

Концепции Цифровой Земли и метавселенной: их соотношение и тенденции развития

В.О. Панин¹

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, дом 1, строение 13, г. Москва, 119234, Россия

Аннотация

Статья посвящена сравнительному анализу изменений, произошедших за последние два года в содержательной стороне двух идеологических концепций web 3.0 – метавселенной и «Цифровой Земли», обе из которых были представлены миру в 1992 году, однако до настоящего времени развивались обособленно, причем проект «Цифровая Земля» разрабатывался при поддержке различных государств, метавселенная же до недавнего времени концептуально разрабатывалась и продвигалась только небольшим сообществом частных субъектов. В статье приведен анализ содержательного изменения термина «метавселенная» с середины 2022 по 2023 годы, сделаны выводы относительно перспектив дальнейшего развития данной концепции с учетом ее синергетического развития совместно с концепцией «Цифровой Земли», а также о соотношении терминов метавселенная и Виртуальная Земля на текущий момент времени.

Ключевые слова

Цифровая Земля, виртуальный двойник, метавселенная, web. 3.0, тенденции развития.

Digital Earth and Metaverse Concepts: Correlation and Development Trends

V.O. Panin¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Leninskiye Gory, 1, building 13, Moscow, 119991, Russia.

Abstract

The article is devoted to a comparative analysis of the changes that have occurred over the past two years in the content of two ideological concepts of web 3.0 - the metaverse and the Digital Earth, both of which were introduced to the world in 1992, but have been developed separately until now. The Digital Earth project was developed with the support of different states, while the meta-universe was conceptualized and promoted only by a small community of private actors until recently.

The article analyzes the meaningful change of the term «metaverse» from the middle of 2022 to 2023, draws conclusions about the prospects of further development of this concept taking into account its synergetic development together with the concept of Digital Earth, as well as the correlation of the terms meta-universe and Virtual Earth at the current moment of time.

Keywords

Digital Earth, virtual twin, metaverse, web. 3.0, development trends.

1. Введение

Сегодня в различных областях человеческой деятельности применяются технологии виртуального 3D-моделирования: начиная от создания моделей и окружения для трехмерных игр, трехмерной графики для фильмов с использованием игровых движков и заканчивая созданием полноценных виртуальных двойников (digital twins) реально существующих

ГрафиКон 2023: 33-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-21 сентября 2023 г., Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

EMAIL: valeri-panin@yandex.ru (В.О. Панин)

ORCID: 0000-0001-9022-323X (В.О. Панин)



© 2023 Copyright for this paper by its authors.

Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

объектов. Активное внедрение 3D-моделирования в производственную и иную деятельность в целях эффективного управления и прогнозирования – одно из важных направлений в политике Европейского Союза и иных стран. В частности, в рамках программы Horizon Europe, которая реализуется в соответствии с объявленной в Европейском союзе политикой цифрового десятилетия (digital decade 2030) [1], разрабатываются и финансируются проекты, связанные с использованием виртуальных двойников в области ветроэнергетики (виртуальные двойники кластеров ветряных мельниц) [2], и в области дорожного движения (проект по созданию виртуальных двойников дорожно-транспортной инфраструктуры с целью дистанционного регулирования дорожного трафика, в том числе с учетом погодных условий, а также на аварийных участках и местах проведения дорожных работ) [3]. При этом приведенные выше проекты по созданию виртуальных двойников разрабатываются с учетом их интеграции с данными из общеевропейского проекта «Destination Earth», который является современным отражением концепции «Цифровой Земли» на государственном уровне в Европейском Союзе [4].

На недавно прошедшем 13-м международном симпозиуме по «Цифровой Земле» (11-14 июля 2023 года, Афины, Греция) была рассмотрена проблема множественности определений такого термина, как «Цифровая Земля». Президент Международного общества Цифровой Земли (ISDE) в своем приветственном письме обратил внимание на обилие концепции «Цифровой Земли» и ее определений, в числе которых также присутствует определение понятия «Цифровая Земля» как метавселенной [5].

