

«ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК» ГОРОДА КАК МЕХАНИЗМ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЧЕЛЯБИНСКА

Статья посвящена проблеме прогнозирования – программирования – проектирования сложной градостроительной системы в современных условиях планирования и управления на базе интерактивной цифровой модели города применительно к Челябинску. Является продолжением темы «Проблемы формирования градостроительства в Челябинске как механизма реализации приоритетного национального проекта «Умный город».

Цель работы заключается в изучении концепции «Цифрового двойника» города как механизма планирования и апробации реализации проектных решений на интерактивной цифровой модели города.

В соответствии с поставленной целью определены основные задачи исследования - изучить мировой и отечественный опыт реализации концепции «Цифрового двойника» градостроительной системы, теоретический опыт в области градостроительного прогнозирования развития города с учетом цифровых технологий, определить возможные сценарии формирования «Цифрового двойника» Челябинска с учетом национальных стратегий и приоритетов, а также требований по формированию комфортной, безопасной и благоустроенной городской среды.

Методика работы базируется на последовательном использовании принципов и методов анализа и теоретического обобщения положительных примеров мирового и отечественного опыта внедрения «Цифрового двойника» в систему планирования и управления развитием города, нормативных требований и рекомендаций по цифровизации городского пространства с учетом приоритетного национального проекта «Умный город», особенностей внедрения технологий интерактивной цифровой модели города применительно к Челябинску.

Научная новизна исследования состоит в том, что в нем впервые рассмотрены особенности внедрения концепции «Цифрового двойника» города применительно к Челябинску как технологии прогнозирования – программирования – проектирования сложной градостроительной системы. Практическое значение полученных результатов работы связано с возможностью их использования при внедрении интерактивной цифровой модели города в системы планирования и управления развитием Челябинска как градостроительной системы, а также других муниципальных образований; с использованием выявленных технологий при разработке документов градостроительного развития города и его планировочных единиц.

Ключевые слова: «Цифровой двойник» города, Челябинск, «Умный город, градостроительное планирование и управление, «Умный Челябинск», градостроительные системы.

“DIGITAL TWIN” OF THE CITY AS A MECHANISM OF PLANNING AND MANAGEMENT OF CHELYABINSK DEVELOPMENT

The article is devoted to the problem of forecasting – programming – projecting a complex urban planning system in modern conditions of planning and management on the basis of an interactive digital model of the city in relation to Chelyabinsk. It is a continuation of the theme “Formation and implementation problems of urban development in Chelyabinsk as a mechanism implementation of the priority national project “Smart city”.

The purpose of the work is to study of the concept of “Digital twin” of the city as a planning and testing mechanism of the implementation of project solutions on an interactive digital model of the city.

In accordance with the set goal determined the main tasks of the research - to study the international and domestic experience of realization of the concept “Digital twin” of urban systems, theoretical experience in the field of urban development planning of the city, including digital technologies, to identify possible scenarios for the formation of a Chelyabinsk “Digital twin”, taking into account national strategies and priorities as well as requirements to establish a comfortable, safe and well-maintained urban environment.

The method of work is based on the consistent use of principles and methods of analysis and theoretical generalization of positive examples of world and domestic experience in the implementation of the “Digital twin” in the city planning and management system, regulatory requirements and recommendations for the digitalization of urban space, taking into account the priority national project “Smart city”, features of the introduction of interactive digital model of the city in relation to Chelyabinsk.

The scientific novelty of the study is that it is the first to consider the features of the introduction of the concept of “Digital twin” of the city in relation to Chelyabinsk as a technology of forecasting – programming – projecting of a complex urban planning system. Practical significance of the obtained results is connected with the possibility of their use in the implementation of interactive digital city model in planning and management development system of Chelyabinsk as urban development system, as well as other municipalities; using the identified technologies in the development of documents of urban development of the city and its planning units.

Keywords: “Digital city twin”, Chelyabinsk, Smart City, urban planning and management, “Smart City Chelyabinsk”, urban systems.

Одной из приоритетных задач реализации «умного градостроительства» в Челябинске рассматривается создание «Цифрового двойника» города. Эта тема обсуждалась на проектно-аналитической сессии «Умный город – Челябинск» группой «градостроительство». Идея цифровой модели городского пространства и проектных предложений была отмечена Губернатором Челябинской области А.Л. Текслером как одна из важных, в том числе в рамках совещания на тему «Благоустройство города Челябинска в 2020 году».

