



Научно-исследовательская статья/Applied research article

УДК 528.9

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-5-81-91>

От карты к когнитивной модели: эволюция геопространственных представлений в эпоху цифровых двойников

А. О. Лебзак^{1✉}, Е. В. Лебзак¹, С. С. Янкелевич¹

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

e-mail: a.o.lebzak@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается эволюция геопространственных представлений от традиционных карт до когнитивных моделей, интегрированных в парадигму цифровых двойников. Приводится сравнительный анализ традиционных карт (аналоговых и цифровых), геоинформационных систем (ГИС) и геопространственных цифровых двойников (ГЦД) как трех поколений геопространственных моделей. Проанализированы их сущностные различия, касающиеся динамики, типов данных, элементов содержания, основных функций, взаимодействия с пользователем, а также временной аспект, обновление данных и отношение к геопространственным знаниям. Выявленные различия свидетельствуют о смене фундаментальных принципов организации геопространственных моделей и необходимости пересмотра устоявшихся научных категорий в картографии и геоинформатике. Прослеживается эволюция роли ГИС от инструмента пространственного анализа к интеграционной платформе для создания семантически насыщенных, самообучающихся моделей. Особое внимание уделено возрастающей роли геопространственных знаний как системообразующего элемента цифровых двойников местности, превращающего их из трехмерных моделей в когнитивные системы, предназначенные для анализа, прогнозирования и поддержки принятия решений. Обосновывается утверждение, что ГЦД не является усовершенствованной картой или ГИС, а представляет собой принципиально новый класс геоинформационных продуктов – динамические имитационные системы, для которых картографическое представление служит лишь одним из интерфейсов взаимодействия.

Ключевые слова: геопространственные модели, геопространственный цифровой двойник, геопространственные знания, когнитивные модели, ГИС, эволюция геопространственных представлений, картографические произведения, 3D-модель

Для цитирования:

Лебзак А. О., Лебзак Е. В., Янкелевич С. С. От карты к когнитивной модели: эволюция геопространственных представлений в эпоху цифровых двойников. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 5. С. 81–91. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-5-81-91>

From cartographic representation to cognitive modeling: the evolution of geospatial paradigms in the age of digital twins

A. O. Lebzak¹✉, E. V. Lebzak¹, S. S. Yankelevich¹

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: a.o.lebzak@mail.ru

Abstract. The article examines the evolution of geospatial representations from traditional cartographic products to cognitive models embedded within the digital twin paradigm. A comparative analysis is conducted across three generations of geospatial modeling: traditional maps, geographic information systems (GIS), and geospatial digital twins (GDT). Fundamental distinctions among these paradigms are analyzed with respect to dynamism, data typology, content structure, core functionalities, user interaction modalities, temporal dimensions, data update mechanisms, and their epistemological relationship to geospatial knowledge. The identified differences reveal a paradigmatic shift in the foundational principles governing geospatial model organization, necessitating a critical reassessment of established scientific categories in cartography and geoinformatics. The evolving role of GIS is traced from its origins as a spatial analysis tool to its current function as an integration platform for semantically enriched, self-learning models. Particular emphasis is placed on the increasingly central role of geospatial knowledge as a constitutive element of geospatial digital twins, transforming them from static three-dimensional representations into cognitive systems capable of analysis, forecasting, and decision support. It is argued that a GDT does not represent a mere enhancement of traditional maps or GIS but constitutes a fundamentally new class of geoinformation product – dynamic simulation systems in which cartographic visualization serves as one of multiple interaction interfaces.

Keywords: geospatial models, geospatial digital twin, geospatial knowledge, cognitive models, GIS, evolution of geospatial concepts, cartographic works, 3D models

For citation:

Lebzak A. O., Lebzak E. V., Yankelevich S. S. (2026) From cartographic representation to cognitive modeling: the evolution of geospatial paradigms in the age of digital twins. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 5. pp. 81–91. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-5-81-91>

Введение

Современный этап развития геоинформационных технологий характеризуется стремительным распространением концепции цифровых двойников в самых разных сферах – от управления городскими территориями до мониторинга природных процессов и сохранения объектов культурного наследия.

