УДК 911.9
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-1-4
EDN VTMCXX

Разработка комплексного показателя для концепции 15-минутного города на основе мер доступности и оценки пространственных неравенств трамвайной сети Калининграда

Орехов С.Ю., Часовский В.И.
Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта
Россия, 236041, гор. Калининград, ул. А.Невского, 14
orechow@yandex.ru, prof.chasovsky@mail.ru

Аннотация. В исследовании предлагается методология количественной оценки концепции 15-минутного города на основе анализа доступности и пространственных неравенств на примере трамвайной сети г. Калининград. Разработана и протестирована новая метрика – *composite score x-minute (CSx)*, позволяющая определить степень территориальной доступности ключевых городских функций в пределах установленного временного интервала. На основе литературного анализа выделены районы Калининграда для реализации модели 15-минутного города. Для каждого района проведена оценка доступности на основе данных о поездках, а также введены параметры, учитывающие значимость пунктов назначения и тип функции затухания расстояния. Все показатели были стандартизированы, взвешены и агрегированы в составной индекс *CSx*. Методика апробирована на примере трамвайной системы Калининграда. Полученные результаты позволяют выявить районы с пониженной транспортной и функциональной доступностью, что дает основание для разработки мер по улучшению трамвайных связей и пространственного распределения сервисных функций. Разработанный подход может быть адаптирован для других городов и транспортных режимов, что свидетельствует о его универсальности и применимости в стратегическом городском планировании.

Ключевые слова: 15-минутный город, доступность, трамвайная сеть, пространственные неравенства, г. Калининград, анализ поездок, доступность

Для цитирования: Орехов С.Ю., Часовский В.И. 2026. Разработка комплексного показателя для концепции 15-минутного города на основе мер доступности и оценки пространственных неравенств трамвайной сети Калининграда. Региональные геосистемы, 50 (2): 403–420. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-1-4 EDN: VTMCXX

Development of a Comprehensive Indicator for the *15-Minute City* Concept Based on Accessibility Measures and Evaluation of Spatial Inequalities in the Tram Network of Kaliningrad City

Sergey Yu. Orekhov, Vladimir I. Chasovskii
Immanuel Kant Baltic Federal University
14 A. Nevsky St., Kaliningrad 236041, Russia
orechow@yandex.ru, prof.chasovsky@mail.ru

Abstract. The study proposes a methodology for quantifying the concept of a 15-minute city based on an analysis of accessibility and spatial inequalities, using the example of the Kaliningrad tram network. A new metric has been developed and tested – the composite score x-minute (CSx), which allows determining the degree of territorial accessibility of key urban functions within a set time interval. Based

© Орехов С.Ю., Часовский В.И., 2026

on the literature analysis, districts of Kaliningrad have been identified that are important for the implementation of the 15-minute city model. An accessibility assessment was carried out for each area based on travel data, and parameters were introduced that take into account the importance of destinations and the type of distance attenuation function. All of the indicators have been standardized, weighted, and aggregated into a composite CSx index. The method has been tested on the example of the Kaliningrad tram system. The results obtained make it possible to identify areas with reduced transport and functional accessibility, which provides the basis for developing measures to improve tram connections and the spatial distribution of service functions. The developed approach can be adapted for other cities and transport modes, which indicates its versatility and applicability in strategic urban planning.

Keywords: 15-minute city, accessibility, tram network, spatial inequalities, Kaliningrad city, trip analysis, availability

For citation: Orekhov S.Yu., Chasovskii V.I. 2026. Development of a Comprehensive Indicator for the *15-Minute City* Concept Based on Accessibility Measures and Evaluation of Spatial Inequalities in the Tram Network of Kaliningrad City. Regional Geosystems, 50 (2): 403–420 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-1-4 EDN: VTMCXX

Введение

На фоне растущей плотности населения в городских районах и возрастающих опасений относительно устойчивости и здоровья граждан становится неотложной необходимость стимулировать переход большего числа горожан к активным формам передвижения. Концепция «15-минутного города» представляет собой стратегию, направленную на обеспечение основных потребностей и услуг в пределах короткого времени, с целью решения проблем, связанных с транспортным неравенством. Утверждается, что близость к сервисам может уменьшить использование автомобилей, повысив тем самым транспортную справедливость и безопасность на дорогах. Однако, в связи с тем, что концепция «15-минутного города» относительно нова и недостаточно исследована, существует ограниченное количество работ, посвящённых данной теме.

Многие современные города до сих пор испытывают влияние рационалистических подходов к урбанистике, характерных для XX века [Carot, 2024]. Это наследие выражается, прежде всего, в широком распространении зависимости от индивидуального автотранспорта [Mattioli et al., 2020; Saeidizand et al., 2022], что, в свою очередь, способствует неконтролируемому разрастанию городской территории за счёт периферийных жилых районов [Kasraian et al., 2017]. Такая модель пространственного развития нередко оказывается неготовой к быстрому росту численности населения и к соответствующему увеличению нагрузок на инфраструктуру [Jacobs, 2011]. В результате города сталкиваются с рядом острых проблем: ускоренное истощение природных ресурсов, рост уровня загрязнения окружающей среды [Sicard et al., 2023], формирование городских «островов доступности» [Rajagopal et al., 2023], а также углубление социального неравенства [Steffen et al., 2015].

В ответ на эти вызовы различные международные и национальные организации инициируют стратегические меры, направленные на улучшение качества городской среды [Odendaal, 2022]. В частности, Цель 11 Повестки дня в области устойчивого развития ООН подчёркивает необходимость «обеспечения открытости, безопасности, устойчивости и экологичности городов и населённых пунктов». Как подчёркивается в докладе ООН-Хабитат «Города мира 2022» [Khor et al., 2022], для преодоления взаимосвязанных кризисов, связанных с изменением климата и утратой биоразнообразия, необходимы срочные и системные действия. Особое внимание в докладе уделяется критической значимости формирования устойчивого будущего для городов.

На сегодняшний день именно города несут основную нагрузку в контексте климатического воздействия. Согласно данным Шестого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), на долю городских территорий приходится от 67 до 72 % глобальных выбросов парниковых газов [Shukla et al., 2022]. Эти показатели обусловлены, главным образом, деятельностью ключевых секторов экономики, таких как транспорт, строительство и обрабатывающая промышленность, сосредоточенных преимущественно в городах и столичных агломерациях [Jiang et al., 2024].

В связи с обострением городских проблем на передний план выходят новые концептуальные направления в рамках современной урбанистической теории. Одним из наиболее заметных подходов последних лет стал хроноурбанизм – направление, фокусирующееся на сокращении временных затрат жителей на повседневные перемещения и улучшении доступности базовых услуг. Наиболее ярким воплощением идей хроноурбанизма является концепция 15-минутного города, предложенная Карлосом Морено в 2016 году [Moreno, 2016]. Суть этой модели заключается в формировании городской среды, где все жизненно важные функции (работа, жильё, услуги, досуг) находятся в пределах 15 минут ходьбы или поездки на велосипеде от места проживания. Такая структура городской жизни предполагает создание более устойчивой, социально интегрированной и инклюзивной городской ткани.