Проект «Дорожная карта реализации пилотного проекта по цифровизации городского хозяйства города Челябинска» предусма-

тривает необходимость разработки и внедрения «Цифрового двойника» для города с использованием цифровых платформ ИСОГД (или ГИСОГД), интеллектуальной транспортной системы, электронного сервиса, обеспечивающего регулярный анализ фактических данных об объектах недвижимости, кадастровой карты и иной информации. Отмечается, что он направлен на повышение эффективности и прозрачности принятия управленческих решений по обеспечению жизнедеятельности и развития муниципального образования, его инфраструктур, использования городских ресурсов; на синхронизацию работы различных муниципальных

служб; эффективное администрирование налоговых поступлений по итогам инвентаризации объектов недвижимого имущества.

Тема создания «Цифрового двойника» или «цифрового близнеца» («Digital Twin») города, как и любого технологического процесса, является новой и недостаточно изученной. Отмечается, что сама идея была предложена в 2003 году доктором философии, профессором Мичиганского университета Майклом Гривзом на курсе по управлению жизненным циклом продукции (PLM) [1]. Она получила широкое распространение в текущем десятилетии в трудах Michael W. Grieves (концепция «цифровых двойников» для повышения конкурентоспособности предприятий) [2], Edward Glaesgen, David Stargel (цифровая парадигма «близнецов» для будущего транспорта НАСА и ВВС США) [3], Abdulmotaleb El Saddik (концепция «цифровых близнецов» как мультимодальной конвергентной технологии) [4], других исследователей. Взаимосвязям городского планирования и «Умного города» посвящены труды Leonidas G. Anthopoulos и Athena Vakali [5], Michael Batty [6] и т.д.

Центр стратегических разработок «Северо-Запад» рассматривает создание «Цифрового двойника» города основной целью внедрения технологий «Умного города» в России [7]. Непосредственно концепция «Цифрового двойника» города связана с моделированием вероятностного развития городской структуры и ее элементов, и апробированием влияния этих изменений на градостроительную систему в кратчайшие сроки без дополнительных рисков, связанных с проведением экспериментов на реальном объекте. При этом цифровая модель города может быть направлена, во-первых, на анализ и систематизацию полученных Больших данных, во-вторых, на моделирование поведения системы при изменении данных ее подсистем или элементов, в-третьих, на цифровое «умное» моделирование перспективного развития градостроительной системы, ее подсистем и элементов, выполняя роль инструментария в подготовке генерального плана развития города.

Реализованные примеры «Цифровых двойников» преимущественно относятся к первой или второй из вышеуказанных групп. Примером выступают – цифровые модели управления развитием Бостона (на базе гео-системы ESRI), Сингапура (модели подсистем города на цифровой платформе Dassault), Хельсинки (Хельсинки 3D+, при активном содействии консорциума Open Geospatial по

программе «Умные города» в Европе), Нью-касла (цифровая модель поведения города при природных и антропогенных катаклизмах), другие. Одним из исключительных примеров, который можно отнести к третьей группе «цифровых близнецов», является опыт планирования перспективного нового города Амаравати (Индия, штат Андхра-Прадеш) на базе информационной модели 3D-города Smart World Pro от Cityzenith. Платформа «цифрового двойника Амаравати» включает цифровую 3D-модель развития города (авторы «Foster+Partners» и Surbana Jurong) и направлена на мониторинг строительства объектов в режиме реального времени, состояния окружающей среды, здоровья жителей, расширенный мониторинг и моделирование передвижений (мобильность и трафик), изменения климата, цифровое зонирование территории, цифровую выдачу разрешительной документации на строительство, учитывает создание интерактивного цифрового идентификатора пользователя-близнеца для жителей. При этом «Цифровой двойник» города рассматривается как цифровая модель управления городскими ресурсами, которая непрерывно осуществляет сбор информации (от Интернета вещей, IoT), применяет расширенную аналитику Больших данных, машинное обучение (ML) и Искусственный интеллект (AI) для получения необходимой информации о состоянии градостроительной системы в реальном времени.