Геопространственные цифровые двойники позволяют интегрировать данные дистанционного зондирования, информационного моделирования зданий (BIM), сенсоров (IoT) и искусственного интеллекта (AI) для пространственного анализа, моделирования и поддержки принятия решений.

Следует отметить, что интенсивное развитие и внедрение ГЦД сопровождается нарас-

тающей терминологической и концептуальной неопределенностью, которая заключается в том, что в научной литературе, проектной документации и нормативно-правовых актах цифровые двойники местности нередко отождествляются с трехмерными картами, динамическими атласами или «продвинутыми» ГИС-продуктами. Все это не только искажает сущность новой технологии, но и препятствует формированию методологической базы для создания, оценки и использования ГЦД. Отсюда возникает закономерный вопрос: является ли ГЦД эволюционным продолжением картографического производства или же представляет собой принципиально новый класс геоинформационных продуктов, требующий пересмотра устоявшихся научных категорий?

В настоящее время в научной литературе системные исследования, сравнивающие ГЦД с картами и ГИС, остаются немногочисленными. Недостаточно проработанным остается вопрос о критериях, позволяющих разграничить эти явления, а также о том, какую роль играют геопространственные знания и какие методологические принципы их организации лежат в основе создания ГЦД как когнитивных систем. Исследование подразумевает решение этих проблем.

Цель статьи заключается в анализе эволюции геопространственных представлений от традиционной карты к когнитивной модели, реализуемой в архитектуре цифровых двойников, определении роли современных геоинформационных технологий в этом процессе и места геопространственных знаний в новой парадигме.

Для достижения поставленной цели были решены такие задачи как:

- анализ сущности картографических произведений, ГИС-продуктов и геопространственных цифровых двойников;
- разработка системы критериев для сравнительного анализа трех поколений геопространственных моделей;
- выявление качественных различий между ГЦД и предшествующими классами картографических и геоинформационных продуктов, что позволило обосновать тезис о парадигмальном сдвиге;
- определение роли ГИС и геопространственных знаний в ГЦД.

Методы и материалы

В ходе исследования применялись методы сопоставления, анализа и синтеза. Теоретическую основу работы составляют труды отечественных и зарубежных ученых, касающиеся современных разработок в области картографии, геоинформатики, теории цифровых двойников, когнитивных наук, а также геопространственных знаний.

Чтобы выявить качественные различия между картами, ГИС и ГЦД, рассматриваемыми в качестве трех поколений геопространственных моделей, был выполнен их сравнительный анализ.

В классической картографии карта понимается как образно-знаковая модель действительности, предназначенная для передачи пространственной информации [1]. Картографическое произведение выступает прежде всего как результат – зафиксированное на определенный момент времени отображение территории, передающее знания от картографа пользователю [2].

В исследовании картографические произведения анализируются в широком смысле, включая как их аналоговые (например, бумажные карты), так и цифровые формы (например, веб-карты, мультимасштабные карты и цифровые топографические карты).

Ключевые признаки картографического произведения, которые чаще всего встречаются в научной литературе:

- статичность – карта фиксирует состояние территории на момент создания, не предусматривая автоматического обновления;
- генерализованность – картографическое произведение подверглось целенаправленному обобщению и отбору содержания в соответствии с масштабом и назначением;
- условность – для кодирования пространственной информации на карте использована система условных обозначений;
- коммуникативность – карта служит средством передачи знаний от картографа к пользователю через систему условных знаков;
- материальная форма – картографическое произведение существует на физическом носителе (бумажном или цифровом) как законченное произведение [1, 3–6].

