

Цифровизация культурного наследия: концептуальные аспекты, результаты исследований и практические подходы к применению

Сяо Цзяньли, Бай Чжичен, Му Синъюй

Аннотация

Благодаря стремительному развитию цифровых технологий дигитализация культурного наследия стала трансформационным подходом к его сохранению, передаче и инновационному использованию. В данной статье рассматриваются концептуальные основы дигитализации культурного наследия на основе положений ЮНЕСКО, подробно излагаются её определение и сфера применения с акцентом на важности цифровых технологий для защиты культурного наследия. Далее в статье анализируется процесс развития цифровизации культурного наследия — от его зарождения до этапа масштабирования — с акцентом на всё более сложное применение цифровых технологий в сохранении исторического наследия. В тексте излагаются технические методы цифровизации культурного наследия и рассматриваются их возможности в документировании, защите и презентации объектов наследия. Предлагаются новые подходы к исследованиям в области цифровизации культурного наследия, включая технологически обусловленную трансформацию традиционных европейских систем охраны наследия, критическую переоценку аутентичности и целостности в процессе цифровизации, а также анализ социальных аспектов этого процесса. На примерах конкретных случаев статья демонстрирует значительную ценность цифровизации культурного наследия как в международной, так и в китайской контекстах. В документе утверждается, что цифровизация культурного наследия — это не просто применение технологий, а также переосмысление подходов к его сохранению, открывая новые возможности для социального участия. Он предлагает новые подходы и стратегии для устойчивого развития культурного наследия.

Ключевые слова: цифровая защита; цифровые технологии; разработка цифровых платформ; управление культурным наследием; практика и освещение

В октябре 2017 года в докладе XIX съезда Коммунистической партии Китая впервые была включена концепция «Цифровой Китай» в программный документ партии, что знаменовало начало нового этапа строительства Цифрового Китая. С наступлением цифровой эры стремительное развитие цифровых технологий открыло беспрецедентные возможности для сохранения, передачи и инновационного использования культурного наследия. Культурное наследие, являясь свидетельством человеческой истории и воплощением человеческой мудрости, обладает богатыми культурными значениями и исторической ценностью. Однако традиционные методы его сохранения сталкиваются с рядом ограничений: естественное старение и разрушение материального культурного наследия, а также сокращение числа носителей нематериального культурного наследия. На этом фоне возникла цифровизация наследия, открывая новые возможности для его защиты и передачи.

В 2022 году в рамках памятных мероприятий, посвящённых 50-летию Конвенции о защите мирового культурного и природного наследия, под девизом «Следующие 50 лет: Мировое наследие как источник устойчивости, человечности и инноваций», цифровая трансформация была определена как одна из пяти ключевых областей для исследований и обсуждений.

Поэтому изучение уровня развития цифровизации культурного наследия и анализ его значимости, а также практических подходов к применению в современном городском и сельском развитии стали насущной научной задачей. Такие исследования будут способствовать э

эффективной защите, сохранению и устойчивому развитию историко-культурного наследия в цифровую эпоху.

В последние годы цифровые технологии играют всё более важную роль в исследованиях культурного наследия. С одной стороны, простое фиксирование физического состояния объектов наследия уже не соответствует требованиям современной охраны и управления культурным наследием. Опираясь исключительно на сохранение физических остатков, невозможно в полной мере раскрыть ценность культурного наследия, что затрудняет устойчивое пере-дачу культурных ценностей и развитие наследия. С другой стороны, изменение климата, выбросы парниковых газов, стихийные бедствия и разрушения, вызванные деятельностью человека, усугубляют сложности охраны культурного наследия. Сложность наследия предъявляет более высокие требования к методам исследований и управления, что делает цифровизацию важным направлением и ключевой областью современных исследований и практики в области культурного наследия. Развитие цифровых технологий позволило найти новые решения для защиты культурного наследия.