В России примером создания «Цифрового двойника» города служит опыт формирования «Умной» Москвы. На официальном интернет-портале Мэра Москвы (mos.ru) представлена стратегия развития столицы России «Умный город - 2030» [8]. Раздел «умное градостроительство» (направление «городская среда») основной целью цифрового развития города определяет оптимизацию городского планирования и застройки на базе интеллектуального анализа Больших данных и цифровых технологий Искусственного интеллекта. Раздел включает ряд стратегических направлений, в том числе - внедрение единой цифровой платформы в градостроительной сфере (совместно с цифровой трехмерной моделью города), использование технологий виртуальной, дополненной и смешанной реальности (AR/VR/MR). Приоритетные задачи по развитию Челябинска, результаты проектно-аналитической сессии «Умный город – Челябинск» обосновывают актуальность создания «Цифрового двойника» города в целях анализа и систематизации Больших данных градостроительной системы, ее подсистем и

элементов. Создание такого «двойника» Челябинска возможно в рамках реализации системы управления проектом «Умный город» на базе перспективного «City Lab», планируемого к формированию в рамках заключенного Меморандума между Администрацией города Челябинска и ЮУрГУ.

Задачи управления реализацией планировочных решений в градостроительстве всегда занимали одну из ведущих мест. Еще в начале XX века В.Н. Семенов представил структуру градостроительной деятельности, включающую взаимосвязанную цепочку - «искусство + наука + управленческая деятельность» [9]. Научные исследователи в области градостроительства с 1970-х годов активно занимаются изучением вопросов соотношения процесса градостроительного планирования и реализации проектных предложений, степени реализации генерального плана. Этой теме посвящены труды В.Н. Белоусова, М. Бранча, А.Э. Гутнова, И.А. Иодо, О.К. Кудрявцева, В.А. Лаврова, Г.В. Мазаева, Г.А. Малояна, И.М. Смоляра и многих других ученых. За последние десятилетия внедрение технологий ЭВМ в вопросы прогнозирования, программирования и проектирования сложных градостроительных систем существенно изменило методологию планирования и управления их развития.

С появлением научных направлений как «теория систем» и «кибернетика» изменилось само восприятие города как сложной градостроительной системы. Город престал рассматриваться как замкнутый объект и стал представлять собой «процесс, протекающий в определенной пространственной среде, а не как среда, взятая сама по себе» [10-11]. Понимание вопросов планирования градостроительной системы как прогнозирования ее вероятностного развития привело к эволюции методологии генерального плана. Концепции «конечного генерального плана» (по М. Бранчу) или «статические концепции» (по Г. В. Мазаеву) не отвечали требованиям времени и постоянно нарастающим задачам регулирования развития градостроительной системы, ее подсистем и элементов [11-13]. Появились новые «динамические концепции генплана» (по Г. В. Мазаеву), развиваясь от «вариантных генеральных планов» к концепциям «следающих (непрерывных) генпланов» и далее к «эвентуальным концепциям гибкого генерального плана» (по И.А. Иодо) и «концепциям вероятностного генерального плана» (по Г.В. Мазаеву) [11,13-15]. Особую роль в развитии методологии планирования сыграли цифровые информационные техно-

логии, где одной из основных задач стояло управление реализацией генплана города. Технология «Цифрового двойника» города направлена на создание «динамической» модели развития градостроительной системы, ее подсистем и элементов и в идеале должна обеспечить существенный рост прогнозируемости поведения такой системы.

С развитием информационных технологий управления развитием систем разрабатываются новые концепции и методики градостроительного планирования развития города. К поисковым градостроительным концепциям можно отнести и виртуальные градостроительные модели городов, разрабатываемые, например, для Венеции (проект «параллельной реальности»), архитектурный клуб «Reflection»), Москвы (2019, в рамках стратегического проекта «Умный город - 2030»), Лас-Вегаса (подставлен на выставке электроники CES 2019, Itron Ideas Labs и Microsoft Azure). Основной задачей в них ставится виртуальное включение новых объектов в стерео-панорамные съемки существующей архитектурно-градостроительной среды или модернизацию элементов этой среды. Такое объединение виртуального и физического мира не решает вопросы градостроительного планирования, но, может рассматриваться одним из перспективных инструментов градостроительного моделирования. Здесь особую роль играют активно развивающиеся за последние годы технологии стерео-панорамных съемок и построения 3D картографических цифровых моделей (например, AirPano, Google, Yahoo, Virtual Earth, Яндекс, другие).