В настоящее время отсутствуют научные статьи, посвященные сравнению и сопоставлению концепций «Цифровой Земли» и метавселенной, как ключевых компонентов идеологической составляющей web 3.0, за исключением тезисов двух докладов на упомянутом выше 13-м международном симпозиуме по «Цифровой Земле», в которых косвенно упомянута данная проблема. Изложенное свидетельствует о научной новизне и необходимости теоретического осмысления соотношения концепции «Цифровой Земли» и концепта метавселенной, определения перспектив их взаимодействия и развития.

2. Кризис концепции метавселенной середины 2022 – 2023 годов

Концепт метавселенной широко обсуждался в течение последних двух лет на международном и национальном уровнях, после заявления Марка Цукерберга о создании общемировой среды виртуальной реальности к 2030-му году [6]. Слово «метавселенная» (“metaverse”) было одним из самых распространенных общемировых поисковых запросов, начиная с октября 2021 года по февраль 2022 года (индекс платформы google trends от 93% до 100% [7]). В соответствии с данными, опубликованными платформой «Yandex wordstat», пиковое значение запросов с тематикой метавселенной в Российской Федерации в поисковой системе Yandex также пришлось на период с декабря 2021 года по март 2022 года [8].

В настоящее время фиксируется период спада интереса к концепции метавселенной, одним из основных факторов которого называют чрезмерно большой технологический разрыв между уровнем существующих сегодня технологий (в том числе AR/VR) и тем уровнем, который необходим для реализации основных характерных особенностей метавселенной, как идеального теоретического концепта. В отдельных научных статьях отмечается, что для создания виртуальной экосистемы, обладающей характерными чертами, присущими концепту метавселенной, необходимо тысячекратное увеличение эффективности вычислений по сравнению с сегодняшним уровнем технологического развития; при этом в соответствии с Законом Мура интенсивное развитие информационных технологий не должно превысить десятикратный показатель в течение ближайших пяти лет [9].

Напомним, что в технологической части метавселенной, прежде всего, следует рассматривать аппаратное (в том числе сетевое) обеспечение, включающее в себя оборудование для получения доступа к виртуальной либо дополненной реальности и вычислительные мощности (микропроцессоры и проч.), необходимые для стабильного функционирования метавселенной, а также универсальные стандарты обмена данными [10]. В литературе в числе основных недостатков оборудования для доступа к виртуальной реальности называют: низкое

качество дисплеев, которые не обеспечивают полноценного погружения в виртуальную реальность, громоздкость и недостаточная эргономичность VR/AR-гарнитур, влекущие за собой побочные эффекты у пользователей, а также недостаток качественного контента [11].

Двухлетний период (2021-2023 гг.) наглядно продемонстрировал неготовность рынка информационных технологий для реализации задуманного интенсивного перехода к новой итерации Интернета. Акции компании «Meta» (признана в России экстремистской организацией) пережили трехкратный «обвал» с более 360 долларов за акцию в августе 2021 года до 93 долларов в октябре 2022 года с последующим постепенным возрастанием в период с ноября 2022 по июль 2023 до 293 долларов за акцию (по состоянию на 21.07.2023) [12], которое связано в том числе с отказом организации от публичного обсуждения проекта метавселенной из-за опасений существенной части инвесторов. При этом разработка компанией технической составляющей проекта метавселенной продолжается. Согласно отчетности, опубликованной Pew Research Center, 56% респондентов из числа разработчиков и технических новаторов заявили о том, что считают возможным появление полностью иммерсивной и более совершенной метавселенной к 2040-му году [13] (в отличие от изначальной проектной даты – 2030 года).