Л. К. Радченко и О. Н. Николаева, исследуя познавательный аспект картографии, выделяют два уровня работы с картой: чувственное восприятие (зрительный охват территории) и рациональное познание (чтение легенды, сопоставление, анализ) [6]. Результатом этого процесса выступает новое знание о регионе, формирующееся в сознании пользователя, однако сама карта остается при этом неизменной.

Е. С. Антонов, вводя понятие «геокогнитивные карты», отмечает, что цифровая трансформация расширяет возможности кар-

тографических произведений, позволяя интегрировать в них элементы знаний и алгоритмы анализа [4]. Однако даже интерактивные и анимированные карты все еще остаются в парадигме «отображения», поскольку их динамика обеспечивается за счет изменения масштаба, слоев или анимации заранее рассчитанных состояний, но не за счет самостоятельного моделирования процессов.

Следующим этапом в развитии геопространственных моделей стали геоинформационные системы.

В отличие от картографических произведений, которые представляют собой конечный результат, под ГИС понимается «информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, анализ и визуализацию пространственных данных» [7]. Однако в исследовании ГИС рассматривается не как программное обеспечение, а как законченный продукт (например, ГИС лесного хозяйства), представляющий собой структурированное информационное пространство.

В источниках [7–9] встречаются следующие признаки, характеризующие ГИС:

- интеграция данных – объединение пространственных и атрибутивных данных в единой базе;
- интерактивность – возможность формировать запросы, выполнять анализ, создавать производные карты;
- версияльность – поддержка актуальных и архивных версий данных;
- инструментальность – наличие средств для извлечения знаний из данных через пространственный анализ и статистические вычисления.

Несмотря на то что современные ГИС-продукты активно используются в системах «умных городов», для защиты критической инфраструктуры и экологического мониторинга [10, 11] ГИС ориентированы преимущественно на хранение и анализ статических данных, тогда как современные задачи управления территориями требуют перехода к динамическому моделированию [12].

Важное различие ГИС-продуктов и картографических произведений: карта передает знания, а ГИС предоставляет инструментальную среду для извлечения знаний из данных [4]. Это различие имеет принципиальное значение для построения эволюционной линии геопространственных моделей.

Переход на следующий эволюционный этап развития геопространственных моделей произошел благодаря осмыслению природы цифровых двойников и их роли в познании и моделировании территории. Роб Китчин и Оливер Докинс ввели концепцию пост-репрезентационного картографирования, утверждая, что цифровые двойники создают качественно новую реальность – «диадическое переплетение карты и территории». Под геопространственным цифровым двойником они понимают «динамическую, интерактивную, мультимодальную модель территории, синхронизированную с реальным миром через сеть сенсоров и способную к имитационному моделированию» [13].

В отличие от традиционной карты, представляющей собой отображение территории, цифровой двойник становится ее частью: он синхронизирован с ней в реальном времени, получает данные от датчиков и может воздействовать на реальные процессы.

Можно выделить следующие признаки ГЦД, которые встречаются в научной литературе [14–18]:

- динамическая синхронизованность – двусторонняя связь между физическим объектом и его виртуальной моделью (ГЦД), при которой виртуальная модель изменяется во времени, отражая изменения в реальном мире;
- интеграция разнородных данных – объединение данных различных типов из множества источников (пространственные данные, BIM-модели, потоковые данные с датчиков и пр.);
- наличие операциональной модели – не только отображение текущего состояния, но и способность моделировать процессы, прогнозировать развитие ситуаций и имитировать различные сценарии;
- двустороннее взаимодействие – возможность воздействия на физический объект через рекомендации лицам, принимающим решения, или через автоматизированные системы управления территориями;
- семантическая совместимость – способность обеспечивать взаимопонимание между разнородными данными на основе формализованных онтологий.

Ключевое отличие цифрового двойника от предшествующих геопространственных продуктов заключается в его способности не просто хранить и анализировать данные, но и ге-

нерировать новые знания путем моделирования и составления прогнозов. Т. В. Сукманова и Н. С. Белов в своей статье указывают на то, что «в отличие от простой базы данных, цифровой двойник обладает операциональной моделью, обеспечивающей интерпретацию и использование данных для решения конкретных задач» [19]. Именно наличие поведенческих моделей отличает цифрового двойника от трехмерной карты [15].