В своей статье 2020 года под названием «Представляем 15-минутный город: устойчивость, жизнестойкость и идентичность места в постпандемических городах будущего» [Moreno et al., 2021] Морено обосновывает теоретические принципы данной модели. Он выделяет шесть ключевых компонентов, необходимых для обеспечения качества городской жизни: жильё, занятость, образование, здравоохранение, досуг и культура, а также местная торговля. Их территориальная доступность в рамках 15 минут становится фундаментом для устойчивой урбанистической трансформации.

Концепция 15-минутного города направлена на формирование городской среды, в которой повседневная жизнь становится максимально удобной и устойчивой за счёт обеспечения доступности всех основных услуг в пределах 15-минутной досягаемости от места жительства [Wang et al., 2024]. Такая пространственная организация позволяет каждому жителю получить доступ к ключевым инфраструктурным объектам – включая жильё, рабочие места, образовательные учреждения, медицинские службы, объекты досуга и культуры, а также местную торговлю – без необходимости в длительных перемещениях.

Ключевым аспектом этой концепции выступает городская мобильность, основанная на принципе пространственной близости к жизненно важным ресурсам. Она оказывает существенное влияние как на доступ к городским функциям, так и на поведение при выборе вида транспорта. При этом понятие городской пригодности для жизни отражает, насколько такая мобильность способствует повышению качества жизни и эффективности выполнения ежедневных задач [Louro, 2021].

Следует подчеркнуть, что концепция 15-минутного города обладает высокой степенью адаптивности и может быть масштабирована в зависимости от размеров и топографии конкретного города. В последние годы был предложен целый ряд вариаций модели – например, 5-, 10-, 15-минутные города, объединённые под обобщающим названием «x-минутные города» [Logan et al., 2022]. Эти модели представляют собой отход от традиционного рационалистического городского планирования XX века и предлагают более устойчивую и инклюзивную структуру городской среды. Исходя из данной логики, Логан с соавторами [Logan et al., 2022] предложили два подхода к оценке доступности в пределах целых районов: во-первых, метод так называемой x-минутной статистики, во-вторых, метод статистики по удобствам. Первый подход предполагает комплексную оценку городской доступности, основываясь на максимально возможном времени в пути до каждой из необходимых услуг. Это позволяет выявлять зоны

потенциальной изоляции и слабой связности в городской структуре. Второй подход сосредоточен на детальном анализе конкретных зон обслуживания, что особенно важно для выявления и устранения локальных дефицитов в распределении городских ресурсов.

Основу этой модели составляет сокращение расстояний повседневных перемещений и, соответственно, снижение потребления ресурсов, чего можно достичь посредством пространственного планирования, основанного на принципе близости [Tajani, Laurenzi, 2022]. Такой подход способствует снижению зависимости от индивидуального автотранспорта и стимулирует трансформацию городской морфологии в сторону климатически нейтральной [Allam et al., 2022]. В Европе x-минутная модель была признана важным элементом «зелёного перехода» и активно поддерживается на политическом уровне [Abdullah, De Gregorio, 2021]. При этом центральное внимание уделяется снижению доли частного моторизованного транспорта, который, как известно, составляет 72 % выбросов ПГ в транспортном секторе [Wiggins, 2020]. Вместо этого предполагается активное развитие альтернативных видов мобильности, включая велосипедный и общественный транспорт, а также формирование безопасной и комфортной пешеходной среды.

Дополнительно модель x-минутного города предполагает ориентацию на локализованное потребление и децентрализованное производство. Такая стратегия позволяет сократить логистические цепочки, связанные с упаковкой, хранением и транспортировкой товаров, которые в совокупности являются источником около 20 % глобальных выбросов парниковых газов [Li et al., 2022]. Актуальность исследований российских авторов в области устойчивой городской мобильности и транспортной доступности также значительно возросла в последние годы, что связано с необходимостью адаптации отечественных городов к современным вызовам урбанизации. Так, Е.О. Савельева в своих работах [2021; 2024] рассматривает вопросы интеграции систем землепользования и транспорта, а также изменения транспортного поведения населения как ключевой фактор достижения устойчивой мобильности. Эти исследования демонстрируют, что российские города сталкиваются с аналогичными проблемами, что и зарубежные мегаполисы, и требуют комплексных решений, направленных на снижение зависимости от индивидуального автотранспорта и развитие общественного транспорта.

Особое значение имеет работа А.О. Меренкова [2022], посвящённая развитию городской мобильности в контексте урбанизации российских городов. Автор акцентирует внимание на необходимости формирования новых моделей транспортного обслуживания, способных обеспечить доступность и комфорт передвижения в условиях роста населения и пространственного расширения городских территорий.

Таким образом, отечественные исследования подтверждают актуальность концепции устойчивой мобильности и демонстрируют её практическую применимость в российских условиях. Включение этих работ в научный дискурс позволяет сопоставить международный опыт с национальными особенностями и выявить направления для дальнейшего развития транспортной политики в российских городах.

Актуальность и практическая применимость данной концепции значительно возросли в период пандемии *COVID-19*, которая выявила уязвимости традиционных моделей урбанизации. В ответ на новые вызовы, ряд крупных городов начал внедрение политики, соответствующей модели 15-минутного города. Так, Париж реализует стратегию «*Ville du quart d'heure*», а Мельбурн – «*Plan Melbourne*» [Paquot, 2021]. Особенно показателен пример Валенсии, которая с 2020 года реализует принципы хроноурбанизма в рамках программы «*Missions València 2030*» [Cerezo et al., 2021], нацеленной на достижение углеродной нейтральности к 2030 году. Значимость усилий Валенсии была подчеркнута присуждением ей статуса Европейской зелёной столицы в 2024 году [Event programme …, 2024], что подтверждает приверженность города принципам устойчивого развития. В контексте настоящего исследования Валенсия

рассматривается в качестве фокусной территории благодаря своей амбициозной политике и системной реализации модели 15-минутного города.

Рост интереса со стороны органов управления, стремящихся к эффективной реализации концепции, привёл к необходимости разработки точных и надёжных индикаторов, позволяющих количественно оценивать уровень доступности в х-минутных городах. В ряде исследований уже предложены разнообразные метрики, охватывающие такие аспекты, как общая устойчивость городской среды [Abu-Rayash, Dincer, 2021], велосипедная инфраструктура [Saghapour et al., 2019; Knap et al., 2023], пешеходная доступность, дружественность городской среды к пешеходам, а также оценка доступности ресурсов с учётом различных типов мобильности.

В данном контексте особенно актуальным становится отсутствие эффективных методов и инструментов для измерения прогресса города на пути к тому, чтобы стать «15-минутным городом». Поэтому данное исследование нацелено на разработку методологии количественной оценки концепции «15-минутного города» с использованием анализа доступности трамвайного транспорта в городе Калининград.