В среде технических специалистов отмечается, что такие компании, как Apple Inc, Microsoft Corporation, Sony Group Corporation не раскрывают объем инвестиций, направленных в развитие технологий виртуальной реальности, при этом активно разрабатывают VR/AR устройства: устройство смешанной реальности Apple Vision Pro (2024), PlayStation VR2 (февраль 2023) и др., которым только предстоит получить распространение в среде пользователей. Проводя аналогию с технологической революцией, которую произвела компания Apple, выпустив iPhone, презентовав его как продукт 3 в 1 (телефон, музыкальный плеер, и интернет-коммуникатор), Мэтью Бол справедливо отмечает, что компания концептуально объединила в одно устройство уже существующие технологии, произведя «революцию» в сознании пользователей; реализация концепции метавселенной, напротив, требует разработки информационных технологий иного уровня, что обуславливает сложность восприятия и понимания концепции метавселенной, в том числе со стороны инвесторов [14].

Изложенное позволяет прийти к выводу, что на данном этапе, когда на концептуальном уровне известны характерные черты метавселенной, необходимо наблюдать за конкретными технологиями и процессом их развития, а также изучать иные концепции, существующие в рамках общей идеологии Web 3.0, с целью их совместного синергетического развития. В настоящее время можно констатировать, что происходит корректировка понимания «метавселенной» от гипотетически возможной единой «экосистемы» виртуальных миров к конкретным технологиям, ее составляющим. В частности, созданный в середине 2022 года Международный некоммерческий консорциум «The Metaverse Standards Forum», учредителями которого являются более шестидесяти организаций, в том числе LG Electronics, Microsoft Corporation, Sony, Siemens и др.², официально называет в числе технологий, охватываемых на сегодняшний день концепцией метавселенной – также геопространственные системы, интернет вещей и концепцию цифровых двойников [15]. Иными словами, происходит определенная переориентация с сугубо виртуального и абстрактного понимания метавселенной на его рассмотрение с точки зрения взаимодействия физического и виртуального миров, что является следствием адаптации под текущий уровень развития информационных технологий и связано с поиском путей дальнейшего развития концепции метавселенной на первичном этапе.

3. Концепция «Цифровой Земли» и web 3.0

Как отмечено во введении, концепция «Цифровой Земли» выступает одним из приоритетных направлений в западных государствах, виртуальная земля выступает своего рода основным виртуальным двойником (digital twin) общепланетарного масштаба, который включает в себя иные технологические проекты, связанные с применением 3D -моделей виртуальных двойников

² Совокупное число участников превышает несколько сотен организаций, связанных с разработкой программного обеспечения и новых технологических решений.

в локальных, менее глобальных целях (по аналогии с упомянутым выше проектом по созданию виртуальных двойников в области ветроэнергетики, интегрированным с данными из проекта «Destination Earth»). Следует согласиться с теми авторами, которые называют концепцию «Цифровой Земли» - «системой систем», характерной чертой которой выступает возможность неограниченного внедрения в нее дополнительных информационных моделей [16].

При этом сам термин «Цифровая земля» в своем содержании претерпел существенные изменения за последние два десятилетия. Традиционно выделяют 2 подхода к определению Цифровой Земли (узкий и широкий), которые исторически непосредственно связаны с двумя аспектами понимания такой области знания, как неогеография. Узкий подход имеет более технологическую направленность и рассматривает под «Цифровой Землей» (неогеографией) определенный метод работы с геоданными, характеризующийся совокупностью трех признаков: всеракурсностью, всемасштабностью и использованием беззнаковых средств для представления геопространственного контекста [17]. В широком смысле под «Цифровой землей» понимается сложная неоднородная информационная среда, объединяющая многочисленные виды информации – карты, изображения, видео-, аудиоматериалы, абстрактные ее представления (тексты, знаки, символы), а также 3D-модели в едином геоцентрическом пространстве; «новая область социальных отношений, создаваемая виртуальными сообществами», включающая в себя в том числе эфемерные города, воображаемое городское планирование и проч. [16, с. 90-91, 100].

