

Факторы формирования и развития акустической среды общественных пространств городских улиц

Константин Романович Назаров, Наталья Петровна Садовникова,
Михаил Александрович Куликов, Ярослав Анатольевич Трудов,
Тимофей Павлович Ковалев

Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ); г. Волгоград, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Один из главных техногенных факторов формирования экологических проблем — дорожно-транспортный комплекс, оказывающий агрессивное воздействие на окружающую среду. Это связано с высокими темпами урбанизации в мире. Одним из основных экологических рисков в процессе бурного развития городов считается изменение акустической среды городских улиц в связи с ростом шумового загрязнения. Необходимо выявить и систематизировать факторы, влияющие на акустическую среду общественных пространств городских улиц, для последующего выявления закономерностей между структурой улиц, их функционального и объектного наполнения и звукового ландшафта. Цель исследования — выявление и систематизация основных факторов, определяющих шумовое воздействие на общественные пространства городских улиц, качество акустической среды уличных территорий.

Материалы и методы. Использовали следующие методы: графоаналитический, обзор, систематизация, сравнительный анализ и синтез по научным, литературным источникам, связанным с современными подходами к оценке и организации акустической среды городских пространств, а также с методами защиты от транспортного шума.

Результаты. Определены основные факторы, влияющие на акустическую среду уличного пространства, а также определяющие потенциал изменений, позволяющий улучшить звуковой ландшафт. Факторы акустической среды систематизированы в следующие группы: факторы шума — влияют на уровень шума, характер возникновения, распространения в среде и его снижение; факторы звука — оказывают влияние на восприятие акустической среды, а также на качество звукового ландшафта городской улицы.

Выводы. На основе проведенного анализа современных отечественных и зарубежных источников, в которых отражены подходы к оценке, проектированию звуковых ландшафтов, защите от шума урбанизированных территорий, сформулировано предположение о взаимосвязи шумовых и звуковых факторов, влияющих на качество акустической среды, что подтверждает необходимость дополнительного исследования этой зависимости и формирования новой стратегии организации звукового ландшафта общественных пространств городских улиц.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: защита от шума, город, акустическая среда, звуковой ландшафт, городские улицы, общественные пространства

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств программы развития ВолгГТУ «Приоритет-2030» в рамках научного проекта № 45/641-24.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Назаров К.Р., Садовникова Н.П., Куликов М.А., Трудов Я.А., Ковалев Т.П. Факторы формирования и развития акустической среды общественных пространств городских улиц // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 4. Ст. 80–97. URL: <http://nsso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.4.80-97

Автор, ответственный за переписку: Константин Романович Назаров, nazarov.knstr@gmail.com.

Factors of formation and development of acoustic environment of public spaces of city streets

Konstantin R. Nazarov, Natalia P. Sadovnikova, Mikhail A. Kulikov,
Yaroslav A. Trudov, Timofey P. Kovalev
Volgograd State Technical University (VSTU); Volgograd, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. One of the main technogenic factors in the formation of environmental problems is the road transport complex, which has an aggressive impact on the environment. This is due to the high rates of urbanisation around the world. One of the main environmental risks in the process of rapid urban development is considered to be a change in the acoustic environment of urban streets due to an increase in noise pollution. It is necessary to identify and systematise the factors affecting the acoustic environment of public spaces of city streets, in order to subsequently identify patterns between the structure of streets, their functional and object content and the soundscape. The purpose of the study is to identify and

systematize the main factors determining the noise impact on public spaces of urban streets, the quality of the acoustic environment of street territories.

Materials and methods. In the course of this study, the following methods were used: graphoanalytic, review, systematisation, comparative analysis and synthesis based on scientific and literary sources related to modern approaches to the assessment and organisation of the acoustic environment of urban spaces, as well as methods of protection from traffic noise.

Results. The main factors influencing the acoustic environment of the street space are identified, as well as determining the potential for changes to improve the soundscape. The factors of the acoustic environment are systematised into the following groups: noise factors — affect the noise level, the nature of its occurrence, propagation in the environment and its reduction; sound factors — influence the perception of the acoustic environment, as well as the quality of the soundscape of a city street.

Conclusions. Within the framework of this study, based on the analysis of modern domestic and foreign sources, which reflect approaches to the assessment, design of soundscapes, protection from noise of urbanised territories, an assumption is formulated about the relationship of noise and sound factors affecting the quality of the acoustic environment, which confirms the need for additional research of this dependence and the formation of a new strategy for the organization of the soundscape public spaces of city streets.

KEYWORDS: noise protection, city, acoustic environment, soundscape, city streets, public spaces

Acknowledgements. The research was carried out at the expense of the funds of the development programme of VSTU "Priority-2030", within the framework of scientific project No. 45/641-24.

FOR CITATION: Nazarov K.R., Sadovnikova N.P., Kulikov M.A., Trudov Ya.A., Kovalev T.P. Factors of formation and development of acoustic environment of public spaces of city streets. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(4):80-97. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.4.80-97

Corresponding author: Konstantin R. Nazarov, nazarov.knstr@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы экологической безопасности городов на сегодняшний день как никогда актуальны. Это связано с высокими темпами урбанизации в мире. Увеличение городского населения происходит вследствие улучшения качества жизни в городах, появления возможностей проживания в городских районах, а также в связи с ростом числа городов с улучшенной инфраструктурой в развивающихся странах [1]. Все вышеперечисленные причины неминуемо ведут к возникновению проблем экологической безопасности городской среды.

Одним из главных техногенных факторов формирования экологических проблем является дорожно-транспортный комплекс, оказывающий агрессивное воздействие на окружающую среду [2]. Основным экологическим риском в процессе бурного развития городов считается изменение акустической среды урбанизированных территорий по причине роста шумового загрязнения. Доминирующим источником шума служит дорожное движение, от которого страдает 54 % европейского населения, проживающего в агломерациях, со средним расчетным уровнем шума более 55 дБ [3]. Для шума железнодорожного и воздушного транспорта проценты составляют 8 и 4 % соответственно [3].

По данным статистики, в 40 субъектах Российской Федерации более половины городского населения подвержено негативному воздействию дорожно-транспортного комплекса, в том числе и от дорожного шума [4]. По оценкам Мосэкомониторинга, более 70 % территорий столицы подвержены сверхнормативной шумовой нагрузке [5]. Одна из причин возникновения техногенного воздействия на урбанизированные территории — рост авто-

мобилизации (по данным на 1 января 2022 г. в РФ на каждую тысячу человек приходится 318 автомобилей) [2].

Городское население подвержено постоянному воздействию шума на территориях улиц микрорайонов, на рабочих местах, а также в жилых помещениях. Шумовое загрязнение оказывает негативное влияние на физическое и психическое состояние жителей. Во многих научных источниках [6–8] приведены данные, свидетельствующие о нарушениях в работе сердечно-сосудистой, центральной и вегетативной нервных систем людей, подверженных долговременному антропогенному шумовому воздействию. Также неблагоприятная акустическая среда влияет на когнитивные способности детей [3]. Всемирная организация здравоохранения оценивает бремя болезней в ЕС, связанных с дорожным движением, как ежегодную потерю 1,6 миллиона лет жизни с поправкой на инвалидность (DALY), что приводит к потере 1–2 дней в году на душу населения, и характеризует шумовое загрязнение как недооцененную угрозу [3].

Сложнейшая задача повышения комфортности и безопасности городской среды на сегодняшний день заставляет градостроителей искать новые пути решения данной проблемы. Принятые во многих странах стратегии защиты от шума доказывают свою эффективность на практике, однако постоянно растущие требования к качеству городской среды, комфорту условий жизнедеятельности населения, отвечающие современным вызовам городов, указывают на недостаточность применяемых мер. В связи с этим в последнее десятилетие набирает актуальность подход, в основе которого лежит сохранение звукового ландшафта в дополнение к стратегии защиты от шума.

Данное направление исследований является новым и перспективным, так как отражает современные тенденции отношения к качеству городской среды. В отечественной и зарубежной практиках по теме звукового ландшафта накоплено множество исследований теоретического и практического характера. Изучение звуковых сред впервые начато в конце 1960-х гг. Понятие «звуковой ландшафт», введенное канадским композитором, экологом Р.М. Шейфером, интерпретирует процессы взаимодействия человека и акустической среды [9]. Звуковой ландшафт характеризуется восприятием звуковой среды в контексте с присущим ему физическим и эмоциональным откликом. Основная задача этого подхода — управление звуком, предполагающее рациональное применение и сохранение позитивных акустических сред. Подход к звуковому ландшафту позволяет по-новому взглянуть на то, как не только акустики, но и градостроители, архитекторы могут использовать звуковую среду в процессе проектирования.

Относительно мало внимания уделяется в практике городского планирования исследованиям звука, учитывая важный вклад звукового ландшафта в процессе рационального городского планирования для улучшения здоровой окружающей среды как неотъемлемой части устойчивых городов и сообществ. На базе изученных отечественных и зарубежных научных материалов можно обозначить две ключевые причины данного явления:

1. Доминирование визуальной культуры на протяжении долгого времени во многих сферах человеческой жизнедеятельности, включая архитектуру и градостроительство, над другими сенсорными впечатлениями (включая звуковые) [10].

