

УДК: 528.9

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-3-31-349-362

Е. С. Заславская¹, А. М. Карпачевский²

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ДЛЯ ВЕЛОДВИЖЕНИЯ В ГОРОДАХ РОССИИ

АННОТАЦИЯ

В статье предложена методика комплексной оценки привлекательности улично-дорожной сети для велосипедного движения на основе открытых пространственных данных и инструментов сетевого анализа. Методика ориентирована на города, где отсутствует исчерпывающая статистика о параметрах уличной сети. В качестве входных данных использованы данные OpenStreetMap, данные дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения и сервис уличных панорам. Предложенный интегральный индекс объединяет 13 факторов, отражающих безопасность и комфорт передвижения на велосипеде. Весовые коэффициенты рассчитывались двумя способами: (1) объективно — с применением информационной энтропии и (2) субъективно — на основе анкетирования пяти целевых групп велосипедистов. Методика апробирована на примере городов Альметьевска, Костромы и Калининграда, выбранных представителями различных типологических групп городов России по своей истории, планировке и особенностям развития велоинфраструктуры. Полученные результаты позволяют детально охарактеризовать текущее состояние велоинфраструктуры и выделить пространственные приоритеты ее развития. Альметьевск демонстрирует обширные связанные благоприятные участки уличной сети, Кострома характеризуется преимущественно неблагоприятной средой с отдельными комфортными участками, а Калининград сочетает разрозненные фрагменты высокого и низкого уровня комфорта. Представленная методика может применяться в муниципальном планировании, транспортном моделировании и при разработке стратегий развития индивидуальной мобильности. Универсальность входных данных обеспечивает ее масштабируемость и применимость к широкому кругу российских и зарубежных городов. Кроме того, она может быть использована для мониторинга динамики условий велодвижения, оценки неравномерности распределения доступной велоинфраструктуры и обоснования инвестиционных приоритетов, а также для повышения прозрачности принятия решений и обоснования инфраструктурных сценариев в различных урбанистических контекстах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: велосипедный транспорт, индекс привлекательности, сетевой анализ, OpenStreetMap, городская мобильность

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: elenka.zaslavskaya@mail.ru

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: karpach-am@yandex.ru

Elena S. Zaslavskaya¹, Andrey M. Karpachevskiy²

GEOINFORMATION-BASED ASSESSMENT OF URBAN STREET NETWORK ATTRACTIVENESS FOR CYCLING IN RUSSIAN CITIES

ABSTRACT

This paper proposes a comprehensive methodology for assessing the attractiveness of urban street networks for cycling based on open spatial data and network analysis tools. The methodology is designed for cities lacking complete statistics on street network characteristics. The input data include OpenStreetMap, very high-resolution remote sensing data, and a street-view imagery service. The proposed composite index integrates 13 factors reflecting the safety and comfort of cycling. Factor weights were calculated using two approaches: (1) objectively, through information entropy, and (2) subjectively, based on a questionnaire survey of five target cyclist groups. The methodology was tested in Almet'yevsk, Kostroma, and Kaliningrad — three Russian cities representing different urban typologies. The results make it possible to accurately describe the current state of cycling infrastructure and identify spatial priorities for its improvement. Almet'yevsk demonstrates a high connectivity of segments with favorable conditions; Kostroma is characterized by a fragmented cyclist-friendly environment; Kaliningrad combines high- and low-quality segments, indicating the need for targeted modernization. The methodology can be used in municipal planning, transport modeling, and the development of sustainable mobility strategies. The universality of the input data ensures its scalability and applicability to a wide range of Russian and international cities. Moreover, it can support monitoring of cycling conditions over time, identify spatial disparities in infrastructure accessibility, justify investment priorities, and improve decision-making transparency across diverse urban contexts.

KEYWORDS: cycling, attractiveness index, network analysis, OpenStreetMap, urban mobility

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное стремление к переходу от приоритета личного автомобильного транспорта к устойчивым видам индивидуальной мобильности увеличивает потребность в объективных методах оценки условий среды для передвижения на велосипеде. Одним из ключевых барьеров в этом процессе остаются небезопасные и некомфортные уличные условия, которые препятствуют распространению велодвижения в городах среди широких слоев населения [Lowry et al., 2012; Fishman, 2016]. Несмотря на существующие риски, интерес к велосипедному транспорту растет по мере проявления инициатив городских властей по созданию более благоприятной для велосипедистов городской среды. В этом плане во многих исследованиях в качестве примера развития комфортной среды для велосипедистов выделяются Амстердам и Копенгаген, где более 40 % поездок в городе совершаются на велосипеде [Pucher, Buehler, 2008]. В большинстве существующих подходов по оценке применяются индексы, требующие подробной информации о транспортной статистике и характеристиках улиц, которая доступна далеко не во всех российских городах и, как минимум, отсутствует в открытом доступе. Таким образом, возникает необходимость в воспроизводимых методах оценки условий дорожной сети, основанных на открытых данных с использованием методов геоинформационного анализа. Настоящее исследование

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: elenka.zaslavskaya@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: karpach-am@yandex.ru

опирается на наиболее известные подходы, предложенные ранее [Mekuria et al., 2012; Cervero et al., 2019], и направлено на разработку методики оценки привлекательности городской улично-дорожной сети для велодвижения с применением открытых пространственных данных.

Целью работы является разработка методики геоинформационной оценки привлекательности улично-дорожной сети для велосипедистов и ее апробация в условиях трех российских городов, различающихся по типологическим признакам. Для достижения цели были последовательно решены следующие задачи: формирование ряда физических факторов безопасности и комфорта велодвижения, разработка процедур нормирования и расчета весов для них, реализация интегрального индекса и анализ полученных пространственных распределений оценки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования выбраны центральные районы трех российских городов — Альметьевска, Костромы и Калининграда. Эти города различаются по размеру, морфологии городской среды и степени развития велосипедной инфраструктуры. Границы зон охватывают 84, 56 и 73 км² соответственно. В качестве базового источника данных использовалась выгрузка OpenStreetMap за первый квартал 2025 г., которая позволила сформировать граф уличной сети. Достоверность этих данных подтверждается другими похожими работами [Wasserman et al., 2019]. Дополнительно были использованы данные дистанционного зондирования, доступные в картографических веб-сервисах, с разрешением 0,25 м/пикс и сервис уличных панорам «Яндекс.Панорамы». Эти источники позволили произвести уточнение атрибутов характеристик уличной сети: ширины проезжей части, количества полос, материала и качества покрытия, наличия освещения и параллельной парковки по ходу движения велосипедиста.

На основании анализа литературы [Pritchard et al., 2019; Passmore et al., 2024] была сформирована система из 13 факторов, отражающих физические аспекты улиц, интенсивность дорожного трафика, обуславливающие степень безопасности и комфорта среды. Категориальные признаки, такие как тип покрытия или категория улицы по основному тегу OpenStreetMap, были трансформированы в количественные признаки на основе экспертных шкал. Все числовые переменные (количество полос, максимальная разрешенная скорость и т. п.) нормировались методом min-max, после чего проводился анализ взаимной корреляции по Спирмену для выявления и исключения взаимозависимых факторов. Среди таких факторов был выявлен избыточный — изолированность велодорожки от основного потока, поскольку он в явном виде напрямую зависел от фактора наличия велодорожки на улице, из дальнейшего анализа он был исключен.

Весовые коэффициенты факторов рассчитывались двумя методами. Объективный подход основывался на принципе информационной энтропии Шеннона, где важность каждого фактора определяется статистическим распределением его значений. Наиболее вариативные по категориям факторы рассчитываются как наиболее значимые, поскольку именно эта вариативность вносит чувствительность к оценке сегмента на фоне примерно однородных условий. Параллельно был проведен социологический опрос для определения субъективных весов факторов с использованием балльной оценки каждого из них (табл. 1). Опрос проводился путем онлайн-анкетирования 100 человек среди студентов и членов трех велосипедных клубов Москвы. Опрос охватил примерно равное количество мужчин и женщин возрастом от 18 до 35 лет. Результаты опроса обрабатывались в пределах пяти целевых групп: три по степени включенности каждого опрошенного в велодвижение по его собственной оценке (профессионал, любитель, редко использующий велосипед) и две по полу (мужчины и женщины).

Табл. 1. Субъективные веса факторов комфорта по группам интереса
 Table 1. Subjective comfort factor weights by interest groups

Фактор	Женщины	Мужчины	Профессионалы	Активные любители	Редко используют велосипед
Качество покрытия	0,995	0,652	0,933	0,796	0,830
Количество полос для движения автотранспорта	0,387	0,396	0,353	0,407	0,395
Максимальная возможная скорость движения для автотранспорта	0,678	0,556	0,651	0,652	0,500
Наличие велодорожек вдоль улицы	0,652	0,620	0,541	0,652	0,778
Наличие освещения на улице	0,935	0,492	0,808	0,742	0,611
Наличие парковки вдоль улицы	0,199	0,364	0,416	0,208	0,203
Объем трафика автотранспорта (центральность)	0,960	0,813	0,776	0,941	0,964
Тип дороги	0,849	0,610	0,682	0,805	0,663
Тип дорожного покрытия	0,738	0,481	0,682	0,579	0,650
Уклон	0,259	0,246	0,196	0,244	0,382
Аварийность с велосипедистами	0,413	0,150	0,259	0,344	0,212
Ширина проезжей части	0,558	0,631	0,651	0,570	0,536

	— первый по значимости фактор в группе
	— второй по значимости фактор в группе
	— третий по значимости фактор в группе
	— наименее значимый фактор в группе

Выборка была разделена на пересекающиеся группы, один и тот же респондент мог входить сразу в несколько групп (например, «женщины» и «любители»), однако эти группы рассматриваются как независимые, поскольку исследовались разные аспекты восприятия. Итоговый интегральный индекс рассчитывался для каждого сегмента уличной сети как взвешенная сумма нормированных значений факторов. Полученные значения классифицировались на пять уровней привлекательности с применением метода Фишера-Дженкса, позволяющего выявить классы с внутренней однородностью и максимальным межклассовым различием.

Помимо оценки линейной составляющей графа улично-дорожной сети необходимо также оценить перекрестки, которые вносят существенное влияние на ощущение безопасности во время движения. Согласно исследованиям, около трети всех дорожно-транспортных происшествий между автомобилями и велосипедистами происходит именно на перекрестках, причем почти половина таких инцидентов заканчивается смертельным исходом для велосипедистов [Deliali et al., 2021]. С точки зрения правил дорожного движения перекресток определяется как площадной объект пересечения более двух проезжих частей, для оценки они упрощались до точки, которая может считаться условным центром этого полигона. Для их получения исходные вершины графа агрегировались вручную, «висячие» вершины тупиков при этом исключались (рис. 1).



Рис. 1. Пример преобразования исходных графовых вершин (розовые)
в вершины перекрестков (зеленые)

Fig. 1. An example of transforming original graph nodes (pink) into intersection nodes (green)

Безопасность перекрестка определяется сложностью его конфигурации и количеством трафика, проходящего через него. Сложность конфигурации косвенно оценивалась по количеству сходящихся в перекрестке проезжих частей и определялась показателем степени вершины. Моделирование проходящего через вершину перекрестка автомобильного

трафика осуществлялось путем расчета центральности по промежуточности, определяющей относительную важность вершины, исходя из морфологических особенностей графа и распределения в нем всех возможных кратчайших путей. Эти сетевые метрики рассчитывались для исходных вершин графа, а затем осреднялись путем ядерной оценки плотности. По зональной статистике в пределах 50-метровых буферов каждой точки перекрестка для них было получено среднее значение показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты оценки линейных сегментов визуализировались с помощью единой расходящейся цветовой шкалы от красного до зеленого цвета в пять ступеней, где выявленные классы обозначаются с помощью оценочных категорий. Применение разработанного индекса к трем городам выявило значительные различия в пространственной организации уличной сети. В Альметьевске (рис. 2) более двух третей уличных сегментов попали в категории «комфортная» и «благоприятная». Эти участки формируют хорошо связанную сеть, проходящую через основные жилые и деловые районы города. В Костроме (рис. 3) только 15 % сети соответствуют этим категориям; они изолированы и сосредоточены преимущественно в жилых малоэтажных районах города. Калининград (рис. 4) демонстрирует промежуточную картину: здесь около трети сегментов получили высокие оценки, но они разбросаны и разделены участками с низкими показателями из-за большого числа магистральных улиц.

Оценка перекрестков учитывала сложность конфигурации (степень вершины) и условный объем трафика (центральность по промежуточности), которые визуализировались размером и цветом значка соответственно (рис. 5). Высокие значения степени соответствуют сложным развязкам, низкие — простым перекресткам, но при их скученности воспринимаемая сложность возрастает. Существенные различия по объему трафика выявлены главным образом в Калининграде: здесь нагрузка распределена неравномерно, тогда как в Костроме и особенно в Альметьевске перекрестки в основном относятся к низкому классу. Причина в особенностях планировки городов: в регулярной сети нагрузка распределяется равномернее, а в менее упорядоченной концентрируется на отдельных вершинах.

Сравнение объективного и субъективного способов оценки показало, что выбор весов существенно влияет на распределение индекса. Например, при использовании весов, отражающих восприятие женщин, значение таких факторов, как наличие освещения или физическая изоляция велодорожек, значительно возрастает. Это приводит к увеличению доли «неблагоприятных» сегментов на 6–9 % по сравнению с объективным способом. Наиболее чувствительными к выбору весов оказались показатели, связанные со скоростным режимом и типом покрытия.

Для оценки пространственной структуры распределения индекса привлекательности и выявления пространственных кластеров высоких и низких оценок привлекательности улично-дорожной сети был рассчитан локальный показатель автокорреляции Гетиса-Орда. Расчет производился на примере индекса на основе информационной энтропии, причем использовалось не само значение индекса, а класс оценки, к которому он был отнесен вследствие классификации на предыдущем этапе. В качестве метода концептуализации пространственных отношений был выбран метод «к ближайших соседей», поскольку такой вариант учитывает пространственную зависимость несмотря на неравномерное распределение сегментов как внутри одного города, так и между ними, т. е. по сути является масштабно-независимым, в отличие от методов, использующих зависимость от расстояния. Значением количества соседних сегментов k было выбрано 10, поскольку это максимально возможное количество сходящихся проезжих частей на одном перекрестке в исследуемых городах (рис. 6).



Рис. 2. Карта оценки комфортности улично-дорожной сети для велодвижения в г. Альметьевске
 Fig. 2. The map of comfort estimation of street network for cycling in Almet'yevsk

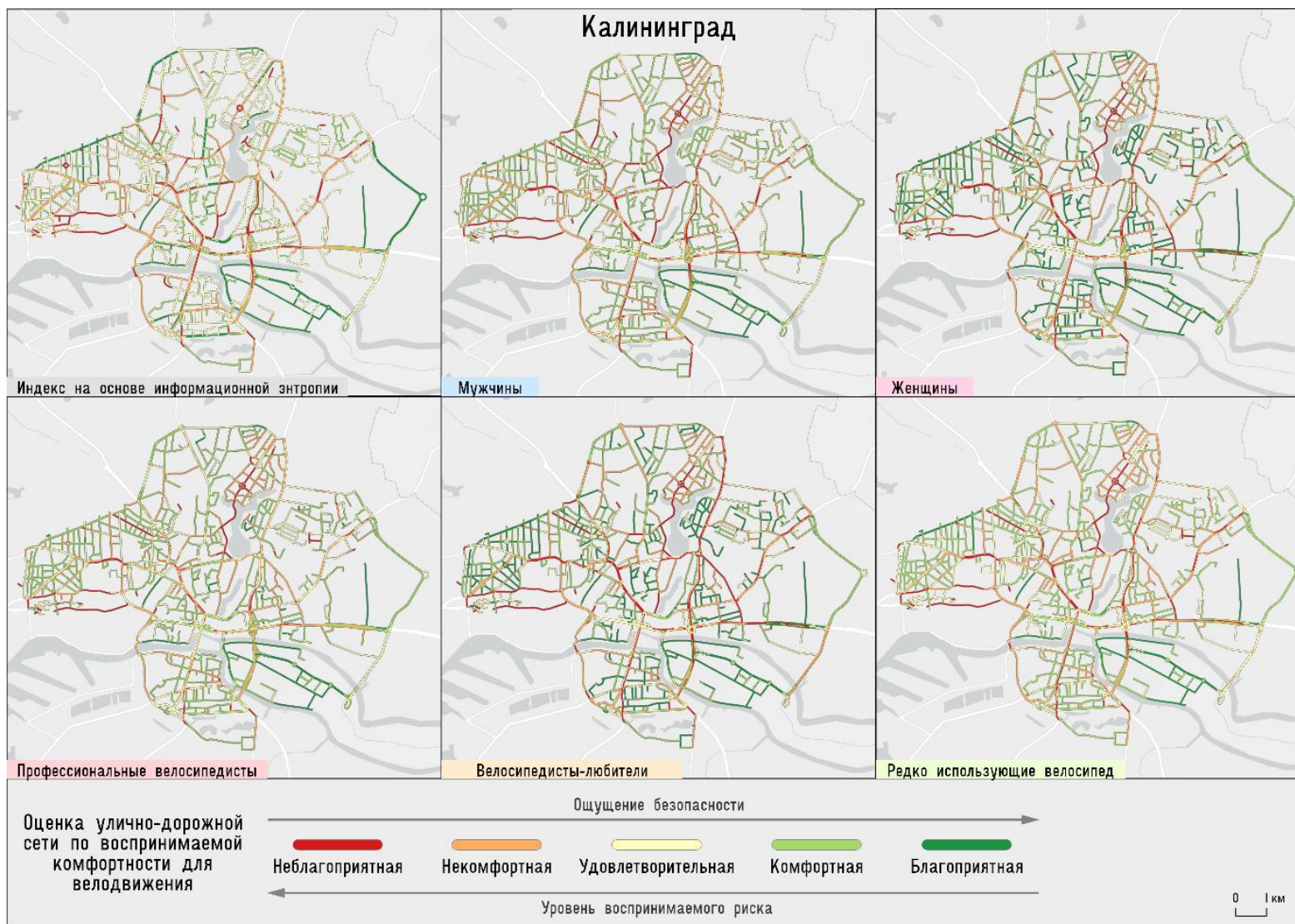


Рис. 4. Карта оценки комфортности улично-дорожной сети для велодвижения в г. Калининграде
 Fig. 4. The map of comfort estimation of street network for cycling in Kaliningrad

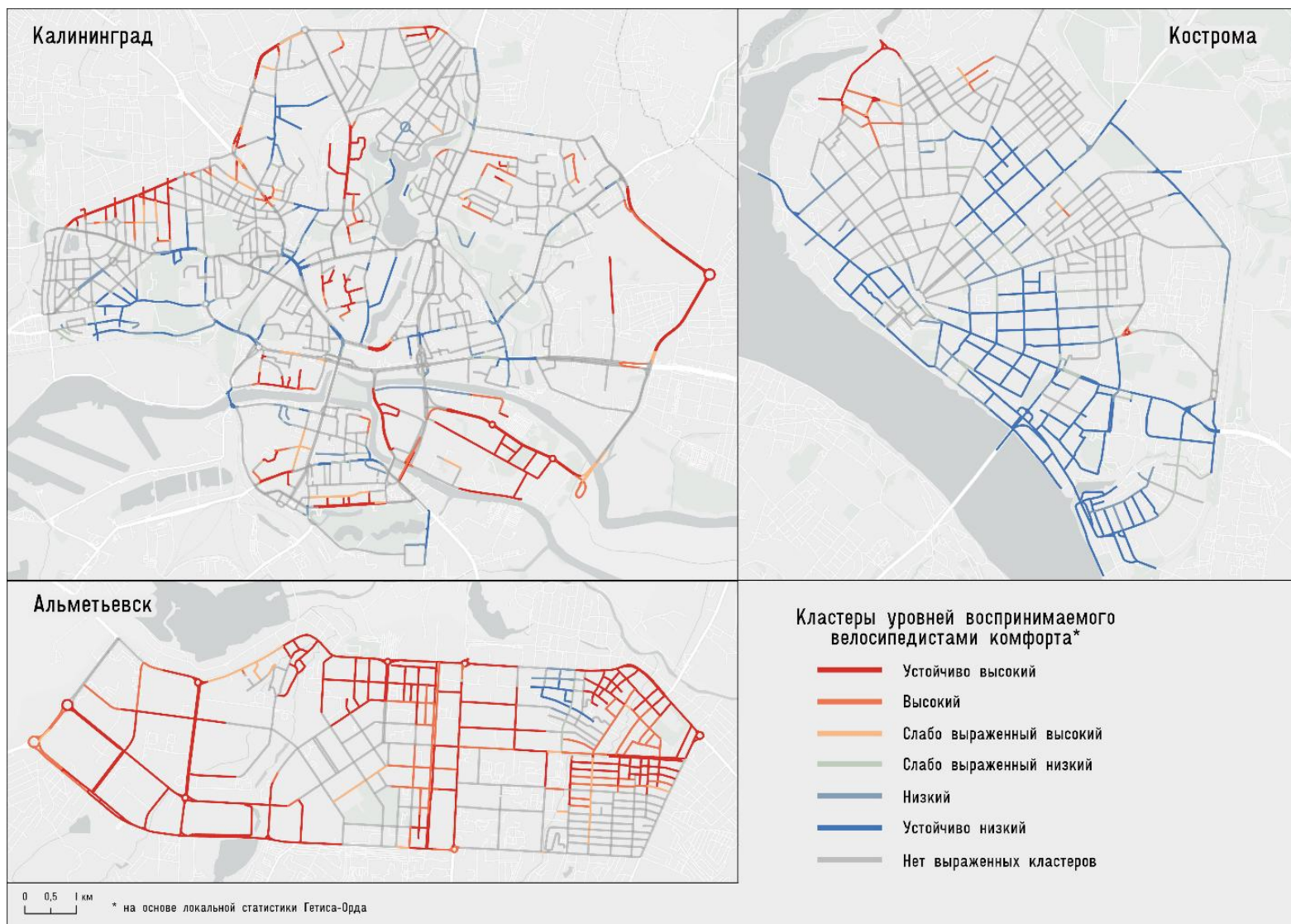


Рис. 6. Пространственные кластеры уровней комфортности на основе локального показателя автокорреляции Гетиса-Орда
 Fig. 6. Spatial clusters of comfort level based on local association index of Getis-Ord G_i^*

Локальный показатель автокорреляции Гетиса-Орда позволяет выявить кластеры высоких и низких значений исследуемой величины, в данном случае оценки комфортности условий уличной сети для велодвижения. В свою очередь это помогает определить участки города, которые образуют однородные зоны комфортных или неблагоприятных условий. Анализируя полученные значения и их распределение в пространстве, можно отметить, что однозначная кластеризация сетей наблюдается только у Альметьевска и Костромы, причем диаметрально противоположно по характеру выявленных кластеров. Так, практически вся уличная сеть Альметьевска является связанной по комфортности велодвижения, за исключением нескольких участков в восточной части города с преимущественно частной жилой застройкой. Улично-дорожная сеть Костромы же, напротив, является преимущественно неблагоприятной для велосипедистов, не считая малого северо-западного кластера с устойчиво высоким значением уровня комфорта. Говоря о Калининграде, полученное пространственное распределение локального показателя Гетиса-Орда крайне неравномерное. Выделяется несколько устойчивых кластеров с высокой оценкой — на юго-востоке, востоке, центральной и северо-западной части исследуемой территории. В непосредственной близости к этим районам также выделяются кластеры низких значений оценки, это преимущественно магистральные улицы города без велоинфраструктуры и участки с частной застройкой. Это подчеркивает проблему организации условий велодвижения в Калининграде, т. к. в городе есть комфортные улицы для велосипедистов, но их кластеры разобщены и не образуют связанную безопасную сеть, доступную для большинства велосипедистов. На основе пространственного распределения индекса можно формировать адресные рекомендации для развития велосипедной инфраструктуры.

ВЫВОДЫ

Как и ожидалось, наиболее благоприятная среда для велодвижения отмечена в Альметьевске, менее комфортная — в Калининграде, а наименее благоприятная — в Костроме. Эти различия в основном обусловлены разной степенью развития велоинфраструктуры в представленных городах, но также и с отдельными физическими характеристиками. Из-за разницы в населении и исторических особенностей вторыми по значимости факторами в Калининграде выявлена аварийность, тип покрытия и его качество; для Костромы определяющими стали уклон и качество покрытия; а для Альметьевска это ширина проезжей части и относительный объем трафика. Ключевой причиной внутригородских различий условий стало отсутствие освещения, поскольку для большинства улиц оно есть. Оценка перекрестков показала адекватный результат, за исключением преувеличения сложности конфигураций в районах с их высокой плотностью. Для них также была выявлена закономерность пространственного распределения условного объема трафика (центральности по промежуточности) для перекрестков.

Результат расчета локального показателя автокорреляции Гетиса-Орда показал обширные связанные кластеры наиболее комфортных условий в Альметьевске и неблагоприятные в Костроме, тогда как для Калининграда тех или иных явных кластеров практически не установлено. Кластеры Калининграда крайне малы по размерам, а комфортные кластеры показали себя довольно разобщенными в пространстве города, что указывает на то, что комфортные условия для велосипедистов в городе в целом существуют, но не образуют связанную комфортную велосипедную сеть. Визуализация этих кластеров позволяет выделить проблемные участки города, которые необходимо проработать для повышения доступности среды и создания благоприятных условий для велодвижения.

Разработанная методика обеспечивает наглядное представление уровня развития и доступности городской среды для велодвижения в российских городах с различными условиями сети. Она может быть использована как инструмент оценки городской среды в

условиях недоступности официальных данных для выявления уязвимых участков уличной среды для велосипедистов, на которые могут быть даны градостроительные рекомендации. Предложенная методика актуальна для оценки городской среды в бесснежный период, поскольку наличие таких осадков в целом приостанавливает велодвижение для большинства групп населения и требует отдельной методики оценивания. Дальнейшее развитие подхода может быть осуществлено путем учета иных характеристик городской среды, например учета типа землепользования окружающей велосипедиста территории, оценки визуальной привлекательности ландшафта, учета потенциальных аттрактивных точек (магазинов, кафе, мест обслуживания). Помимо этого, для оценки связности и доступности среды может быть использовано вычисление кратчайших маршрутов по наиболее благоприятным сегментам, а также иные сетевые метрики для оценки самих улиц (например, центральность по прямой). Для оценки связности на основе маршрутизации могут быть учтены и использованы пешеходные переходы с разделением по доступности на основе их типа.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственного задания кафедры картографии и геоинформатики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова № 121051400061-9 «Развитие методов и технологий картографии, геоинформатики и аэрокосмического зондирования в исследованиях природы и общества».

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was conducted within the framework of the state-ordered research theme of the Cartography and Geoinformatics Department of the Lomonosov Moscow State University No. 121051400061-9 “Development of Methods and Technologies of Cartography, Geoinformatics and Aerospace Sensing in the Research of Nature and Society”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Cervero R., Denman S., Jin Y.* Network Design, Built and Natural Environments, and Bicycle Commuting: Evidence from British Cities and Towns. *Transport Policy*, 2019, V. 74. P. 153–164. DOI: 10.1016/j.tranpol.2018.09.007.
- Deliali K., Christofa E., Knodler Jr. M.* The Role of Protected Intersections in Improving Bicycle Safety and Driver Right-Turning Behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 2021, V. 159. Art. 106295. DOI: 10.1016/j.aap.2021.106295.
- Fishman E.* Cycling as Transport. *Transport Reviews*, 2016. V. 36. No. 1. P. 1–8. DOI: 10.1080/01441647.2015.1114271.
- Lowry M. B., Callister D., Gresham M., Moore B.* Assessment of Communitywide Bikeability with Bicycle Level of Service. *Transportation Research Record*, 2012. V. 2314. No. 1. P. 41–48. DOI: 10.3141/2314-06.
- Mekuria M., Furth P., Nixon H.* Low-Stress Bicycling and Network Connectivity. *Mineta Transportation Institute Report 11-19*, 2012. 108 p.
- Passmore R., Watkins K., Guensler R.* Using Shortest Path Routing to Assess Cycling Networks. *Journal of Transport Geography*, 2024. V. 117. Art. 103864. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2024.103864.

Pritchard R., Frøyen Y., Snizek B. Network Suitability Indices for Cycling. *Journal of Transport Geography*, 2019. V. 74. P. 135–147. DOI: 10.3390/ijgi8050214.

Pucher J., Buehler R. Making Cycling Irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark and Germany. *Transport Reviews*, 2008. V. 28. No. 4. P. 495–528. DOI: 10.1080/01441640701806612.

Wasserman D., Rixey A., Zhou X., Levitt D., Benjamin M. Evaluating OpenStreetMap's Performance Potential for Level of Traffic Stress Analysis. *Transportation Research Record*, 2019. V. 2673. No. 4. P. 284–294. DOI: 10.1177/0361198119836772.

REFERENCES

Cervero R., Denman S., Jin Y. Network Design, Built and Natural Environments, and Bicycle Commuting: Evidence from British Cities and Towns. *Transport Policy*, 2019, V. 74. P. 153–164. DOI: 10.1016/j.tranpol.2018.09.007.

Deliali K., Christofa E., Knodler Jr. M. The Role of Protected Intersections in Improving Bicycle Safety and Driver Right-Turning Behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 2021, V. 159. Art. 106295. DOI: 10.1016/j.aap.2021.106295.

Fishman E. Cycling as Transport. *Transport Reviews*, 2016. V. 36. No. 1. P. 1–8. DOI: 10.1080/01441647.2015.1114271.

Lowry M. B., Callister D., Gresham M., Moore B. Assessment of Communitywide Bikeability with Bicycle Level of Service. *Transportation Research Record*, 2012. V. 2314. No. 1. P. 41–48. DOI: 10.3141/2314-06.

Mekuria M., Furth P., Nixon H. Low-Stress Bicycling and Network Connectivity. *Mineta Transportation Institute Report 11-19*, 2012. 108 p.

Passmore R., Watkins K., Guensler R. Using Shortest Path Routing to Assess Cycling Networks. *Journal of Transport Geography*, 2024. V. 117. Art. 103864. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2024.103864.

Pritchard R., Frøyen Y., Snizek B. Network Suitability Indices for Cycling. *Journal of Transport Geography*, 2019. V. 74. P. 135–147. DOI: 10.3390/ijgi8050214.

Pucher J., Buehler R. Making Cycling Irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark and Germany. *Transport Reviews*, 2008. V. 28. No. 4. P. 495–528. DOI: 10.1080/01441640701806612.

Wasserman D., Rixey A., Zhou X., Levitt D., Benjamin M. Evaluating OpenStreetMap's Performance Potential for Level of Traffic Stress Analysis. *Transportation Research Record*, 2019. V. 2673. No. 4. P. 284–294. DOI: 10.1177/0361198119836772.