Таким образом, цель данного исследования – разработать метрику для оценки уровня реализации концепции «15-минутного города», основываясь на показателях доступности трамвайных маршрутов.

В концепции «15-минутного города» основной идеей является обеспечение жителей доступом ко всем основным услугам в пределах 15 минут активного передвижения. Организация *CNU (Congress for the New Urbanism)* предложила радиусы для различных видов передвижения в 15-минутном городе, охватывающие услуги от повседневных потребностей до культурных и образовательных возможностей. Важно отметить, что концепция «15-минутного города» имеет разные интерпретации и требования в разных странах, что делает ее не универсальной. Основной целью остается снижение трафика, но обеспечение одинакового уровня сервиса для всех жителей оказывается сложной задачей. Условие, при котором 90 % населения может удовлетворить свои потребности в течение 15 минут, представляется разумным.

Необходимо подчеркнуть, что включение общественного транспорта в рассмотрение концепции «15-минутного города» является важным, поскольку время в пути на общественном транспорте подвержено множеству переменных, таких как задержки и начальные/конечные этапы маршрута. Учитывая, что 15 минут представляют собой относительно короткий временной интервал, доступ к узлам общественного транспорта и остановкам остается необходимым для тех, кто не в состоянии передвигаться пешком или на трамваях, а также для тех, кто периодически покидает город.

Настоящее исследование предлагает объединённый подход к оценке доступности, при котором данные о наличии и достижимости ресурсов интегрируются в составной показатель для каждого вида услуг, необходимых населению на ежедневной основе. Принципиально важно, что расчёты будут основываться исключительно на открытых источниках данных и программных средствах с открытым исходным кодом, что подчёркивает значимость прозрачности и свободного доступа к информации в интересах коллективного прогресса общества.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступает система городского общественного транспорта Калининграда, в частности – трамвайная сеть, включая её маршруты, остановочные пункты и транспортную доступность в пределах 15-минутной пешеходной досягаемости. Анализ охватывает пространственную структуру размещения трамвайных маршрутов № 3 и № 5, а также выявление зон, находящихся в пределах краткосрочной пешеходной

доступности к ним. Исследование направлено на оценку транспортной обеспеченности городской территории, с учетом плотности населения и улично-дорожной сети.

Методологическая база исследования включает использование геоинформационных систем (ГИС) для построения изохрон (15-минутной досягаемости от остановок трамваев), а также метод пространственного наложения данных. Применяются аналитические инструменты *QGIS* и *OpenStreetMap*, в сочетании с расчетом коэффициентов доступности (*CS10, CS15, CS∞*), которые отражают долю населения, имеющего доступ к трамвайной сети в пределах заданного временного интервала. Дополнительно используется методика интеграции демографических данных с транспортной инфраструктурой для определения транспортной обеспеченности отдельных районов города.

Для ГИС-данных была выбрана сетка *CBS* 500 на 500 м, поскольку она состоит из квадратов одинакового размера, в отличие от полигонов *PC4* или *PC6*. Вариант 100 на 100 м также доступен, но использование его приведет к увеличению количества ячеек в исследуемой области в 25 раз, достигнув приблизительно 55 000.

В трамвайную сеть включены только основные (с движением в обе стороны) линии. Автомагистрали, главные и второстепенные дороги с односторонним движением не включаются в сеть.

Сеть была построена в программе *ArcMap* с узлами на каждом пересечении линий и возможностью движения в обоих направлениях по всем линиям.

Доступность для ячейки сетки i для типа назначения p определяется следующим образом:

$$A_{i,p} = \sum_j S_j \cdot f_D(jc_{ij}) \qquad (1)$$

где: $A_{i,p}$ – доступность для ячейки сетки i для типа назначения p; j принимает значения от 1 до n и представляет различные пункты назначения (тип p); S_j – параметр, связанный с пунктом назначения j; $f_D(jc_{ij})$ – функция затухания расстояния между ячейкой i и пунктом назначения j.

Требование D для каждого пункта назначения j определяется как:

$$D_j = \sum_k \sum_q P_{k,q} \cdot f(c_{kj})^q \qquad (2)$$

где: D_j – требование для пункта назначения j; k принимает значения от 1 до m и представляет исходные ячейки спроса услуг трамвайных перевозок; q принимает значения от 1 до r и представляет 3 района г. Калининград; $P_{k,q}$ – параметр, связанный с исходной ячейкой k и трамвайных остановок районов города q; $f(c_{kj})^q$ – функция затухания расстояния для трамвайных остановок района q между исходной ячейкой k и пунктом назначения j.

Оценка типа назначения осуществляется с применением функции затухания общего расстояния, применяемой к конкретному пункту назначения. Спрос (D_j) рассчитывается для группы трамвайных остановок в каждом районе и умножается на численность данной группы ($P_{k,q}$) в соответствующей ячейке k. При этом спрос учитывается для всех ячеек k, от которых возможен доступ к услуге j в пределах установленного времени.

Для расчета запаса потенциала согласно концепции 15-минутного города проводится оценка как для исследуемой территории, так и для 3-километровой буферной зоны вокруг нее, включая пункты назначения, находящиеся непосредственно за пределами исследуемой области. Рассмотрение спроса в этой зоне также включает другую буферную зону, поскольку жители, проживающие за пределами первой буферной зоны, также могут направляться к пунктам назначения, находящимся в пределах 3 км от границы буферной зоны.

Таким образом, мера доступности интерпретируется как количество услуг определенного типа назначения, доступных для ячейки сетки i на одного человека в

пределах установленного порогового времени. Для объединения показателей доступности в единую метрику необходимо предварительно стандартизировать их, чтобы они находились на одной шкале. Стандартизация оценок доступности выполняется на основе их диапазона, где диапазон представляет собой разницу между самым высоким и самым низким баллом, согласно следующей формуле:

$$X_{i,p} = \frac{A_i - A_{p,min}}{A_{p,max} - A_{p,min}} (3)$$

Эта оценка доступности важна, поскольку не все типы направлений равнозначны в контексте значимости.

