БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 711.73:625.77

DOI: 10.22227/1997-0935.2019.8.1004-1022

Формирование средозащитных объектов озеленения в градозэкологических системах

В.В. Балакин¹, В.Ф. Сидоренко¹, М.Ю. Слесарев², А.В. Антюфеев¹

¹ Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ); г. Волгоград, Россия;

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИИ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение: объекты озеленения средозащитного назначения на городских дорогах и улицах формируются в пределах разделительных полос ограниченной ширины. В то же время увеличение плотности фитомассы, определяющей экранирующий эффект древесных растений, происходит не прямо пропорционально общему количеству их рядов и ширине полос озеленения, а главным образом, за счет наиболее освещенных опушечных рядов. Отсюда возникает необходимость определения оптимальной, с точки зрения газозащитной эффективности, ширины и плотности полос зеленых насаждений на объектах транспортной инфраструктуры.

Материалы и методы: исследования проведены на улицах крупных городов и методом моделирования на моделях полос озеленения разных конструкций.

Результаты: получена зависимость снижения концентрации оксида углерода полосами зеленых насаждений от их плотности и высоты. Наименьший уровень загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами автомобилей отмечается на расстоянии 1...1,5 высот полосы, а максимальный — на расстоянии 2...3 высот. В градозэкологической системе «проезжая часть — зеленая полоса — здание» наиболее эффективное рассеяние примесей на пешеходных тротуарах и по внешним фасадам зданий наблюдается при достижении деревьями высоты средних этажей. Приближение высоты деревьев к высоте застройки приводит к более эффективному снижению загазованности воздуха в дворовом пространстве.

Выводы: на магистральных дорогах необходимо формировать полосы зеленых насаждений средозащитного назначения шириной 15...30 м плотной и равномерно ажурной конструкции. Ближайшие к краю проезжей части ряды растений должны состоять из кустарников в виде двухъярусной живой изгороди и деревьев с низким штамбом. На магистральных улицах следует использовать полосы озеленения высотой на уровне средних этажей зданий с коэффициентом ажурности в пределах 0,5...0,6. При плотной фронтальной застройке улиц средозащитные полосы должны иметь продуваемую конструкцию, обеспечивающую оптимальный аэрационный режим и эффективное рассеяние выбросов автомобилей в пешеходных зонах и у фасадов зданий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: улица, выбросы автомобилей, зеленые насаждения, застройка, рассеяние, конструкция полосы озеленения

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Балакин В.В., Сидоренко В.Ф., Слесарев М.Ю., Антюфеев А.В. Формирование средозащитных объектов озеленения в градозэкологических системах // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 8. С. 1004–1022. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.8.1004-1022

Formation of environmental protection landscaping facilities in urban ecological systems

Vladimir V. Balakin¹, Vladimir F. Sidorenko¹, Mikhail Yu. Slesarev²,
Aleksei V. Antyufeyev¹

¹ Volgograd State Technical University (VSTU); Volgograd, Russian Federation;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: environmental gardening facilities on urban roads and streets are formed within limited-width dividing strips. At the same time, the increase in the phytomass density, which determines the shielding effect of tree plants, is not directly proportional to the total number of rows and the width of greenery belts, but mainly due to their most illuminated marginal rows. Hence there is a need to determine the optimal, in terms of gas-shielding efficiency, width, and density of the green spaces on the transport infrastructure facilities.

Materials and methods: the observations were made in streets of cities and on models of different-design green strips.

Results: the dependence of carbon oxide concentration decrease by green belts on their density and height was determined. The lowest concentration of automotive emissions behind green belts was observed at a distance of 1 to 1.5 belt heights, while the highest concentration was at a distance of 2 to 3 belt heights. In the “road-green belt-building” urban ecological system, the most effective scattering of pollutants along the building facades and at the pedestrian ways is present when trees reach medium floors of the buildings. As the green belt height approaches the height of the buildings, the air in yard space becomes cleaner.

Conclusions: on main roads, it is necessary to form dense and evenly openwork greenery environmental belts of 15 to 30-meter width. The rows of plants closest to the driving lane edges should consist of shrubs in the form of a two-tier hedge and low-stem trees. On the main streets, the green strips should be used at the height of the medium floors of the buildings with an openwork factor within the range of 0.5 to 0.6. In case of the dense frontal building of the streets, the environmental protection belts should have a well-blown structure providing an optimal aeration mode and effective scattering of automotive emissions in pedestrian areas and at the facades of buildings.

KEYWORDS: street, automotive emissions, greenery, building, scattering, landscaping strip design

FOR CITATION: Balakin V.V., Sidorenko V.F., Slesarev M.Yu., Antyufeyev A.V. Formation of environmental protection landscaping facilities in urban ecological systems. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2019; 14(8):1004-1022. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.8.1004-1022 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование и развитие транспортных систем городов оказывает заметное влияние на санитарно-гигиеническое состояние атмосферы, водоемов, почвы, биоты и условия жизнедеятельности населения, проявляющиеся через такие факторы негативного воздействия, как газовое, пылевое, шумовое, электромагнитное и тепловое загрязнения. Участки городской территории, занимаемые объектами транспортной инфраструктуры, характеризуются трансформацией антропогенного ландшафта, нарушением его структуры, расчлененностью транспортными коммуникациями, что приводит к ухудшению состояния окружающей среды [1, 2]. В результате интенсивного использования городского пространства при высокой степени фрагментации ландшафта городские экосистемы не обеспечивают выполнение своих средоформирующих и эстетических функций [3–6].

В процессе урбанизации города с более высокими темпами роста плотности населения постепенно теряют природные ресурсы. В крупных и крупнейших городах восполнение природных ландшафтов и обеспечение нормативной площади зеленых насаждений достигается путем освоения неудобных и восстановления нарушенных территорий и требует гораздо больше инвестиций, чем в малых, средних и больших городах, имеющих намного больше естественных зеленых зон [7]. В таких условиях основным средством обеспечения благоприятного по отношению к общественному здоровью градостроительного освоения территорий, форми-

рования объемно-планировочной структуры городов и повышения качества жизни населения является развитие систем озеленения [1, 8–11].

Насаждения общего пользования необходимы городским жителям для социального и культурного общения, отдыха на свежем воздухе с прогулками, получения эстетического удовольствия. Важной мотивацией для посещения парковых зон служит участие горожан в таких массовых общественных мероприятиях, способствующих более сбалансированному образу жизни, как ярмарки, фейерверки, соревнования по отдельным видам спорта, а также просмотры кинофильмов, праздничные концерты, музыкальные и цирковые представления. Посещение общегородских и районных парков культуры и отдыха, садов жилых районов сочетается с использованием таких объектов, как детские зоны с игровыми площадками, кафе, библиотеки, музеи и др.

Городские зеленые насаждения имеют решающее значение для проектирования и устойчивого развития экогородов [7]. Растительные комплексы в пределах городских общественных пространств и ландшафтно-средозащитные композиции зеленых насаждений, формируемые на объектах транспортной инфраструктуры, служат «зеленым фильтром», обеспечивающим повседневные потребности городских жителей в свежем воздухе, местах отдыха и общения с природой, играют важную роль в повышении их физической активности. Активные занятия, в том числе спортивные, способствуют снижению уровня заболеваемости органов кровообращения почти на 50 %, органов дыхания — при-

мерно на 40 %, костно-мышечной и нервной системы — на 30 % [12]. Использование рекреационных ресурсов сокращает потери от временной нетрудоспособности на 3–4 дня в расчете на каждого человека, повышает производительность труда на 3 %. Благоприятное воздействие зеленых насаждений на городского жителя объясняется способностью поглощения свободной углекислоты, хлоридов и фторидов, снижением запыленности, загазованности и шума, выделением в окружающую среду кислорода и фитонцидов [13].

Помимо выполнения санитарно-гигиенических функций зеленые насаждения оказывают заметное эмоциональное и лечебно-психологическое воздействие на человека. В городских условиях, при небольшом разнообразии урбанизированного ландшафта, эмоциональное состояние горожанина в значительной степени зависит от цветового сочетания элементов пейзажа. Житель современного города чаще всего видит плоские поверхности фасадов зданий и транспортных сооружений, в окраске которых повторяется серый цвет бетона и асфальта. В природе же преобладает более благоприятный для зрительного восприятия зеленый цвет растений, присутствует множество других цветов и оттенков [14]. Зеленый цвет растений благоприятно действует на организм человека [13]. Очевидно, путем включения зеленых насаждений в элементы пейзажа можно формировать городские ландшафты успокаивающего воздействия на население, сглаживать и снижать напряженность и конфликтность урбанизированной среды.

При проектировании объектов озеленения на транспортных территориях городов, где потоки автомобилей образуют системы линейных источников шумового и газового загрязнения, применяются линейно-полосные структуры из деревьев и кустарников для защиты жилой среды от негативного воздействия транспорта. Однако эти приемы озеленения объектов транспортной инфраструктуры еще недостаточно обеспечивают снижение уровня загазованности и акустический комфорт на территории жилой застройки [15, 16].