Из изложенного следует вывод, что широкое понимание концепции Цифровой Земли имеет сходные черты с концептом метавселенной, в связи с чем в настоящее время начинает утверждаться тезис о том, что Виртуальная Земля и является метавселенной (в несколько ограниченном по сравнению с изначальной концепцией варианте), построенной на системе цифровых двойников и имеющей привязку к физическому миру, которая позволяет восполнить пробелы в геовизуализации и «вернуть абстракцию в реальность» [18]. На сегодняшний день Международным обществом Цифровой Земли выделяются четыре ее основные трактовки [19]:

1. высокоточная (но при этом в то же время простая из-за отсутствия качеств виртуального двойника) трехмерная модель земли, которая может использоваться обществом на безвозмездных началах в общественно-полезных целях (аналогия с улучшенной версией Google Earth);
2. виртуальный двойник (digital twin), связывающий термодинамические свойства нашей планеты с соответствующими экологическими, экономическими и социальными явлениями (аспект экологического, экономического и социального планирования), включающий в себя множество подсистем (цифровых двойников иных объектов); Характерной чертой «Цифровой Земли» как виртуального (цифрового) двойника выступает возможность двойной и непрерывной передачи информации (реальный объект – цифровой двойник, цифровой двойник – реальный объект);
3. информационная структура для развития общего понимания сложных отношений между обществом и окружающей средой на благо общества;
4. связь между реальной и виртуальной планетой Земля с целью управления обществом, окружающей средой и экономикой посредством лучшего понимания глобальной и локальной динамики (метавселенная);

На сегодняшний день официально заявлено, что с 2023 года концепция «Цифровой Земли» с методологической точки зрения переходит от инфраструктуры пространственных данных к парадигме полноценной цифровой экосистемы [20]. В связи с чем в перечень проблемных вопросов, охватываемых проблематикой цифровой земли в настоящее время также включены: проблема единых международных стандартов обмена данными и функциональной совместимости, развитие иммерсивной составляющей; проблемы обеспечения информационной безопасности и доверия в рамках экосистемы цифровой земли, проблемы этики систем искусственного интеллекта и обработки данных; вопросы геоконфиденциальности; регулирование феномена «поддельных данных» (“fake data”) (в том числе в контексте фальсификации, модификации аэрофотоснимков с целью скрыть или исказить

географическую информацию), создание нормативного регулирования и саморегулирования в указанных областях и др.

Очевидно, что приведенные выше четыре определения охватывают различные аспекты феномена под названием «Цифровая Земля», и во многом дополняют друг друга.

С учетом изложенного, учитывая обозначенную выше тенденцию на отход от восприятия метавселенной как абстрактного феномена с переходом к анализу и изучению конкретных технологий и проблем, международным обществом цифровой земли предложено новое определение. «Цифровая земля – это платформа для поддержки национального и международного сотрудничества в целях глобального устойчивого развития и устойчивости к стихийным бедствиям, а также как важный механизм, обеспечивающий экономический рост, социальное благосостояние и рациональное использование окружающей среды. Цифровая Земля использует информационные технологии для моделирования земных систем, включая их экологические, культурные и социальные аспекты. Видение Цифровой Земли не ограничено масштабом и временем, это многомерная и многоуровневая информационная система систем, поддерживающих сервисы геолокации и иммерсивные виртуальные среды» [21].

Отдельно обозначено, что в контексте «Цифровой Земли» имеют значение следующие характерные черты метавселенной: трехмерность, синхронность, постоянство и возможность участия неограниченного количества участников в одном и том же событии. Названные характеристики коррелируют с двумя главными особенностями Цифровой Земли, обозначенными Альбертом Гором: трехмерность (3D) и всемасштабность [22].

Таким образом, две концепции (метавселенная и «Цифровая Земля»), обе из которых впервые были описаны в художественной литературе в 1992 году³, взаимодействуют друг с другом с целью взаимного преодоления недостатков (ограничений) каждой из концепций, существующих на сегодняшний день. Организации, занимающиеся развитием виртуальной метавселенной (учредители и участники The Metaverse Standards Forum, 2022-23), используют переход к геопространственным данным и системам для преодоления текущего абстрактного, «эфмерного» характера метавселенной, связанного с недостаточным развитием необходимых информационных технологий. Представители международного общества цифровой земли, с другой стороны, также используют концепт метавселенной (в том числе его игровую составляющую и область индустрии развлечений и искусства) для расширения перечня рассматриваемых проблем и областей применения реализуемых технологических и программных решений.

