трофических взаимодействий «хищник-жертва» в придорожных полосах.
Инженерные решения	Установка отражающих экранов. Оценка по снижению общего dB.	Применение звукопоглощающих конструкций с пористой структурой. Моделирование распространения низких частот.	Количественное расширение площади пригодных для гнездования местообитаний (в гектарах на 1 км магистрали).

Источник: разработано авторами.

Полученные результаты показывают, что транспортный шум может сопровождаться изменениями биоакустической активности птиц и условий их обнаружения. Для оценки воздействия целесообразно совместно использовать интегральные и спектральные характеристики шумового поля, визуальные учёты и автоматическую регистрацию вокализации. Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на изучении отдаленных последствий хронического шумового стресса на репродуктивный успех птиц и разработке нормативных требований к уровню шума для ключевых городских рефугиумов.

Список литературы

1. Levik A., Dobromyslov I., Goretskaia M., Matasov V., Filyushkina A. Ecoacoustic Methods Application for Urban Biodiversity Monitoring // Urban Ecosystems. 2025. Vol. 28. Art. 4. DOI: 10.1007/s11252-024-01662-7.
2. Uebel K., Bonn A., Marselle M., Dean A. J., Rhodes J. R. Understory Vegetation Can Promote Bird Sounds and Reduce Traffic Noise in Urban Park Soundscapes // Urban Ecosystems. 2025. Vol. 28. Art. 71. DOI: 10.1007/s11252-025-01673-y.
3. Кривая Д. В. Исследование влияния антропогенного шума на вокализацию

птиц в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в контексте создания художественного проекта // Городские исследования и практики. 2026. Т. 11. № 2. С. 46–58. DOI: 10.17323/usp112202646-58.

4. Hao Z., Zhang C., Li L., Sun B., Luo S., Liao J., Wang Q., Wu R., Xu X., Lepczyk C. A., Pei N. Can Urban Forests Provide Acoustic Refuges for Birds? Investigating the Influence of Vegetation Structure and Anthropogenic Noise on Bird Sound Diversity // Journal of Forestry Research. 2024. Vol. 35. Art. 33. DOI: 10.1007/s11676-023-01689-0.

5. Марголина И. Л., Горецкая А. Г., Слипенчук М. В. Влияние шумового воздействия от автотранспорта на рекреационные функции зеленых территорий // Проблемы региональной экологии. 2023. № 3. С. 73–77. DOI: 10.24412/1728-323X-2023-3-73-77.

6. Hao Z., Zhang C., Li L., Gao B., Wu R., Pei N., Liu Y. Anthropogenic Noise and Habitat Structure Shaping Dominant Frequency of Bird Sounds Along Urban Gradients // iScience. 2024. Vol. 27. No. 2. Art. 109056. DOI: 10.1016/j.isci.2024.109056.

7. Nesterenko V. M. / Нестеренко В. М. Шумозащитная эффективность зеленых насаждений города Брянска // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 3. С. 259–273. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-3-259-273.

8. Salas-Rodríguez C. Y., Lara C., Sánchez-González L. A., Corcuera P. Influence of Park Size and Noise Pollution on Avian Species Richness in Urban Green Spaces: A Case Study from Mexico City // Birds. 2025. Vol. 6. No. 3. Art. 46. DOI: 10.3390/birds6030046.

9. Yang Y., Chen Y., Ye Z., Song Z., Xiong Y. Springtime Spatio-Temporal Distribution of Bird Diversity in Urban Parks Based on Acoustic Indices // Global Ecology and Conservation. 2024. Vol. 53. Art. e02995. DOI: 10.1016/j.gecco.2024.e02995.

10. Pena J. C., Ovaskainen O., MacGregor-Fors I., Teixeira C. P., Ribeiro M. C. The Relationships Between Urbanization and Bird Functional Traits Across the Streetscape

// Landscape and Urban Planning. 2023. Vol. 232. Art. 104685. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2023.104685.

11. Song Z., Yang Z., Xiong Y., Yang Y. Assessing the Drivers of Bird Diversity in Urban Parks During Winter: Insights from Acoustic Indices // Ecological Indicators. 2025. Vol. 178. Art. 113854. DOI: 10.1016/j.ecolind.2025.113854.