2. В существующих подходах, касающихся акустической среды, основной задачей является снижение шумового воздействия, сосредоточенное на уровне звукового давления. Мероприятия, описанные в современных нормативных актах, основаны на минимизации негативного воздействия, защите людей от нежелательного, опасного шума. Уровни звука сами по себе не дают полного представления о звуковой среде, а снижение шума может быть причиной других проблем. Доминирующая на протяжении многих лет стратегия защиты от шума не учитывает реальный опыт восприятия звукового ландшафта в городских условиях. При подходе к проектированию, главной задачей которого служит комплексное рассмотрение акустической ситуации, основанной на звуковых предпочтениях людей, звук воспринимается как ресурс, который важно сохранять и улучшать для формирования качественной городской среды [11, 12]. Данный подход к звуковому ландшафту включает добавление или усиление желаемых звуков, а также уменьшение или устранение нежелательных. Влияние звуковой среды на здоровье, качество жизни человека также существенно, как и шумовое воздействие. В отличие от шума звук способен оказывать

положительное влияние на физическое и психическое состояние, звуки природы способствуют восстановлению после перенесенного стресса [13]. В целях повышения эффективности мероприятий по борьбе с шумовым загрязнением и формированию благоприятной акустической среды городских территорий необходима формулировка знаний в практике градостроительства о звуковых ландшафтах в контексте взаимосвязи источников звука и их эмоционального восприятия.

Применение методов создания позитивных звуковых ландшафтов в процессе проектирования городского уличного пространства имеет важное значение в формировании безопасной и привлекательной городской среды. Пространство улицы включает не только транзитную функцию для моторизованного и немоторизованного транспорта и пешеходов, но создает условия для социального взаимодействия и является центром общественной жизни. Пользователи общественных пространств улиц наиболее подвержены шумовой нагрузке, а также негативно-му звуковому воздействию, так как находятся в непосредственной близости к линейному источнику шума. Важно комплексно подходить к решению этого вопроса, осуществляя защитные мероприятия в совокупности с повышением качества акустической среды городских уличных пространств на каждом этапе градостроительной деятельности.

Изучение зарубежных и отечественных научных трудов в сфере преобразования и сохранения звуковых ландшафтов городских территорий позволило выявить: подходы к исследованию акустической среды; методы количественной и качественной оценки воздействия звука на окружающее пространство и человека, в том числе разработанные на основе современных информационных технологий с использованием машинного обучения; взаимосвязи между качеством звуковой среды и градостроительными параметрами урбанизированных территорий для достижения цели устойчивого развития.

Перед тем как рассмотреть современные тенденции научных работ по теме звукового ландшафта важно отметить основные подходы к формированию качественных акустических сред, входящие в нынешние стратегии по их сохранению и преобразованию, а также в основу данного исследования. В своем труде [14] Б. Хеллстрем (2003), следуя работе Амфу (1993), описывает три различных общих подхода к управлению звуковой средой: оборонительный, наступательный и творческий (рис. 1). Защитная стратегия направлена на предотвращение негативного влияния звуков, которые считаются нежелательными или опасными; наступательная стратегия больше ориентирована на выявление качества звуковой среды для придания ему должного значения; творческая стратегия включает введение или усиление желаемых звуков. Развивая мысли Б. Хеллстрема, Г. Сервен (2016) предлагает [15] собственную трехчастную



Рис. 1. Стратегия преобразования звукового ландшафта
Б. Хеллстрема (2003)

стратегию (3 категории) по преобразованию акустической среды (рис. 2):

- категория I касается стратегической локализации функций и ее влияния на звуковую среду. Наиболее типичным применением категории I является предотвращение нежелательных звуков путем обеспечения достаточного расстояния;
- категория II связана с рассмотрением того, как такие вмешательства в ландшафт, как шумозащита, топографические изменения или применение акустически подходящих материалов, могут быть использованы для уменьшения нежелательных звуков в данной области;
- категория III касается преднамеренного введения элементов, которые производят желаемый звук, таких как водные объекты, шелест растительности, гравийные пешеходные дорожки, биотопы для птиц или звуковое искусство. Таким образом, основное внимание уделяется положительным звуковым качествам, которые сознательно стимулируются или внедряются.

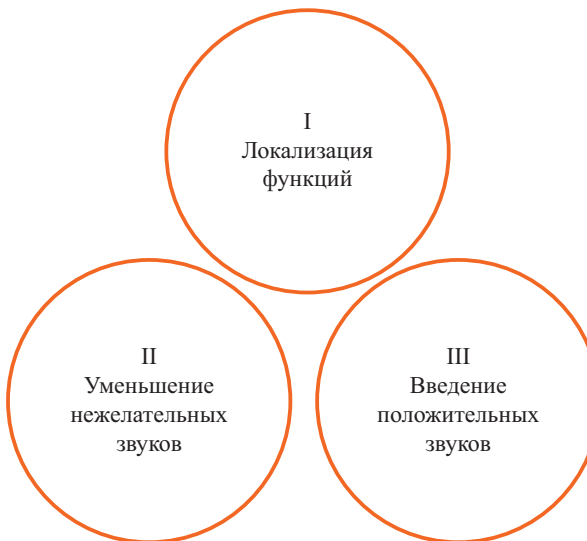


Рис. 2. Стратегия преобразования звукового ландшафта
Г. Сервен (2016)

Оба подхода отвечают современным требованиям, предъявляемым в области развития общественных пространств городских территорий, в том числе улиц, для создания комфортной и безопасной среды жизнедеятельности населения. Однако подходы носят достаточно общий характер и не имеют конкретных мероприятий, основанных на достоверных данных о взаимосвязи качественных и количественных характеристик восприятия звукового ландшафта человеком и пространственных характеристик городской застройки.

Изучая зарубежные исследования, можно отметить огромный накопленный теоретический и практический опыт в сфере оценки психического и физического влияния звукового ландшафта на человека в совокупности с различными компонентами среды, морфологией пространства, визуального восприятия.

В статье [16] исследовано влияние звукового ландшафта на психическое состояние и поведение человека. Проанализирована реакция людей на естественные и антропогенные звуки в условиях городской застройки.

Авторы публикации [17] провели сравнительную оценку звуковых ландшафтов в контексте различных видов деятельности пешеходных зон, прилегающих к магистральным дорогам. Выявлено, что в пешеходных зонах с постоянным шумом дорожного движения присутствие значительных звуков человеческой деятельности приводит к снижению воспринимаемого преобладания транспортного шума и повышению акустического комфорта, несмотря на более высокую акустическую энергию.

В исследовании [18] рассмотрено влияние звука на восприятие границ застройки в городских уличных каньонах с различным отношением высоты зданий к их ширине. Результаты эксперимента показывают, что воспринимаемые замкнутость, простор и приятность визуальных стимулов снижаются по мере увеличения отношения высоты к ширине. Представление звука значительно влияет на восприятие линии застройки и воспринимаемого простора, в то время как на воспринимаемую приятность звук имеет минимальное воздействие. Влияние звука на субъективные реакции более характерно для узких улиц, чем для широких.

Также на звуковое восприятие влияют и визуальные образы озелененных пространств. Проведен эксперимент, в ходе которого оценено влияние визуальных стимулов — листвы деревьев, попадающих в кадр панорамных снимков [19]. Деревья оказывали положительное воздействие на людей, оценивающих звуковую среду исследуемого пространства.

В работе [20] разработана методология, применяемая для стратификации городских дорог по их функциональности только с учетом городских особенностей. Предполагается, что это инструмент для группировки похожих улиц и, следовательно,

шума дорожного движения, позволяющий специалистам по городскому планированию и транспорту поддерживать снижение воздействия шума на людей.

Целью изучения китайских авторов [21] является определение методов снижения уровня шума от транспорта и увеличения тихих зон в сельских жилых районах Китая путем управления относительным местоположением и городскими морфологическими параметрами.

Отечественные исследования звука пока не такие многочисленные, как зарубежные, однако можно выделить несколько из немногих практических работ. В научном труде М.А. Чубуковой [22] представлен подход к анализу звуковых ландшафтов городских территорий и предложена методология описания городской акустической среды, а также приведены социологические исследования мнений горожан о комфортности звуковой среды.

В научной работе [23] С.В. Корниенко рассмотрены пространственно-временные закономерности между различными источниками звука и акустическим качеством среды на урбанизированных территориях. А также разработана корреляционная модель, позволяющая прогнозировать изменение критериев эмоционально воспринимаемого качества городской среды в зависимости от источника звука. Описаны основные принципы снижения уровня городского шума и создания позитивной акустической среды [24]. В статье [9] сформулировано новое понятие — фонотоп, предназначенное для комплексной оценки акустического качества городской среды. Фонотоп является частью звуковой среды, отличающейся от окружающей атмосферы особым акустическим режимом. Фонотоп задает основные акустические характеристики, определяя круг организмов, которые могут существовать в данной экосистеме. Также в данной статье для оценки акустического режима урбанизированных территорий введем новый показатель — городской акустический индекс (Urban Acoustic Index, UAI).

Анализ отечественных и зарубежных источников показывает востребованность и актуальность современных подходов к формированию позитивной акустической среды, основанных на стратегиях защиты от шума, сохранения и внедрения желаемых звуков в исследуемое пространство. В связи с этим необходимо сформулировать факторы, влияющие на акустическую среду общественных пространств городских улиц, для последующего выявления закономерностей между структурой улиц, их функционального и объектного наполнения и звукового ландшафта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовали следующие методы: графоаналитический, обзор, систематизация, сравнительный анализ и синтез по научным, литературным источникам, связанным с современными подходами к оценке и организации акустической среды городских про-

странств, а также с методами защиты от транспортного шума. Поиск выполнен в базах данных Scopus и Web of Science, а также в научной электронной библиотеке eLibrary с использованием соответствующих ключевых слов: защита от шума, город, акустическая среда, звуковой ландшафт, городские улицы, общественные пространства.