Подобные изменения оправданы, так как действительно, создание среды дополненной реальности, привязка с геоинформационным системам Цифровой Земли, - первый и более реалистичный этап на пути к (во многом идеалистичной на данный момент) цели построения экосистемы полностью иммерсивных виртуальных миров (платформ). В научных докладах на 13-м международном симпозиуме по цифровой земле (11-14 июля 2023 года, Афины, Греция) отмечается, что в основе следующей ступени эволюции виртуальных экосистем будет лежать идея с подключением виртуального мира (копии земли, квартиры, города) к интернету вещей и оказание влияния (то есть управления объектами реального мира) путем взаимодействия их виртуальными двойниками; виртуальная географическая среда в настоящее время является наилучшим способом построения географической метавселенной с учетом деятельности человека [18, 23];

При этом необходимо отметить, что «Цифровая Земля» ни как виртуальный двойник планетарного масштаба, ни как полноценная цифровая экосистема (метавселенная) в настоящее время не создана. Европейский проект Destination Earth запланирован к реализации в течение 2024 года (в контексте виртуального двойника), создание полноценной цифровой экосистемы – задача, реализация которой потребует значительного количества времени, конкретные сроки не установлены.

При этом отдельные проекты применения виртуальных двойников, связанные с решением экологических и экономических задач, в том числе рационального использования ресурсов

³ Термин «metaverse» впервые был упомянут в романе Нила Стивенсона «Snow Crash», 1992, концепция «Digital Earth» отсчитывает свою историю от книги вице-президента Соединенных Штатов Америки Альберта Гора «Earth in the balance: ecology and the human spirit», 1992.

Земли, проекты, ориентированные на строительство, например, аэропортов, уже успешно реализуются на сегодняшний день [24]. В частности, виртуальные двойники в области возобновляемых источников энергии (ветроэнергетика, ГЭС и др.) используются в Бразилии как на этапе проектирования соответствующих систем с точки зрения их размещения с учетом природных условий и реальной потребности в электроэнергии, так и на этапе эксплуатации (виртуальный двойник на основе анализа геопространственной информации и фотоснимков с использованием системы ИИ предсказал опасность наводнения в области энергетической станции) [25]. В будущем планируется управление отдельными элементами электростанций посредством взаимодействия через виртуального двойника. Виртуальные двойники также используются в городском строительстве и развитии и в перспективе могут быть интегрированы с системой умный город (smart city), выведя ее на принципиально новый уровень взаимодействия (MetaOmniCity) [9].

Кроме того, уже сегодня существуют первые прототипы метавселенных, основанных на синергии с концепцией «Цифровой Земли»: платформы Earth2, NextEarth, виртуальная экосистема которых основана на информации из космических снимков со спутников планеты Земля и интегрирована с системами невзаимозаменяемых токенов, и внутриигровым графическим движком, которые в совокупности позволяют приобретать виртуальные земельные участки [26]. Платформа NextEarth также предлагает новые схемы экономического взаимодействия между объектами реального мира и их виртуальными копиями⁴: в частности, выплату собственнику виртуального участка вознаграждения за осуществление полета над виртуальным земельным участком самолетом конкретной авиакомпании, в реальном мире, с которой у создателей платформы заключен договор, а также предоставление услуг по приобретению авиабилетов [27]. Однако информация о результатах применения данной конструкции на практике в настоящее время отсутствует.