1 Концепция и проявления цифровизации наследия

1.1 Концептуальные основы цифровизации культурного наследия

Исследования и обсуждения вопросов цифровизации культурного наследия в области международной консервации культурного наследия имеют долгую историю. Еще 15 октября 2003 года ЮНЕСКО приняла Хартию о сохранении цифрового наследия, в которой подчеркивается необходимость сохранения и ухода за «ресурсами культурной, образовательной, научной и административной информации — независимо от того, были ли они созданы в цифровом формате или получены из существующих аналоговых источников, а также информацией в технической, правовой, медицинской и других областях»[1], тем самым расширяя понятие и формы наследия.

Цифровизация культурного наследия представляет собой использование геодезических методов, визуализационных технологий и компьютерных решений для создания или преобразования цифровой информации о культурном наследии с целью его защиты, управления и презентации; к этому процессу относится сбор всех форм цифровых данных — от фотографирования и коррекции изображений и фотограмметрии до 3D-лазерного сканирования и записи звука[2]. Вкратце, это процесс использования цифровых технологий для сохранения, обработки и распространения материального и нематериального содержания культурного наследия в цифровом формате. Он включает не только 3D-сканирование, цифровое архивирование и виртуальное представление материальных объектов культурного наследия — таких как артефакты, архитектура и книги — но также запись, цифровое распространение и инновационные формы передачи нематериального культурного наследия, включая традиционное ремесло, обычаи и устную историю. Цифровизация культурного наследия — это динамический процесс.

Цифровое культурное наследие представляет собой культурное наследие в цифровой форме, включающее документы, преобразованные из существующих материалов в цифровые форматы, а также материалы, созданные исключительно в цифровом виде. Эти активы могут принимать форму текста, изображений, аудио- и видеоданных, баз данных, программного обеспечения и других форматов. Цифровое культурное наследие охватывает содержание культурного наследия, уже подвергшееся дигитализации; оно является статическим результатом процесса.

1.2 Цифровые проявления наследия

Согласно Хартии по сохранению цифрового наследия, цифровое наследие включает тексты, базы данных, статические и движущиеся изображения, аудио- и графические материалы, программное обеспечение, веб-страницы и другие элементы. В 2006 году Симпозиум «Повышение прозрачности результатов 3D-визуальных исследований», организованный Королевским колледжем Лондона, принял Лондонскую хартию по компьютерной визуализации культурного наследия (далее — Лондонская хартия). Данный устав установил принципы цифрового представления культурного наследия^④; в проекте его версии 2.1 указано, что «опубликованные материалы должны использовать наиболее эффективные доступные медиаформаты, включая изображения, текст, видео, аудио, цифровые форматы или их комбинации»[3–4].

2 Развитие цифровизации культурного наследия

2.1 Появление цифровизации культурного наследия (1960–1990-е годы)

Европейские и североамериканские страны уже в 1960-х годах начали дигитализацию архивных документов и коллекций с использованием таких методов, как фотографирование, видеозапись и репродукция. Полученные базы данных изначально предназначались исключительно для внутреннего использования и постепенно стали доступны широкой публике с появлением Интернета. В 1990-х годах технологии 3D-визуализации и виртуальной реальности также начали развиваться и постепенно внедрялись в исследования по сохранению культурного наследия, что знаменовало начало цифровой эры в этой области.

2.2 Развитие цифровизации культурного наследия (1992–2019 гг.)

Год 1992 года в целом считается первым годом исследований цифрового наследия. ЮНЕСКО запустило программу «Память мира» с целью использования современных информационных технологий и цифровых средств для реализации задачи по защите мирового культурного наследия в соответствии с Уставом ЮНЕСКО, повышения осведомлённости о важности новых форм документального наследия — аудиозаписей, фильмов и телевизионных произведений, а также цифровых медиа — и содействия сохранению и распространению культурных ресурсов по всему миру. В том же году Ангкор-Ват в Камбодже был включён в Список всемирного наследия ЮНЕСКО, а для его сохранения были применены ряд цифровых технологий с использованием компьютеризированных систем управления информацией[5].