В представленном исследовании используются три ключевые метрики: *CS10, CS15 и CS∞*. Они обозначают стандартизированные показатели доступности к определённым типам пунктов назначения (услуг) в пределах заданного времени в пути на трамвае – соответственно 10, 15 и 130 минут (в практическом смысле – без ограничения) (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Данные расчёта коэффициентов доступности CSx
CSx availability coefficient calculation data

CSx	Название коэффициента	Порог времени (мин)	Формула	Обозначения	Пояснение параметров	Источник данных
CS10	Коэффициент доступности на расстоянии до 10 минут	10	$A_{i,p} = \sum_j S_j \cdot f_D(jc_{ij})$	$A_i p$ – суммарная доступность до типа назначения p из ячейки i S_j – значимость пункта назначения j $fD\ (jc_{ij})$ – функция затухания расстояния от i до j	Стандартизированная доступность типа направления p в ячейке i. A_i рассчитывается по формуле (1).	ГИС-модель *ArcMap*, *CBS* сетка 500×500 м, данные о трамвайной сети и поездках
CS15	Коэффициент доступности на расстоянии до 15 минут	15	$D_j = \sum_k \sum_q P_{k,q} \cdot \left(f(c_{kj})\right)^q$	D_j – агрегированный спрос на пункт назначения j $P_{k,q}$ – численность пользователей в ячейке k района q $f(c_{kj})$ – функция затухания расстояния между k и j	Аналогично CS10, но используется больший временной порог, увеличивая охват пунктов назначения	Те же источники
CS∞	Коэффициент доступности без ограничения времени (130 мин)	∞ (фактически 130)	$X_{i,p} = \frac{A_i - A_{p,min}}{A_{p,max} - A_{p,min}}$	–	Учитываются все возможные направления, достижимые на трамвае в пределах всей модели	Те же источники

Метрики *CSx* (где x = 10, 15, ∞) являются обобщёнными интегральными коэффициентами доступности, учитывающими типы направлений (например, магазины,

школы, рабочие места и др.), их вес в структуре спроса, а также расстояние/время до этих направлений с учетом транспортной сети (в данном случае — трамвайной) (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Источники данных
Data sources

Параметр	Источник
Данные о поездках	База: 233,273 поездок, отфильтровано до 225,958 с валидной информацией
Данные о пользователях	21,556 записей, после фильтрации – 8,214 уникальных
ГИС-сетка	*CBS* сетка 500×500 м
Сеть трамваев	Векторная сеть в *ArcMap* (основные линии с движением в обе стороны)
Плотность населения	Районы с плотностью более 1000 чел./км² (Генплан или данные переписи населения)
Функции затухания	Эмпирически подобраны на основе анализа времени в пути
Типы направлений	Категории услуг: магазины, работа, досуг, рестораны и др.
Весовые коэффициенты	Определяются на основе значимости направления; варьируются в анализе чувствительности от 0 до 0,294

Результаты и их обсуждение

В 2019 году в Калининграде более половины всех поездок на работу и обратно осуществлялись на автомобиле, в то время как 26 % пассажиров предпочитали трамвай. Среднее расстояние поездки до и от работы составляло 9,72 км [по данным *klgd.ru*]. Это подчеркивает, что поездка на работу является повседневным событием для многих жителей города, играя ключевую роль в формировании их общей мобильной паттерны.

Измерение доступности трамвайного транспорта включает разнообразные методы, которые можно классифицировать в четыре основные группы: методы, основанные на расстоянии, гравитации, инфраструктуре и *Walk Score* (индекс оценки доступности пешеходных маршрутов), последний из которых учитывает несколько значений и представляет собой комплексную оценку проходимости или цикличности.

В случае методов, основанных на расстоянии, учитывается лишь время в пути или расстояние от отправной точки до пункта назначения. Эти методы могут учитывать пункты назначения в определенном временном интервале, ближайшие точки назначения или среднее расстояние или время в пути до ближайших возможностей. Для таких методов доступности необходимы начальные точки, объекты привлечения и набор данных, включающий информацию о пешеходных и трамвайных дорожках. Этот метод вычислений достаточно прост, однако порог расстояния выбирается произвольно и может значительно влиять на количество достижимых возможностей.

Методы вычисления расстояния могут варьироваться от евклидова или манхэттенского расстояния до сетевых расстояний. Результаты евклидова и манхэттенского расстояния сильно коррелируют с результатами, полученными при использовании сетевого расстояния. Тем не менее, сетевое расстояние является более точным показателем, а современные технологии и доступные данные позволяют относительно просто его реализовать.

Тематическое исследование, проводимое в данном контексте, фокусируется на городе Калининград. Выбор этого города обусловлен тем, что он представлен в пространственной стратегии как новый или уже существующий центр полицентричной

структуры. Исследуемая территория включает все районы, в которых плотность населения составляет 1000 человек на км^2 или более. Границы точной области исследования отображены на рис. 1.



Рис. 1. Изучаемая территория
Fig. 1. The studied territory

Город Калининград хорошо известен как город, где многие люди ездят на трамваях из-за удобной трамвайной инфраструктуры. По данным *klgd.ru*, 48,5 % всех поездок в пределах Калининграда совершаются на общественном транспорте. Если учесть поездки в Калининград и обратно, то 27,6 % всех поездок совершаются на трамваях. Информация о поездках была отобрана из общего объема данных на основе нескольких критериев. В первую очередь были учтены только поездки, совершенные жителями урбанизированных зон 1, 2 или 3 (с плотностью населения более 1000 человек на км^2). Из этой выборки были выделены поездки с определенными направлениями, соответствующими требованиям концепции «15-минутного города».

По данным Яндекс.Карты, набор данных включает информацию о поездках и профилях пользователей. В наборе данных о поездках фиксируется 233,273 отдельных поездок, в то время как набор пользовательских данных содержит 21,556 записей о пользователях. После тщательной очистки от дубликатов и записей с низкой городской плотностью застройки (< 1000 адресов на км^2), набор пользовательских данных сокращается до 8,214 уникальных пользователей.

Анализ данных о поездках в контексте данных пользователей позволяет выделить 225,958 поездок, где содержится информация как о поездке, так и о пользователе. Этот

анализ исключает недействительные поездки с неизвестным временем в пути (0) или неизвестным способом передвижения. В итоге, из общего объема, 81,627 поездок были совершены с использованием трамвая.

Исходная сетка по районам города наложена на трамвайную сеть города Калининград по четырём секторам, соответствующим трамвайным линиям, и представлена на рис. 2.



Рис. 2. Исходная сетка расчётной модели 15-минутной доступности города Калининград от трамвайных сетей
Fig. 2. Initial grid of the calculation model for 15-minute accessibility of the city of Kaliningrad from tram networks

Оценка для каждой ячейки включает в себя вес типа пункта назначения и оценку доступности для типа назначения p в данной ячейке i. Метрика рассчитывается для трёх различных порогов времени в пути: 10, 15 и максимальных 100 минут (CS_{∞}). Эти метрики далее обозначаются как CS_{10}, CS_{15} и CS_{∞}.

Доступность для каждого типа пункта назначения рассчитывается для двух пороговых значений времени в пути: 15 и 10 минут, учитывая как базовую концепцию 15-минутного города, так и 10-минутную цель города Калининграда.

В рамках анализа 15-минутной доступности трамвайной сети Калининграда представлена табл. 3, объединяющая действующие трамвайные маршруты, их остановки и соответствующие коэффициенты доступности (CSx).