3D и виртуальные реконструкции городской среды становятся все более популярны в вопросах реставрации, воссоздания, реновации и ревитализации исторической среды города [16-20], нового строительства в культурно-ценной застройке, благоустройства городских территорий, иных градостроительных и смежных вопросах. Исследования в области 3D и виртуального моделирования городской среды охватывают широкий спектр задач и включают вопросы историко-градостроительного анализа развития города, в том числе реконструкции нестроенных градоформирующих объектов и их влияния на городскую среду и неосуществленных предложений по развитию градостроительной системы, ее подсистем и элементов [21]. Такие реконструкции направлены прежде всего на воссоздание или формирование нового уникального и узнаваемого облика города с учетом его исторического и матери-

ального наследия. Они могут быть успешно реализованы в Челябинских проектах развития Центра города и поймы реки Миасс, системы общественных пространств города и его районов, проектах по реконструкции и реновации заброшенных производственных и нарушенных территорий, ветхого и аварийного жилья, размещения новых знаковых объектов, проектах организации комфортной, безопасной и благоустроенной городской среды, ревитализации фасадов главных улиц, а также в иных концепциях и предложениях по формированию облика города.

2D и 3D моделирование городской системы на сегодняшний день напрямую связано с обработкой при помощи геоинформационных систем (ГИС-технологий) топографических данных, данных дистанционного зондирования (лазерного воздушного, наземного, мобильного сканирования, аэро-фото или космических съемок) и созданием на их базе измеряемой трехмерной модели местности (геопривязанной 3D-модели города), ортофотопланов и цифровой матрицы высот [22-24]. Системы компьютерного проектирования (CAD) и компьютерной графики, анализа пространственных данных, картографического, территориального или пространственного моделирования в области градостроительного планирования полностью основаны на ГИС-технологиях и ГИС-системах. В России информационно-аналитические комплексы поддержки принятия решений в сфере градостроительства (ИСОГД, ГИСОГД и ФГИСТП) законодательно (требования Градостроительного кодекса РФ) рассматриваются цифровыми площадками синхронизированных и геопривязанных ГИС-данных, кадастровой информации, проектных документов и предложений по развитию градостроительной системы, разрешительной и иной документации. Так или иначе эти комплексы представляют собой банк данных о существующем и перспективном состоянии города без использования технологий сложной цифровой аналитики. В связи с чем они не могут рассматриваться как «Цифровой двойник» города. Для этих целей необходима более сложная информационно-аналитическая система, способная обрабатывать Большие данные. В то же время информационные системы обеспечения градостроительной деятельности являются базовой площадкой для накопления и систематизации цифровых Больших градостроительных данных на основе ГИС-технологий, и необходимы для формирования «Цифрового двойника» Челябинска, как и любого иного города.

Директор по развитию цифровой экономики МГТС И. Попов на международной конференции «Цифровая трансформация: Фокус на IP» обозначил необходимость AI-платформы Больших данных для внедрения «Цифрового двойника» города [25]. Работу с Большими данными он представил структурой, включающей – инфраструктуру, базовые и облачные станции, городские приложения, хранилище данных, Data lake («озеро данных»), систему обработки потоковых данных, машинное обучение, аналитику данных. Одной из основных проблем формирования «Цифрового двойника» города является отсутствие разработанного инструментария и модели цифровой площадки аналитики Больших данных. В связи с вышеизложенным для внедрения в систему градостроительного управления Челябинска интерактивной цифровой модели города необходима разработка уникальной индивидуальной платформы «Цифрового двойника» города, ориентированного на аналитику особых Больших данных Челябинска.

Заключение

Основной целью создания «Цифрового двойника» Челябинска является успешное планирование и управление реализацией комфортной, безопасной и благоустроенной городской среды с использованием технологий «Умного города». Интегрированной площадкой для реализации цифровой модели города может служить перспективный «City Lab» на базе ЮУрГУ, который объединяет интересы и участие органов власти, научно-образовательных и общественных объединений, бизнес-сообщества. Такая лаборатория управления (или центр компетенций) может выступать аналитическим информационным центром инициатив жителей города и иных заинтересованных граждан в рамках работы цифровых площадок по типу «Добродел», «Активный горожанин», «Активный гражданин», а также площадкой для проведения фокус-групп и «Workshop». Тогда «Цифровой двойник» Челябинска получит разностороннюю структуру целеполагания в вопросах планирования и управления городской градостроительной системой, ее подсистем и элементов.