2.2.1 Сбор и регистрация данных по цифровизации культурного наследия

Первоначальные приложения исследований по цифровизации культурного наследия были относительно простыми и в основном касались сбора и записи объектов культурного наследия в цифровом формате. В 1998 году проект «Цифровой Микеланджело», реализованный в результате сотрудничества Стэнфордского университета и Университета Вашингтона, использовал лазерные сканеры и цифровые камеры для сканирования и фотографирования скульптур и архитектурных сооружений Микеланджело с целью их цифровизации.

Роль технологий дистанционного зондирования в сохранении крупномасштабного культурного наследия способствовала широкому применению фотограмметрии, особенно при документировании недвижимого наследия — таких объектов, как монументальные сооружения и крупные археологические памятники. Международный совет по памятникам и историческим местам (ICOMOS) и Международное общество по фотограмметрии и дистанционному зондированию (ISPRS) совместно создали Международный комитет по архитектурной фотограмметрии (CIPA) в 1968 году. В связи с передачей соответствующих технологий из области геодезии в дисциплину документирования и регистрации культурного наследия организаци

я была официально переименована в CIPA Heritage Documentation в 2007 году с целью применения методов геодезии, визуализации и информатики к процессам записи, сохранения и документирования культурного наследия^②.

2.2.2 Восстановление и экспонирование культурного наследия

Благодаря развитию технологий виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR) они нашли широкое применение в исследованиях по сохранению культурного наследия — в частности, при восстановлении и экспонировании исчезнувшего культурного наследия, а также при воссоздании связей между этим наследием и его историческим, культурным и первоначальным экологическим контекстами. Япония использовала 3D-сканеры для создания виртуальной модели Великого Будды Камакуры, изготовленного в XIII веке, а также технологии виртуальной реальности для воссоздания главного зала храма Котоку-ин, разрушенного при землетрясении в Мэйо в 1498 году. Тем временем благодаря способности обеспечивать пользователям более глубокое чувство вовлечённости и реалистичность технологии виртуальной и дополненной реальности начали широко применяться в сфере выставок, экскурсий и посещений объектов культурного наследия — переходя от внутренних исследовательских и реставрационных задач к демонстрационным и образовательным целям, ориентированным на широкую публику. На этом этапе цифровизация культурного наследия начала уделять особое внимание продвижению и распространению информации о нем, а применение цифровых технологий стало ориентироваться в первую очередь на интерактивные форматы взаимодействия с пользователями и посетителями. Например, проект IBM «Вечный Египет» (2001–2004) и проект Университета Чикаго «Мумия Сульман» представляли культурное наследие через онлайн-цифровые музеи в Интернете^[6].

2.3 Расширение цифровизации культурного наследия (2020–нынешний период)

Пандемия COVID-19 побудила страны по всему миру ускорить развитие цифровизации культурного наследия, подчеркнув его важность для преодоления ограничений, возникших в результате локдаунов. Например, Японское агентство по культурным вопросам после 2020 года активно развивало сайт «Культурное наследие в интернете», добавляя к нему электронную информацию о объектах культурного наследия, признанных национальными, отобранных и зарегистрированных. По состоянию на ноябрь 2022 года были внесены данные (включая изображения, видео и текстовые материалы) от 1045 управляющих органов объектов Всемирного наследия, музеев и художественных галерей; информация о 273 687 объектах культурного наследия стала доступна для общественного поиска и просмотра^③.

В 2021 году тема «Трансформационное влияние информационных технологий» стала первой из двенадцати тем глобальной инициативы «Наше мировое наследие», а цифровая защита объектов мирового наследия постепенно превратилась в самостоятельную область исследований. В 2023 году Международный научный комитет по цифровому наследию провёл свою 29-ю Глобальную двухлетнюю конференцию в Риме, на которой были выявлены несколько новых тенденций в области защиты цифрового наследия: лёгкая цифровая съёмка, визуализация управления данными, интеллектуальная реконструкция данных и совместное удалённое взаимодействие ^[7]. Дигитализация наследия вступила в этап многомерного, углублённого и интеллектуального развития (см. рис. 1).