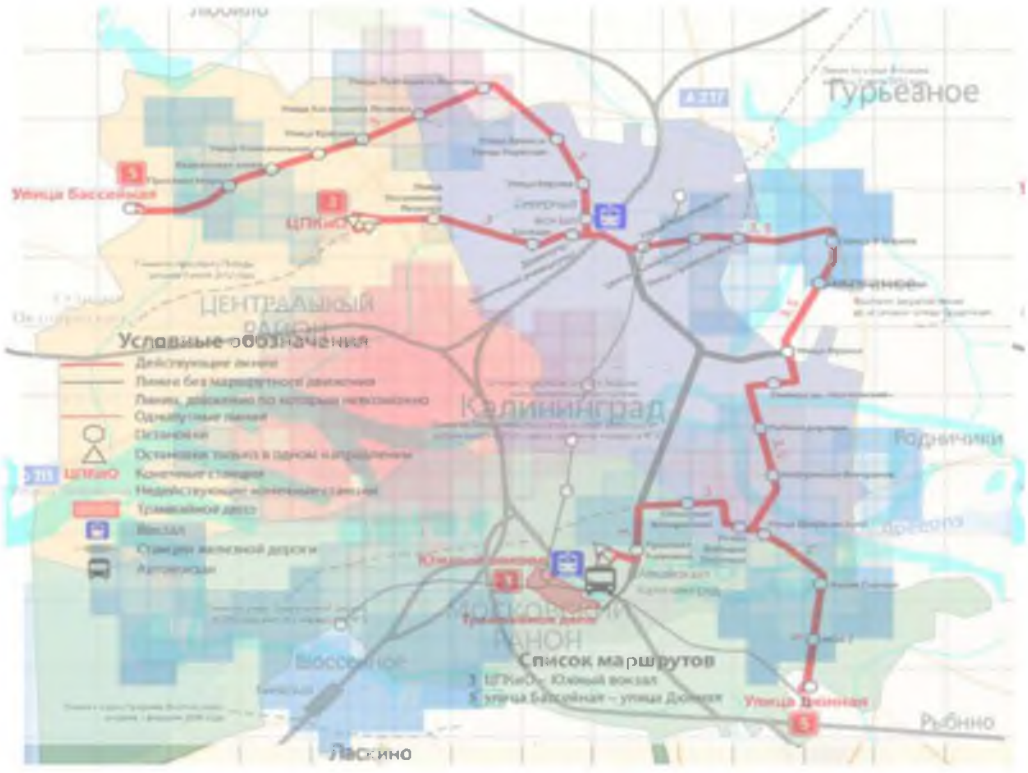
Таблица 3
Table 3

Исходная сетка расчётной модели 15-минутной доступности трамвайной сети Калининграда
Initial grid of the calculated model of the 15-minute accessibility of the Kaliningrad tram network

№ маршрута	Название маршрута	Протяжённость (км)	Основные остановки	CS10	CS15	CS∞
3	Южный вокзал – конечная станция Бассейная	21,7	Южный вокзал, Ленинский проспект, пл. Победы, ул. Черняховского, ул. 9 Апреля, Московский проспект, ул. Багратиона, ул. Бассейная	0,85	0,92	1,00
5	Конечная станция Мясокомбинат – конечная станция Бассейная	21,6	Мясокомбинат, ул. Дзержинского, Аллея Смелых, ул. Дюнная, Советский проспект, пл. Победы, ул. Черняховского, ул. 9 Апреля, Московский проспект, ул. Багратиона, ул. Бассейная	0,78	0,89	1,00

* Данные по остановкам и маршрутам получены из официальных источников Администрации города Калининграда и актуальны на 2024 год. Источники данных: Официальный реестр остановочных пунктов Калининграда: klgd.ru

Поскольку все баллы стандартизированы в соответствии с 10-минутным распределением баллов (как самые высокие, так и самые низкие выбросы), все результаты находятся на одной шкале и могут сравниваться друг с другом. На рис. 3 представлены результаты по категориям заданий и без учета категорий заданий, но результаты весьма схожи. В целом, CS_x без учета категории работы немного выше везде, потому что оценки работы относительно низкие почти во всей исследуемой области (см. рис. 3) и имеют большой вес.



а)

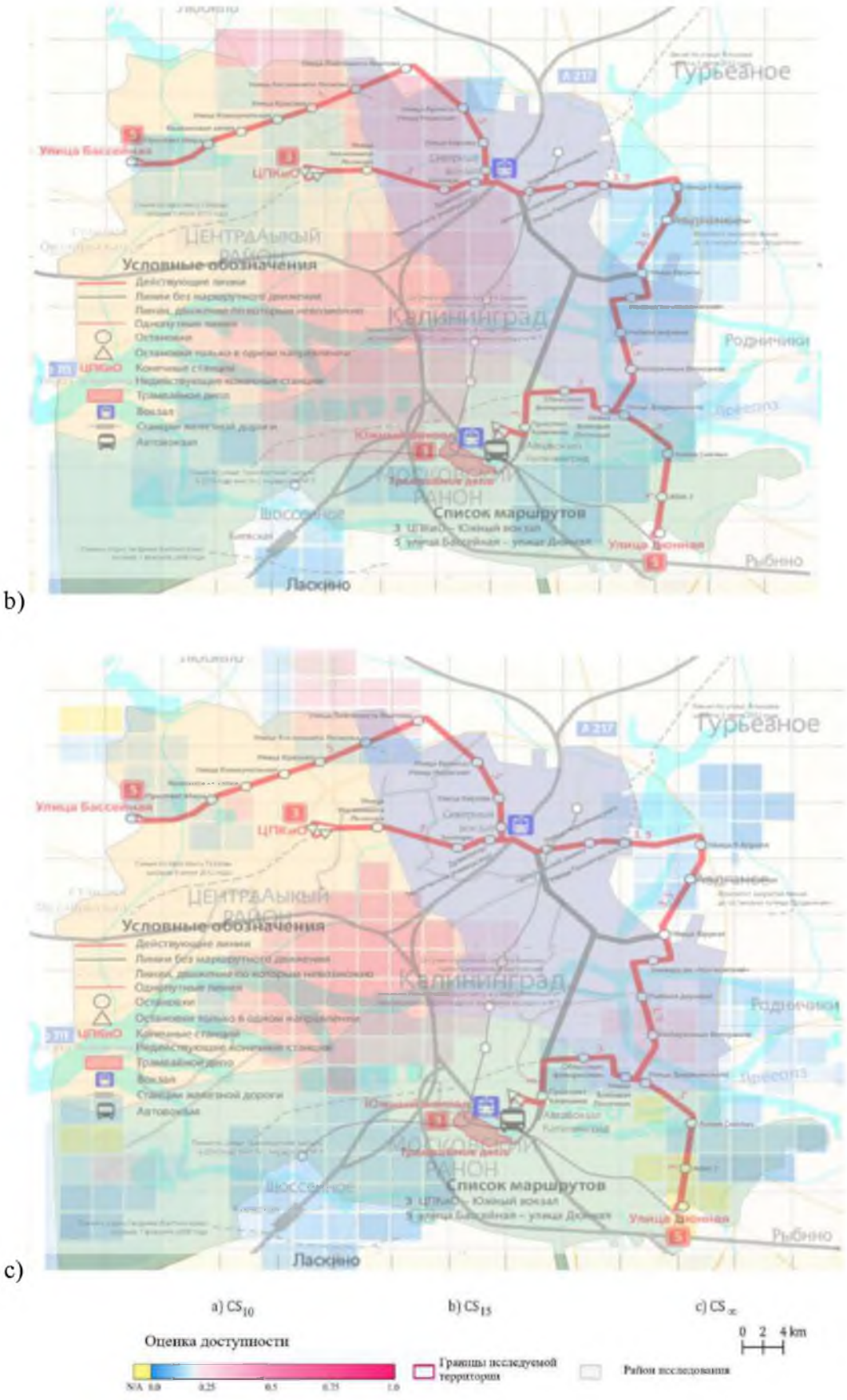


Рис. 3. a) CS_{10}, b) CS_{15} и c) CS_{∞}
Fig. 3. a) CS_{10}, b) CS_{15} и c) CS_{∞}