Поиск и систематизация данных производились на вычислительном комплексе высокой производительности, внедренном на кафедре цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве ВолГТУ в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Цель исследования — выявление основных факторов, определяющих шумовое воздействие на общественные пространства городских улиц, качество акустической среды уличных территорий.

Выбор темы исследования обоснован актуальностью направления в изучении городского звука и методов борьбы с шумовым загрязнением. Широкая реализация государственных, региональных и городских программ в отечественной и мировой градостроительных практиках, главной задачей которых является создание комфортной городской среды, подтверждают актуальность выбранной темы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Городские улицы обеспечивают разнообразие функций, комфортное и безопасное движение транспорта и пешеходов. Согласно СП «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений», улица — территория общего пользования, ограниченная красными линиями улично-дорожной сети (УДС) города. В свою очередь, общественное пространство — это свободная для посещения людей с различными целями (рекреация, коммуникация, досуг и т.д.) территория. Территорию общего пользования улицы условно можно разделить на две части: транспортную зону и бестранспортное пространство (общественную зону). Характерное для уличного пространства расположение транспортной и общественно-деловой функций в непосредственной близости друг от друга создает множество проблем природно-экологического характера, в перечень которых входит шумовое загрязнение. Многие европейские и российские государственные программы и проекты, отражающие современные подходы к планированию и проектированию городских улиц, одним из основных аспектов устойчивого развития считают экологический, отвечающий за повышение экологической безопасности территории городских улиц за счет снижения влияния негативных воздействий. Основное назначение федерального проекта «Формирование комфортной городской среды» — «осуществить импульс» для повышения индекса ее качества, создать механизмы ее комплексного развития и обеспечить рациональное и эффективное использование территорий

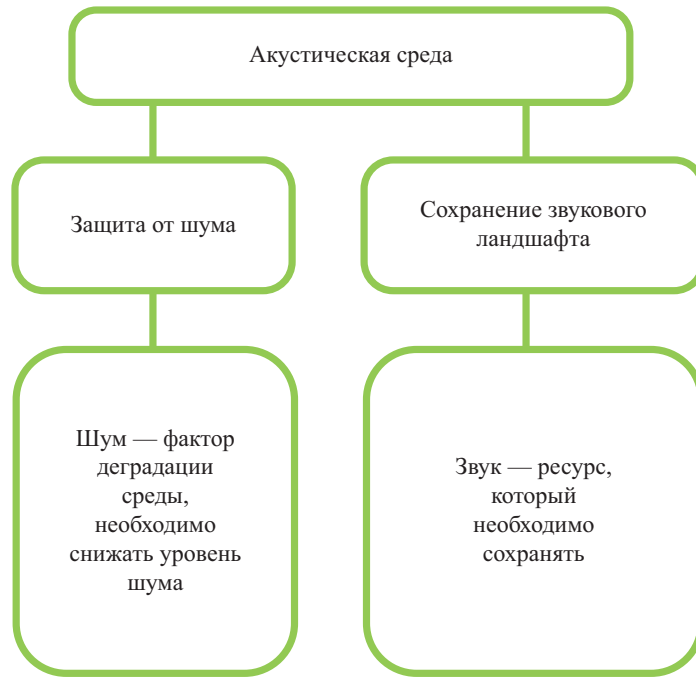


Рис. 3. Подход к организации звукового ландшафта общественных пространств городских улиц

городских улиц. Улучшение городской акустической среды связано с целями устойчивого развития Организации Объединенных Наций. Устойчивые города и сообщества являются одной из главных целей (цель 11), в рамках которых задачи на 2030 г. включают снижение неблагоприятного воздействия городов в пересчете на душу населения, окружающую среду и обеспечение всеобщего доступа к безопасным, инклюзивным и доступным, зеленым и общественным пространствам [3]. Согласно положениям документа зеленые и другие общественные места требуют достаточно низкого уровня шума для обеспечения желаемой функции. Звуковой ландшафт — неотъемлемая часть акустической безопасности урбанизированных территорий и его качество должно соответствовать принятым нормативам и программам.

Согласно ISO 12913-1:2014 звуковой ландшафт — акустическая среда, воспринимаемая или переживаемая и/или понимаемая людьми в контексте, а акустическая среда — совокупность звуков из всех источников, находящихся в окружающей среде. В российских нормативных документах формулировки о звуковом ландшафте отсутствуют, в СП 51.13330.2011 «Защита от шума» содержатся обязательные требования к защите от шума, которые должны выполняться при планировке и застройке городских и сельских поселений, и обеспечению нормативных параметров акустической среды. Комфортность звукового ландшафта на сегодняшний день не имеет точного определения, так как является концептуальной. Для многих ученых это обширное поле для исследовательской деятельности, требующее более глубокого изучения, так как на акустический комфорт в городских открытых пространствах могут влиять определенные простран-

ственные и экологические факторы, а также социальные и поведенческие характеристики пользователей.

Таким образом, для реализации подхода к организации комфортного звукового ландшафта общественных пространств городских улиц (рис. 3), отвечающего требованиям устойчивого развития урбанизированных территорий, необходимо сформулировать основные факторы, влияющие на акустическую среду уличного пространства, а также определяющие потенциал улицы к преобразованию ее структуры с целью улучшения звуковых качеств.

Акустическая среда в зоне общественных пространств городских улиц рассмотрена как система, состоящая из совокупности элементов (рис. 4):

- шум — к этой категории относятся звук или совокупность звуков, оказывающих вредное или раздра-

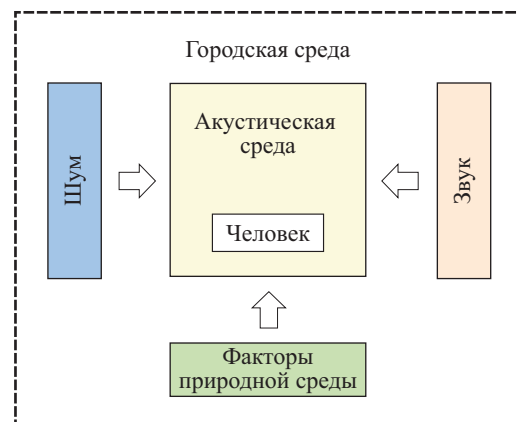


Рис. 4. Модель акустической среды общественных пространств городских улиц

жающее воздействие на организм человека, снижающих его работоспособность (линейный источник шума — автомагистраль);

- звуки — все воспринимаемые звуки, находящиеся в окружающем пространстве;
- факторы природной среды — факторы, создающие условия, под влиянием которых звук изменяет направление на пути распространения в среде (влажность, температура, давление, ветер, поверхностный покров земли, атмосферные осадки) [25];
- человек — центральный компонент общественного пространства городской улицы, который, находясь в акустической среде, воспринимает ее в контексте.

Каждый элемент системы характеризуется множеством факторов, состоящих из параметров и характеристик, оказывающих ту или иную степень влияния на звуковой ландшафт пространства и имеющих как количественные, так и качественные выражения, что позволило систематизировать их в следующие группы:

- факторы шума — влияют на уровень шума, характер возникновения, распространения в среде и его снижение;
- факторы звука — оказывают влияние на восприятие акустической среды, а также на качество звукового ландшафта городской улицы.

На основе анализа отечественных и зарубежных источников выбраны параметры из каждой группы факторов, оказывающие наибольшее влияние на звуковой ландшафт общественных пространств городских улиц (рис. 5).

Укажем показатели из группы факторов шума:

1. *Планировочные факторы*, влияющие на шум, в которые входят: конфигурация УДС, размещение в функционально-планировочной структуре города, характер прилегающей застройки, поперечный профиль улицы. От структуры УДС зависит пропускная способность улицы, определяет степень воздействия на прилегающую территорию улицы в часы пиковых нагрузок на транспортную систему. Функционально-планировочная структура прилегающих территорий формирует фокусы притяжения населения, к которым фиксируется повышенная интенсивность движения, соответственно состав и размер пешеходных потоков, подверженных негативному влиянию шума. Уличная застройка и поперечный профиль дорог влияют на уровень шума, пути его распространения, время реверберации.

2. *Транспортные факторы* характеризуются интенсивностью транспортного потока, составом и плотностью потока. Критерии определяют характеристики источника шума.

3. *Природно-экологические факторы*. Критериями оценки для данного фактора служат: наличие зеленых насаждений на территории общественного пространства городской улицы, поверхностный покров земли. Зеленые насаждения способствуют снижению

шумового воздействия на прилегающую пешеходную зону, экранируют и рассеивают часть энергии звука от автомобильной магистрали. Земляной покров также играет важную роль в рассеивании шума.

Из группы факторов звука отметим:

1. *Планировочные факторы*, влияющие на звук. К ним можно отнести: соотношение высоты зданий к их ширине в прилегающей к уличному пространству застройке, ширину улицы в границах линии застройки. Как известно из исследований, существует взаимосвязь между восприятием звука и визуальным восприятием морфологии окружающей застройки.