4. Выводы (заключение)

Подводя итог следует отметить следующие выводы:

1. На сегодняшний день происходит взаимная интеграция концепций метавселенной и «Цифровой Земли», сопровождающаяся корректировкой понимания как метавселенной (отход от абстрактного понимания метавселенной), так и «Цифровой Земли» (в сторону расширения содержательной стороны термина);
2. Акцент на развитии конкретных технологий и концепций, составляющих метавселенную (web 3.0), таких как интернет вещей, искусственный интеллект, цифровые двойники, геопространственные системы и др.;
3. Расширение списка вопросов, рассматриваемых в рамках концепции «Цифровой Земли»: проблема создания единых международных стандартов обмена данными, функциональной совместимости, развития иммерсивной составляющей; обеспечения информационной безопасности и доверия в рамках экосистемы «Цифровой Земли», проблемы этики систем искусственного интеллекта и обработки данных; вопросы геоконфиденциальности; регулирование феномена «поддельных данных» (“fake data”), создание нормативного регулирования и саморегулирования в указанных областях и др.;
4. В основе следующей ступени эволюции виртуальных экосистем будет лежать идея с подключением виртуального мира (копии земли, квартиры, города) к интернету вещей и оказание влияния (управление объектами реального мира) путем взаимодействия с их виртуальными двойниками.
5. С учетом изменений в терминологии, произошедших в период с середины 2022 по первую половину 2023 года, допустимо рассматривать «Цифровую Землю» в широком смысле и метавселенную в качестве синонимов с определенными допущениями.

⁴ В данном контексте подобные виртуальные земельные участки не являются виртуальными двойниками. Речь идет об обычной виртуальной модели с точки зрения терминологии.

5. СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Политическая программа «Цифровое десятилетие 2030» [электронный ресурс]: решение Европейского парламента № 2022/2481 от 14.12.2022 // Официальный сайт правовой информации Европейского союза. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2022/2481/oj> (дата обращения 20.07.2023).
- [2] Программа «Digital twin for forecasting of power production to wind energy demand». HORIZON-CL5-2023-D3-02 [электронный ресурс] // Официальный сайт проекта Horizon Europe. URL: <https://www.horizon-europe.gouv.fr/digital-twin-forecasting-power-production-wind-energy-demand-32881> (дата обращения 19.07.2023).
- [3] Программа «Infrastructure-enabled solutions for improving the continuity or extension of Operational Design Domains (ODDS)» HORIZON-CL5-2023-D6-01-03 [электронный ресурс] // Официальный сайт Европейской комиссии. URL: <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/horizon-cl5-2023-d6-01-03> (дата обращения 20.07.2023).
- [4] Проект Destination Earth [электронный ресурс] // Официальный сайт Европейской комиссии. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_1977 (дата обращения 17.07.2023).
- [5] Приветственное письмо Президента Международного общества цифровой земли (ISDE) [электронный ресурс] // Официальный сайт 13-го международного симпозиума URL: <https://pcosonvin.eventsair.com/isde23> (дата обращения 19.07.2023).
- [6] Are We in the metaverse yet? [электронный ресурс] // Официальный сайт издания The New York times. URL: <https://www.nytimes.com/2021/07/10/style/metaverse-virtual-worlds.html> (дата обращения 19.07.2023).
- [7] Динамика популярности по поисковому запросу «metaverse» по всему миру. Сервис google trends. [электронный ресурс]. URL: <https://trends.google.ru/trends/explore?date=today%205-y&q=metaverse&hl=ru> (дата обращения 19.07.2023).
- [8] История поисковых запросов по фразе «метавселенная» [электронный ресурс] // Сервис «Яндекс Подбор слов». URL: <https://wordstat.yandex.ru/#!/history?words=метавселенная> (дата обращения: 21.07.2023).
- [9] MetaOmniCity: Toward Immersive Urban Metaverse Cyberspaces Using Smart City Digital Twins [электронный ресурс] / Kaya Kuru. IEEE Access. Volume 11. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10114912> (дата обращения 19.07.2022).
- [10] Панин В.О. Виртуальные метавселенные как этап развития информационных технологий // Материалы международной конференции Российского национального комитета по истории и философии науки и техники РАН, посвященной 90-летию Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН (28 марта – 1 апреля 2022 г.). М.: ИИЕТ РАН, 2022. С. 479.
- [11] Славин О.А., Гринь Е. Обзор технологий виртуальной и дополненной реальности // Труды института системного анализа Российской академии наук. 2019 № 3 С. 42–54.
- [12] Котировки акций Meta Platforms Inc (признана в РФ экстремистской организацией) в режиме реального времени [электронный ресурс] // Инвестиционная платформа Investing.com. URL: <https://ru.investing.com/equities/facebook-inc> (дата обращения 21.07.2023).
- [13] Metaverse in 2040. [электронный ресурс] // Pew Research Center. URL: <https://www.pewresearch.org/internet/2022/06/30/the-metaverse-in-2040/> (дата обращения 21.07.2023).
- [14] Mettew Ball. Why VR/AR Gets Farther Away as It Comes Into Focus [электронный ресурс]. URL: <https://www.matthewball.vc/all/why-vrar-gets-farther-away-as-it-comes-into-focus> (дата обращения 20.07.2023).
- [15] Официальный сайт международного некоммерческого консорциума «The Metaverse Standards Forum» [электронный ресурс]. URL: <https://metaverse-standards.org/> (дата обращения 20.07.2023).