Формирование цифровой копии Челябинска возможно только на базе ГИС-технологий и «векторных» ГИС-программ, включающих системы анализа картографических, имущественных (в том числе землеустроительных), территориальных и пространственных данных, связанных с градостроительным планированием и его реализацией. При этом должны учитываться прогнозные, программ-

ные и проектные градостроительные данные по функционированию и развитию города. «Цифровой двойник» Челябинска должен стать основой для разработки Генерального плана города и других градостроительных документов и управления их реализации.

Литература

1. Кокорев Д.С., Юрин А.А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса. – Электронный научный журнал «Colloquium-journal», Варшава. – С. 101-105.
2. Michael W. Grieves. Digital Twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. LLC, 2014. – 7 p.
3. Glaessgen E., Stargel D. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. - Paper for the 53rd Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference: Special Session on the Digital Twin. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. – 14 p.
4. El Saddik A. Digital twins: the convergence of multimedia technologies. IEEE MultiMedia, 2018. – P. 87-92.
5. Anthopoulos L.G., Vakali A. Urban planning and smart cities: Interrelations and reciprocities. - The Future Internet Assembly: 178–189. Springer, 2012. – P. 178-189.
6. Batty M. Big data, smart cities and city planning. - Dialogues in Human Geography, 2013. – P. 274–279.
7. Приоритетные направления внедрения технологий умного города в российских городах. - Экспертно-аналитический доклад Центра стратегических разработок «Северо-Запад», Москва. 2018. – 174 с.
8. Стратегия «Умный город - 2030». Текст стратегии. – Презентация проекта Стратегии Москвы «Умный город - 2030», Москва. 2018. – 111 с.
9. Бочаров Ю.П., Жеблиенок Н.Н., Жеблиенок М.А. Теория градостроительства как система научных знаний в работах российских инженеров и архитекторов XX века. – Международный электронный сетевой научно-образовательный журнал «Architecture and modern information technologies (Архитектура и современные информационные технологии)». МАРХИ, Москва. 2017. - С. 219-230.
10. Гутнов А.Э. Эволюция градостроительства. Стройиздат, Москва. 1984. – 256 с.
11. Мазаев Г.В. Прогнозирование вероятностного развития градостроительных систем. Архитектон, Екатеринбург. 2005 – 66 с.
12. Зосимов Г.И. Пространственная организация города. Стройиздат, Москва. 1976. – 117 с.
13. Бранч М. Проектирование городской среды. Стройиздат, Москва. 1979. – 176 с.
14. Иодо И.А. Основы градостроительства. Теория. Методология, Минск. 1983. – 199 с.
15. Лавров В.А. От жестко регламентированных к вероятностным методам развития планировочной структуры городов. - Преобразование среды крупных городов и совершенствование их планировочной структуры. Стройиздат, Москва. 1979. - С. 16–21.
16. Гришин Е.С. Технологии и методика применения пространственно-временного анализа в специально исторических ГИС-проектах. – Электронный научный журнал «Историческая информатика». Раздел «Геоинформационные системы и 3D-реконструкции», 2019. - С. 74-84.
17. Ивакин Я.А., Потапычев С.Н. Развитие информационной технологии геохронологического трекинга для исторических исследований в ГИС. - Электронный научный журнал «Историческая информатика». Раздел «Геоинформационные системы и 3D-реконструкции», 2019. - С. 85-94.
18. Владимиров В.Н., Фролов А.А. Всероссийский научный семинар «Геоинформационные системы в исторических исследованиях: интеграционные подходы». - Электронный научный журнал «Историческая информатика». Раздел «Геоинформационные системы и 3D-реконструкции», 2019. - С. 128-132.
19. Бородкин Л.И. Компьютерное 3D-моделирование в исследованиях по исторической урбанистике: новые источниковедческие подходы. - Вестник КГУ имени Н.А. Некрасова, 2015. - С. 57-63.
20. Мироненко М.С. Современные подходы к 3d-реконструкции объектов куль-