На основе проведенного анализа сущности картографических произведений, ГИС-продуктов и ГЦД были выявлены следующие критерии, позволяющие провести сравнительный анализ трех поколений геопространственных моделей:

- природа модели – характеризует онтологический статус объекта, т. е. представляет ли он собой отображение действительности, инструмент для работы с данными или же является динамической системой, способной к симуляции и воздействию на физические объекты;

- тип динамики – определяет характер изменения модели во времени (статичность, интерактивность, анимация заранее рассчитанных состояний или симуляция процессов в режиме реального времени);

- типы данных – описывают номенклатуру данных, с которыми работает геопространственная модель;

- содержание геопространственного продукта – представляет собой совокупность элементов, из которых состоит продукт, а также принципы их организации;

- основная функция – определяет целевое назначение объекта (отображение, учет, анализ, моделирование, прогнозирование, поддержка принятия решений и т. п.);

- взаимодействие с пользователем – определяет характер связи между геопространственной моделью и пользователем (одностороннее, интерактивное или двустороннее взаимодействие);

- научная основа – характеризует дисциплинарную принадлежность геопространственной модели (картография, геоинформатика, системный анализ, искусственный интеллект и т. п.);

- временной аспект – характеризует отношение геопространственной модели ко времени (фиксация состояния на определенный временной срез, версионность, моделирование прошлого, настоящего и будущего в единой динамической среде);

- актуализация данных – определяет периодичность обновления содержания геопространственной модели (дискретное, которое подразумевает выполнение полевых работ и/или камеральной обработки, периодическое или непрерывное);

- отношение к геопространственным знаниям – описывает, как объект оперирует геопространственными знаниями (передача знаний от картографа пользователю, инструментальная среда для извлечения знаний из данных, формирование новых знаний посредством моделирования и использования формализованных знаний).

Результаты

Для выявления качественных различий между ГЦД и предшествующими классами картографических и геоинформационных моделей на основе разработанной системы критериев была составлена таблица.

Сравнительный анализ трех поколений геопространственных моделей

Критерий	Картографическое произведение	ГИС-продукт	Геопространственный цифровой двойник
Природа геопространственной модели	Семиотическая модель	Информационная система с базой пространственных и атрибутивных данных	Динамическая имитационная модель, имеющая двустороннюю связь с физическими объектами
Тип динамики	Отсутствует или интерактивность	Интерактивность	Симуляция
Типы данных	Пространственные, реже пространственно-атрибутивные	Пространственно-атрибутивные	Гетерогенные

Окончание таблицы

Критерий	Картографическое произведение	ГИС-продукт	Геопространственный цифровой двойник
Содержание	Картографическое изображение, легенда, зарамочное оформление	Пространственные данные (векторные, растровые), базы атрибутивных данных, запросы, отчеты, производные карты	Интегрированная модель, содержащая геометрический каркас, семантические и потоковые данные, а также поведенческие модели
Основная функция	Отображение, навигация, получение информации и знаний, визуальный анализ, а также принятие решений (только на основе геокогнитивных карт)	Учет, регистрация, управление объектами, пространственный анализ, формирование отчетности	Моделирование сценариев, прогнозирование, поддержка управленческих решений
Тип взаимодействия	Пассивное (чтение, измерение по карте, получение знаний)	Интерактивное (запросы к базе данных, аналитика, формирование выборок)	Двустороннее (получение данных из реальности, воздействие на реальность через рекомендации или автоматизированные системы)
Научная основа	Картография	Геоинформатика	Системный анализ и искусственный интеллект, геоинформатика
Временной аспект	Фиксирует состояние территории на момент создания	Оперирует актуальными и архивными данными, поддерживает версиюность	Моделирует прошлое, настоящее и будущее в единой динамической среде
Актуализация данных	Дискретное (после полевых работ и/или камеральной обработки; новая карта – новый продукт), периодическое (например, цифровые топографические планы)	Периодическое	Непрерывное или приближенное к реальному времени; синхронизация с IoT-датчиками и оперативными источниками
Отношение к геопространственным знаниям	Передача формализованных знаний от картографа к пользователю	Инструментальная среда для извлечения знаний из данных	Формирование новых знаний через симуляцию и прогноз, использование формализованных знаний (онтологии) как основы интеграции