Наиболее заметным отличием между CS_{10} и CS_{15} является наличие ячеек сетки без оценки в CS_{10}. Эти ячейки сетки не имеют доступа к одному или нескольким типам назначения. С другой стороны, в CS_{15} есть только одна ячейка сетки в Калининграде на краю изучаемой области, которая не имеет баллов. Естественно, что без порога времени в пути все ячейки сетки могут достичь любого типа пункта назначения и, таким образом, получить оценку.

Наиболее существенным различием между моделями CS_{10} и CS_{15} является наличие ячеек сетки без оценки в модели CS_{10}, что свидетельствует о пространственной фрагментации доступности в пределах 10-минутной зоны. Эти ячейки характеризуются отсутствием доступа к одному или нескольким типам назначения, что указывает на ограниченность функциональной доступности в пределах заданного временного порога. В противоположность этому, модель CS_{15} демонстрирует практически полное покрытие территории: лишь одна ячейка на периферии исследуемой области остаётся без оценки, что подтверждает более высокую степень интеграции городской структуры в пределах 15-минутной доступности.

Модель $CS\infty$, в свою очередь, иллюстрирует теоретическую максимальную доступность, при которой все ячейки сетки достигают любого типа назначения без ограничения по времени. Это позволяет использовать её в качестве контрольной модели для оценки предельных возможностей городской инфраструктуры. Согласно расчётам, 5,76 % населения Калининграда не проживают в зоне 10-минутной доступности, тогда как в пределах 15 минут этот показатель снижается до 0,03 %, что свидетельствует о высокой степени пространственной эффективности городской трамвайной сети.

Тем не менее, интерпретация шкалы оценки доступности от 0 до 1 требует дополнительного пояснения. В рамках представленной модели как значения 0,1, так и 1,0 формально соответствуют критерию 15-минутной доступности, однако качественная разница между ними остаётся нераскрытой. Значение 0,1 может означать доступ лишь к одному типу назначения, тогда как 1,0 – к полному набору функциональных точек (работа, услуги, досуг и пр.). Отсутствие градации внутри доступной зоны затрудняет оценку реального уровня городской обеспеченности и может привести к переоценке эффективности транспортной сети.

Вопрос о достаточности двух трамвайных маршрутов для обеспечения 15-минутной доступности для 99 % населения требует критического анализа. Такая высокая степень охвата возможна лишь при условии высокой плотности населения вдоль трамвайных коридоров, компактной городской морфологии и оптимальной конфигурации маршрутов. В случае Калининграда это может свидетельствовать о высокой степени централизации городской структуры и концентрации функциональных назначений вблизи трамвайных линий. Однако без учёта качества пешеходной инфраструктуры, реальных маршрутов движения и барьеров (например, водных объектов, магистралей, промышленных зон) подобная оценка остаётся условной.

Анализ различий между административными районами города выявляет неоднородность доступности. Центральный район демонстрирует наивысшие показатели, что обусловлено плотной сетью остановок и концентрацией назначений. Московский район характеризуется умеренной доступностью, особенно в южной части, где плотность населения ниже. Ленинградский район, в силу своей периферийности, содержит наибольшее количество ячеек с низкой или нулевой оценкой, что требует дополнительных интервенций в транспортную инфраструктуру.

Для оценки надежности 15-минутной метрики города и измерения влияния неопределенности в весовых коэффициентах на дисперсию выходных данных, проведен анализ чувствительности. В рамках анализа неопределенности (UA) изучается, как неопределенность весов воздействует на значение изучаемого показателя. Анализ

чувствительности (*SA*), в свою очередь, определяет, как неопределенность каждого веса вносит вклад в дисперсию метрических выходных данных.

Методологическая основа проведённого анализа предполагает комплексный подход к оценке транспортной доступности, охватывающий всю территорию города, включая пешеходный сегмент маршрута от места проживания до ближайшей трамвайной остановки. Используемая модель основана на пространственно-решётчатой структуре (*CBS*-сетка), в которой каждая ячейка представляет собой дискретную территориальную единицу, соответствующую жилой зоне. Расчёт доступности осуществляется от центра ячейки, что позволяет учитывать реальное расстояние, необходимое для преодоления пешком до точки посадки на трамвай.

Таким образом, модель не ограничивается анализом времени в пути от остановки до назначения, а включает в себя весь маршрут, начиная с момента выхода из жилой зоны. Это обеспечивает более точную и репрезентативную оценку транспортной обеспеченности городской территории. В частности, 15-минутная доступность определяется как совокупное время, необходимое для достижения функционального назначения (работа, услуги, досуг) с учётом пешеходного сегмента и времени в пути на трамвае.

Пространственное покрытие, полученное в результате моделирования, демонстрирует высокую степень интеграции городской структуры: 99,97 % населения проживают в зоне 15-минутной доступности, что подтверждает эффективность существующей трамвайной сети. Следовательно, методика обеспечивает всестороннюю оценку доступности, охватывающую как транспортный, так и пешеходный компоненты, и может быть использована в качестве надёжного инструмента для анализа городской мобильности.

Для анализа неопределенности весовые коэффициенты были заданы в диапазоне от 0 до 0,294, что представляет максимальное значение веса задания. Включение весовых коэффициентов, равных 0, приводит к исключению одного или нескольких типов назначения в некоторых выборках. Таким образом, в анализе неопределенности рассматриваются как выбор субиндикаторов, так и схема взвешивания. Анализ чувствительности дает представление о том, как вариации в весовых коэффициентах влияют на общую дисперсию выходных данных метрики доступности.

Общий анализ метрик CS_{10} и CS_{15} показывает, что CS_{10} выдает высокие показатели в центре Калининграда и в Центральном районе. Также отмечается, что в соседних областях центры оцениваются выше, чем окраины. В результате CS_{15} более однороден, но наивысшие баллы все равно обнаруживаются в центре Калининграда и в Московском районе. Следует отметить, что более низкие значения метрик обнаружены в Ленинградском районе. Это наблюдение говорит о том, что доступность трамвайных маршрутов в этих районах может быть менее удовлетворительной по сравнению с другими частями исследуемой территории.