В пределах урбанизированных территорий средозащитный потенциал древесно-кустарниковых насаждений в полной мере будет проявляться при правильном выборе их структуры и породного состава. Важную роль здесь играет их оптимальная позиция как по отношению к источникам дискомфорта — транспортным потокам и стоянкам автомобилей, так и относительно объектов защиты — жилых и общественных зданий, детских дошкольных и образовательных учреждений, зон отдыха, учреждений здравоохранения. Вместе с правильным планировочным решением объектов

озеленения должны быть обеспечены архитектурно-эстетические качества и необходимая пейзажная привлекательность городского ландшафта. Для этого в ландшафтном дизайне бульваров, скверов, садов и парков вместе с растительным материалом (деревья, кустарники, живые изгороди, газонные травы, цветы) используется широкий спектр малых архитектурных форм — беседки, трельяжи, павильоны, садово-парковая мебель, цветочницы, садовые фонтаны, декоративные камни, скульптурные группы и др.

На магистральных дорогах и улицах выбор структуры, местоположения и ассортимента зеленых насаждений обуславливается транспортными, планировочными и микроклиматическими факторами, с учетом которых средствами озеленения обеспечивается защита пешеходных зон и территории жилой застройки от негативного воздействия транспорта, понижение температуры воздуха в летний период года, а в отдельных случаях и местная ветрозащита. Вместе с тем формируемые структуры древесно-кустарниковых насаждений — рядовые посадки и группы деревьев и кустарников, живые изгороди должны вписываться в объемно-пространственную композицию транспортных сооружений, не создавать помехи для выполнения их разносторонних функций, выполнять свою задачу формирования комфортной среды в местах пребывания населения и отвечать требованиям архитектурно-ландшафтной организации территории [17–20]. Однако здесь приходится учитывать, что на объектах транспортной инфраструктуры, функционирующих в современных интермодальных транспортных системах, где предусматривается взаимодействие наземного (автобус, трамвай, троллейбус) и скоростного внеуличного транспорта (скоростной трамвай, метрополитен, монорельсовая система), комфортная городская среда достаточно многомерна. Она должна обеспечивать вместе с выполнением их главной, транспортной функции (удобная посадка и высадка, быстрая пересадка и комфортное передвижение пассажиров на общественном или индивидуальном транспорте) реализацию достаточного многообразия второстепенных функций — торговля, развлечения, реклама и пр. Поэтому вместе с объектами озеленения пространственное содержание таких систем определяют остановочные и оборотные пункты, площадки посадки–высадки пассажиров, транспортно-пересадочные узлы и коммуникационные элементы станций скоростных видов транспорта, стоянки для автомобилей, наземные и подземные пешеходные переходы, пандусы, тротуары, торговые киоски и др., предназначенные для транспортно-пассажирского взаимодействия и попутного обслуживания пассажиров [20, 21].

При выборе и оценке эффективности градостроительных средств защиты городских средовых систем и жилой среды от негативного воздействия транспорта следует выделить доминирующий экологический фактор. Анализ натурных обследований состояния городской среды показывает, что на объектах транспортной инфраструктуры в качестве основного экологического фактора выступает загазованность атмосферного воздуха в сочетании с ведущим фактором микроклимата — ветровым режимом, поскольку между ними существует функциональная связь (рис. 1) [22].

Влияние скорости ветра на концентрацию СО характеризуется корреляционным отношением r в пределах 0,7...0,8. Оно соизмеримо с влиянием интенсивности движения автомобилей ($r = 0,85...0,9$) и определяется экспоненциальной зависимостью:

$$q = A \cdot e^{-au}, \quad (1)$$

где q и u — концентрация СО (в % от максимального значения) и скорость ветра, м/с, над краем проезжей части на высоте 1,5 м; e — основание натурального логарифма; A и a — числовые коэффициенты, причем первый из них характеризует абсолютный максимум концентрации СО, отмечаемый при отсутствии ветра. Значения коэффициента a при экспоненте принимаются для магистральных улиц общегородского значения 0,453, районного значения — 0,418.

При выбросе в атмосферу отдельные компоненты отработавших газов (ОГ) теряют свою дина-

мическую индивидуальность, поскольку благодаря турбулентной диффузии и охлаждению происходит полное смешение газовойоздушной смеси с воздухом, и их удельные веса становятся весьма близкими [23]. Поэтому так же, как СО (рис. 1), ведут себя диоксид азота (NO_2) при изменении скорости ветра в пределах 0...2,5 м/с и интенсивности движения автотранспорта $(1...3)10^3$ авт/ч и углеводороды (C_nH_m) в диапазоне скоростей ветра 0...3 м/с при размерах движения $(1...6)10^2$ авт/ч [24]. Таким образом, можно считать, что закономерности снижения концентрации СО на объектах транспортной инфраструктуры с увеличением степени их аэрации, являются репрезентативными в отношении всей смеси ОГ, выбрасываемой транспортными потоками.

По ходу кривых на рис. 1 видно, что при повышении скорости ветра до 5 м/с очищение атмосферного воздуха от СО происходит на 70...90 %, причем разница уровней загазованности на магистралях разных категорий сокращается в 5...7 раз. Это согласуется с результатами наблюдений Э.Ю. Вебры и др., когда двукратное, трехкратное превышение концентрации СО в зонах перекрестков по сравнению с перегонами сглаживалось при скорости ветра более 3 м/с [25]. Иными словами, при скорости 3...5 м/с ветер нивелирует уровень загрязнения воздуха на улично-дорожной сети города в целом. При этом, как показали наши натурные наблюдения в ряде крупных городов, предельно допустимые максимально разовые концентрации ведущих компонентов ОГ (CO , NO_2 , C_nH_m) обеспечиваются на 40...70 % общей протяженности магистральных дорог и улиц [22].

Рис. 1. Зависимость начальной концентрации оксида углерода (СО) в воздухе от скорости ветра на магистральных улицах: 1 — общегородского значения; 2 — районного значения преимущественно грузового движения; 3 — то же для легкового и общественного транспорта

Fig. 1. Dependence of carbon monoxide (CO) initial concentration in the air on wind speed in main streets: 1 — city significance; 2 — district significance for predominantly freight traffic; 3 — the same for passenger and public transport

Указанные скорости ветра соответствуют комфортным и субкомфортным типам погоды по теплоощущениям человека при пребывании на открытом воздухе, согласно классификации, предложенной И.С. Кандор и др. [26]. Таким образом, можно утверждать, что в градостроительном проектировании гигиенические нормативы содержания выбросов автомобильного транспорта в атмосферном воздухе на застраиваемых участках магистральных улиц могут поддерживаться оптимальным аэрационным режимом уличного пространства. Такой режим проветривания улиц обеспечивается выбором этажности и плотности застройки, а также приемов их озеленения.

Застройка в виде массивов и отдельных элементов, образующих «макрошероховатость», наиболее активно влияет на скорость ветра в жилой зоне города в нижнем ярусе воздушного бассейна, высота которого равна утроенной высоте зданий средней этажности [27]. На аэрационный режим улиц и внутриквартальных территорий дополнительное влияние оказывают мелкие неровности подстилающей поверхности, проезды и тротуары, площадки, газоны — «микрошероховатости». Причем трансформация воздушного потока по скорости и направлению происходит здесь в приземном слое атмосферы, высота которого принимается равной трем высотам препятствий. Поэтому среди элементов благоустройства наиболее заметное влияние на рассеяние атмосферных загрязнений в зонах пешеходного движения на высоте 1,5 м — уровне дыхания человека и вблизи фасадов жилых зданий могут оказать высокие насыпи, подпорные стенки и откосы, деревья и кустарники.

Деревья, как и кустарники, в отличие от непроницаемых элементов благоустройства, способных вызвать в процессе их обтекания воздушным потоком лишь циркуляционное движение турбулентной струи, являются частично проницаемыми препятствиями, за которыми происходит смешение двух турбулентных струй — проходящей сквозь преграду и огибающей ее сверху [27]. Благодаря этому аэродинамическому свойству снижение уровня загрязнения воздуха придорожной полосой зеленых насаждений происходит путем частичного поглощения выбросов автомобилей древесно-кустарниковой растительностью [28], а также, и в основном, — благодаря осаждению и рассеянию в верхние слои атмосферы за счет аэродинамических свойств посадок [29, 30].

Хвойные растения способны адсорбировать из атмосферы урбанизированных территорий свинец, цинк, кобальт, хром, медь, титан, молибден. Из лиственных пород наилучшими адсорбентами железа и марганца являются каштан конский обыкновенный и липа мелколистная, свинца — клен

остролистный и тополь, серы — липа мелколистная и клен остролистный [12]. Значительной способностью улавливать аэрозоли и пыль обладают вяз, шелковица, рябина, сирень, бузина [13].