В результате проведенного анализа был сделан вывод о том, что ГЦД является не просто геопространственной моделью, а функциональной частью действительности. Картографическое произведение фиксирует и передает пространственную информацию, ГИС-продукт позволяет выявить закономерности

в данных, а ГЦД дает возможность не только понять и предсказать, но и влиять на объекты реального мира.

В классической картографии человек – интерпретатор, который, читая карту, извлекает из нее информацию и знания, в ГИС человек – аналитик, формирующий запросы

и строящий модели, а в ГЦД человек становится партнером, которому система предоставляет прогнозы и рекомендации, а он принимает решения, которые могут быть реализованы через системы автоматизированного управления.

Выявленные качественные различия охватывают все сущностные характеристики геопространственных продуктов – природу модели, тип динамики, типы данных, основную функцию, взаимодействие с пользователем, временной аспект и пр.

Совокупность этих различий образует сдвиг парадигмы – смену фундаментальных принципов организации геопространственных моделей. Этот сдвиг может быть охарактеризован как переход:

- от репрезентации к переплетению;
- статики к операционности;
- интерактивности к симуляции;
- однородности к гетерогенности;
- отображения к управлению;
- пассивности к двунаправленности;
- передачи/извлечения знаний к их формированию;
- ретроспекции к проспекции.

Все это свидетельствует о необходимости пересмотра устоявшихся научных категорий в картографии и геоинформатике.

Очевидно, что цифровой геопространственный двойник не является исключительно геоинформационным продуктом, он представляет собой интеграционную и расширяющую эту сферу технологию. Таким образом, можно сделать вывод, что ГЦД не является эволюционным продолжением картографического произведения или ГИС-продукта. Он представляет собой принципиально новый класс геоинформационных моделей, для которого картографическое отображение служит лишь одним из интерфейсов, но не сущностным ядром.

ГЦД должен быть квалифицирован не как разновидность картографического произведения или ГИС-продукта, а как когнитивная геопространственная система – новый класс объектов, требующий разработки собственной теории, методологии и нормативной базы.

При этом ГИС выступает в роли пространственного фундамента и системообразующего элемента ГЦД, который, в свою очередь, надстраивает над ними дополнительные функциональные уровни (рисунок). Поэтому ГЦД представляет собой не замену ГИС, а ее функциональное расширение и качественное преобразование в когнитивную систему.

ГИС в структуре ГЦД обеспечивает:

- пространственный каркас – единую систему координат и пространственную привязку всех данных;
- интеграцию гетерогенных данных – объединение BIM, IoT, статистики и других источников в едином пространственном контексте;
- пространственный анализ – выявление закономерностей и взаимосвязей, недоступных при изолированном рассмотрении данных;
- визуализацию и иммерсивное взаимодействие – переход от плоских карт к интерактивным 3D-средам;
- прогнозное моделирование – сценарный анализ и поддержку управленческих решений;
- операционную синхронизацию – непрерывное обновление модели в реальном времени.

Таким образом, без ГИС-основы цифровой двойник территории теряет свою геопространственную сущность, превращаясь в набор разрозненных 3D-моделей, не связанных единым пространственным контекстом.

В российской научной литературе появляются работы [14, 19, 20], развивающие методологию создания цифровых двойников на основе ГИС-подходов. В работе [14] предложен метод многоаспектного геоинформационного моделирования, позволяющий создать иерархическую систему цифровых двойников географических территорий. В рамках этого подхода в модель заносится лишь информация, определяющая территорию как систему, а остальные данные импортируются из ГИС через ссылки, что обеспечивает гибкость и масштабируемость.