На рис. 4 отображаются стандартные отклонения оценок доступности для каждого типа назначения в каждой ячейке. Наблюдается, что CS_{15} и CS_{10} высоки в центре города и Ленинградском районе, однако стандартное отклонение также относительно высоко. Это свидетельствует о том, что некоторые категории могут получать очень высокие баллы, в то время как другие – значительно более низкие. В Московском районе, несмотря на низкие баллы в CS_{10} и CS_{15}, также присутствует высокое стандартное отклонение, указывая на некоторые проблемы с поставками для определенных типов назначения. Тем не менее, также заметно, что некоторые типы назначения в этом районе получают высокие баллы, что может свидетельствовать о наличии положительных аспектов в предоставлении определенных услуг.


Турьеозное
Улица Бассейная
ЦПКиО
Условные обозначения
Действующие линии
Одноплечные линии
Остановки
Конечные станции
Трамвайное депо
Вокзал
Автовокзал
Список маршрутов
Родничики
Рыбно
Ласкино

a)


Турьеозное
Улица Бассейная
ЦПКиО
Условные обозначения
Действующие линии
Одноплечные линии
Остановки
Конечные станции
Трамвайное депо
Вокзал
Автовокзал
Список маршрутов
Родничики
Рыбно
Ласкино

b)

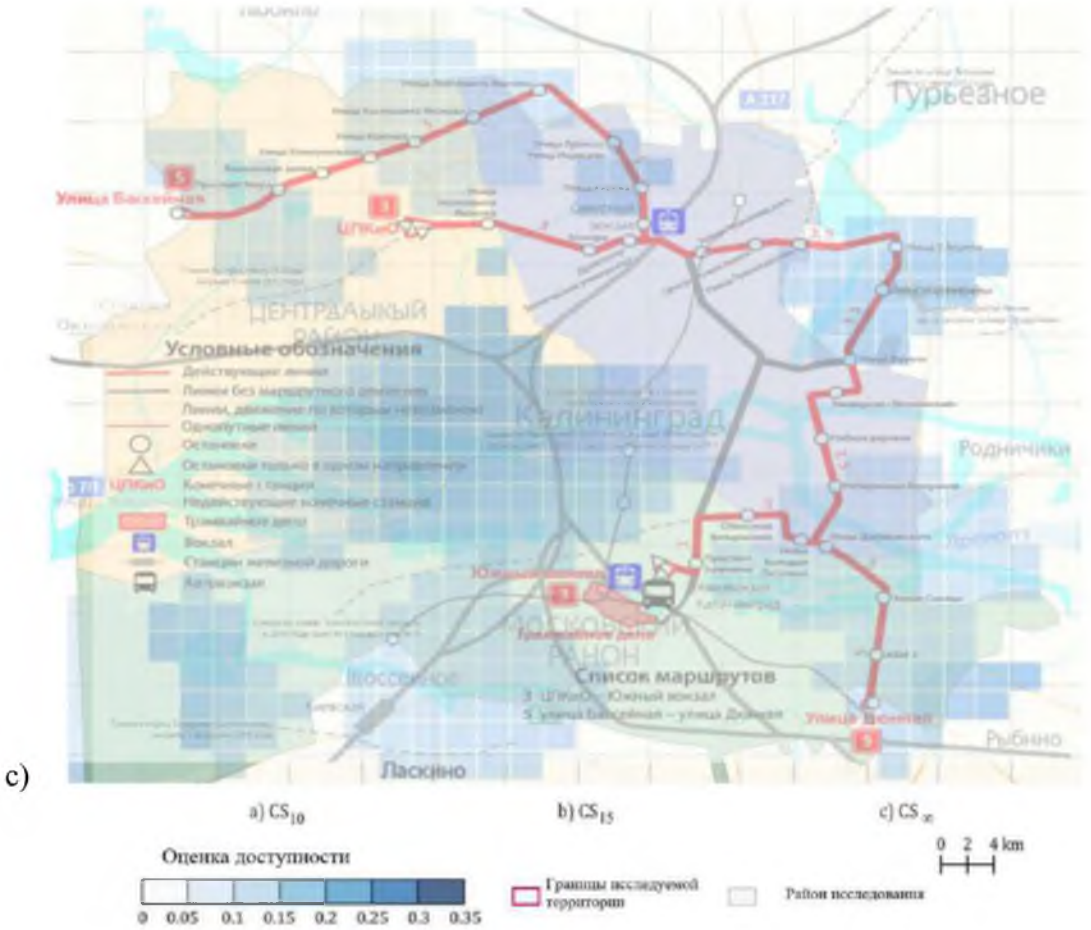


Рис. 4. Стандартное отклонение базовых оценок доступности CS_x
Fig.4. Standard deviation of the CS_x baseline availability estimates

Заключение

Результаты анализа мобильности в урбанизированных районах Калининграда показывают, что среднее время поездок на трамвае составляет от 10 до 15 минут в различные пункты назначения. Анализ функций затухания расстояния подтверждает, что большинство людей готовы добираться на трамвае до большинства типов пунктов назначения в пределах 10–15 минут, после чего интерес и готовность к использованию трамваев начинают снижаться. Таким образом, интервал от 10 до 15 минут может быть оптимальным порогом для удовлетворения мобильности в Калининграде.

Результаты проведенного анализа подтверждают, что исследуемая территория является 15-минутным городом для 99,9 % населения и 10-минутным городом для 94 % населения, преимущественно в центральных районах. Однако в некоторых отдаленных районах метрики CS_{15} и CS_{10} остаются низкими, соответствуя определению лишь одной службы для каждого доступного типа назначения.

Интеграция пространственных метрик с поведенческими данными – по предполагаемой и фактической доступности услуг, выявляет зоны напряжённости и потенциальные векторы развития городской инфраструктуры. Такой подход создаёт основу для формирования адаптивных стратегий территориального планирования, нацеленных на поэтапное приближение к модели города с минимальной зависимостью от моторизованного транспорта.

Кроме того, анализ устойчивости данной методологии к изменениям во временных и пространственных параметрах городов, а также её масштабируемость, создаёт условия для формирования прикладного инструментария, пригодного для использования в

муниципальном управлении, цифровом моделировании и политике устойчивого развития. Ожидается, что результаты исследования смогут быть интегрированы в стратегические документы по пространственному планированию, поддерживая переход к климатически нейтральным, инклюзивным и функционально сбалансированным городским структурам.

References

Abdullah H., De Gregorio S. 2021. A Green Deal for the Urban Age: A New Role for Cities in EU Climate Action. In: Towards a European Green Deal with Cities. The urban dimension of the EU's sustainable growth strategy. Barcelona, CIDOB: 27–38.

Abu-Rayash A., Dincer I. 2021. Development of Integrated Sustainability Performance Indicators for Better Management of Smart Cities. Sustainable Cities and Society, 67: 102704. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102704.

Allam Z., Nieuwenhuijsen M., Chabaud D., Moreno C. 2022. The 15-Minute City Offers a New Framework for Sustainability, Liveability, and Health. The Lancet Planetary Health, 6(3): e181–e183. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00014-6.