Что касается газопоглощения сравнительно узкими придорожными полосами озеленения, при практически непрерывной фильтрации через них газов, выбрасываемых транспортным потоком, этот эффект не должен переоцениваться. Его вклад несоизмерим с эффектом рассеяния атмосферных загрязнителей древесными растениями. Более того, по убеждению А.В. Городкова, соотношение газопоглощения и рассеяния в узких (шириной 3...10 м) защитных полосах озеленения не может быть установлено экспериментально [16].

Поглощаемая древесными растениями часть газов большей частью проникает в листья через устьица и диффундирует в межклеточное пространство. Темпы накопления ингредиентов наиболее высоки в период активного роста и формирования листьев и постепенно снижаются к концу вегетационного периода. Поглотительная способность растений зависит от состава пород, полноты, бонитета, возраста, ассимиляционной поверхности крон деревьев, длительности вегетации [28]. Параллельно с поглощением ингредиентов протекает достаточно сложный процесс транслокации их по растению и удаления в воздух и почву. Для растений прежде всего важна сбалансированность их химического состава — основного условия нормального развития и роста. При некоторых пороговых концентрациях поллютантов в листьях и хвое снижается фотосинтез, появляются средние и сильные повреждения, а затем наступает их гибель и дерева в целом. Поэтому все древесные растения обнаруживают способность избирательно извлекать химические элементы и некоторую периодичность процесса поглощения газов. Они поглощают газ до определенного максимума, затем поглощение снижается или даже прекращается — при накоплении порогового уровня древесные растения начинают освобождаться от загрязнителей. Поэтому с помощью химического анализа здесь можно регистрировать лишь остаток соединений поллютанта в листьях или разность между количеством поглощенного и удаленного ингредиента в атмосферу, почву и другие органы растений.

При анализе литературных источников по изучению поглотительной способности древесных растений не найдено корреляционной зависимости между концентрациями ингредиентов в атмосферном воздухе в мг/м³ и накоплением их в листьях в мг в расчете на 1 г или 1 кг сухого вещества. В результате исследования поглотительной способности различных древесных пород в городских экстремаль-

ных условиях О.В. Чернышенко сделал вывод о том, что концентрации оксидов серы и азота в воздухе не коррелируют с уровнем их накопления в листьях [28]. Более того, в зонах максимальной загазованности наблюдается снижение основных физиологических процессов, общее ослабление растений и последующее снижение их жизнеспособности. В связи с этим в практике озеленения объектов транспортной инфраструктуры с наиболее высоким уровнем загрязнения воздуха находят применение устойчивые виды деревьев и кустарников. Эта группа растений не аккумулирует атмосферные загрязнители, поскольку обладает пониженным газообменом и более высокой скоростью метаболизма.

Поэтому при формировании средозащитных полос озеленения количество рядов деревьев и кустарников, форма и плотность их крон должны устанавливаться, прежде всего, с точки зрения их рассеивающей способности. Из имеющихся в литературе экспериментальных данных следует, что при трансформации воздушного потока через лесные полосы ведущую роль играют их высота, характер штамба, форма и плотность крон, шаг посадки деревьев в ряду, величина междурядий и дендрологический состав насаждений [27, 29]. От этих характеристик и параметров зависят сомкнутость древесных растений в рядах, плотность их фитомассы и фронтальной структуры полос озеленения в целом [16], а также площадь поверхности осадения и незначительного поглощения ингредиентов [30]. Причем эффект снижения скорости ветра полосой зависит не от ее ширины, а от густоты деревьев и кустарников. По наблюдениям А.В. Городкова, наибольшая густота ветвления и облиствения свойственна наиболее освещенным опушечным рядам древесно-кустарниковых насаждений, состоящих из основных пород и образующих «ступенчатую» форму поперечного сечения средозащитных полос [16]. Расширение таких полос возможно лишь путем увеличения числа внутренних рядов деревьев. Однако степень плотности фитомассы этих рядов незначительна. Отсюда следует, что плотность и объем фитомассы расширяемой полосы возрастают не прямо пропорционально увеличению количества рядов и ее общей ширины, а в гораздо меньшей степени. В полезащитном лесоразведении такая особенность лесных полос дает возможность свести до некоторого минимума их ширину и площадь на склонах без заметного ослабления ветрозащитной эффективности [31].

В связи с этим возникает задача изучения влияния геометрических характеристик и конструктивных особенностей линейно-полосных структур зеленых насаждений на трансформацию ветра и рассеяние выбросов автомобилей в условиях городских

улиц, ширина которых по линиям застройки, регламентируемая строительными нормами, позволяет формировать полосы озеленения с ограниченным числом рядов деревьев и кустарников.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование газозащитных функций полос зеленых насаждений выполнено на магистральных улицах г. Волгограда и методом физического моделирования на открытой ровной площадке размером 100×150 м, покрытой асфальтом [32–34]. Поскольку в натуральных условиях изучить роль зеленых насаждений, образующих дополнительную шероховатость [16], в «торможении» циркуляции воздушных потоков в застройке городских улиц технически достаточно сложно, в эксперименте использованы модели полос озеленения разных конструкций: продуваемой, равномерно ажурной, плотной. Их подробная характеристика приводится в работах Ф.Л. Серебровского [27] и Я.А. Смалько [29]. Модель полосы зеленых насаждений представляла собой изготовленный в масштабе 1:20 экран в виде металлической рамки с сеткой облегченной конструкции, на которой закреплялись синтетические волокна заданной плотности.

Предварительно определяли коэффициенты ажурности полос K как частное от деления площади элементов каркаса и синтетического материала на общую площадь фронтальной проекции испытываемой модели. Для этого модели фотографировали с одинакового расстояния на светлом фоне, затем полученные негативы помещали в камеру фотоэлектроколориметра ФЭК-56 и определяли их оптическую плотность. Коэффициенты ажурности полос получали путем деления оптических плотностей негативов моделей на оптическую плотность засвеченной фотопленки — «непроницаемого экрана». Таким же способом устанавливали коэффициенты ажурности полос озеленения в натуральных условиях как отношение площади облиственной части полосы к ее общей площади на фронтальной проекции.

В эксперименте также использовались модели жилых зданий с плоской крышей, изготовленные из тонкой древесной плиты. Участки улиц с застройкой и озеленением протяженностью 300 м компоновались по центру площадки из отдельных секций зданий с соотношением высоты, длины и ширины 1:0,9:0,8 и ориентировались перпендикулярно к направлению ветра, преобладающему на экспериментальном полигоне.

Линейный источник загрязнения представлял собой трубопровод с равномерно распределенными по его длине патрубками, соединенный с выпускной системой двигателя автомобиля (рис. 2).

Рис. 2. Схема точек отбора проб воздуха в вертикальном сечении зоны задымления на экспериментальном полигоне: 1–6 — воздухозаборные трубки; 7 — линейный источник; 8 — полоса озеленения; 9 — жилое здание; 10 — трос; 11 — прожектор; A, B, C, D, E, F — изучаемые профили

Fig. 2. Diagram of air sampling points in smoke area vertical section at the experimental site: 1–6 — air intake tubes; 7 — linear source; 8 — landscaping strip; 9 — residential building; 10 — cable; 11 — spotlight; A, B, C, D, E, F — studied profiles

Пробы воздуха отбирали путем его протяжки через поглотительные сосуды с использованием воздухозаборных трубок и аспираторов в узлах сетки точек, рассредоточенных по поперечному к улице вертикальному сечению на расстоянии по высоте 1,5 м с шагом в горизонтальном направлении, кратным высоте моделей полос и зданий. По результатам анализа проб воздуха получены поля концентраций суммарного содержания оксидов азота ($\text{NO} + \text{NO}_2$) и CO в воздухе по схемам «линейный источник — зеленая полоса» и «линейный источник — зеленая полоса — здание», а также в условиях открытого пространства. Параллельно с изучением концентраций ингредиентов в воздухе выполнены измерения скорости ветра в пунктах наблюдений по методике, описанной в предыдущей работе [35].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из результатов наших натурных наблюдений следует, что в условиях открытого пространства наиболее интенсивное рассеяние ОГ в направлении, перпендикулярном дороге, происходит сначала по экспоненте в пределах придорожной полосы шириной до 30 м. Дальнейшее снижение содержания ингредиентов в воздухе идет по линейному закону. В соответствии с этим, концентрация CO, в мг/м^3 , на расстоянии x от проезжей части может быть рассчитана по эмпирическим формулам:

$$\text{при } x \leq 30 \text{ м } q_x = qe^{-0,0413x}, \quad (1)$$

$$\text{при } x > 30 \text{ м } q_x = 0,29q_0 - 0,14(x - 30), \quad (2)$$

где q — концентрация CO над краем проезжей части дороги на высоте 1,5 м, мг/м^3 .

На рис. 3 показаны изолинии концентрации CO в воздухе за полосами озеленения разных кон-

струкций как механическими преградами на пути газозащитного потока. Наименьший уровень загрязнения воздуха наблюдается за полосой озеленения плотной конструкции — в зоне пешеходного движения. Максимальная загазованность отмечена в зоне касания шлейфа земной поверхности на расстоянии 2...3 высот полосы.