- турного наследия: проблемы визуализации и восприятия (на примере Московского Страстного монастыря и Чудова монастыря Московского Кремля). - Электронный научный журнал «История», 2015. – 8 с.
21. Ткаченко С.Б. Виртуальные реконструкции непостроенных градоформирующих объектов на примере Москвы. – Вестник ВНИПУ, 2019. – С. 5-29.
22. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С., Лурье И.К., Рыльский И.А., Семин В.И., Серапинас Б.Б., Сидоренко В.И., Симонов А.В. Геоинформатика. Издательский центр «Академия», Москва. 2010. – 432 с.
23. Журкин И.Г., Шайтура С.В. Геоинформационные системы. Кудиц-пресс, Москва. 2009. - 272 с.
24. Зачиняева О.В. Технологии геоинформационных систем. – Реферат магистерской выпускной квалификационной работы. СибГУ им. М.Ф. Решетнева, Красноярск. 2010. – 11 с.
25. Попов И. AI-платформа больших данных как основа цифрового двойника города. – Презентация доклада на международной конференции «Цифровая трансформация: Фокус на IP». МГТС, 2019. – 14 с.

References

1. Kokorev D.S., Yurin A.A. Tsifrovyye dvoyniki: ponyatiye, tipy i preimushchestva dlya biznesa [Kokorev D.S., Yurin A.A. Digital twin: concept, types and benefits for business]. - Electronic scientific journal “Colloquium-journal”, Warsaw. - P. 101-105.
2. Michael W. Grieves. Digital Twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. LLC, 2014. – 7 p.
3. Glaessgen E., Stargel D. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. - Paper for the 53rd Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference: Special Session on the Digital Twin. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. – 14 p.
4. El Saddik A. Digital twins: the convergence of multimedia technologies. IEEE MultiMedia, 2018. – P. 87-92.
5. Anthopoulos L.G., Vakali A. Urban planning and smart cities: Interrelations and reciprocities. - The Future Internet Assembly: 178-189. Springer, 2012. – P. 178-189.
6. Batty M. Big data, smart cities and city planning. - Dialogues in Human Geography, 2013. – P. 274-279.
7. Prioritetnyye napravleniya vnedreniya tekhnologiy umnogo goroda v rossiyskikh gorodakh [Priority directions for the implementation of smart city technologies in Russian cities]. - Expert and analytical report of the Center for Strategic Research “North-West”, Moscow. 2018. – 174 p.
8. Strategiya “Umnyy gorod – 2030”. Tekst strategii [Strategy “Smart City – 2030”. Strategy Text], Moscow. 2018. - 111 p.
9. Bocharov Yu.P., Zeblenok N.N., Zeblenok M.A. Teoriya gradostroitel'stva kak sistema nauchnykh znaniy v rabotakh rossiyskikh inzhenerov i arkhitektorov XX veka [Bocharov Yu.P., Zeblenok N.N., Zeblenok M.A. The theory of urban planning as a system of scientific knowledge in the works of Russian engineers and architects of the twentieth century]. - International electronic network scientific and educational journal “Architecture and modern information technologies”. Moscow Institute of Architecture (MARKHI), Moscow. 2017. - P. 219-230.
10. Gutnov A.E. Evolyutsiya gradostroitel'stva [Gutnov A.E. Urban Development]. Stroyizdat, Moscow. 1984. – 256 p.
11. Mazaev G.V. Prognozirovaniye veroyatnostnogo razvitiya gradostroitel'nykh system [Prediction of the probabilistic development of urban planning systems]. Architecton, Yekaterinburg. 2005 - 66 p.
12. Zosimov G.I. Prostranstvennaya organizatsiya goroda [Zosimov G.I. The spatial organization of the city]. Stroyizdat, Moscow. 1976. -117 p.
13. Branch M. Proyektirovaniye gorodskoy sredy [Branch M. Planning Urban Environment]. Stroyizdat, Moscow. 1979. - 176 p.
14. Iodo I.A. Osnovy gradostroitel'stva. Teoriya. Metodologiya [Iodo I.A. Fundamentals of urban development. Theory. Methodology], Minsk. 1983. - 199 p.