2. *Функционально-планировочные факторы*. Для оценки этих факторов используют следующий критерий: размещение в границах территориальных (функциональных) зон, наличие фокусов притяжения людей и уникальных объектов. Территориальным зонам города (жилая, общественно-деловая, производственная, рекреационная и т.д.) соответствуют значения городского акустического индекса UAI. Чем выше индекс, тем выше акустическое качество городской среды. Места, являющиеся ядром тяготения в структуре города, создают уникальный звуковой ландшафт данного пространства, что, в свою очередь, влияет на качество акустической среды. Уникальные звуковые эффекты в городском пространстве способствуют отчетливому ощущению места со значением, выходящим за рамки местного сообщества, они становятся своеобразными акустическими ориентирами — звуковыми метками [9].

3. *Функциональное наполнение пространства*. Оценка факторов происходит по следующим критериям: микрозонирование общественного пространства улицы, объектное наполнение пространства (благоустройство). Наличие различных функциональных зон, видов активности для посетителей влияет на такую характеристику звуковой среды как событийность. Общественное пространство городской улицы, обладающее рекреационным потенциалом, оказывает позитивное воздействие на общий уровень комфортности окружающей среды, это позволяет внести разнообразие в звуковые среды города, а также сформировать «слуховые убежища», где пользователи смогут восстанавливаться после длительного шумового воздействия, а также осуществлять коммуникации в более спокойной обстановке.

4. *Природные факторы* характеризуются наличием природных объектов (зеленые насаждения, водные объекты) на территории уличного пространства или в непосредственной близости от нее. В небольших зеленых зонах слышны природные звуки: шелест листьев, шум ветвей деревьев, щебетание птиц. Озелененные пространства на территории улицы оказывают акустическую разгрузку от окружающего шума, что является необходимым условием для восстановления психики и хорошего самочувствия [24].

5. *Природа происхождения звуков*. Звуки условно разделяются на естественные и антропогенные.

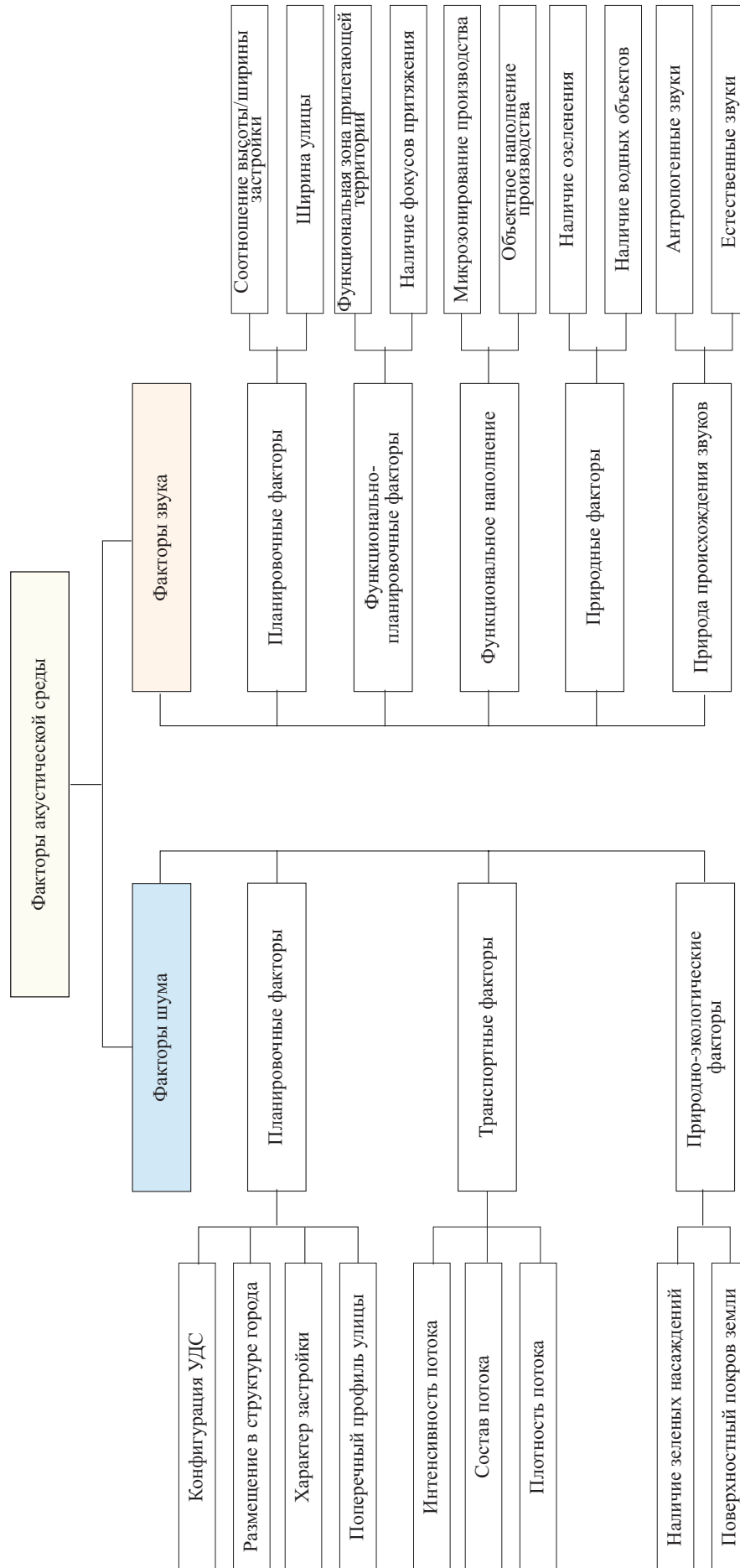


Рис. 5. Факторы, влияющие на акустическую среду общественных пространств городских улиц

Соотношение природных и механических звуков влияет на качество звукового ландшафта. Преобразование естественных звуков в акустической среде урбанизированных территорий положительно влияет на общее восприятие окружающего пространства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках данного исследования на основе проведенного анализа современных отечественных и зарубежных источников, в которых отражены подходы к оценке, проектированию звуковых ландшафтов, защите от шума урбанизированных территорий, рассмотрены основные группы факторов, влияющие на качество акустической среды общественных пространств городских улиц. На основе анализа выявленных факторов можно оценивать комфортность акустической среды общественного пространства,

определить наиболее подходящую конфигурацию УДС и потенциал территории к дальнейшему преобразованию с целью повышения звуковых качеств, а также планировать мероприятия для улучшения акустической среды и стратегии по борьбе с шумом.

В дальнейшем планируется провести корреляционный анализ совокупности факторов для выявления их значимости в процессе оценки качества акустической среды общественных пространств городских улиц. Необходимо выявить пространственно-временные закономерности и особенности морфологических параметров исследуемых участков улиц в зависимости от функционального назначения прилегающих городских территорий и их звуковой среды. Также требуется сформулировать перечень мероприятий для формирования безопасной акустической среды и повышения ее качества на основе данных анализа факторов, влияющих на звуковой ландшафт.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Корниенко С.В. Город как единая акустическая система // Энергосбережение. 2024. № 1. С. 32–35. EDN KVLDCP.
2. Ветрова Н.М., Бакаева Н.В., Вереха Т.В. Особенности оценки экологической безопасности урбанизированных рекреационных территорий при проектировании объектов транспортного строительства // Экология урбанизированных территорий. 2023. № 1. С. 38–48. DOI: 10.24412/1816-1863-2023-1-38-48. EDN EPWBDG.
3. Forssén J., Estévez-Mauriz L., Gustafson A., Kropp W. How can we plan for a good urban sound environment, focusing on road traffic noise? // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 588. Issue 5. P. 052037. DOI: 10.1088/1755-1315/588/5/052037
4. Графкина М.В., Нюнин Б.Н., Свиридова Е.Ю. Научно-практические рекомендации по снижению негативного воздействия автотранспортных потоков на селитебные территории // Экология урбанизированных территорий. 2018. № 1. С. 58–64. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-11058. EDN UOIMLM.
5. Надежкина Е.В., Тушавина О.В. Изучение антропогенных шумовых воздействий в Москве (на примере района Сокол и территории МАИ) // Экология урбанизированных территорий. 2022. № 2. С. 22–26. DOI: 10.24412/1816-1863-2022-2-22-26. EDN FTAINF.
6. Basner M., Babisch W., Davis A., Brink M., Clark C., Janssen S. et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health // The Lancet. 2014. Vol. 383. Pp. 1325–1332. DOI: 10.1016/s0140-6736(13)61613-x
7. Малышев А.А., Андина К.С. Экологическая безопасность природопользования на транспорте // Экология урбанизированных территорий. 2016. № 4. С. 22–26. EDN YFXRFP.
8. Лыков И.Н., Николаева Т.С., Рахимов К.В. Экологические и социальные аспекты шумового загрязнения окружающей среды // Экология урбанизированных территорий. 2019. № 2. С. 80–84. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-12080. EDN IZRWXR.
9. Корниенко С.В. Фонотоп как акустический маркер урбанизированных территорий // Энергосбережение. 2023. № 6. С. 44–49. EDN NHUQVY.
10. Майорова К.С. Академические исследования звука и аудиальный ренессанс в урбанистике // Визуальная антропология — 2019. Город-университет: жизненное пространство и визуальная среда : мат. III Междунар. научн. конф. 2020. С. 316–324. DOI: 10.34680/visant-2020-316-324. EDN BWNQX.
11. Назаров К.Р., Сеницын И.С., Хорунжий К.В. Оценка звукового ландшафта городских территорий // XXVIII Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области : сб. мат. конф. 2023. С. 336. EDN RXIYFO.
12. Рашиевский Н.М., Парыгин Д.С., Назаров К.Р., Сеницын И.С., Феклистов В.А. Интеллектуальный анализ звукового ландшафта городской территории // Социология города. 2023. № 1. С. 125–139. DOI: 10.35211/19943520_2023_1_125. EDN EITPEV.
13. Alvarsson J.J., Wiens S., Nilsson M.E. Stress recovery during exposure to nature sound and environmental noise // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2010. No. 7. Pp. 1036–1046.
14. Hellström B. Noise design: Architectural Modelling and the Aesthetics of Urban Acoustic Space : PhD dissertation. 2003.
15. Cervén G., Wingren C., Qviström M. Evaluating soundscape intentions in landscape architecture: a study of competition entries for a new cemetery in Järva, Stockholm // Journal of Environmental Planning and Management. 2016. Vol. 60. Issue 7. Pp. 1253–1275. DOI: 10.1080/09640568.2016.1215969