Структура ГЦД

Такая архитектура создает принципиально новую возможность – геопропространственная информация структурируется не как временной ряд, а играет роль контекста выполнения поведенческих сценариев [14]. Это наделяет цифровой двойник поведенческой функциональностью, позволяя пользователю не только идентифицировать пространственно-временную локализацию событий, но и понимать причинно-следственные механизмы, определяющие динамику системы.

При этом геопропространственные знания в структуре ГЦД выполняют функцию семантического моста, позволяющего интегрировать данные из разных источников (например, ГИС и BIM), что является одной из ключевых методологических проблем при создании ГЦД. Они являются системообразующим элементом геопропространственных цифровых двойников местности, превращающим их из трехмерных моделей в когнитивные системы, предназначенные для анализа, прогнозирования и поддержки принятия решений.

Заключение

В процессе исследования был выполнен анализ эволюции геопропространственных представлений от традиционной карты к геопропространственному цифровому двойнику. Сделан вывод о том, что ГЦД не является эволюционным продолжением картографического произведения или ГИС-продукта, а представляет собой принципиально новый класс геоин-

формационных моделей, для которого картографическое отображение служит лишь одним из интерфейсов, но не сущностным ядром.

ГЦД должен квалифицироваться не как разновидность картографического произведения или ГИС-продукта, а как когнитивная геопропространственная система – новый класс объектов, требующий разработки собственной теории, методологии и нормативной базы.

Геопропространственный цифровой двойник – это междисциплинарный научно-технический комплекс, который находится на стыке классической картографии, ГИС и современных цифровых технологий, значительно расширяющий их аналитические и прогностические возможности.

Выявленные качественные различия между ГЦД и предшествующими классами геоинформационных продуктов, охватывающие все сущностные характеристики, свидетельствуют о парадигмальном сдвиге и, как следствие, необходимости пересмотра устоявшихся научных категорий в картографии и геоинформатике.

Следует отметить, что ГЦД не является заменой геоинформационных систем. ГИС выступает в роли пространственного фундамента и системообразующего элемента ГЦД, который, в свою очередь, надстраивает над ними дополнительные функциональные уровни. Без ГИС-основы ГЦД теряет свою геопропространственную сущность, превращаясь в набор разрозненных 3D-моделей, не связанных единым пространственным контекстом.

Особую роль в структуре ГЦД играют геопропространственные знания – они являются системообразующим элементом геопропространственных цифровых двойников местности, превращающим их из трехмерных моделей в когнитивные системы, предназначенные для анализа, прогнозирования и поддержки принятия управленческих решений.