15. Lavrov V.A. Ot zhestko reglamentirovannykh k veroyatnostnym metodam razvitiya planirovochnoy struktury gorodov [Lavrov V.A. From strictly regulated to probabilistic methods for the development of the planning structure of cities]. - Transformation of the environment of large cities and improvement of their planning structure. Stroyizdat, Moscow. 1979. - P. 16-21.
16. Grishin E.S. Tekhnologii i metodika primeneniya prostranstvenno-vremennogo analiza v spetsial'no istoricheskikh GIS-proyektakh [Grishin E.S. Technologies and methods of applying space-time analysis in specially historical GIS projects]. - Electronic scientific journal "Historical Informatics". Section "Geoinformation systems and 3D reconstructions", 2019. - P. 74-84.
17. Ivakin Y.A., Potapychev S.N. Razvitiye informatsionnoy tekhnologii geokhronologicheskogo trekinga dlya istoricheskikh issledovaniy v GIS. [Ivakin Y.A., Potapychev S.N. Development of information technology for geochronological tracking for historical research in GIS]. - Electronic scientific journal "Historical Informatics". Section "Geoinformation systems and 3D reconstructions", 2019. - P. 85-94.
18. Vladimirov V.N., Frolov A.A. Vserossiyskiy nauchnyy seminar "Geoinformatsionnyye sistemy v istoricheskikh issledovaniyakh: integratsionnyye podkhody" [Vladimirov V.N., Frolov A.A. All-Russian Scientific Seminar "Geographic Information Systems in Historical Research: Integration Approaches"]. - Electronic scientific journal "Historical Informatics". Section "Geoinformation systems and 3D reconstruction", 2019. - P. 128-132.
19. Borodkin L.I. Komp'yuternoye 3D-modelirovaniye v issledovaniyakh po istoricheskoy urbanistike: novyye istochnikovedcheskiye podkhody [Borodkin L.I. 3D computer modeling in studies on historical urban studies: new source-based approaches]. - Bulletin of KSU named after N.A. Nekrasova, 2015. - P. 57-63.
20. Mironenko M.S. Sovremennyye podkhody k 3d-rekonstruktsii ob'yektov kul'turnogo naslediya: problemy vizualizatsii i vospriyatiya (na primere Moskovskogo Strastnogo monastyrya i Chudova monastyrya Moskovskogo Kremlya) [Mironenko M.S. Modern approaches to the 3D reconstruction of cultural heritage objects: problems of visualization and perception (on the example of the Moscow Passion Monastery and the Chudov Monastery of the Moscow Kremlin)]. - Electronic scientific journal "History", 2015. - 8 p.
21. Tkachenko S.B. Virtual'nyye rekonstruktsii nepostroyennykh gradoformiruyushchikh ob'yektov na primere Moskvyy [Tkachenko S.B. Virtual reconstruction of unfinished city-forming objects on the example of Moscow]. - Bulletin of VNIPU, 2019. - P. 5-29.
22. Kapralov E.G., Koshkarev A.V., Tikunov V.S., Lurie I.K., Rylsky I.A., Semin V.I., Serapinas B.B., Sidorenko V.I., Simonov A.V. Geoinformatika [Kapralov E.G., Koshkarev A.V., Tikunov V.S., Lurie I.K., Rylsky I.A., Semin V.I., Serapinas B.B., Sidorenko V.I., Simonov A.V. Geoinformatics]. Publishing Center "Academy", Moscow. 2010. - 432 p.
23. Zhurkin I.G., Shaytura S.V. Geoinformatsionnyye sistemy [Zhurkin I.G., Shaitura S.V. Geoinformation systems]. Kudits-Press, Moscow. 2009. - 272 p.
24. Zachinyayeva O.V. Tekhnologii geoinformatsionnykh sistem [Zachinyaeva O.V. Technologies of geographic information systems]. - Abstract of master's thesis qualification. Siberian State University named after M.F. Reshetneva, Krasnoyarsk. 2010. - 11 p.
25. Popov I. AI-platfarma bol'shikh dannykh kak osnova tsifrovogo dvoynika goroda [Popov I. AI Big Data Platform as the Basis of the City's Digital Twin]. - Presentation of the report at the international conference "Digital Transformation: Focus on IP". MGTS, 2019. - 14 p.

Спиридонов В. Ю.,

Кандидат архитектуры, советник Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: sv-abyss@mail.ru

Spiridonov V. Yu.,

PhD in Architecture, Advisor to the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Yekaterinburg, Russia. E-mail: sv-abyss@mail.ru

Поступила в редакцию 17.12.2019