16. Stobbe E., Forlim C.G., Kühn S. Impact of exposure to natural versus urban soundscapes on brain functional connectivity, BOLD entropy and behavior // *Environmental Research*. 2024. Vol. 244. P. 117788. DOI: 10.1016/j.envres.2023.117788
17. Lu X., Xie Z., Zhu P., Dai X., Zhang Y., Tao W. *et al.* Comparative evaluation of soundscapes in human activities spatial contexts of pedestrian spaces adjacent to arterial roads // *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 928. P. 172198. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.172198
18. Yilmaz N.G., Lee P.J., Imran M., Jeong J.H. Role of sounds in perception of enclosure in urban street canyons // *Sustainable Cities and Society*. 2023. Vol. 90. P. 104394. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104394
19. Oberman T., Jambrošić K., Horvat M., Šćitaroci B.B.O. Using virtual soundwalk approach for assessing sound art soundscape interventions in public spaces // *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10. Issue 6. P. 2102. DOI: 10.3390/app10062102
20. Montenegro A.L., Rey-Gozalo G., Arenas J.P., Suárez E. Streets classification models by urban features for road traffic noise estimation // *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 932. P. 173005. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.173005
21. Yu W.L., Kang J. Relationship between traffic noise resistance and village form in China // *Landscape and Urban Planning*. 2017. Vol. 163. Pp. 44–55. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2017.02.016
22. Чубукова М.А. Особенности звуковой среды Арбатского района г. Москвы // *Городские исследования и практики*. 2015. С. 67–78. EDN ZSSCAB.
23. Korniyenko S., Zenin A. Correlation between sound sources and acoustic quality in urbanized areas // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2023. No. 4 (109). P. 10902. DOI: 10.4123/CUBS.109.2. EDN BDZNGO.
24. Корниенко С.В. Город: от снижения уровня шума до позитивной акустической среды // *Энергосбережение*. 2023. № 5. С. 18–33. EDN BQZEXI.
25. Ганжа О.А. Оценка шумового воздействия в зонах городских транспортных пересечений на геоэкологическую среду города (на примере г. Волгограда): дис. ... канд. техн. наук. М., 2009. 230 с. EDN NQOLWX.

Поступила в редакцию 28 августа 2024 г.

Принята в доработанном виде 12 сентября 2024 г.

Одобрена для публикации 20 сентября 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Константин Романович Назаров** — аспирант кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; **Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; nazarov.knstin@gmail.com;

Наталья Петровна Садовникова — доктор технических наук, профессор кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; **Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; npsn1@ya.ru;

Михаил Александрович Куликов — ассистент кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; **Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; mkulikov1997@mail.ru;

Ярослав Анатольевич Трудов — студент; **Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; trudovyaroslav@yandex.ru;

Тимофей Павлович Ковалев — студент; **Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; tankgame6@gmail.com.

Вклад авторов:

Назаров К.Р. — идея, сбор и обработка материала, написание статьи, создание графического материала, итоговые выводы.

Садовникова Н.П. — научное руководство, научное редактирование текста.

Куликов М.А. — сбор и обработка материала, написание статьи.

Трудов Я.А. — сбор и обработка материала, создание графического материала.

Ковалев Т.П. — сбор и обработка материала.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The issues of environmental safety of cities today are more relevant than ever. This is due to the high rate of urbanization in the world. The increase in urban population occurs due to the improvement of the quality of life in cities, the emergence of opportunities to live in urban

areas, as well as due to the growing number of cities with improved infrastructure in developing countries [1]. All the above-mentioned reasons inevitably lead to the problems of environmental safety of urban environment.

One of the main technogenic factors in the formation of environmental problems is the road transport complex, which has an aggressive impact on the envi-

ronment [2]. The main environmental risk in the process of rapid urban development is considered to be the change in the acoustic environment of urbanized areas due to the growth of noise pollution. The dominant source of noise is road traffic, which affects 54 % of the European population living in agglomerations, with an average design noise level of more than 55 dB [3]. For railway and air transport noise the percentages are 8 and 4 respectively [3].

According to statistics, in 40 subjects of the Russian Federation more than half of the urban population is exposed to the negative impact of the road transport complex, including road noise [4]. According to the estimates of Mosecomonitoring, more than 70 % of the capital's territories are exposed to excessive noise load [5]. One of the reasons for the technogenic impact on urbanized areas is the growth of motorization (according to the data as of 1 January 2022, there are 318 cars for every thousand people in the Russian Federation) [2].

The urban population is exposed to constant noise exposure in the territories of neighbourhood streets, at workplaces, as well as in residential areas. Noise pollution has a negative impact on the physical and mental state of residents. Many scientific sources [6–8] provide data indicating violations in the cardiovascular, central and vegetative nervous systems of people exposed to long-term anthropogenic noise impact. Also, unfavourable acoustic environment affects the cognitive abilities of children [3]. The World Health Organization estimates the burden of traffic-related disease in the EU as an annual loss of 1.6 million disability-adjusted life years (DALY), resulting in a loss of 1–2 days per year per capita, and describes noise pollution as an underestimated threat [3].

The most difficult task of increasing the comfort and safety of the urban environment today forces urban planners to look for new ways of solving this problem. The noise protection strategies adopted in many countries prove their effectiveness in practice, but the ever-growing requirements to the quality of urban environment, comfort of living conditions of the population, meeting the modern challenges of cities, indicate the insufficiency of the applied measures. In this regard, in the last decade the approach based on the preservation of soundscape in addition to the noise protection strategy has been gaining relevance.

This direction of research is new and promising, as it reflects the current trends of attitude to the quality of urban environment. In domestic and foreign practice on the topic of soundscape there are many studies of theoretical and practical nature. The study of sound environments was first started in the late 1960s. The concept of “soundscape”, introduced by the Canadian composer, ecologist R.M. Shafer, interprets the processes of interaction between humans and acoustic environment [9]. Soundscape is characterized by the perception of the sound environment in context with its inherent physical and emotional response. The main objective of this approach is sound management, involving the rational application and preservation of positive acoustic

environments. The soundscape approach provides new insights into how not only acousticians, but also urban planners and architects can utilize sound environments in the design process.

Relatively little attention is paid to sound research in urban planning practice, given the important contribution of the soundscape in the process of rational urban planning to improve healthy environments as an integral part of sustainable cities and communities. Based on the studied domestic and foreign scientific materials, two key reasons for this phenomenon can be identified:

1. The dominance of visual culture for a long time in many spheres of human life, including architecture and urban planning, over other sensory impressions (including sound) [10].

2. In existing approaches concerning the acoustic environment, the main objective is to reduce noise impact centred on the sound pressure level. The measures described in modern regulations are based on minimizing negative impacts, protecting people from unwanted, dangerous noise. Sound levels alone do not give a complete picture of the sound environment, and noise reduction may be the cause of other problems. The noise protection strategy that has dominated for many years does not take into account the actual experience of the soundscape in urban environments. In a design approach, whose main objective is a comprehensive consideration of the acoustic situation based on people's sound preferences, sound is perceived as a resource that is important to preserve and improve in order to form a quality urban environment [11, 12]. This approach to the soundscape includes adding or enhancing desirable sounds and reducing or eliminating undesirable ones. The impact of the sound environment on human health, quality of life is as significant as the noise impact. Unlike noise, sound is able to have a positive effect on the physical and mental state, sounds of nature contribute to recovery from stress [13]. In order to improve the effectiveness of measures to combat noise pollution and form a favourable acoustic environment of urban areas, it is necessary to formulate knowledge in the practice of urban planning about soundscapes in the context of the relationship between sound sources and their emotional perception.

The application of methods of creating positive soundscapes in the process of designing urban street space is important in the formation of a safe and attractive urban environment. Street space includes not only a transit function for motorized and non-motorized transport and pedestrians, but also creates conditions for social interaction and is the centre of public life. Users of public street spaces are most susceptible to noise load, as well as negative sound impacts, as they are in close proximity to a linear noise source. It is important to address this issue in a comprehensive manner, implementing protective measures in conjunction with improving the quality of the acoustic environment of urban street spaces at each stage of urban planning.

The study of foreign and domestic scientific works in the field of transformation and preservation of soundscapes of urban areas allowed to reveal: approaches to the study of acoustic environment; methods of quantitative and qualitative assessment of the impact of sound on the surrounding space and humans, including those developed on the basis of modern information technologies with the use of machine learning; interrelations between the quality of sound environment and urban planning parameters of urbanized territories to achieve the goal of sustainable development of urban areas.