Характер изолиний подтверждает изложенное выше положение о том, что зеленые полосы являются полупроницаемыми экранами, способными отклонять и рассеивать часть ОГ в верхнем слое атмосферы. Другая их часть просачивается сквозь ветви и листья.

Эффективность рассеяния ингредиентов, как следует из результатов эксперимента, существенно зависит от высоты и плотности полосы озеленения, за которой отмечается снижение концентраций компонентов ОГ на величину $\Delta q = q_0 - q_s$, где q_s — соответственно концентрация изучаемого вещества в воздухе перед полосой и ее среднее значение за полосой озеленения в пределах трех ее высот.

Выразим значение q_s через q_0 и показатель эффективности снижения концентрации ингредиента полосой озеленения ω , %.

В общем случае газозащитную эффективность полосы можно установить по формуле:

$$\omega = \frac{q_0 - q_s}{q_0} \cdot 100 = \left(1 - \frac{q_s}{q_0}\right) \cdot 100, \%. \quad (3)$$

В результате деления обеих частей уравнения (3) на 100 и преобразований получим выражение для q_s :

$$q_s = q_0 \left(1 - \frac{\omega}{100}\right). \quad (4)$$

После подстановки (4) в (1) и (2) имеем:

Рис. 3. Снижение концентрации CO, %, полосами зеленых насаждений: *a* — продуваемая конструкция (1–2 ряда деревьев); *b* — плотная конструкция (2–3 ряда деревьев с однорядным кустарником); *h* — высота полосы; 100 % — концентрация CO у края дороги на высоте 1,5 м

Fig. 3. Reduction of CO concentration by vegetation belts, %. Upper plot: wind-blown structure (one or two rows of trees); lower plot: dense structure (two or three rows of trees, with shrubbery infill); *h* is green belt height; 100 % is CO concentration at 1.5 m above the driving lane edge

$$\text{при } x \leq 30 \text{ м } q_x = q_0 \left(1 - \frac{\omega}{100}\right) e^{-0,0413x}, \quad (5)$$

$$\text{при } x > 30 \text{ м } q_x = 0,29q_0 \left(1 - \frac{\omega}{100}\right) - 0,14(x - 30). \quad (6)$$

Из сравнения схем рассеяния CO на рис. 3 следует, что наиболее выгодными по газозащитным свойствам являются линейно-полосные структуры зеленых насаждений плотной конструкции благодаря более выраженной изолирующей способности. Их газозащитная эффективность на 30 % больше, чем у продуваемых структур. Для расширения зоны газозащитного воздействия полос озеленения в их составе необходимо предусматривать рядовую посадку высокорастущих деревьев (клены, тополя и др.). Наиболее эффективную защиту придорожных территорий от загрязнения ОГ обеспечивают полосы зеленых насаждений шириной 15...30 м плотной конструкции (табл. 1).

Графики зависимости газозащитной эффективности линейно-полосных структур зеленых насаждений от коэффициента ажурности для древесных растений разной высоты приводятся на рис. 4. Данную зависимость можно представить степенной функцией:

$$\omega = 48 \cdot (1 + 0,016h) \cdot K^{\frac{2}{3}}, \quad (7)$$

где *h* — средняя высота деревьев в полосе, м ($h \geq 5$); *K* — коэффициент ажурности.

По характеру кривых видно, что они занимают наиболее крутое положение при увеличении коэффициента ажурности полос озеленения до значений 0,5...0,6, а затем повышение их газозащитной эффективности происходит более плавно. Это необходимо учитывать при озеленении улиц, когда их ширина оказывается недостаточной для формирования линейно-полосных структур зеленых насаждений с максимальной плотностью из-за наличия технических разделительных полос для инженерных коммуникаций, где не предусматривается посадка деревьев. В таких случаях следует формировать полосы озеленения со значением $K = 0,5...0,6$, при котором происходит наиболее эффективное снижение концентрации CO. Как следует из данных табл. 1, такую плотность могут иметь двух- четырехрядные посадки деревьев с двумя рядами кустарника общей шириной 8...15 м.

В градозологической системе «проезжая часть — зеленая полоса — здание» аэрационный

Табл. 1. Снижение концентрации СО полосами зеленых насаждений, %

Table 1. Reduction of CO concentration by green belts, %

Тип посадки / Plantation type	Высота, м / Height, m	Ширина, м / Width, m	Коэффициент ажурности / Openwork factor	Газозащитная эффективность, % / Protective efficiency, %
Один ряд деревьев с одним рядом кустарника / One row of trees, one row of shrubbery	5–8	4–6	0,2–0,4	17–28
	8–10			18–29
	10–15			20–32
	15–20			22–34
Два ряда деревьев с одним рядом кустарника / Two rows of trees, one row of shrubbery	5–8	6–8	0,3–0,6	23–27
	8–10			24–38
	10–15			26–42
	15–20			28–45
Два ряда деревьев с двумя рядами кустарников / Two rows of trees, two rows of shrubbery	5–8	8–10	0,4–0,7	28–41
	8–10			29–43
	10–15			32–47
	15–20			34–50
Три-четыре ряда деревьев с двумя рядами кустарников / Three to four rows of trees, two rows of shrubby	5–8	10–15	0,5–0,8	33–45
	8–10			34–47
	10–15			37–51
	15–20			40–55
Пять-шесть рядов деревьев с четырьмя рядами кустарников / Five to six rows of trees, two rows of shrubby	5–8	20–30	0,7–1,0	37–48
	8–10			38–50
	10–15			42–55
	15–20			45–65

Рис. 4. Снижение концентрации СО полосами зеленых насаждений плотной конструкции (в %) в зависимости от коэффициента ажурности и высоты (h): 1 — h = 1,6 м (кустарник); 2 — 9 м; 3 — 14

Fig. 4. Reduction of CO concentration by green strips of dense construction (%) depending on openwork factor K and height h. Line 1: h = 1.6 m (shrubby); line 2: h = 9 m; line 3: h = 14 m

режим и изменение концентраций ОГ в пределах тротуарной части улицы приобретают сложный характер (рис. 5, 6). В данном случае происходит снижение скорости нисходящих турбулентных струй, обусловленных циркуляцией воздушного потока вблизи наветренной стены здания из-за конвективного противотока и непроницаемых преград — балконов, проездов, подпорных стен, откосов, а также полупроницаемых препятствий в виде рядов дере-

вьев и кустарников. При этом деревья оказывают наиболее ощутимое тормозящее воздействие на скорость циркуляционного потока и формирование концентраций компонентов ОГ в уличном пространстве [36].

Полосы озеленения также существенно изменяют характер распределения выбросов автомобилей на улицах с плотной двусторонней застройкой в виде каньонов, с которыми связаны большие эко-

логические проблемы, с точки зрения их аэрации и загазованности [37–40]. При направлении ветра слева направо, на улицах шириной по линиям застройки $B < 3H$ (H — высота зданий) образуется рециркуляционный вихревой поток, вращающийся по часовой стрелке. При этом трансформация основного воздушного потока, который большей частью не заходит в промежуток между зданиями, а только передает импульс вращения в пространство улицы, соответствует режиму обтекания «по обтекающей», согласно классификации режимов взаимодействия ветра с застройкой, приведенной в работе Байка и Кима [41]. Вихрь между зданиями имеет максимальную скорость вращения и сохраняет круглоцилиндрическую форму при $B = 1...2H$ [42, 43]. Кроме этого, у нижних эта-

жей первого здания, в углу, образованном его подветренной стеной и поверхностью улицы, появляется замкнутый вихрь небольшого размера, внутри которого примеси, поступающие с основным вихревым потоком, удерживаются и циркулируют с малой скоростью [44, 45].

При ширине улицы $B = 2...3H$ форма основного вихря переходит в эллиптическую [42, 43], а затем, в интервале $3H < B < 6H$ происходит разрыв общей циркуляционной зоны между зданиями на две зоны. На передней стене подветренного здания появляется зона подпора — замкнутый вихрь высокого давления, а за наветренным зданием образуется рециркуляционный вихревой поток низкого давления. В результате взаимодействия этих вихрей над

Рис. 5. Изменение концентрации $\text{NO} + \text{NO}_2$ и скорости ветра на высоте 1,5 м в тротуарной части улиц с застройкой из 5-этажных (a, b) и 9-этажных (c, d) зданий под воздействием полос озеленения продуваемой (a, c) и плотной (b, d) конструкции: a, b — $h = H$; c, d — $h = 0,5H$; q_0 и u_0 — соответственно концентрации $\text{NO} + \text{NO}_2$ в воздухе и скорость ветра у края проезжей части улицы; q и u — то же, в пунктах наблюдений; L — расстояние, м

Fig. 5. $\text{NO} + \text{NO}_2$ concentration and wind speed variations at 1.5 m above pedestrian area surface in streets with 5-story buildings (a, b) and 9-story buildings (c, d) under the effect of green belts of wind-blown (a, c) and dense (b, d) structure. Two upper plots: $h = H$; two lower plots: $h = 0.5H$; q_0 and u_0 are respectively $\text{NO} + \text{NO}_2$ concentrations and wind speed at 1.5 m above the roadway edge; q and u are the same at observation points; L is a distance in meters

проезжей частью отмечается снижение скорости ветра. При этом трансформация воздушного потока приобретает признаки «турбулентно-струйного» режима обтекания зданий [41, 44].