Дальнейшие исследования в этом направлении должны быть направлены на разработку методологии создания ГЦД, формализацию геопропространственных знаний в виде онтологий, а также на решение проблем совместимости разнородных данных и стандартизации. Кроме того, внимания требует и вопрос правового статуса цифровых двойников.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Салищев К. А. Картография. 3-е изд. перераб. и доп. М. : Высшая школа, 1982. 271 с.
2. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий : монография. Новосибирск : СГГА, 2004. 260 с.
3. Берлянт А. М. Картография : учебник для вузов. М. : Аспект Пресс, 2002. 336 с.
4. Антонов Е. С. Геокогнитивные карты и технологии – новый этап в картографии. Вестник СГУГиТ, 2020. Т. 25, № 2. С. 140–150. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-140-150.
5. Радченко Л. К., Николаева О. Н. Геопространственное моделирование региона как средство познания окружающего мира для широкого круга пользователей. Вестник СГУГиТ, 2024. Т. 29, № 2. С. 100–107. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-100-107.
6. Радченко Л. К., Николаева О. Н. Познавательный аспект в картографии: особенности рационального и чувственного познания при создании и использовании карт. Вестник СГУГиТ. 2021. Т. 26, № 3. С. 108–115. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-3-108-115.
7. Лурье И. К. Основы геоинформатики и создание ГИС ; под ред. А. М. Берлянта. Москва : ИНЭКС-92, 2002. 140 с.
8. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков : учебник. М. : Изд-во МГУ, 2008. 424 с.
9. Берлянт А. М. Геоинформатика : учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2010. 86 с.
10. Batty M. Cities and complexity : understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals. Cambridge, MA : The MIT Press, 2005. 565 p.
11. Басаргин А. А. Разработка концепции моделирования и симуляции цифровых двойников городской территории для решения практических задач. Вестник СГУГиТ, 2024. Т. 29, № 4. С. 83–90. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-83-90.
12. De Smith M. J., Goodchild M. F., Longley P. A. Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools. 6th ed. London : The Winchelsea Press, 2018. 617 p.
13. Kitchin R., Dawkins O. Digital twins and deep maps. Transactions of the Institute of British Geographers. 2025. Vol. 50, no. 1. P. 1–7. DOI 10.1111/tran.12699.
14. Верховая Г. В., Акимов С. В., Присяжнюк А. С. Метод многоаспектного геоинформационного моделирования географического района. Информация и Космос. 2021. № 4. С. 32–39.
15. Beani E., Colucci E., La Riccia L., Lingua A.M. et al. The 3D Metric Survey for the Digital Cartographic Production to Support the Knowledge of the New Municipality of Mappano. Post Un-Lock. The Urban Book Series. Springer, Cham, 2023. P.153–168. DOI 10.1007/978-3-031-33894-6_12.
16. Bauer M. Towards Cognitive Digital Twins: A Review of Semantic Data Models for Built Environment. Buildings, 2024. Vol. 14, no. 7. P. 2216.
17. Ellul C., Stoter J. E., Bucher B. et al. Towards National Connected Digital Twins: A Geospatial Perspective. ISPRS Annals, 2024. Vol. X-4/W5-2024. P. 147–154. DOI 10.5194/isprs-annals-X-4-W5-2024-147-2024.
18. Jones D., Snider S., Nassehi A. et al. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2020. Vol. 29. P. 36–52. DOI 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.
19. Сукманова Т. В., Белов Н. С. Цифровой двойник как инструмент моделирования и оптимизации сложных природных и технических систем. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Естественные науки, 2025. № 1. С. 40–57. DOI 10.5922/vestniknat-2025-1-3.
20. Волкова Т. А., Кузякина М. В., Караган А. В., Ряскин А. А. Проблемы и перспективы создания цифровых двойников объектов культурного наследия Краснодарского края. Information and mathematical technologies in science and management, 2025. № 4 (40). С. 164–174. DOI 10.25729/ESI.2025.40.4.013.