12. Matthew D. A., Osinubi S. T., Ivande S. T., Iwajomo S. B., Ottosson U. Structural and Acoustic Properties of Urbanized Landscapes Adversely Affect Bird Communities in a Tropical Environment // Frontiers in Ecology and Evolution. 2024. Vol. 12. Art. 1457049. DOI: 10.3389/fevo.2024.1457049.

13. Devos P. The Bird Dawn Chorus Strength of an Urban Soundscape and Its Potential to Assess Urban Green Spaces // Sustainability. 2023. Vol. 15. No. 8. Art. 7002. DOI: 10.3390/su15087002.

14. Yang Y., Ye Z., Zhang Z., Xiong Y. Investigating the Drivers of Temporal and Spatial Dynamics in Urban Forest Bird Acoustic Patterns // Journal of Environmental Management. 2025. Vol. 376. Art. 124554. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.124554.

15. Morelli F., Tryjanowski P., Ibáñez-Álamo J. D., Díaz M., Suhonen J., Møller A. P. et al. Effects of Light and Noise Pollution on Avian Communities of European Cities Are Correlated with the Species' Diet // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Art. 4361. DOI: 10.1038/s41598-023-31337-w.

16. Bai Z., Meng L., Qi Z., Jiang S., Jin J., Wang C. Inter-Annual and Campaign-Based Diel Dynamics of Spring Bird Vocal Activity in a Central Urban Park // Urban Forestry & Urban Greening. 2026. Vol. 120. Art. 129391. DOI: 10.1016/j.ufug.2026.129391.

17. Jiang Q., Mao R., Zhao Y., Xie J., Lin C., Zhu R., Xiao Z., Chang J. Removing Non-Avian Sounds Enhances Correlations Between Acoustic Indices and Bird Vocal Activity in Urban Environments // Avian Research. 2026. Vol. 17. Art. 100361. DOI: 10.1016/j.avrs.2026.100361.

18. Santos P. M., Mennill D. J., Koper N., Cardoso G. C. Traffic Reduction During COVID-19 Lockdowns Benefited Species Already Tolerant of Noise Pollution: An Acoustic Analysis // The American Naturalist. 2026. Vol. 208. No. 1. DOI:

10.1086/740812.

References

1. Levik A., Dobromyslov I., Goretskaia M., Matasov V., Filyushkina A. Ecoacoustic Methods Application for Urban Biodiversity Monitoring // Urban Ecosystems. 2025. Vol. 28. Art. 4. DOI: 10.1007/s11252-024-01662-7.

2. Uebel K., Bonn A., Marselle M., Dean A. J., Rhodes J. R. Understory Vegetation Can Promote Bird Sounds and Reduce Traffic Noise in Urban Park Soundscapes // Urban Ecosystems. 2025. Vol. 28. Art. 71. DOI: 10.1007/s11252-025-01673-y.

3. Krivaya D. V. Issledovanie vliyaniya antropogennogo shuma na vokalizaciyu pticz v Sankt-Peterburge i Leningradskoj oblasti v kontekste sozdaniya xudozhestvennogo proekta // Gorodskie issledovaniya i praktiki. 2026. T. 11. № 2. S. 46–58. DOI: 10.17323/usp112202646-58.

4. Hao Z., Zhang C., Li L., Sun B., Luo S., Liao J., Wang Q., Wu R., Xu X., Lepczyk C. A., Pei N. Can Urban Forests Provide Acoustic Refuges for Birds? Investigating the Influence of Vegetation Structure and Anthropogenic Noise on Bird Sound Diversity // Journal of Forestry Research. 2024. Vol. 35. Art. 33. DOI: 10.1007/s11676-023-01689-0.

5. Margolina I. L., Goreczkaya A. G., Slipenchuk M. V. Vliyanie shumovogo vozdejstviya ot avtotransporta na rekreacionny`e funkcii zeleny`x territorij // Problemy` regional`noj e`kologii. 2023. № 3. S. 73–77. DOI: 10.24412/1728-323X-2023-3-73-77.

6. Hao Z., Zhang C., Li L., Gao B., Wu R., Pei N., Liu Y. Anthropogenic Noise and Habitat Structure Shaping Dominant Frequency of Bird Sounds Along Urban Gradients // iScience. 2024. Vol. 27. No. 2. Art. 109056. DOI: 10.1016/j.isci.2024.109056.

7. Nesterenko V. M. / Nesterenko V. M. Shumozashchitnaya effektivnost' zelenykh nasazhdenii goroda Bryanska // Vestnik RUDN. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2024. T. 32. № 3. S. 259–273. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-3-259-273.

8. Salas-Rodríguez C. Y., Lara C., Sánchez-González L. A., Corcuera P. Influence of

Park Size and Noise Pollution on Avian Species Richness in Urban Green Spaces: A Case Study from Mexico City // Birds. 2025. Vol. 6. No. 3. Art. 46. DOI: 10.3390/birds6030046.

9. Yang Y., Chen Y., Ye Z., Song Z., Xiong Y. Springtime Spatio-Temporal Distribution of Bird Diversity in Urban Parks Based on Acoustic Indices // Global Ecology and Conservation. 2024. Vol. 53. Art. e02995. DOI: 10.1016/j.gecco.2024.e02995.

10. Pena J. C., Ovaskainen O., MacGregor-Fors I., Teixeira C. P., Ribeiro M. C. The Relationships Between Urbanization and Bird Functional Traits Across the Streetscape // Landscape and Urban Planning. 2023. Vol. 232. Art. 104685. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2023.104685.

11. Song Z., Yang Z., Xiong Y., Yang Y. Assessing the Drivers of Bird Diversity in Urban Parks During Winter: Insights from Acoustic Indices // Ecological Indicators. 2025. Vol. 178. Art. 113854. DOI: 10.1016/j.ecolind.2025.113854.

12. Matthew D. A., Osinubi S. T., Ivande S. T., Iwajomo S. B., Ottosson U. Structural and Acoustic Properties of Urbanized Landscapes Adversely Affect Bird Communities in a Tropical Environment // Frontiers in Ecology and Evolution. 2024. Vol. 12. Art. 1457049. DOI: 10.3389/fevo.2024.1457049.

13. Devos P. The Bird Dawn Chorus Strength of an Urban Soundscape and Its Potential to Assess Urban Green Spaces // Sustainability. 2023. Vol. 15. No. 8. Art. 7002. DOI: 10.3390/su15087002.

14. Yang Y., Ye Z., Zhang Z., Xiong Y. Investigating the Drivers of Temporal and Spatial Dynamics in Urban Forest Bird Acoustic Patterns // Journal of Environmental Management. 2025. Vol. 376. Art. 124554. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.124554.

15. Morelli F., Tryjanowski P., Ibáñez-Álamo J. D., Díaz M., Suhonen J., Møller A. P. et al. Effects of Light and Noise Pollution on Avian Communities of European Cities Are Correlated with the Species' Diet // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Art. 4361. DOI: 10.1038/s41598-023-31337-w.

16. Bai Z., Meng L., Qi Z., Jiang S., Jin J., Wang C. Inter-Annual and Campaign-Based

Diel Dynamics of Spring Bird Vocal Activity in a Central Urban Park // Urban Forestry & Urban Greening. 2026. Vol. 120. Art. 129391. DOI: 10.1016/j.ufug.2026.129391.

17. Jiang Q., Mao R., Zhao Y., Xie J., Lin C., Zhu R., Xiao Z., Chang J. Removing Non-Avian Sounds Enhances Correlations Between Acoustic Indices and Bird Vocal Activity in Urban Environments // Avian Research. 2026. Vol. 17. Art. 100361. DOI: 10.1016/j.avrs.2026.100361.

18. Santos P. M., Mennill D. J., Koper N., Cardoso G. C. Traffic Reduction During COVID-19 Lockdowns Benefited Species Already Tolerant of Noise Pollution: An Acoustic Analysis // The American Naturalist. 2026. Vol. 208. No. 1. DOI: 10.1086/740812.

Статья поступила в редакцию 11.08.2026; одобрена после рецензирования 08.09.2026; принята к публикации 16.10.2026.

The article was submitted 11.08.2026; approved after peer review 08.09.2026; accepted for publication 16.10.2026.