Before reviewing the current trends in scientific work on the topic of soundscape, it is important to note the main approaches to the formation of quality acoustic environments that form part of current strategies for their conservation and transformation, as well as the basis of this study. In his work [14], B. Hellström (2003), following the work of Amfu (1993), describes three different general approaches to soundscape management: defensive, offensive and creative (Fig. 1). The defensive strategy aims to prevent the negative influence of sounds that are considered undesirable or dangerous; the offensive strategy is more focused on identifying the quality of the sound environment to give it its due; the creative strategy involves introducing or enhancing desired sounds. Developing the thoughts of B. Hellström, G. Servén (2016) proposes [15] his own three-part strategy (3 categories) for transforming the acoustic environment (Fig. 2):

- category I deals with the strategic localization of functions and its effect on the sound environment. The most typical application of Category I is the prevention of unwanted sounds by providing sufficient distance;
- category II relates to consideration of how landscape interventions such as noise protection, topographical changes or the use of acoustically appropriate materials can be used to reduce unwanted sounds in the area;
- category III concerns the deliberate introduction of elements that produce the desired sound, such as water features, rustling vegetation, gravel walkways, bird habitats or sound art. Thus, the focus is on positive sound qualities that are deliberately stimulated or introduced.

Both approaches meet modern requirements for the development of public spaces of urban areas, including streets, to create a comfortable and safe living environment for the population. However, the approaches are rather general in nature and lack specific measures based on reliable data on the relationship between qualitative and quantitative characteristics of human perception of soundscape and spatial characteristics of urban development.

Studying foreign studies, one can note the vast accumulated theoretical and practical experience in the field of assessing the mental and physical impact of soundscape on a person in conjunction with various components of the environment, morphology of space, visual perception.

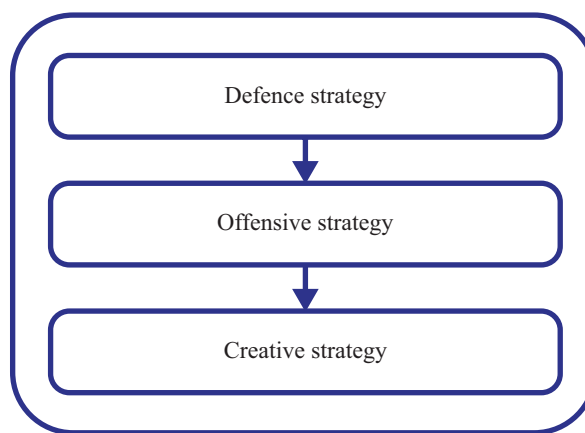


Fig. 1. Soundscape transformation strategy by B. Hellström (2003)

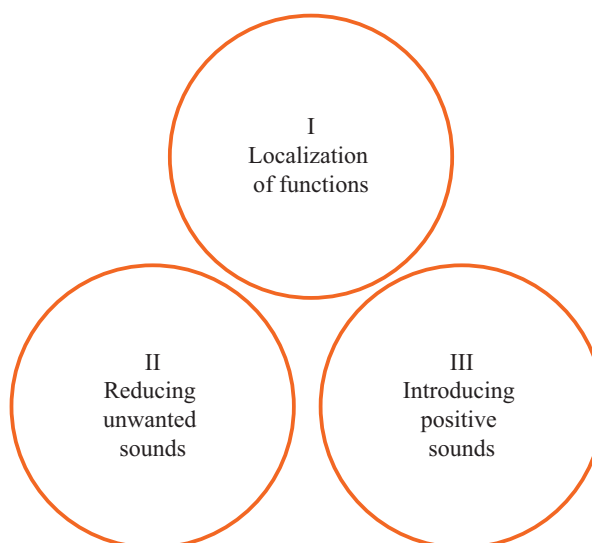


Fig. 2. Soundscape transformation strategy G. Servén (2016)

In the paper [16] the influence of soundscape on the mental state and human behaviour is investigated. The reaction of people to natural and anthropogenic sounds in urban areas was analyzed.

The authors of [17] conducted a comparative assessment of soundscapes in the context of different activities in pedestrian zones adjacent to trunk roads. It was found that in pedestrian zones with constant traffic noise, the presence of significant human activity sounds leads to a reduction in the perceived prevalence of traffic noise and an increase in acoustic comfort, despite higher acoustic energy.

A study [18] examined the effect of sound on the perception of building boundaries in urban street canyons with different ratios of building height to building width. The experimental results show that the perceived enclosure, spaciousness and pleasantness of visual stimuli decrease as the height to width ratio increases. The presentation of sound significantly affects the perception of building line and perceived spaciousness, while perceived pleasantness is minimally affected by

sound. The effect of sound on subjective responses is more characteristic of narrow streets than wide streets.

Visual images of green spaces also influence sound perception. An experiment was conducted to evaluate the influence of visual stimuli — tree foliage in the frame of panoramic images [19]. Trees had a positive effect on people assessing the sound environment of the studied space.

In [20], a methodology is developed and applied to stratify urban roads according to their functionality based on urban characteristics only. It is supposed to be a tool for grouping similar streets and hence traffic noise, allowing urban planners and transport professionals to support the reduction of human exposure to noise.

The aim of the study by Chinese authors [21] is to identify methods to reduce traffic noise and increase quiet zones in rural residential areas in China by managing relative location and urban morphological parameters.

Domestic studies of sound are not yet as numerous as foreign ones, but it is possible to highlight a few of the few practical works. The scientific work by M.A. Chubukova [22] presents an approach to the analysis of soundscapes of urban areas and proposes a methodology for describing the urban acoustic environment, as well as provides a sociological study of city dwellers' opinions about the comfort of the sound environment.

In the scientific paper [23] by S.V. Kornienko, spatial and temporal regularities between different sound sources and the acoustic quality of the environment in urbanized areas are considered. And also developed a correlation model that allows to predict the change in the criteria of emotionally perceived quality of urban environment depending on the sound source. The basic principles of reducing the level of urban noise and creating a positive acoustic environment are described [24]. The paper [9] formulates a new concept — phonotope, designed for a comprehensive assessment of the acoustic quality of urban environment. Phonotope is a part of the sound environment, which differs from the surrounding atmosphere by a special acoustic regime. The phonotope sets the basic acoustic characteristics, defining the range of organisms that can exist in a given ecosystem. Also, in this paper, to assess the acoustic regime of urbanized areas, we introduce a new indicator — Urban Acoustic Index (UAI).

The analysis of domestic and foreign sources shows the demand and relevance of modern approaches to the formation of a positive acoustic environment based on the strategies of noise protection, preservation and introduction of desired sounds into the studied space. In this regard, it is necessary to formulate the factors affecting the acoustic environment of public spaces of urban streets for the subsequent identification of patterns between the structure of streets, their functional and object filling and soundscape.

MATERIALS AND METHODS

The following methods were used: graphoanalytical, review, systematization, comparative analysis

and synthesis on scientific, literary sources related to modern approaches to the assessment and organization of the acoustic environment of urban spaces, as well as methods of protection from traffic noise. The search was performed in Scopus and Web of Science databases, as well as in the scientific eLibrary using the relevant keywords: noise protection, city, acoustic environment, soundscape, urban streets, public spaces.

Data retrieval and systematization were performed on a high-performance computing complex implemented at the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction of VSTU within the framework of the Priority-2030 strategic academic leadership programme.

The purpose of the study is to identify the main factors determining the noise impact on public spaces of urban streets, the quality of the acoustic environment of street territories.

The choice of the research topic is justified by the relevance of the direction in the study of urban sound and methods to combat noise pollution. The wide implementation of state, regional and urban programmes in domestic and world urban planning practices, the main task of which is to create a comfortable urban environment, confirm the relevance of the chosen topic.

RESEARCH RESULTS

Urban streets provide a variety of functions, comfortable and safe movement of transport and pedestrians. According to the CP "Urban Planning. Planning and development of urban and rural settlements", a street is an area of public use, bounded by the red lines of the street and road network (SRN) of the city. In turn, public space is an area free for people to visit for various purposes (recreation, communication, leisure, etc.). The territory of public street use can be conditionally divided into two parts: transport zone and non-transport space (public zone). The characteristic for street space location of transport and public-business functions in close proximity to each other creates many problems of natural-ecological character, the list of which includes noise pollution. Many European and Russian state programmes and projects reflecting modern approaches to planning and design of urban streets consider one of the main aspects of sustainable development to be ecological, which is responsible for improving the environmental safety of urban streets by reducing the impact of negative impacts. The main purpose of the federal project "Formation of Comfortable Urban Environment" is to "realize the impetus" for increasing the index of its quality, to create mechanisms for its integrated development and to ensure rational and efficient use of urban street territories. Improving the urban acoustic environment is linked to the United Nations Sustainable Development Goals. Sustainable cities and communities are one of the main goals (Goal 11), within which the targets for 2030 include reducing the adverse impacts of cities in per capita terms, the environment and ensuring universal access to safe, inclusive and accessible, green and