REFERENCES

1. Salishchev, K. A. (1982). *Cartography [Kartografiya]*. Moscow: Higher school Publ., 271 p. [in Russian].
2. Karpik, A. P. (2004). *Methodological and Technological Foundations of Geoinformation Support for Territories [Metodologicheskie i tehnologicheskie osnovy geoinformacionnogo obespecheniya territorij]*. Novosibirsk: SGGA Publ., 260 p. [in Russian].
3. Berlyant, A. M. (2002). *Cartography [Kartografiya]*. Moscow: Aspect Press Publ., 336 p. [in Russian].
4. Antonov, E. S. (2020). Geocognitive Maps and Technologies: A New Stage in Cartography. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2 (25), 140–150. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-140-150 [in Russian].
5. Radchenko, L. K., Nikolaeva, O. N. (2024). Geospatial Modeling of a Region as a Means of Understanding the Environment for a Wide Range of Users. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 29 (2), 100–107. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-100-107 [in Russian].
6. Radchenko, L. K., Nikolaeva, O. N. (2021). The Cognitive Aspect in Cartography: Features of Rational and Sensory Cognition in the Creation and Use of Maps. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26 (3), 108–115. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-3-108-115 [in Russian].
7. Lurie, I. K. (2002). *Fundamentals of Geoinformatics and GIS Creation [Osnovy geoinformatiki i sozдание GIS]*. Moscow: INEKS-92 Publ., 140 p. [in Russian].
8. Lurie, I. K. (2008). *Geoinformation Mapping. Methods of Geoinformatics and Digital Processing of Satellite Images [Geoinformatsionnoe kartografirovanie. Metody geoinformatiki i tsifrovoy obrabotki kosmicheskikh snimkov]*. Moscow: Moscow State University Press, 424 p. [in Russian].
9. Berlyant, A. M. (2010). *Geoinformatics [Geoinformatika]*. Moscow: MSU Publ., 86 p. [in Russian].
10. Batty, M. (2005). *Cities and complexity : understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. Cambridge, MA: The MIT Press, 565 p.
11. Basargin, A. A. (2024). Development of a Concept for Modeling and Simulation of Digital Twins of Urban Areas for Solving Practical Problems. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 29(4), 83–90. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-83-90 [in Russian].
12. De Smith, M. J., Goodchild, M. F., Longley, P. A. (2018). *Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. London: The Winchelsea Press, 617 p.
13. Kitchin, R., Dawkins, O. (2025). Digital Twins and Deep Maps. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 50(1), 1–7. DOI 10.1111/tran.12699.
14. Verkhova, G. V., Akimov, S. V., Prisyazhnyuk, A. S. (2021). Method of Multidimensional Geoinformation Modeling of a Geographical Region. *Information and Space [Informatsiya i Kosmos]*, 4, 32–39 [in Russian].
15. Beani, E., Colucci, E., La Riccia, L., Lingua, A. M., et al. (2023). The 3D Metric Survey for the Digital Cartographic Production to Support the Knowledge of the New Municipality of Mappano. *In Post Un-Lock. The Urban Book Series*. Springer, Cham, 153–168. DOI 10.1007/978-3-031-33894-6_12.
16. Bauer, M. (2024). Towards Cognitive Digital Twins: A Review of Semantic Data Models for Built Environment. *Buildings*, 14(7), P. 2216.
17. Ellul, C., Stoter, J. E., Bucher, B., et al. (2024). Towards National Connected Digital Twins: A Geospatial Perspective. *ISPRS Annals*, X-4/W5-2024, 147–154. DOI 10.5194/isprs-annals-X-4-W5-2024-147-2024.
18. Jones, D., Snider, S., Nassehi, A., et al. (2020). Characterising the Digital Twin: A Systematic Literature Review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 29, 36–52. DOI 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.
19. Sukmanova, T. V., Belov, N. S. (2025). Digital Twin as a Tool for Modeling and Optimization of Complex Natural and Technical Systems. *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series:*

Natural Sciences [Vestnik Baltiyskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye nauki], 1, 40–57. DOI: 10.5922/vestniknat-2025-1-3 [in Russian].

20. Volkova, T. A., Kuzyakina, M. V., Karagyan, A. V., Ryaskin, A. A. (2025). Problems and Prospects of Creating Digital Twins of Cultural Heritage Objects in the Krasnodar Territory. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*, 4(40), 164–174. DOI:10.25729/ESI.2025.40.4.013 [in Russian].

Об авторах

Анастасия Олеговна Лебзак – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры картографии и геоинформатики.

Евгений Викторович Лебзак – кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики.

Светлана Сергеевна Янкелевич – доктор технических наук, профессор, ректор.

Author details

Anastasiya O. Lebzak – PhD, Senior Lecturer, Department of Cartography and Geoinformatics.

Evgenii V. Lebzak – PhD, Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics.

Svetlana S. Yankelevich – DSc, Professor, Rector.

Получено / Received 21.04.2026

Поступила после рецензирования / Revised 17.08.2026

Принята к публикации / Accepted 07.09.2026