В целях исключения застоя загрязняющих веществ на плотно застроенных, недостаточно проветриваемых участках магистральных улиц, где вредные ингредиенты дрейфуют с незначительной скоростью, линейно-полосные структуры зеленых насаждений необходимо формировать продуваемой конструкции с применением в качестве основных пород высокоштамбовых деревьев. Наилучшие условия для продвижения воздушных масс через

участки насаждений можно обеспечить также путем увеличения расстояний между рядами древесных растений. В таком случае формируется оптимальный аэрационный режим и необходимый естественный воздухообмен в пределах пешеходных зон, а также более равномерное распределение и рассеяние ингредиентов вблизи стен зданий (рис. 6, б).

Результаты экспериментов показывают, что при изменении высоты полос зеленых насаждений изменяется характер их воздействия на скорость воздушного потока и концентрацию загрязняющих веществ у зданий и на пешеходных тротуарах. При равной высоте полосы h и здания H скорость ветра

Рис. 6. Изменение концентрации $\text{NO} + \text{NO}_2$, %, в градоэкологической системе «линейный источник — зеленая полоса — здание» под воздействием полос озеленения продуваемой (а, б) и плотной (с, д) конструкции: а, с — $h = H$; б, д — $h = 0,5 H$; h — высота полосы; H — высота здания; 100 % — начальная концентрация $\text{NO} + \text{NO}_2$ у линейного источника

Fig. 6. $\text{NO} + \text{NO}_2$ concentration variation, %, in “linear source — green belt — building” urban ecological system under influence of landscaping bands of wind-blown (a, b) and dense (c, d) structure: a, c — $h = H$; b, d — $h = 0.5H$; h is green belt height; H is the building height; 100 % is initial $\text{NO} + \text{NO}_2$ concentration at linear source

в пешеходной зоне и у линии застройки составляет 10...20 % от скорости воздушного потока над проезжей частью, из-за чего здесь отмечается повышенный уровень загазованности воздуха (рис. 5, а, b; 6, а, b). А при $h = 0,5 H$ снижение исходной скорости ветра происходит до 40...50 % и наблюдается значительное разбавление примесей (рис. 5, с, d; 6, b, d).

По положению кривых на рис. 7 видно, что в полосах озеленения наиболее предпочтительной является высота деревьев в пределах 0,4...0,6 H , обеспечивающая их максимальную газозащитную эффективность. Очевидно, при достижении деревьями уровня средних этажей зданий следует ограничивать их рост, применяя конструктивные рубки. С этой целью для озеленения участков магистралей с плотной застройкой необходимо подбирать такие породы деревьев, которые легко переносят обрезку и дают побеги на штамбе.

При равенстве высот деревьев и зданий наблюдается снижение загрязнения воздуха по дворовым фасадам и во внутриквартальном пространстве за счет увеличения траектории движения и рассеяния компонентов ОГ в верхнем слое атмосферы (рис. 6, а, с).

Однако с увеличением высоты полосы озеленения, состоящие из деревьев с густой кроной, проявляя совместно с застройкой более высокие показатели снижения уровня загазованности по отношению к внутриквартальному пространству, оказываются вторичными источниками загрязнения воздуха примесями на самой улице. Задерживаясь в пределах зеленой полосы, они образуют зоны «локального» загрязнения воздуха [30, 45]. В данном случае полосы с загущенными кронами деревьев могут играть роль «накопителя» загрязняющих веществ [46].

Следует иметь в виду, что при формировании придорожных полос с двух сторон над автомобильной дорогой образуется полузамкнутое пространство, где при поперечном ветре, так же, как и в уличном каньоне, появляется рециркуляционный вихревой поток. В данном случае происходит накопление ингредиентов над проезжей частью [47]. Поэтому первые ряды растений по обеим сторонам дороги должны представлять собой двухъярусную живую изгородь из кустарников и состоять из деревьев с низкой кроной при постепенном увеличении высоты с таким расчетом, чтобы обеспечить режим «изолированного» обтекания придорожных полос ветром [41]. По данным анемометрической съемки, повышение скорости ветра в уличном каньоне, связанное с переходом воздушного потока в режим «изолированного» обтекания, происходит при ширине улицы $B = 6...10 H$ [48].

Насаждения для озеленения городских дорог и улиц должны быть быстрорастущими, газоустой-

чивыми. Для этого подходят клен полевой, каштан конский, тополя серебристый и черный, кизильник, боярышник, бересклет, пузыреплодник, снежно-голдник [49].

Рис. 7. Снижение концентрации $\text{NO} + \text{NO}_2$, %, в воздухе на пешеходном тротуаре между полосой озеленения и застройкой при $K = 0,1$ (1); $0,2$ (2); $0,4$ (3) и $0,8$ (4); h — высота полосы; H — высота здания

Fig. 7. Reduction of $\text{NO} + \text{NO}_2$ concentration in the air of pedestrian area between green strip and building, where $K = 0.1$ (1); 0.2 (2); 0.4 (3) and 0.8 (4); h is green belt height; H is building height

В полосах зеленых насаждений средозащитного назначения необходимо выделять главные, дополнительные и декоративные (отделочные) породы, учитывать конкурентные взаимоотношения отдельных пород между собой в процессе роста.

При подборе ассортимента растений для средозащитных полос следует также иметь в виду, что их аэродинамическая характеристика и газозащитная эффективность существенно зависят от структурных особенностей крон деревьев и кустарников различных пород, а также от их возрастной и сезонной изменчивости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эксплуатация объектов транспортной инфраструктуры сопровождается негативным воздействием транспорта на основные средовые системы и условия жизнедеятельности населения в городах. Повышение плотности транспортных коммуникаций в границах урбанизированных территорий приводит к вытеснению растительного покрова и формированию особого вида природно-антропогенного ландшафта, характеризующегося раздробленностью, нарушением единой структуры и увеличением жесткости из-за монотонного повторения поверхностей зданий, покрытий улиц и их окраски.

Зеленые насаждения являются важным компонентом экосистемы, способным противостоять негативному воздействию транспорта на жилую среду на особенно уязвимых в экологическом отношении примыкающих территориях. На магистральных дорогах и улицах средствами озеленения достигается гармонизация жестких ландшафтов с восстановлением их мягкости и эстетической привлекательности для городских жителей.

В планировочных зонах и исторических центрах крупных городов в условиях дефицита пространства, возникающего из-за насыщенности инженерными коммуникациями, необходимости пропуска транспортных потоков высокой интенсивности, хранения автомобилей и обеспечения взаимодействия наземного и скоростного внеуличного транспорта появляется острая проблема сохранения и увеличения доли природных и озелененных территорий. Здесь особенно необходим выбор наиболее эффективных архитектурно-ландшафтных композиций и структур зеленых насаждений с учетом их средозащитных свойств.

В условиях переуплотненной недостаточно проветриваемой застройки городских улиц и прилегающих территорий в качестве доминирующего экологического фактора, отражающего уровень негативного воздействия транспорта на городские средовые системы, выступает загазованность атмосферного воздуха. Концентрации ведущих компонентов ОГ автомобилей в воздухе магистральных дорог и улиц тесно связаны с функциональной зависимостью со скоростью ветра. На аэрационный режим улиц и внутриквартальных территорий активно влияет застройка, неровности подстилающей поверхности, элементы благоустройства и древесно-кустарниковые насаждения.

Приемы озеленения объектов транспортной инфраструктуры должны ориентировать зеленые насаждения на максимальную реализацию их средозащитного потенциала. Для этого необходимо выбрать их оптимальное расположение по отношению к источникам негативного воздействия на жилую среду, а также объектам защиты в пределах жилых зон, определить породный состав, плотность и геометрические характеристики формируемых структур.

Деревья и кустарники в полосах озеленения как частично проницаемые препятствия снижают уровень загрязнения воздуха путем рассеяния компонентов выброса автомобилей при обтекании газозащитным потоком, при этом отдельные ингредиенты могут незначительно поглотиться поверхностью фитомассы полосы. Количество поглощаемых средозащитной полосой ингредиентов (поллютантов) в большей мере определяется сте-

пенью проницаемости, объемом фитомассы и дендрологическим составом деревьев и кустарников и устанавливается в мг в расчете на 1 г или 1 кг сухого вещества за весь вегетационный период. В случае постоянного или регулярного периодического воздействия достаточно мощных источников загрязнения на объектах транспортной инфраструктуры остаточное содержание в листьях поллютантов не может характеризовать способность древесных растений в отношении снижения их концентраций в воздухе. Поэтому количественные показатели поглощения загрязнителей растениями отдельных пород могут использоваться лишь как индикаторы загрязнения воздуха.