Carot J., Villalba A. 2024. A Quantitative Model of the City in 15 Minutes for Decision-Making. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 12(2): 1–12. https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d12.0502.

Cerezo F., Chillarón M., Peris J., Rosa D. 2021. Missions València 2030: La innovación orientada a misiones que mejoran la vida de las personas. El Consultor de los Ayuntamientos, 5.

Event programme European Green Capital València 2024. Electronic resource. URL: https://www.valencia.es/documents/20142/26150921/Programa_VCVE_eng.pdf. [Accessed: 31.03.2024].

Jacobs J. 2011. The Death and Life of Great American Cities. New York, Modern Library, 598 p.

Jiang M., Kim E., Woo Y. 2024. The Relationship between Economic Growth and Air Pollution – A Regional Comparison between China and South Korea. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(8): 2761. https://doi.org/10.3390/ijerph17082761.

Kasraian D., Maat K., van Wee B. 2017. The Impact of Urban Proximity, Transport Accessibility and Policy on Urban Growth: A Longitudinal Analysis Over Five Decades. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 46(6): 1051–1070. https://doi.org/10.1177/2399808317740355.

Khor N., Arimah B., Otieno R., van Oostrum M., Mutinda M., Oginga J. 2022. Securing a Greener Urban Future. In: World Cities Report, 4: 93–111.

Knap E., Ulak M., Geurs K., Mulders A., van der Drift S. 2023. A Composite X-Minute City Cycling Accessibility Metric and Its Role in Assessing Spatial and Socioeconomic Inequalities – A Case Study in Utrecht, the Netherlands. Urban Mobility, 3: 100043. https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2022.100043.

Li M., Jia N., Lenzen M., Malik A., Wei L., Jin Yu., Raubenheimer D. 2022. Global Food-Miles Account for Nearly 20% of Total Food-Systems Emissions. Nature Food, 3: 445–453. https://doi.org/10.1038/s43016-022-00531-w.

Logan T., Hobbs M., Conrow L., Reid N., Young R., Anderson M. 2022. The X-Minute City: Measuring the 10, 15, 20-Minute City and an Evaluation of Its Use for Sustainable Urban Design. Cities, 131: 103924. https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103924.

Louro A., Marques da Costa N., Marques da Costa E. 2021. From Livable Communities to Livable Metropolis: Challenges for Urban Mobility in Lisbon Metropolitan Area (Portugal). International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(7): 3525. https://doi.org/10.3390/ijerph18073525.

Mattioli G., Roberts C., Steinberger J., Brown A. 2020. The Political Economy of Car Dependence: A Systems of Provision Approach. Energy Research & Social Science, 66: 101486. https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101486.

Merenkov A.O. 2022. Development of Urban Mobility in the Context of Urbanization of Russian Cities. Innovation & Investment, 5: 55–63 (in Russian).

Moreno C. 2016. La Ville du Quart D'heure: Pour un Nouveau Chrono-Urbanisme. La Tribune. Electronic resource. URL: https://www.latribune.fr/regions/smart-cities/la-tribune-de-carlos-moreno/la-ville-du-quart-d-heure-pour-un-nouveau-chrono-urbanisme-604358.html. [Accessed: 31.03.2024].

Moreno C., Allam Z., Chabaud D., Gall C., Pratlong F. 2021. Introducing the "15-Minute City": Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. Smart Cities, 4(1): 93–111. https://doi.org/10.3390/smartcities4010006.

Odendaal N. 2022. Everyday Urbanisms and the Importance of Place: Exploring the Elements of the Emancipatory Smart City. Urban Studies, 58(3): 639–654. https://doi.org/10.1177/0042098020970970.

Paquot T. 2021. La ville du quart d'heure. Electronic resource. URL: https://esprit.presse.fr/article/thierry-paquot/la-ville-du-quart-d-heure-43275.[Accessed: 31.03.2024].

Rajagopal P., Shanti Priya R., Senthil R. 2023. A Review of Recent Developments in the Impact of Environmental Measures on Urban Heat Island. Sustainable Cities and Society, 88: 104279. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104279.

Saeidizand P., Fransen K., Boussauw K. 2022. Revisiting Car Dependency: A Worldwide Analysis of Car Travel in Global Metropolitan Areas. Cities, 120: 103467. https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103467.

Saghapour T., Moridpour S., Thompson R. 2019. Sustainable transport in neighbourhoods: effect of accessibility on walking and cycling. Transportmetrica A: Transport Science, 15(2): 849–871. https://doi.org/1-32. 10.1080/23249935.2018.1540502.

Saveleva E.O. 2021. Managing Travel Behavior of the Population as a Way to Achieve Sustainable Mobility in Russian Cities. City and Town Planing, 1: 5–15 (in Russian). https://doi.org/10.15593/2409-5125/2021.01.01.

Saveleva E.O. 2024. Sustainable Mobility and (De)Integration of Land Use and Transportation Development in Russian Cities. Urban Studies, 2: 130–140 (in Russian). https://doi.org/10.7256/2310-8673.2024.2.70422

Shukla P., Skea J., Reisinger A. 2022. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Summary for Policy Makers. Electronic resource. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf. [Accessed: 31.03.2024].

Sicard P., Agathokleous E., Anenberg S., De Marco A., Paoletti E., Calatayud V. 2023. Trends in Urban Air Pollution Over the Last Two Decades: A Global Perspective. Science of The Total Environment, 858(2): 160064. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160064.

Steffen W., Broadgate W., Deutsch L., Gaffney O., Ludwig C. 2015. The Trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. The Anthropocene Review, 2(1): 81–98. https://doi.org/10.1177/2053019614564785.

Tajani C., Laurenzi C. 2022. Cities of Proximity. From the Neighborhood to the World. In: The City of Care. Springer Series in Design and Innovation: 57–70. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14608-4_6.

Wang T., Li Y., Chuang I.T., Qiao W., Jiang J., Beattie L. 2024. Evaluating the 15-minute City Paradigm Across Urban Districts: A Mobility-Based Approach in Hamilton, New Zealand. Cities, 151: 105147. https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105147.

Wiggins B. 2020. Cars Are a Major Source of Greenhouse Gas Emissions – Some Cities Are Finally Taking Action. Global Citizen. Electronic resource. URL: https://www.globalcitizen.org/en/content/cities-car-bans-greenhouse-gas-emissions/.

Поступила в редакцию 25.07.2025;
поступила после рецензирования 06.10.2025;
принята к публикации 24.11.2025

Received July 25, 2025;
Revised October 06, 2025;
Accepted November 24, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Орехов Сергей Юрьевич, аспирант Высшей школы пространственного развития и гостеприимства, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

Часовский Владимир Иванович, доктор географических наук, профессор Высшей школы пространственного развития и гостеприимства, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey Yu. Orekhov, PhD student, Higher School of Spatial Development and Hospitality, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Vladimir I. Chasovskiy, Higher School of Spatial Development and Hospitality, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia