

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 332.13

DOI: 10.26730/2587-5574-2026-3-97-104

ЦИФРО-СЕТЕВАЯ КОНУРБАЦИОННАЯ СИСТЕМА КАК РЕЗУЛЬТАТ ЭВОЛЮЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

Ким Т.Л.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева



Информация о статье

Поступила:

28 июля 2026 г.

Одобрена после рецензирования:

28 августа 2026 г.

Принята к публикации:

09 сентября 2026 г.

Ключевые слова: агломерационный эффект, конурбации, новый тип конурбации, технологически опосредованная конурбация

Аннотация.

В работе рассмотрена цифро-сетевая конурбационная система. Дана сравнительная характеристика классической конурбации и нового типа конурбации. Историческое развитие пространственной организации экономики проходило через последовательную смену форм территориальной концентрации. Агломерация, как исходная форма, обеспечивала экономический рост за счет физической близости экономических агентов, эффекта масштаба и снижения транзакционных издержек. На более зрелых стадиях пространственного развития агломерационные системы эволюционировали в конурбации, характеризующиеся полицентричностью и усилением межагломерационных взаимодействий. В данной статье описан новый тип конурбации, на возникновение которого повлияло развитие цифровых технологий и систем искусственного интеллекта.

Классическая конурбация формировалась на основе развитой транспортной инфраструктуры, обеспечивающей связанность между несколькими агломерациями и городскими центрами. Экономическое пространство в данной модели оставалось жестко привязанным к физическим каналам перемещения людей, товаров и услуг. Транспортная доступность выступала ключевым ограничителем масштабов и интенсивности пространственной интеграции, а развитие конурбации требовало значительных капитальных вложений в инфраструктуру.

Для цитирования: Ким Т.Л. Цифро-сетевая конурбационная система как результат эволюции пространственной организации национальной экономики // Экономика и управление инновациями. 2026. № 3 (38). С. 97-104. DOI: 10.26730/2587-5574-2026-3-97-104, EDN: BFPKJL

THE DIGITAL-NETWORK CONURBATION SYSTEM AS AN OUTCOME OF THE EVOLUTION IN THE SPATIAL ORGANIZATION OF THE NATIONAL ECONOMY

Tatyana L. Kim

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University



Article info

Submitted:

28 July 2026

Approved after reviewing:

28 August 2026

Abstract.

This paper examines the digital-network conurbation system. A comparative characterization of the classic conurbation and a new type of conurbation is provided. The historical development of the spatial organization of the economy has occurred through a sequential change in forms of territorial concentration. Agglomeration, as the initial form, ensured economic growth through the physical proximity of economic agents, economies of scale, and a reduction in transaction costs. At more mature stages of spatial development, agglomeration systems evolved into conurbations, characterized by polycentricity and intensified inter-agglomeration interactions. This article describes a new type of conurbation, the emergence of which has been influenced by the development of digital technologies and artificial intelligence systems.

Accepted for publication:
09 September 2026

Keywords:
agglomeration effect, conurbation,
new type of conurbation,
technology-mediated conurbation

The classic conurbation was formed on the basis of developed transport infrastructure, ensuring connectivity between several agglomerations and urban centers. In this model, the economic space remained rigidly tied to physical channels for the movement of people, goods, and services. Transport accessibility acted as a key constraint on the scale and intensity of spatial integration, and the development of the conurbation required significant capital investment in infrastructure.

For citation: Kim T.L. The digital-network conurbation system as an outcome of the evolution in the spatial organization of the national economy. *Economics and Innovation Management*, 2026, no. 3 (38), pp. 97-104. DOI: 10.26730/2587-5574-2026-3-97-104, EDN: BFPKJL

1 Introduction / Введение

Современное пространственное развитие экономики вступило в фазу качественных трансформаций, связанных не только с эволюцией форм территориальной концентрации, но и с глубокими технологическими сдвигами, радикально изменяющими характер межтерриториальных взаимодействий. Классические модели агломерационного и конурбационного развития, основанные преимущественно на физической близости и транспортной доступности, все в меньшей степени отражают реальные процессы формирования экономического пространства в условиях цифровизации, автоматизации и распространения удаленных форм экономической деятельности [1–3].

Развитие технологий Big Data, искусственного интеллекта, беспилотных транспортных и логистических систем, цифровых платформ управления и удаленной занятости приводит к существенному снижению экономического расстояния между территориями, трансформируя роль географической удаленности и переосмысливая значение пространственной связанности. Экономические, производственные и управленческие функции все чаще реализуются вне жесткой привязки к конкретному месту, формируя распределенные сети взаимодействий, которые не укладываются в рамки классических представлений об агломерациях и конурбациях [3–5].

В этих условиях возникает необходимость теоретического осмысления нового типа конурбации, формирующегося как результат эволюции традиционных пространственных форм под воздействием цифровых и автономных технологий. Речь идет не о модификации существующих моделей, а о качественном изменении природы пространственной связанности, в рамках которого транспортно-инфраструктурные факторы дополняются и частично замещаются цифровыми, платформенными и автономными механизмами интеграции территорий.

Особую актуальность данная проблематика приобретает для макрорегионов с большой территориальной протяженностью и высокой стоимостью физической инфраструктуры, к числу которых относится Сибирский макрорегион. Здесь инновационные формы связанности способны не только компенсировать пространственные ограничения, но и сформировать опережающую модель конурбационного развития, ориентированную на будущее.

Целью настоящего исследования является теоретическое обоснование нового типа конурбации как результата эволюции пространственного развития в условиях цифровых и автономных технологий, а также выявление потенциала Сибирской конурбации как прототипа данной модели. В работе используются методы теоретического анализа, элементы пространственной экономики, системного и эволюционного подходов.

Однако по мере роста территориальных масштабов и усложнения хозяйственных связей инфраструктурно-транспортная логика начинает сталкиваться с объективными пределами. Высокая стоимость строительства и эксплуатации транспортных систем, экологические ограничения, а также пространственная инерция инфраструктуры снижают гибкость пространственного развития и ограничивают возможности дальнейшей интеграции территорий исключительно за счет физической связанности.

Развитие беспилотных транспортных систем и автономных служб доставки формирует новые логистические конфигурации, в которых пространственная удаленность перестает быть критическим фактором. Доставка товаров и услуг может осуществляться напрямую между распределенными узлами, минуя традиционные центры концентрации. Это снижает значение классических транспортных хабов и усиливает роль цифровых платформ координации.

Параллельно происходит трансформация рынка труда. Распространение удаленных форм занятости, распределенных команд и дистанционного управления производственными и сервисными процессами приводит к разрыву традиционной связи между местом проживания, местом работы и местом создания добавленной стоимости. Экономическая активность приобретает сетевой и гибридный характер, а территориальная локализация функций становится более гибкой.

Согласно документам программы ООН-Хабитат, умный город «использует информационно-коммуникационные технологии и другие средства для повышения качества жизни, эффективности городских операций и услуг, а также конкурентоспособности, обеспечивая при этом удовлетворение потребностей нынешнего и будущих поколений». Умный город активно применяет такие технологии, как Интернет вещей, создание цифровых двойников, большие данные, предиктивная аналитика для решения управленческих задач в сфере инфраструктуры, архитектуры и строительства, логистики, жизнеобеспечения, социальных услуг. В перспективе все большее значение для управления умным городом будет приобретать искусственный интеллект.

2 Materials and Methods / Материалы и методы

Одним из ключевых драйверов формирования нового типа конурбации является широкое внедрение технологий Big Data и искусственного интеллекта, которые трансформируют методы управления пространственными социально-экономическими системами. В отличие от традиционных моделей пространственного развития, опирающихся на статические статистические данные, цифровые технологии позволяют анализировать и координировать межтерриториальные процессы в режиме реального времени, существенно снижая транзакционные издержки [6, 7].

Использование больших данных в сочетании с алгоритмами машинного обучения обеспечивает предиктивное управление транспортными, производственными и логистическими потоками, оптимизацию загрузки инфраструктуры и снижение издержек, связанных с пространственной разобщенностью территорий [8]. Искусственный интеллект становится инструментом пространственной оптимизации, позволяя координировать деятельность удаленных узлов конурбационной системы без необходимости их чрезмерной физической концентрации.

В условиях технологически опосредованной конурбации цифровые потоки данных приобретают экономическую значимость, сопоставимую с материальными потоками товаров и ресурсов. Экономическое пространство приобретает гибридный характер, в котором цифровая связанность становится ключевым фактором интеграции территорий и формирования конурбационных эффектов нового типа.

Развитие беспилотных транспортных систем и автономной логистики является одним из наиболее значимых факторов трансформации пространственной организации экономики. Использование автономного наземного транспорта, беспилотных карьерных самосвалов, дронов доставки и роботизированных складских комплексов позволяет формировать распределенные логистические сети, не привязанные к традиционным транспортным хамам и агломерационным центрам [9, 10].

В классической конурбации транспортная инфраструктура выступала жестким каркасом пространственной системы, определяющим направления и интенсивность экономических потоков. В условиях автономной логистики данный каркас становится более гибким и адаптивным: маршруты, графики и режимы перевозок оптимизируются алгоритмически, а экономическое расстояние между узлами сокращается не только во времени, но и в издержках.

Особую значимость автономные системы приобретают для протяженных макрорегионов, таких как СФО, где высокая стоимость строительства и эксплуатации традиционной транспортной инфраструктуры выступает ограничителем пространственной интеграции. В этих условиях беспилотные технологии становятся инструментом компенсации пространственных ограничений и формирования новых конурбационных конфигураций.

Рассмотрим экономические эффекты удаленного и автономного управления промышленной техникой на примере горнодобывающей отрасли. Одним из наиболее показательных примеров экономической эффективности технологически опосредованной пространственной связанности является внедрение систем удаленного и автономного управления в горнодобывающей промышленности. В мировой практике дистанционное управление карьерной техникой, буровыми установками и обогатительными комплексами позволяет существенно повысить производительность и снизить издержки производства.

По данным исследований McKinsey Global Institute, внедрение цифровых и автономных технологий в горнодобывающей отрасли обеспечивает снижение операционных затрат на 15–30%, рост производительности труда на 20–40% и значительное сокращение простоев оборудования за счет предиктивного обслуживания [11]. Использование удаленных центров управления позволяет концентрировать высококвалифицированных операторов и инженеров вне зоны добычи, снижая кадровые и социальные издержки.

Автономные карьерные самосвалы и дистанционно управляемые экскаваторы, широко применяемые в Австралии и Канаде, демонстрируют более высокую эксплуатационную надежность и меньшую аварийность по сравнению с традиционной техникой [9]. Экономический эффект достигается за счет круглосуточной работы оборудования, сокращения затрат на персонал и повышения точности производственных операций.

Для индустриальных регионов Сибири данные технологии имеют особую значимость. Возможность управления горнодобывающей техникой из удаленных центров (например, в научно-образовательных узлах конурбации) формирует новые межузловые связи, интегрируя промышленные территории в цифрово-сетевую конурбационную систему без необходимости физической концентрации трудовых ресурсов.

Развитие цифровых платформ управления и удаленных форм занятости оказывает системное влияние на пространственную организацию экономики. Платформенные решения позволяют координировать деятельность распределенных производственных и сервисных подразделений, обеспечивая стандартизацию процессов и снижение транзакционных издержек.

Удаленные операторы и распределенные команды становятся неотъемлемым элементом технологически опосредованной конурбации. В отличие от классической модели маятниковой миграции, в которой мобильность труда обеспечивается физическими перемещениями, в новой модели происходит «перемещение функций», когда задачи, данные и управленческие решения передаются между узлами цифровыми каналами связи.

Для протяженных макрорегионов это означает принципиально новые возможности пространственной интеграции. Удаленная занятость снижает нагрузку на транспортную инфраструктуру, расширяет рынок труда и позволяет вовлекать в экономические процессы территории, ранее находившиеся за пределами активных агломерационных взаимодействий. В результате формируется новый тип пространственной мобильности, основанный на цифровой связанности.

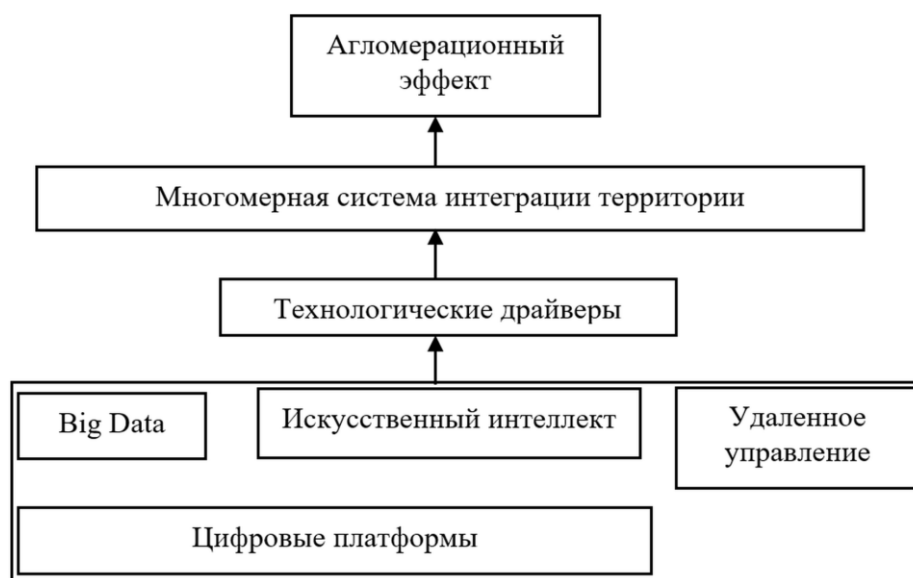


Рис. 1. Агломерационный эффект

Fig. 1. Agglomeration effect

Рассмотренные технологические драйверы – Big Data, искусственный интеллект, автономные системы, удаленное управление и цифровые платформы – действуют во взаимосвязи, формируя синергетический эффект, приводящий к качественному изменению природы пространственной связанности. Их совокупное воздействие формирует многомерную систему интеграции

территорий, в которой физическая, цифровая и автономная связанность взаимно усиливают друг друга [12–15]. Схематично агломерационный эффект представлен на Рис. 1.

Таблица 1. Сравнительная характеристика классической конурбации и технологически опосредованной конурбации

Table 1. Comparative characteristics of a classic conurbation and a technology-mediated conurbation

Критерий сравнения	Классическая конурбация	Новый тип конурбации (технологически опосредованный)
Исторический контекст формирования	Индустриальная и постиндустриальная экономика	Цифровая, платформенная и автономная экономика
Базовый фактор связанности	Транспортная и физическая инфраструктура	Цифровая, автономная и платформенная связанность
Тип пространственной логики	Географическая близость и транспортная доступность	Функциональная доступность и технологическая интеграция
Роль расстояния	Ключевой ограничивающий фактор	Существенно сниженная значимость расстояния
Доминирующие потоки	Материальные и трудовые (грузы, маятниковая миграция)	Данные, цифровые сервисы, удаленный труд, автономная логистика
Тип занятости	Преимущественно локализованная	Гибридная и удаленная, пространственно распределенная
Роль транспорта	Системообразующий элемент	Один из элементов гибридной системы связанности
Роль цифровых технологий	Вспомогательная	Системообразующая
Характер межузловых связей	Физические, иерархические	Цифрово-сетевые, горизонтальные
Тип экономических эффектов	Конурбационные эффекты второго порядка	Гибридные эффекты (цифровые + автономные + сетевые)
Структура пространственной системы	Полицентрическая, но физически жесткая	Полицентрическая, гибкая и адаптивная
Устойчивость к территориальным ограничениям	Ограниченная (зависимость от инфраструктуры)	Повышенная (адаптация за счет технологий)
Роль территорий с большими расстояниями	Структурное ограничение развития	Потенциальное конкурентное преимущество
Тип управления развитием	Инфраструктурно-территориальное	Цифрово-пространственное и платформенное
Стратегический фокус политики	Строительство и расширение инфраструктуры	Управление связанностью и цифровой интеграцией
Пространственный масштаб эффективности	Региональный/межрегиональный	Макрорегиональный и распределенный
Тип узлов	Транспортные и промышленные	Гибридные узлы (физические + цифровые + автономные)
Пример применимости	Индустриальные конурбации XX–начала XXI вв.	Перспективная модель для макрорегионов России (в частности, для Сибирской конурбации)

В условиях нового типа конурбации экономическое пространство формируется как гибридная система, в которой устойчивость и эффективность зависят не столько от плотности инфраструктуры, сколько от способности узлов включаться в технологические сети и использовать

удаленные формы управления и взаимодействия. Это создает предпосылки для перехода от инфраструктурно-ориентированной модели пространственного развития к модели управления связанностью и цифрово-автономной интеграцией территорий. Сравнительная характеристика типов конурбации представлена в Таблице 1.

С теоретической точки зрения данный переход означает смену доминирующей логики пространственного развития: от инфраструктурно-территориальной к сетевое-технологической. Пространственная система перестает быть жестко привязанной к географической близости и приобретает гибридный характер, в котором физическое пространство дополняется цифровым и функциональным измерениями.

В рамках данного исследования новый тип конурбации определяется как технологически опосредованная полицентрическая пространственно-экономическая система, в которой устойчивость и интенсивность межузловых взаимодействий обеспечиваются интеграцией физической, цифровой и автономной связанности, что приводит к снижению экономического расстояния и трансформации роли территории в экономическом развитии.

3 Conclusion / Заключение

Совокупность указанных процессов формирует предпосылки возникновения нового типа пространственной организации экономики, который не может быть адекватно описан в рамках классической пространственной экономики. В условиях технологического сдвига пространственная связанность приобретает многомерный характер, объединяя физические, цифровые, автономные и платформенные компоненты.

Новый тип конурбации формируется как технологически опосредованная полицентрическая система, в которой интеграция территорий обеспечивается не столько за счет плотности инфраструктуры, сколько за счет способности узлов включаться в цифровые и автономные сети взаимодействий. В такой системе ключевое значение приобретают гибридные узлы, сочетающие физические, цифровые и управленческие функции, а устойчивость пространственной структуры определяется качеством технологической связанности.

Для макрорегионов с большими расстояниями между населенными пунктами и разреженной системой расселения, включая Сибирскую конурбацию, формирование нового типа конурбации открывает возможности перехода от компенсирующего к опережающему сценарию пространственного развития. Это делает анализ технологически опосредованной конурбации не только теоретически значимым, но и практически востребованным для долгосрочного стратегирования.

Список источников

1. Меркурьев В.В. Организационно-экономические основы развития агломераций муниципальных образований: теория и методология: дис. ... д-ра экон. наук. – Барнаул, 2022. – 370 с.
2. Меркурьев В.В., Мягков Е.В. Развитие агломераций: этапы, отечественные и зарубежные практики // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. – 2022. – № 3(71). URL: <https://eee-region.ru/article/7108/> (последнее обращение: 21.03.2026).
3. Меркурьев В.В., Мягков Е.В., Косинский П.Д., Томилин К.В. Анализ социально-экономического развития регионов Сибирского федерального округа // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. – 2022. – № 4(72). URL: <https://eee-region.ru/article/7215/> (последнее обращение: 21.03.2026).
4. Харитонов А.В., Меркурьев В.В., Юрзина Т.А., Косинский П.Д. Развитие сельских территорий в условиях формирования агломерационной системы: региональный аспект // АПК: экономика, управление. – 2021. – № 9. – С. 88-94.
5. Меркурьев В.В., Томилин К.В. Проблемы развития сельского хозяйства старопромышленного региона // Вестник Кемеровского государственного сельскохозяйственного института. – 2016. – № 6. – С. 155-161.
6. Fujita M., Krugman P., Venables A.J. The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade. – Cambridge: MIT Press, 1999. – 266 p.
7. Duranton G., Puga D. Micro-foundations of urban agglomeration economies // Handbook of Regional and Urban Economics. – 2004. – Vol. 4. – pp. 2063-2117.
8. Manyika J., et al. Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity. – London: McKinsey Global Institute, 2011. – 308 p.
9. OECD. Autonomous Vehicles and the Future of Urban Mobility. – Paris: OECD Publishing, 2020. – 88 p.
10. OECD. Regions and Cities at a Glance. – Paris: OECD Publishing, 2021. – 62 p.
11. Manyika J., et al. Digital America: A Tale of the Haves and Have-Mores. – London: McKinsey Global Institute, 2015. – 102 p.
12. Del-Real C., Ward C., Sartipi M. What do people want in a smart city? Exploring the stakeholders' opinions, priorities and perceived barriers in a medium-sized city in the United States // International Journal of Urban Sciences. – 2023. – Vol. 27. Issue S1. – pp. 50-74.

13. Nwokediegwu Z., Ugwuanyi E., Dada M., Majemite M., Obaigbena A. AI-driven waste management systems: A comparative review of innovations in the USA and Africa // *Engineering Science & Technology Journal*. – 2024. – Vol. 5(2). – pp. 507-516.

14. Harun I., Yigitcanlar T. Urban Land Use and Value in the Digital Economy: A Scoping Review of Disrupted Activities, Behaviours, and Mobility // *Land*. – 2025. – Vol. 14. – pp. 1647.

15. Allam Z., Sharifi A., Bibri S.E., Jones D.S., Krogstie J. The Metaverse as a Virtual Form of Smart Cities: Opportunities and Challenges for Environmental, Economic, and Social Sustainability in Urban Futures // *Smart Cities*. – 2022. – Vol. 5. – pp. 771-801.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2026 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы

Ким Татьяна Леонидовна – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой физики, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28
e-mail: ktl.fiz@kuzstu.ru

References

1. Merkur'ev V.V. Organizacionno-ekonomicheskie osnovy razvitiya aglomeracij municipal'nyh obrazovaniy: teoriya i metodologiya: dis. ... d-ra ekon. nauk [Organizational and economic foundations of the development of agglomerations of municipalities: theory and methodology: dis. ... Doctor of Economics]. Barnaul, 2022. 370 p.

2. Merkur'ev V.V., Myagkov E.V. Razvitie aglomeracij: etapy, otechestvennye i zarubezhnye praktiki [Development of agglomerations: stages, domestic and foreign practices]. *Regional'naya ekonomika i upravlenie: elektronnyj nauchnyj zhurnal* = Regional Economics and Management: electronic scientific journal. 2022. Vol. 3(71). URL: <https://eee-region.ru/article/7108/> (last access: 21.03.2026).

3. Merkur'ev V.V., Myagkov E.V., Kosinskij P.D., Tomilin K.V. Analiz social'no-ekonomicheskogo razvitiya regionov Sibirskogo federal'nogo okruga [Analysis of the socio-economic development of the regions of the Siberian Federal District]. *Regional'naya ekonomika i upravlenie: elektronnyj nauchnyj zhurnal* = Regional Economics and Management: electronic scientific journal. 2022. Vol. 4(72). URL: <https://eee-region.ru/article/7215/> (last access: 21.03.2026).

4. Haritonov A.V., Merkur'ev V.V., Yurzhina T.A., Kosinskij P.D. Razvitie sel'skih territorij v usloviyah formirovaniya aglomeracionnoj sistemy: regional'nyj aspekt [Development of trends in the context of the formation of an agglomeration system: regional aspect]. *APK: ekonomika, upravlenie* = AIC: economics, management. 2021. Vol. 9. pp. 88-94.

5. Merkur'ev V.V., Tomilin K.V. Problemy razvitiya sel'skogo hozyajstva staropro-myshlennogo regiona [Problems of agricultural development in an old industrial region]. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo sel'skohozyajstvennogo instituta* = Bulletin of the Kemerovo State Agricultural Institute. 2016. Vol. 6. pp. 155-161.

6. Fujita M., Krugman P., Venables A.J. *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*. Cambridge: MIT Press, 1999. 266 p.

7. Duranton G., Puga D. Micro-foundations of urban agglomeration economies // *Handbook of Regional and Urban Economics*. 2004. Vol. 4. pp. 2063-2117.

8. Manyika J., et al. *Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity*. – London: McKinsey Global Institute, 2011. 308 p.

9. OECD. *Autonomous Vehicles and the Future of Urban Mobility*. Paris: OECD Publishing. 2020. 88 p.

10. OECD. *Regions and Cities at a Glance*. Paris: OECD Publishing, 2021. 62 p.

11. Manyika J., et al. *Digital America: A Tale of the Haves and Have-Mores*. London: McKinsey Global Institute, 2015. 102 p.

12. Del-Real C., Ward C., Sartipi M. What do people want in a smart city? Exploring the stakeholders' opinions, priorities and perceived barriers in a medium-sized city in the United States // *International Journal of Urban Sciences*. 2023. Vol. 27. Issue S1. pp. 50-74.

13. Nwokediegwu Z., Ugwuanyi E., Dada M., Majemite M., Obaigbena A. AI-driven waste management systems: A comparative review of innovations in the USA and Africa // *Engineering Science & Technology Journal*. 2024. Vol. 5(2). pp. 507-516.

14. Harun I., Yigitcanlar T. Urban Land Use and Value in the Digital Economy: A Scoping Review of Disrupted Activities, Behaviours, and Mobility // *Land*. 2025. Vol. 14. pp. 1647.

15. Allam Z., Sharifi A., Bibri S.E., Jones D.S., Krogstie J. The Metaverse as a Virtual Form of Smart Cities: Opportunities and Challenges for Environmental, Economic, and Social Sustainability in Urban Futures // *Smart Cities*. 2022. Vol. 5. pp. 771-801.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2026 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Authors

Tatyana Kim – Candidate of Sciences of technical Sciences, Associate Professor, Head of department of Physics,
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
650000, Vesennyaya st. 28, Kemerovo, Russian Federation
e-mail: ktl.fiz@kuzstu.ru