Ведущую роль в трансформации воздушных потоков через полосы озеленения и рассеянии атмосферных загрязнителей играют их высота, форма и плотность крон, характер штамба, шаг посадки деревьев в ряду, величина междурядий и дендрологический состав насаждений. Наименьший уровень загрязнения воздуха наблюдается в зонах пешеходного движения за полосами озеленения плотной конструкции. Полосы продуваемой конструкции отличаются незначительной газозащитной эффективностью из-за того, что большая часть газозащитной смеси беспрепятственно проходит через коридоры, образуемые в подкрановом пространстве.

В целях исключения возможности появления замкнутой циркуляции и накопления ОГ на автомобильных дорогах с двусторонним расположением полос озеленения ближайшие к краю проезжей части ряды растений должны быть представлены кустарниками, образующими двухъярусные живые изгороди, и деревьями с низкой кроной. В последующих рядах высоту древесных растений следует постепенно увеличивать, образуя ступенчатую форму полосы по поперечному сечению.

Наиболее интенсивное повышение газозащитной эффективности полос озеленения наблюдается при увеличении коэффициента ажурности K , характеризующего их плотность, до средних значений. Это необходимо учитывать при наличии в пределах тротуарной части улиц технических полос для инженерных коммуникаций, где по условиям их эксплуатации не допускается высадка деревьев. При таких условиях ширина улиц по линиям застройки не позволяет создавать полосы древесно-кустарниковых насаждений со значением K , близким к 1. В данном случае необходимо формировать полосы озеленения оптимальной плотности с $K = 0,5 \dots 0,6$.

На улицах с многосекционной фронтальной застройкой наиболее эффективными по отношению к внешним фасадам зданий и зонам пешеходного движения оказываются полосы равномерно ажурной и продуваемой конструкции при высоте насаж-

дений на уровне средних этажей. В этом случае отмечаются более низкие концентрации ингредиентов перед полосой и их равномерное рассеяние у стен зданий, обращенных к источнику, а также стимулируется интенсивный воздухообмен в зоне пешеходного движения. Для исключения очагового характера распределения ОГ в тротуарной части улиц необходимо ограничивать высоту зеленых насаждений до половины высоты зданий путем проведения конструктивных рубок.

С приближением высоты полос зеленых насаждений к высоте фронтальной застройки отмечается снижение концентраций компонентов ОГ в воздухе на дворовой территории вследствие увеличения длины пути переноса газовой смеси над препятствиями. Однако при плотных посадках деревьев происходит накопление примесей в уличном

пространстве с формированием их высоких концентраций. Поэтому загущенные посадки высокорастущих деревьев следует использовать в сочетании с малоэтажной фронтальной застройкой нежилого назначения для защиты от негативного воздействия транспорта жилых массивов, застроенных зданиями повышенной этажности.

С практической точки зрения, необходимо учитывать комплексный характер средозащитного воздействия древесно-кустарниковых насаждений на объектах транспортной инфраструктуры [50], когда один и тот же структурно-конструктивный тип полосы озеленения может одновременно оказывать оптимизирующее воздействие на все экологические факторы жилой среды — загрязнение атмосферного воздуха, аэрационный режим, транспортный шум, инсоляцию в застройке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочуров Б.И., Ивашкина И.В. Культурный городской ландшафт: геоэкологические и эстетические аспекты изучения и формирования // Экология урбанизированных территорий. 2010. № 4. С. 15–23.
2. Зенцов В.Н. Совершенствование методологии эколого-системного подхода к проектированию городской транспортной инфраструктуры : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 1999. 160 с.
3. Atasoy M. Monitoring the urban green spaces and landscape fragmentation using remote sensing: a case study in Osmaniye, Turkey // Environmental Monitoring and Assessment. 2018. Vol. 190. Issue 12. P. 713. DOI: 10.1007/s10661-018-7109-1
4. Dobbs C., Kendal D., Nitschke C.R. Multiple ecosystem services and disservices of the urban forest establishing their connections with landscape structure and sociodemographics // Ecological Indicators. 2014. Vol. 43. Pp. 44–55. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.02.007
5. Ивашкина И.В., Кочуров Б.И. Формирование пространственной композиции культурного ландшафта города // Экология урбанизированных территорий. 2012. № 3. С. 22–28.
6. Кочуров Б.И., Ивашкина И.В. Городские ландшафты Москвы: от традиционных до гармоничных и сбалансированных // Экология урбанизированных территорий. 2012. № 1. С. 6–11.
7. Hernandez J.G.V., Pallagst K., Hammer P. Urban green spaces as a component of an ecosystem functions, services, users, community involvement, initiatives and actions // International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources. 2018. Vol. 8 (1). 16 p. DOI: 10.19080/IJESNR.2018.08.555730
8. Hansen R., Frantzeskaki N., McPhearson T., Rall E., Kabisch N., Kaczorowska A. et al. The uptake of the ecosystem services concept in planning discourses of European and American cities // Ecosystem Services. 2015. Vol. 12. Pp. 228–246. DOI: 10.1016/j.ecoser.2014.11.013
9. Lee A., Jordan H.C., Horsley J. Value of urban green spaces in promoting healthy living and wellbeing: prospects for planning // Risk Management and Healthcare Policy. 2015. Vol. 8. Pp. 131–137. DOI: 10.2147/RMHP.S61654
10. Badiu D.L., Iojă C.I., Patroescu M., Breuste J., Artmann M., Nița M.R. et al. Is urban green space per capita a valuable target to achieve cities' sustainability goals? Romania as a case study // Ecological Indicators. 2016. Vol. 70. Pp. 53–66. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.05.044
11. Kabisch N., Haase D. Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany // Landscape and Urban Planning. 2014. Vol. 122. Pp. 129–139. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2013.11.016
12. Нижник М.С. Лес и отдых. Киев : Наукова думка, 1989. 120 с.
13. Мамин Р.Г. Эколого-экономические методы регулирования качества окружающей среды урбанизированных территорий : дис. ...канд. экон. наук. М., 1993. 30 с.
14. Воскресенская А.И. Колористическая организация открытых пространств как средство создания визуальной комфортной городской среды // Лесной Вестник. 2015. Т. 19. № 5. С. 66–70.
15. Кочуров Б.И., Ивашкина И.В. Урболодшафты Москвы и их пространственная трансформация // Экология урбанизированных территорий. 2015. № 2. С. 48–54.