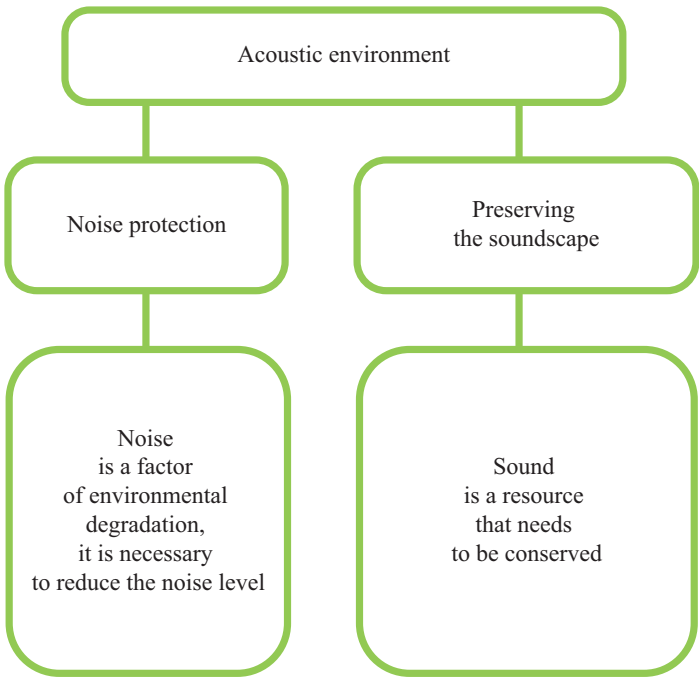


Fig. 3. Approach to organizing the soundscape of public spaces in urban streets

public spaces [3]. The document stipulates that green and other public spaces require sufficiently low noise levels to provide the desired function. Soundscape — is an integral part of the acoustic safety of urbanized areas and its quality should comply with the adopted regulations and programmes.

According to ISO 12913-1:2014 soundscape is the acoustic environment perceived or experienced and/or understood by people in context, and acoustic environment is the totality of sounds from all sources in the environment. Russian regulatory documents do not contain formulations on soundscape, CP 51.13330.2011 “Protection from Noise” contains mandatory requirements for noise protection to be met in the planning and development of urban and rural settlements and ensuring normative parameters of the acoustic environment. The comfort of the soundscape to date has no precise definition, as it is conceptual. For many scientists, it is a vast field for research

activity that requires deeper study, as acoustic comfort in urban open spaces can be influenced by certain spatial and environmental factors, as well as social and behavioural characteristics of users.

Thus, in order to implement the approach to the organization of a comfortable soundscape of public spaces of urban streets (Fig. 3), which meets the requirements of sustainable development of urbanized territories, it is necessary to formulate the main factors affecting the acoustic environment of the street space, as well as determining the potential of the street to transform its structure in order to improve its sound qualities.

The acoustic environment in the zone of public spaces of urban streets was considered as a system consisting of a set of elements (Fig. 4):

- noise — this category includes a sound or set of sounds that have a harmful or irritating effect on the human body, reducing its working capacity (linear source of noise — motorway);
- sounds — all perceived sounds in the surrounding space;
- natural environment factors — factors that create conditions under the influence of which sound changes direction on the propagation path in the environment (humidity, temperature, pressure, wind, surface cover of the earth, precipitation) [25];
- the human being is the central component of the public space of the urban street, who, being in the acoustic environment, perceives it in context.

Each element of the system is characterized by a multitude of factors consisting of parameters and characteristics that have some degree of influence on the soundscape of the space and have both quantitative and qualita-

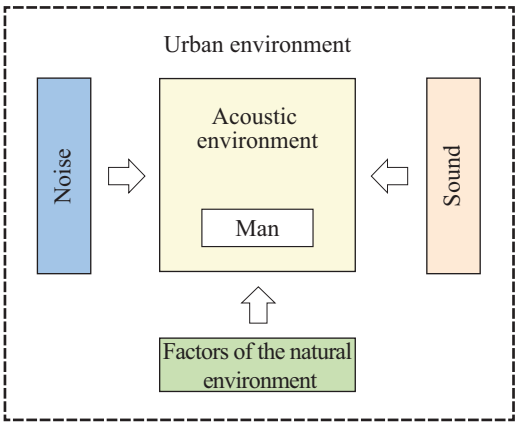


Fig. 4. Model of the acoustic environment of public spaces in urban streets

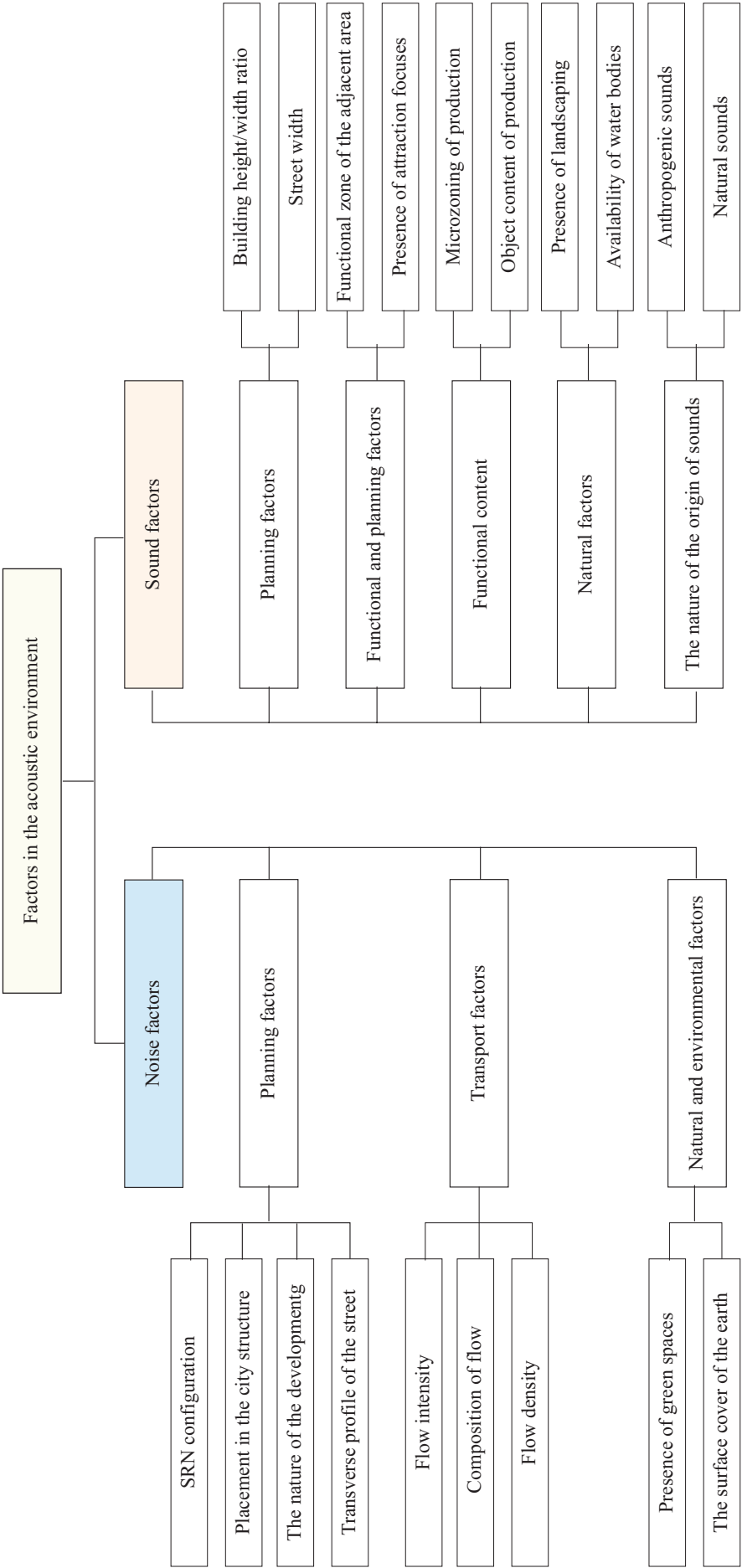


Fig. 5. Factors affecting the acoustic environment of public spaces in urban streets

tive expressions, which allowed us to systematize them into the following groups:

- noise factors — affect the noise level, nature of occurrence, propagation in the environment and its reduction;
- sound factors — affect the perception of the acoustic environment as well as the quality of the soundscape of an urban street.

Based on the analysis of domestic and foreign sources, the parameters from each group of factors that have the greatest impact on the soundscape of public spaces of urban streets were selected (Fig. 5).

Let's specify indicators from the group of noise factors:

1. *Planning factors* affecting noise, which include: the configuration of the SRN, location in the functional-planning structure of the city, the nature of adjacent development, the cross-sectional profile of the street. The structure of the SRN determines the capacity of the street, determines the degree of impact on the adjacent territory of the street during peak hours of traffic loads on the transport system. Functional-planning structure of adjacent territories forms the focal points of attraction of the population, to which the increased intensity of traffic is fixed, respectively the composition and size of pedestrian flows, subject to the negative impact of noise. The street development and the cross-sectional profile of roads affect the noise level, its propagation paths, and reverberation time.

2. *Transport factors* are characterized by: traffic intensity, composition and density. The criteria define the characteristics of the noise source.

3. *Natural-ecological factors*. The assessment criteria for this factor are: the presence of green spaces on the territory of the public space of the city street, the surface cover of the land. Green plantings contribute to the reduction of noise impact on the adjacent pedestrian zone, screen and dissipate part of the sound energy from the motorway. Ground cover also plays an important role in noise dissipation.

From the group of sound factors, we note:

1. *Planning factors* affecting sound. These can include: the ratio of building height to building width in the surrounding development, the width of the street within the building line. As is known from research, there is a relationship between the perception of sound and the visual perception of the morphology of surrounding buildings.

2. *Functional-planning factors*. To assess these factors, the following criterion is used: location within the boundaries of territorial (functional) zones, presence of people's attraction focal points and unique objects. Territorial zones of the city (residential, public and business, industrial, recreational, etc.) correspond to the values of the urban acoustic index UAI. The higher the index, the higher the acoustic quality of the urban environment. Places, being the nucleus of gravitation in the structure of the city, create a unique soundscape of this space,

which, in turn, affects the quality of the acoustic environment. Unique sound effects in urban space contribute to a distinct sense of place with a meaning beyond the local community, they become a kind of acoustic landmarks — sound marks [9].

3. *Functional filling of space*. The factors are assessed according to the following criteria: micro-zoning of public space of the street, object filling of space (landscaping). The presence of different functional zones, types of activity for visitors affects such a characteristic of the sound environment as eventfulness. The public space of the city street with recreational potential has a positive impact on the overall level of environmental comfort, it allows to introduce diversity into the sound environment of the city, as well as to form “auditory refuges” where users can recover from long-term noise exposure, as well as to communicate in a calmer environment.

4. *Natural factors* are characterized by the presence of natural objects (green spaces, water bodies) on or in close proximity to the street space. In small green areas natural sounds can be heard: rustling of leaves, noise of tree branches, chirping of birds. Green spaces on the territory of the street provide acoustic relief from the surrounding noise, which is a necessary condition for mental recovery and well-being [24].

5. *Nature of origin of sounds*. Sounds are conventionally divided into natural and anthropogenic. The ratio of natural and mechanical sounds affects the quality of the soundscape. The predominance of natural sounds in the acoustic environment of urbanized areas has a positive impact on the overall perception of the surrounding space.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Within the framework of this study, based on the analysis of modern domestic and foreign sources, which reflect approaches to the assessment, design of soundscapes, noise protection of urbanized territories, the main groups of factors affecting the quality of acoustic environment of public spaces of urban streets are considered. Based on the analysis of the identified factors, it is possible to assess the comfort of the acoustic environment of public space, to determine the most appropriate configuration of the SRN and the potential of the territory for further transformation to improve the sound quality, as well as to plan measures to improve the acoustic environment and noise control strategies.

In the future it is planned to carry out correlation analysis of the set of factors to identify their significance in the process of assessing the quality of the acoustic environment of public spaces of urban streets. It is necessary to identify spatial and temporal regularities and peculiarities of morphological parameters of the studied street sections depending on the functional purpose of adjacent urban areas and their sound environment. It is also required to formulate a list of measures to form a safe acoustic environment and improve its quality based on the data of the analysis of factors affecting the soundscape.

REFERENCES

1. Korniyenko S.V. The city as a single acoustic system. *Energoberezhenie*. 2024; 1:32-35. EDN KVLDCP. (rus.).
2. Vetrova N.M., Bakaeva N.V., Verekha T.V. Features of assessing the environmental safety of urbanized recreational territories in the transport construction objects design. *Ecology of Urban Areas*. 2023; 1:38-48. DOI: 10.24412/1816-1863-2023-1-38-48. EDN EPWBDG. (rus.).
3. Forssén J., Estévez-Mauriz L., Gustafson A., Kropp W. How can we plan for a good urban sound environment, focusing on road traffic noise? *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*. 2020; 588(5):052037. DOI: 10.1088/1755-1315/588/5/052037
4. Grafkina M.V., Nyunyn B.N., Sviridova E.V. Scientific and practical recommendations on reducing the negative impact of road traffic on residential areas. *Ecology of Urban Areas*. 2018; 1:58-64. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-11058. EDN UOIMLM. (rus.).
5. Nadezhkina E.V., Thushavina O.V. Study of anthropogenic noise impacts in moscow (on the example of the sokol district and the MAI territory). *Ecology of Urban Areas*. 2022; 2:22-26. DOI: 10.24412/1816-1863-2022-2-22-26. EDN FTAINF. (rus.).
6. Basner M., Babisch W., Davis A., Brink M., Clark C., Janssen S. et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*. 2014; 383:1325-1332. DOI: 10.1016/s0140-6736(13)61613-x
7. Malyshev A.A., Andina K.S. Environmental security and environmental management in transport. *Ecology of Urban Areas*. 2016; 4:22-26. EDN YFXRFP. (rus.).
8. Lykov I.N., Nikolaeva T.S., Rakhimov K.V. Environmental and social aspects of noise pollution. *Ecology of Urban Areas*. 2019; 2:80-84. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-12080. EDN IZRWXR. (rus.).
9. Korniyenko S.V. Phonotope as an acoustic marker of urbanized territories. *Energoberezhenie*. 2023; 6:44-49. EDN NHUQVY. (rus.).
10. Mayorova K. Sound studies and the sonic renaissance in urbanism. *Visual Anthropology – 2019: City-University: living space and visual environment : materials of the III International scientific conference*. 2020; 316-324. DOI: 10.34680/visant-2020-316-324. EDN BWNQX. (rus.).
11. Nazarov K.R., Sinitsyn I.S., Khorunzhiy K.V. Assessment of the soundscape of urban areas. *XXVIII Regional Conference of Young Scientists and Researchers of the Volgograd region : collection of materials of the conference*. 2023; 336. EDN RXIYFO. (rus.).
12. Rashevskiy N.M., Parygin D.S., Nazarov K.R., Sinicyn I.S., Feklistov V.A. Intelligent analysis of the urban soundscape. *Sociology of the city*. 2023; 1:125-139. DOI: 10.35211/19943520_2023_1_125. EDN EITPEV. (rus.).
13. Alvarsson J.J., Wiens S., Nilsson M.E. Stress recovery during exposure to nature sound and environmental noise. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2010; 7:1036-1046.
14. Hellström B. *Noise design: Architectural Modelling and the Aesthetics of Urban Acoustic Space : PhD dissertation*. 2003.
15. Cerwén G., Wingren C., Qviström M. Evaluating soundscape intentions in landscape architecture: a study of competition entries for a new cemetery in Järva, Stockholm. *Journal of Environmental Planning and Management*. 2016; 60(7):1253-1275. DOI: 10.1080/09640568.2016.1215969
16. Stobbe E., Forlim C.G., Kühn S. Impact of exposure to natural versus urban soundscapes on brain functional connectivity, BOLD entropy and behavior. *Environmental Research*. 2024; 244:117788. DOI: 10.1016/j.envres.2023.117788
17. Lu X., Xie Z., Zhu P., Dai X., Zhang Y., Tao W. et al. Comparative evaluation of soundscapes in human activities spatial contexts of pedestrian spaces adjacent to arterial roads. *Science of The Total Environment*. 2024; 928:172198. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.172198
18. Yilmaz N.G., Lee P.J., Imran M., Jeong J.H. Role of sounds in perception of enclosure in urban street canyons. *Sustainable Cities and Society*. 2023; 90:104394. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104394
19. Oberman T., Jambrošić K., Horvat M., Šćitaroci B.B.O. Using virtual soundwalk approach for assessing sound art soundscape interventions in public spaces. *Applied Sciences*. 2020; 10(6):2102. DOI: 10.3390/app10062102
20. Montenegro A.L., Rey-Gozalo G., Arenas J.P., Suárez E. Streets classification models by urban features for road traffic noise estimation. *Science of the Total Environment*. 2024; 932:173005. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.173005
21. Yu W.L., Kang J. Relationship between traffic noise resistance and village form in China. *Landscape and Urban Planning*. 2017; 163:44-55. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2017.02.016
22. Chubukova M. The specificity of a soundscape at Arbat area (Moscow). *Urban Studies and Practices*. 2015; 67-78. EDN ZSSCAB. (rus.).
23. Korniyenko S., Zenin A. Correlation between sound sources and acoustic quality in urbanized areas. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2023; 4(109):10902. DOI: 10.4123/CUBS.109.2. EDN BDZNGO.
24. Korniyenko S.V. The city: from noise reduction to a positive acoustic environment. *Energoberezhenie*. 2023; 5:18-33. EDN BQZEXI. (rus.).
25. Ganzha O.A. *Assessment of the noise impact in urban traffic intersection zones on the geo-ecological environment of the city (using the example of Volgograd) : thesis ... candidate of technical sciences*. Moscow, 2009; 230. EDN NQOLWX. (rus.).

Received August 28, 2024.

Adopted in revised form on September 12, 2024.

Approved for publication on September 20, 2024.

BIONOTES: **Konstantin R. Nazarov** — postgraduate student of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; nazarov.knstr@gmail.com;

Natalia P. Sadovnikova — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; npsn1@ya.ru;

Mikhail A. Kulikov — assistant of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; mkulikov1997@mail.ru;

Yaroslav A. Trudov — student; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; trudovyaroslav@yandex.ru;

Timofey P. Kovalev — student; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; tankgame6@gmail.com.

Contribution of the authors:

Konstantin R. Nazarov — conceptualization, data gathering and processing, writing of the article, creation of graphic material, final conclusions.

Natalia P. Sadovnikova — scientific editing of the text, supervision.

Mikhail A. Kulikov — data gathering and processing, writing of the article.

Yaroslav A. Trudov — data gathering and processing, creation of graphic material.

Timofey P. Kovalev — data gathering and processing.

The authors declare that there is no conflict of interest.