- [16] Батурич Ю.М. От Интернета до виртуальной Земли и метавселенной (краткая история информационных технологий на критическом рубеже). – Москва: ИИЕТ РАН – Саратов: ООО «Амирит», 2022. С.97.
- [17] Еремченко Е.Н. Предыстория концепции Цифровой Земли. – ГеоКонтекст, 2019, т. 7. №1. С. 45-54.
- [18] Sun C. Towards a spatial metaverse: Building immersive virtual experiences with digital twin and game engine [электронный ресурс] // ISDE 2023 Abstract Book. С. 65. URL: <https://convin.gr/assets/files/misc/ISDE2023AbstractBook.pdf> (дата обращения 21.07.2023).
- [19] Digital earth: yesterday, today, and tomorrow [электронный ресурс] / А. Annoni [и др.] // International Journal of Digital Earth Volume 16, 2023 - Issue 1. Раздел 3.1 URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17538947.2023.2187467> (дата обращения: 21.07.2023).
- [20] Digital earth: yesterday, today, and tomorrow [электронный ресурс] / А. Annoni [и др.] // International Journal of Digital Earth Volume 16, 2023 - Issue 1. Раздел 5.2.1. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17538947.2023.2187467> (дата обращения: 21.07.2023).
- [21] Digital earth: yesterday, today, and tomorrow [электронный ресурс] / А. Annoni [и др.] // International Journal of Digital Earth Volume 16, 2023 - Issue 1. Раздел 6.4.2. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17538947.2023.2187467> (дата обращения: 21.07.2023).
- [22] Батурич Ю.М. Указ соч. С 98.
- [23] Digital Twin Human Geographic Environment [электронный ресурс] / Lin H, Xu B, Xiao X, Chen Y // ISDE 2023 Abstract Book. С. 66. URL: <https://convin.gr/assets/files/misc/ISDE2023AbstractBook.pdf> (дата обращения 21.07.2023).
- [24] Terry Bills. San Francisco Airport's Dynamic Twin Has Transformed Operations [электронный ресурс] / официальный сайт компании ESRI. URL: <https://www.esri.com/about/newsroom/blog/san-francisco-airport-bim-gis-processes/> (дата обращения 21.07.2023).
- [25] Matt Piper. A Network Digital Twin Helps Brazil Utility Expand Renewable Energy [электронный ресурс] / официальный сайт компании ESRI. URL: <https://www.esri.com/about/newsroom/blog/brazil-utility-network-digital-twin/> (дата обращения 21.07.2023).
- [26] Официальный сайт проекта Earth 2 [электронный ресурс]. URL: <https://earth2.io/> (дата обращения 20.07.2023).
- [27] Официальный сайт проекта NextEarth [электронный ресурс]. URL: <https://nextearth.io/> (дата обращения 20.07.2023).