16. *Городков А.В.* Ландшафтно-средозащитное озеленение и его влияние на экологическое состояние крупных городов Центральной России : дис. ... д-ра с.-х. наук. СПб.; Брянск, 2000. 36 с.
17. *Ильченко И.А.* Система зеленых насаждений города как средообразующий фактор городского микроклимата // Вестник Таганрогского института управления и экономики. 2014. № 1 (19). С. 37–42.
18. *Kabisch N., Strohbach M., Haase D., Kronenberg J.* Urban green space availability in European cities // *Ecological Indicators*. 2016. Vol. 70. Pp. 586–596. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.02.029
19. *Perini K., Magliocco A.* Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2014. Vol. 13 (3). Issue 10. Pp. 495–506. DOI: 10.1016/j.ufug.2014.03.003
20. *Теодоронская М.В.* О некоторых способах архитектурно-ландшафтной организации «зеленых» дорог // Лесной вестник. 2018. Т. 22. № 3. С. 110–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-3-110-117
21. *Балакин В.В., Кубахова А.С., Логинова Д.А., Соложенко Т.В.* Оценка пропускной способности транспортно-пересадочных узлов в интермодальных транспортных системах // Прогресс транспортных средств и систем — 2018 : мат. Междунар. науч.-практ. конф., 9–11 октября 2018, Волгоград. Волгоград : ВолгГТУ, РФФИ, ФНПЦ «Титан–Баррикады», 2018. С. 304–305.
22. *Балакин В.В., Сидоренко В.Ф., Сурков Г.О., Решетников Е.А., Аброськин А.А.* Снижение негативного воздействия транспорта на жилую среду градостроительными средствами // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 3–2 (57). С. 136–140. DOI: 10.23670/IRJ.2017.57.016
23. *Андреев П.И.* Рассеяние в воздухе газов, выбрасываемых промышленными предприятиями. М. : Госиздат, 1952. 88 с.
24. *Балакин В.В.* Влияние ветрового режима на очищение воздуха магистральных улиц от выбросов автотранспорта // Гигиена и санитария. 1980. № 6. С. 5–7.
25. *Вебра Э.Ю., Гедрайтис Б.И., Милукайте А.А., Шопанускас К.К.* О закономерностях загрязнения и очищения улиц города от выхлопных газов автотранспорта // Защита атмосферы от загрязнений. Вып. 4: Проблемы загрязнения воздушного бассейна городов. Вильнюс, 1978. С. 12–17.
26. *Кандрор И.С., Демина Д.М., Ратнер Е.М.* Физиологические принципы санитарно-климатического районирования территории СССР. М. : Медицина, 1974. 176 с.
27. *Серебровский Ф.Л.* Аэрация населенных мест. М. : Стройиздат, 1985. 170 с.
28. *Чернышенко О.В.* Поглотительная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города: дис. ... д-ра биол. наук. М., 2001. 200 с.
29. *Смалько Я.А.* Ветрозащитные особенности лесных полос разных конструкций. Киев : Госсельхозиздат УССР, 1963. 191 с.
30. *Janhäll S.* Review on urban vegetation and particle air pollution — deposition and dispersion // *Atmospheric Environment*. 2015. Vol. 105. Pp. 130–137. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.01.052
31. *Константинов А.Р., Струзер Л.Р.* Лесные полосы и урожай. Л. : Гидрометеиздат, 1974. 213 с.
32. *Балакин В.В., Сидоренко В.Ф.* Защита пешеходных зон и жилой застройки от выбросов автомобильного транспорта средствами озеленения // Жилищное строительство. 2016. № 5. С. 3–8.
33. *Балакин В.В., Сидоренко В.Ф.* Рассеяние отработавших газов автомобильного транспорта в системе «магистраль — зеленая полоса — здание» // Тенденции и перспективы развития науки XXI века : сб. ст. Междунар. научн.-практ. конф., 28 января, Сызрань. Уфа : ОМЕГА САЙНС, 2016. С. 25–28.
34. *Balakin V.V.* Formation of linear-strip greening objects in urban environmental systems // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 451. P. 012166. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012166
35. *Балакин В.В.* Регулирование аэрационного режима уличных каньонов приемами планировки и застройки // Вестник МГСУ. 2014. № 5. С. 108–118. DOI: 10.22227/1997-0935.2014.5.108-118
36. *Balakin V.V.* Green plantations influence on wind transformation and car emissions dispersion in city streets // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 451. P. 012167. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012167
37. *Lazic L., Urosevic M.A., Mijic Z., Vukovic G., Ilic L.* Traffic contribution to air pollution in urban street canyons: integrated application of the OSPM, moss bio-monitoring and spectral analysis // *Atmospheric Environment*. 2016. Vol. 141. Pp. 347–360. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.07.008
38. *Addison P.S., Currie J.I., Low D.J., McCann J.M.* An Integrated approach to street canyon pollution modelling // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2000. Vol. 65. Issue 1–2. Pp. 333–342. DOI: 10.1023/A:1006400406047
39. *Kim J.J., Baik J.J.* A numerical study of thermal effects on flow and pollutant dispersion in urban street canyons // *Journal of Applied Meteorology*. 1999. Vol. 38. Issue 9. Pp. 1249–1261. DOI: 10.1175/1520-0450(1999)038<1249:ansote>2.0.co;2
40. *Assimakopoulos V.D., ApSimon H.M., Mousiopoulos N.* A numerical study of atmospheric pollutant dispersion in different two-dimensional street canyon configurations // *Atmospheric Environment*. 2003. Vol. 37. Issue 29. Pp. 4037–4049. DOI: 10.1016/S1352-2310(03)00533-8

41. Baik J.J., Kim J.J. A numerical study of flow and pollutant dispersion characteristics in urban street canyons // *Journal of Applied Meteorology*. 1999. Vol. 38. Issue 11. Pp. 1576–1589. DOI: 10.1175/1520-0450(1999)038<1576:ansofa>2.0.co;2

42. Uehara K., Murakami S., Oikawa S., Wakamatsu S. Wind tunnel experiments on how thermal stratification affects flow in and above urban street canyons // *Atmospheric Environment*. 2000. Vol. 34. Issue 10. Pp. 1553–1562. DOI: 10.1016/S1352-2310(99)00410-0

43. Петтер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. М. : Стройиздат, 1984. 294 с.

44. Chan T.L., Dong G., Leung C.W., Cheung C.S., Hung W.T. Validation of a two-dimensional pollutant dispersion model in an isolated street canyon // *Atmospheric Environment*. 2002. Vol. 36. Issue 5. Pp. 861–872. DOI: 10.1016/S1352-2310(01)00490-3

45. Nielsen M. Turbulent ventilation of a street canyon // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2000. Vol. 65. Issue 1–2. Pp. 389–396. DOI: 10.1023/A:1006416909682

46. Бояришинов М.Г. Влияние лесного массива на перенос и рассеивание автотранспортных выбросов // Новое в экологии и безопасности жизне-

деятельности : сб. докл. Междунар. экологического конгресса, Санкт-Петербург, 14–16 июня, 2000. СПб. : БГТУ, 2000. Т. 2. С. 235–237.

47. Подольский В.П., Канищев А.Н., Рудавев В.Н. Определение ажурности в снегозадерживающих лесополосах // Решение экологических проблем в автотранспортном комплексе : сб. докл. 5 междунар. науч.-техн. конф. Москва, 1–2 февраля 2001. М. : МАДИ (ГТУ), 2001. С. 129.

48. Балакин В.В., Сидоренко В.Ф. Трансформация воздушного потока при обтекании жилых зданий на городских улицах // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. 2016. Вып. 44–2 (63). С. 4–18.

49. Ивченко Т.В., Романова Р.А., Короткова Е.Ю. Озеленение крупных населенных пунктов как компенсация загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом // Экология урбанизированных территорий. 2014. № 1. С. 30–33.

50. Балакин В.В., Сидоренко В.Ф., Сидоренко И.В. Комплексная оценка средозащитного воздействия линейно-полосных структур зеленых насаждений на городских дорогах и улицах // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. 2016. Вып. 44–2 (63). С. 19–32.

Поступила в редакцию 18 апреля 2019 г.

Принята в доработанном виде 30 июня 2019 г.

Одобрена для публикации 29 июля 2019 г.

Об авторах: **Владимир Васильевич Балакин** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений; **Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)**; 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, д. 1; РИНЦ Author ID: 496764, Scopus: 7005080548; balakin-its@yandex.ru;

Владимир Федорович Сидоренко — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры урбанистики и теории архитектуры; **Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)**; 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, д. 1; РИНЦ Author ID: 148345, Scopus: 57190966955; aleksey.abroskin@inbox.ru;

Михаил Юрьевич Слесарев — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ Author ID: 148485; slesarev@mgsu.ru;

Алексей Владимирович Антюфеев — кандидат архитектуры, профессор, заведующий кафедрой урбанистики и теории архитектуры; **Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)**; 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, д. 1; РИНЦ Author ID: 148485, Scopus: 57200195262; urbanistika_14@mail.ru.

REFERENCES

1. Kochurov B.I., Ivashkina I.V. Cultured cityscape: geoeological and aesthetical aspects of studying and developing. *Urban Ecology*. 2010; 4:15-23. (rus.).

2. Zentsov V.N. *Improving the methods of systematic environmental approach to designing transportation infrastructure facilities: Synopsis of Thesis ... of*

Candidate of Technical Sciences. Saint Petersburg, 1999; 160. (rus.).

3. Atasoy M. Monitoring the urban green spaces and landscape fragmentation using remote sensing: a case study in Osmaniye, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018; 190(12):713. DOI: 10.1007/s10661-018-7109-1

4. Dobbs C., Kendal D., Nitschke C.R. Multiple ecosystem services and disservices of the urban forest establishing their connections with landscape structure and sociodemographics. *Ecological Indicators*. 2014; 43:44-45. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.02.007

5. Ivashkina I.V., Kochurov B.I. Development of spatial composition of a cityscape. *Urban Ecology*. 2012; 3:22-28. (rus.).

6. Kochurov B.I., Ivashkina I.V. Moscow cityscapes: from traditional to harmonized and balanced ones. *Urban Ecology*. 2012; 1:6-11. (rus.).

7. Hernandez J.G.V., Pallagst K., Hammer P. Urban green spaces as a component of an ecosystem functions, services, users, community involvement, initiatives and actions. *International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources*. 2018; 8(1):16. DOI: 10.19080/IJESNR.2018.08.555730

8. Hansen R., Frantzeskaki N., McPhearson T., Rall E., Kabisch N., Kaczorowska A. et al. The uptake of the ecosystem services concept in planning discourses of European and American cities. *Ecosystem Services*. 2015; 12:228-246. DOI: 10.1016/j.ecoser.2014.11.013

9. Lee A., Jordan H.C., Horsley J. Value of urban green spaces in promoting healthy living and wellbeing: prospects for planning. *Risk Management and Healthcare Policy*. 2015; 8:131-137. DOI: 10.2147/RMHP.S61654

10. Badiu D.L., Ioja C.I., Patroescu M., Breuste J., Artmann M., Nița M.R. et al. Is urban green space per capita a valuable target to achieve cities' sustainability goals? Romania as a case study. *Ecological Indicators*. 2016; 70:53-66. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.05.044

11. Kabisch N., Haase D. Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany. *Landscape and Urban Planning*. 2014; 122:129-139. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2013.11.016

12. Nizhnik M.S. *Forest and recreation*. Kiev, Naukova dumka Publ., 1989; 120. (rus.).

13. Mamin R.G. *Combination of ecological and economical methods of urban environmental control : Synopsis of Thesis ... of Candidate of Sciences Economics*. Moscow, 1993; 30. (rus.).

14. Voskresenskaya A.I. Coloristic organization of open spaces as a means of creating a visual comfortable urban environment. *Forest Bulletin*. 2015; 19(5):66-70. (rus.).

15. Kochurov B.I., Ivashkina I.V. Moscow cityscapes and their special transformations. *Urban Ecology*. 2015; 2:48-54. (rus.).

16. Gorodkov A.V. *Landscape-environment protection landscaping and its impact on the ecological state of large cities of Central Russia : Thesis ... of Doctor of Sciences Agricultural*. Saint Petersburg; Bryansk, 2000; 36. (rus.).

17. Ilchenko I.A. The system of greenery of the city as an environment-forming factor of the urban microclimate. *Bulletin of the Taganrog Institute of Management and Economics*. 2014; 1:37-42. (rus.).

18. Kabisch N., Strohbach M., Haase D., Kronenberg J. Urban green space availability in European cities. *Ecological Indicators*. 2016; 70:586-596. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.02.029

19. Perini K., Magliocco A. Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2014; 13(3):495-506. DOI: 10.1016/j.ufug.2014.03.003

20. Teodoronskaya M.V. About some ways of the architectural and landscape organization of "green" roads. *Forest Bulletin*. 2018; 22(3):110-117. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-3-110-117 (rus.).

21. Balakin V.V., Kubakhova A.S., Loginova D.A., Soloznenko T.V. Estimation of throughput of transport interchange nodes in intermodal transport systems. *The progress of vehicles and systems — 2018 : materials of the Intern. scientific-practical conf., October 9–11, 2018, Volgograd*. Volgograd, VolgGTU, RFFU, FNPTS "Titan-Barrikady" Publ., 2018; 304-305. (rus.).

22. Balakin V.V., Sidorenko V.F., Surkov G.O., Reshetnikov E.A., Abroskin A.A. City planning countermeasures for negative impact on living environment from traffic. *International Research Journal*. 2017; 3(2):57:136-140. DOI: 10.23670/IRJ.2017.57.016 (rus.).

23. Andreyev P.I. *The scattering in the air of gases emitted by industrial enterprises*. Moscow, Gosizdat Publ., 1952; 90. (rus.).

24. Balakin V.V. Influence of the wind regime on air purification of the main streets from motor vehicle emissions. *Hygiene and Sanitation*. 1980; 6:5-7. (rus.).

25. Vebra E.Yu., Gedraitis B.I., Milukaite A.A., Shopauskas K.K. On the regularities of pollution and purification of city streets from vehicle exhaust gases. *Protection of the atmosphere from pollution. Vol. 4: Problems of urban airshed*. Vilnius, 1978; 4:12-17. (rus.).

26. Kandror I.S., Dyemina D.M., Ratner E.M. *Physiological principles of sanitary-climatic zoning of the territory of the USSR*. Moscow, Meditsina Publ., 1974; 176. (rus.).

27. Serebrovskii F.L. *Ventilation of residential territories*. Moscow, Stroizdat Publ., 1985; 170. (rus.).

28. Chernyshenko O.V. *Absorption capacity and pollution-resistance of trees in urban terrains: Thesis ... of Doctor of Sciences Biology*. Moscow, 2001; 200. (rus.).

29. Smalko Ya.A. *Wind-sheltering characteristics of green belts of various structures*. Kiev, Gosselhozizdat USSR Publ., 1963; 191. (rus.).
30. Janhäll S. Review on urban vegetation and particle air pollution — deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*. 2015; 105:130-137. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.01.052
31. Konstantinov A.R., Struzer L.R. *Green shelterbelts and land productivity*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974; 213. (rus.).
32. Balakin V.V., Sidorenko V.F. Protection of pedestrian areas and residential development from emissions of road transport by means of landscaping. *Housing Construction*. 2016; 5:3-8. (rus.).
33. Balakin V.V., Sidorenko V.F. Dispersion of car emissions in a «road–shelterbelt–building» system. *Scientific trends and prospects in 21th century : collection of articles International. scientific.-prakt. conf. January 28, Syzran. Ufa, OMEGA SAINS Publ.*, 2016; 25-28. (rus.).
34. Balakin V.V. Formation of linear-strip greening objects in urban environmental systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 451:012166. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012166
35. Balakin V.V. Street canyon ventilation control by proper planning and development. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2014; 5:108-118. DOI: 10.22227/1997-0935.2014.5.108-118 (rus.).
36. Balakin V.V. Green plantations influence on wind transformation and car emissions dispersion in city streets. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; (451):012167. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012167
37. Lazic L., Urosevic M.A., Mijic Z., Vukovic G., Ilic L. Traffic contribution to air pollution in urban street canyons: integrated application of the OSPM, moss biomonitoring and spectral analysis. *Atmospheric Environment*. 2016; 141:347-360. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.07.008
38. Addison P.S., Currie J.I., Low D.J., McCann J.M. An integrated approach to street canyon pollution modelling. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2000; 65(1-2):333-342. DOI: 10.1023/A:1006400406047
39. Kim J.J., Baik J.J. A numerical study of thermal effects on flow and pollutant dispersion in urban street canyons. *Journal of Applied Meteorology*. 1999; 38(9):1249-1261. DOI: 10.1175/1520-0450(1999)038<1249:ansote>2.0.co;2
40. Assimakopoulos V.D., ApSimon H.M., Moussiopoulos N. A numerical study of atmospheric pollutant dispersion in different two-dimensional street canyon configurations. *Atmospheric Environment*. 2003; 37(29):4037-4049. DOI: 10.1016/S1352-2310(03)00533-8
41. Baik J.J., Kim J.J. A numerical study of flow and pollutant dispersion characteristics in urban street canyons. *Journal of Applied Meteorology*. 1999; 38(11):1576-1589. DOI: 10.1175/1520-0450(1999)038<1576:ansofa>2.0.co;2
42. Uehara K., Murakami S., Oikawa S., Wakamatsu S. Wind tunnel experiments on how thermal stratification affects flow in and above urban street canyons. *Atmospheric Environment*. 2000; 34(10):1553-1562. DOI: 10.1016/S1352-2310(99)00410-0
43. Retter E.I. *Architectural aerodynamics*. Moscow, Stroizdat Publ., 1984; 294. (rus.).
44. Chan T.L., Dong G., Leung C.W., Cheung C.S., Hung W.T. Validation of a two-dimensional pollutant dispersion model in an isolated street canyon. *Atmospheric Environment*. 2002; 36(5):861-872. DOI: 10.1016/S1352-2310(01)00490-3
45. Nielsen M. Turbulent ventilation of a street canyon. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2000; 65(1-2):389-396. DOI: 10.1023/A:1006416909682
46. Boyarshinov M.G. The effect of woodland on car emission transport and dispersion. *New ideas in ecology and civil defence: Book of abstracts from the International ecology congress in St. Petersburg, June 14–16, 2000*. Saint Petersburg, BG TU Publ., 2000; 2:235-237. (rus.).
47. Podolskii V.P., Kanishchev A.N., Rudaev V.N. Permeability assessment for snow-retaining treebelts. *Solutions for environmental issues in car transport sector : Book of abstracts from the 5th scientific/technical conference in Moscow, Feb 1–2, 2001*. Moscow, MADI (GTU) Publ., 2001; 129. (rus.).
48. Balakin V.V., Sidorenko V.F. Air flow transformation around residential buildings in urban streets. *VolgGASU bulletin. Civil Engineering & Architecture series*. 2016; 44-2(63):4-18. (rus.).
49. Ivchenko T.V., Romanova R.A., Korotkova E.Yu. Town/city gardening against air-pollution by car emissions. *Urban Ecology*. 2014; 1:30-33. (rus.).
50. Balakin V.V., Sidorenko V.F., Sidorenko I.V. Comprehensive assessment of the environmental impact of linear-strip structures of green plantings on city roads and streets. *VolgGASU bulletin. Civil Engineering & Architecture series*. 2016; 44-2(63):19-32. (rus.).

Received April 18, 2019.

Adopted on June 30, 2019.

Approved for publication July 29, 2019.

B I O N O T E S : **Vladimir V. Balakin** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Construction and Operation of Transport Facilities; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 1 Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; RISC Author ID: 496764, Scopus: 7005080548, balakin-its@yandex.ru;

Vladimir F. Sidorenko — Doctor of Technical sciences, Professor, Professor of Department of Urban Studies and Theory of Architecture; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 1 Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; RISC Author ID: 148345, Scopus: 57190966955; aleksey.abroskin@inbox.ru;

Mikhail YU. Slesarev — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Construction of Thermal and Nuclear Energy; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; RISC Author ID: 148485; slesarev@mgsu.ru;

Aleksei V. Antyufeyev — Candidate Architecture, Professor, Head of Department of Urban Studies and Theory of Architecture; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 1 Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; RISC Author ID: 148485, Scopus: 57200195262; urbanistika_14@mail.ru.