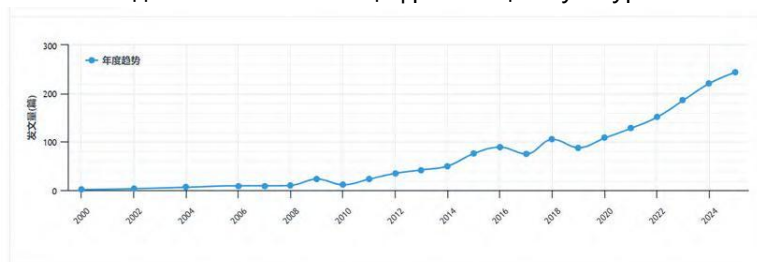
онференцию в Риме, на которой были выявлены несколько значимых тенденций в области защиты цифрового наследия: лёгкий цифровой сбор данных, визуализация процессов управления данными, интеллектуальная реконструкция данных и совместное удалённое взаимодействие — что спровоцировало новый всплеск исследований в области цифровизации наследия (см. рис. 2).



Количество публикаций по теме цифровизации культурного наследия

Рис. 2. Количество публикаций по теме цифровизации культурного наследия

Среди исследовательских тем наиболее выделяются нематериальное культурное наследие, цифровые технологии, цифровая защита, сохранение и передача, а также цифровое распространение. Цифровизация нематериального культурного наследия, требующая относительно простых цифровых технологий, стала первой темой исследований в области цифровизации наследия. Цифровые технологии, являясь ключевым фактором методов сохранения культурного наследия, остаются постоянной темой исследований; цифровая защита соответствующим образом превратилась в часто обсуждаемую тему. Сохранение и передача культурного наследия — основная цель защиты с использованием цифровых технологий, и эта тема стала одной из наиболее активно обсуждаемых. В последние годы экспозиция и продвижение культурного наследия получили беспрецедентное внимание, способствуя участию общественности и распространению ценностей наследия; они стали одним из ключевых направлений исследований в области цифровизации культурного наследия (см. рис. 3).



Распределение тем литературы в области цифровизации культурного наследия

Рис. 3 Распределение тем литературы в области цифровизации культурного наследия

3.2 Новые выводы из исследований по цифровизации культурного наследия

На основе обзора вышеупомянутых ключевых направлений и тем исследований можно выявить новые подходы к использованию цифровизации культурного наследия в его сохранении.

3.2.1 Новый подход: трансформация традиционной системы охраны культурного наследия Европы под руководством технологий

Цифровые технологии расширили возможности записи, архивирования и управления культурным наследием, одновременно постоянно открывая новые перспективы для его сохранения и исследований. Исходя из принципов подлинности, установленных в Международной хартии по сохранению и восстановлению памятников и объектов (1964 г.) и Принципах реги

страции памятников, групп зданий и объектов (1996 г.) в области сохранения и реставрации культурного наследия, ранние исследования цифровизации культурного наследия в первую очередь были сосредоточены на регистрации объектов и сборе информации о них — что является основополагающим аспектом этой области. На основе достижений цифровых технологий, полученных из музеев, архивов и других учреждений, систематически развивается методология, аналогичная европейской традиционной системе охраны культурного наследия, которая служит основой для цифровой охраны и способствует стандартизации процессов сохранения и реставрации культурного наследия[9].

В 2007 году Институт охраны культурного наследия Гетти (США) совместно со своими партнерами опубликовал издание «Запись, документирование и управление информацией для сохранения объектов культурного наследия», включающее два тома: «Руководящие принципы» и «Иллюстрированные примеры». Данная работа заложила основу для понимания, планирования и реализации проектов по системам записи и информационного управления объектами культурного наследия, значительно улучшив компетенции специалистов в области сбора, обработки и управления информацией[2, 10]. В 2008 году Марта Демас предложила конкретные методы работы по защите цифрового наследия и четыре основных принципа для базовой цифровой регистрации объектов культурного наследия[11]. Создание базовых данных позволяет стандартизировать работу по сохранению объектов культурного наследия как на предварительном, так и на детальном уровне. Кроме того, эта основа может служить отправной точкой для разработки и внедрения программ мониторинга, что позволит выявлять изменения, влияющие на оценку ценности объектов культурного наследия.

3.2.2 Новая концепция: переосмысление аутентичности и целостности в процессе цифровизации

Современные исследования культурного наследия, основанные на широком использовании цифровых технологий, в первую очередь направлены на регистрацию и моделирование физической среды объектов наследия: например, применение технологий дистанционного зондирования и визуализации для документирования текущего состояния объектов наследия и их окружающей среды [12–14]; использование виртуальной реальности для представления материальных элементов наследия [15–17]; создание цифровых моделей и виртуальных реставраций; а также формирование баз данных культурного наследия на основе собранных информационных данных [18–19]. а также применение технологий дополненной реальности и игровых технологий в исследованиях визуализации культурного наследия и обмену результатами исследований [20].

Вопросы подлинности и целостности в процессе цифровизации, а также способы сбалансирования технологических инноваций с защитой культурного наследия являются актуальными направлениями исследований, стимулирующими глубокие размышления в данной области.

3.2.3 Новый подход: исследование социальных аспектов цифровизации наследия

Социальные аспекты цифровизации культурного наследия в первую очередь связаны с изучением основной архитектуры архивов цифрового наследия, поиском оптимальных моделей предоставления информационных ресурсов, исследованием протоколов взаимодействия между цифровыми библиотеками, тестированием наиболее эффективных пользовательских интерфейсов, а также решением технической задачи эффективного поиска требуемой информации среди огромного объема данных Интернета. а также совершенствование более экономически эффективных подходов к функционированию архивов цифрового наследия

и систем управления для защиты интеллектуальной собственности. Исследования социальных аспектов цифровизации наследия не ограничиваются онлайн-сфере: они направлены на эффективное хранение, управление и обеспечение доступа к огромным объемам информации, распределённой по различным географическим регионам и категориям, с целью достижения высокого уровня обмена ресурсами и положительного социального эффекта.

Страны-члены Европейского союза, такие как Австрия и Германия, неустанно разрабатывают и внедряют комплексные системы цифрового наследия с уполномоченными ответственными органами и финансовой поддержкой для цифровизации различных форм культурного наследия. В условиях огромного объёма объектов культурного наследия страны ЕС сталкиваются с сложной задачей их дигитализации и постепенно продвигаются вперёд благодаря серии итеративных проектных программ за последние около 30 лет. Платформы, включающие правительства, администраторов и профессионалов, способствуют общему использованию ресурсов и активному участию пользователей; применение мобильных устройств позволяет максимально реализовать цель всеобщего доступа к культурной дигитализации, что способствует продвижению европейской интеграции и укреплению чувства принадлежности среди граждан ЕС.

Проект «Visualising Ballarat» в городе Балларат, Австралия, является успешным примером исследовательской платформы для цифровизации и обмена культурным наследием[21, 24]④.

4 Практические аспекты применения и положительная роль цифровизации в сохранении и использовании культурного наследия

4.1 Запись устойчивого наследия: цифровые технологии записи, создающие открытые и совместные платформы

Регистрация требует точного отражения физических характеристик, определяющих ценность и ключевые элементы культурного наследия. Её основная цель — научно и эффективно фиксировать, представлять и передавать особенности и ценности наследия. Поэтому определение характеристик культурного наследия является основой для обсуждения процесса регистрации. Все искусственные и природные элементы необходимо задокументировать с использованием методов и инструментов разного масштаба и высокой гибкости для обеспечения полноты записей[21].

Традиционные методы геодезических измерений требуют значительных временных и трудовых ресурсов; длительные циклы сбора и обработки данных затрудняют регулярное обновление информации. Новые цифровые технологии кардинально изменили скорость и полноту регистрации объектов культурного наследия: такие методы, как дистанционное зондирование, сканирование и визуализация, привели к инновациям в подходах к сбору пространственной информации о культурном наследии, позволив наблюдать его с беспрецедентных точек зрения и с беспрецедентной точностью, что способствовало революционному улучшению полноты, точности и эффективности сбора пространственных данных[22]. Эти документы могут служить руководством для руководителей объектов, исследователей и государственных должностных лиц на различных уровнях при принятии решений, а также демонстрировать исторические знания и ценности культурного наследия[23].

Благодаря технологиям цифровой записи регистрация культурного наследия станет непрерывным процессом, обеспечивающим постоянный динамический мониторинг и поддержку управления. Открытость является важной особенностью цифровой регистрации наследия: записи о нем больше не ограничены временем, местоположением, культурой или форматом. Несмотря на культурную специфичность, они могут использоваться любым человеком в

мире. Результаты регистрации передаются через специализированные платформы, которые становятся площадками для обмена опытом и обучения как среди экспертов по охране культурного наследия, так и среди широкой публики; они предоставляют ценный практический опыт и справочные материалы для исследований, реставрации, развития и использования культурного наследия, а также способствуют признанию, защите и распространению его многообразных ценностей.

4.2 Интеллектуальная идентификация культурного наследия: цифровые технологии защиты от повреждений уязвимых объектов культурного наследия

В области сохранения культурного наследия объекты, подлежащие цифровой обработке, делятся на две категории: первая включает различные виды косвенных аналитических данных, получаемых при анализе самого культурного наследия или соответствующих данных; вторая — расширенные данные, такие как цифровые модели и изображения виртуальной реальности, созданные с помощью цифрового отображения, цифровой реставрации или других методов.

Объекты культурного наследия обычно сталкиваются с угрозами со всех сторон. Избыточное вмешательство человека привело к тому, что многие важные объекты и памятники всемирного наследия не получают адекватной защиты; кроме того, изменения окружающей среды, природные катастрофы и другие факторы усилили потребность в цифровой защите. Цифровизация предоставляет точный и безопасный способ сохранения и изучения культурного наследия: после сбора цифровой информации с объекта исследования можно проводить удалённо, без необходимости пребывания на месте. Сбор цифровой информации является одновременно точным и удобным; исследования вне места находки представляют собой наиболее безопасный подход к охране хрупкого культурного наследия. Кроме того, поскольку культурное наследие может являться важной составляющей устойчивой застройки, регулярные проверки сооружений культурного значения необходимы в процессе их сохранения. Для создания автоматизированных систем визуального контроля можно применять технологии автоматического обнаружения дефектов на основе искусственного интеллекта.

Постоянное сохранение и защита пещер, настенных росписей и других объектов культурного наследия представляет собой серьёзную задачу для международного сообщества по охране наследия. Дигитализация помогает смягчить последствия естественного старения — окисления, коррозии, износа и отслоения поверхностей, вызванных чрезмерным вмешательством человека. Академия Дуньхуаня (Институт Дуньхуаня) начала исследования вопросов цифровой защиты ещё в 1993 году [25–26].

4.3 Устойчивое сохранение культурного наследия: цифровые технологии архивирования для надежного восстановления исторических объектов

Цель цифровизации культурного наследия — создание записей, которые можно сохранять как можно более долгосрочно, обеспечивая передачу информации о нем из поколения в поколение и сохранение его непрерывности даже в случаях ущерба ценности и целостности этого наследия. Таким образом, использование цифровых технологий для систематического архивирования зарегистрированных объектов культурного наследия, различных материалов и другой связанной информации — создание научных архивов культурного наследия посредством серия стандартизированных процедур сбора, обработки, хранения и представления данных — способствует усилиям по сохранению, реставрации, развитию и использованию наследия. Эти результаты составляют основу информации для защиты культурного наследия, то есть данные, применяемые для его активного обслуживания и поддержания. С теч

ением времени, когда объекты культурного наследия подвергаются внезапным стихийным бедствиям, естественной эрозии или разрушению из-за деятельности человека, данные, полученные в результате цифровой регистрации, становятся единственным источником информации о них. Тщательная цифровая архивация, систематически организующая различные сведения, связанные с культурным наследием, может служить основным инструментом для учёных и широкой публики при изучении объектов, кардинально изменённых или исчезнувших[21]. Это ключевой инструмент в борьбе с временем: он предотвращает полное исчезновение культурного наследия из человеческой памяти и гарантирует, что будущие поколения смогут воспринимать эти данные интуитивно.

В 2019 году пожар в Нотр-Даме в Париже нанёс серьёзный ущерб культурному наследию. Обширные цифровые данные, собранные до пожара, стали бесценным источником информации для последующей реставрации. В декабре 2024 года Нотр-Дам был успешно восстановлен и снова открыт для посетителей, получив положительные отзывы как от специалистов, так и от общественности^⑤.

4.4 Создание цифровых моделей и баз данных культурного наследия: технологии управления цифровой информацией, способствующие работе специалистов в области управления культурным наследием

Информация о культурном наследии представляет собой комплексную деятельность, включающую регистрацию, архивирование и управление информацией. Интеграция данных также является важной задачей при регистрации культурного наследия: фрагментированные данные необходимо преобразовать в знания, способствующие принятию решений в этой области, что повышает эффективность использования информации о культурном наследии и более глубоко отражает его ценности[27]. Таким образом, управление информацией — то есть поиск, классификация, хранение и обмен данными о культурном наследии для текущего или будущего использования — играет ключевую роль.

Интегрированное применение цифрового двойника, HBIM (моделирования исторической информации о зданиях), WebGIS и других технологий позволяет собирать и обрабатывать данные о культурном наследии для создания цифровых моделей и баз данных по нему. Для идентификации цифровых признаков используются комплексные методы цифрового анализа, обеспечивающие всестороннюю оценку подлинности и целостности объектов культурного наследия. Постепенное совершенствование трёхмерных географических информационных систем, технологий интеллектуальной геопространственной обработки и машинного обучения значительно повысило эффективность и точность идентификации объектов и элементов культурного наследия, создав незаменимую платформу данных для управления информацией о культурном ландшафтном наследии[19]. Применение современных методов захвата реальности и пространственной документации для фиксации культурного наследия, окружающей среды и других объектов по всему миру, а также создание цифровых учебных инструментов и библиотечных коллекций на основе этих данных способствует разработке стратегий планирования в области сохранения культурного наследия, научных исследований, образования и туризма. С использованием гибридных технических подходов и при сохранении и соответствующей цифровой суверенности отдельные решения для хранения данных объединяются в различные облачные продукты; сервисы и рабочие инструменты доступны или управляются через Интернет; кроме того, гетерогенный подход к вопросам цифровой суверенности может способствовать реализации механизмов защиты авторских прав, прав пользования и интеллектуальной собственности в процессах цифрового развития.

Как нематериальная инфраструктура цифровые данные стали неотъемлемой частью охраны культурного наследия: для их записи, оценки, мониторинга, анализа, планирования и вменительств необходимы именно цифровые данные. Интегративный характер процесса записи требует, чтобы все данные о культурном наследии организовывались, хранились и управлялись в виде баз данных. Единство структур данных, стандартизация форматов данных и нормализация их использования значительно повысят эффективность использования информации о культурном наследии [19]. Цифровое управление информацией позволяет удовлетворять широкие потребности международного сообщества в области культурного наследия в недорогих системах цифровой регистрации. Системы регистрации культурного наследия должны быть удобными в использовании и поддающимися настройке, а также использовать передовые технологии для создания и управления обширной и разнообразной информацией о культурном наследии.

Институт сохранения культурного наследия Гетти (США) и Фонд мировых памятников совместно разработали в 2013 году программную платформу с открытым исходным кодом Arches для управления данными о культурном наследии. Она призвана помочь специалистам по сохранению, работникам сферы культурного наследия и учреждениям, занимающимся его охраной, в регистрации, обследовании и управлении различными видами объектов культурного наследия, а также в безопасной защите, извлечении, визуализации, сравнении и обмене научными данными о культурном наследии.

4.5 Технологическое совершенствование методов демонстрации и интерпретации культурного наследия: цифровые технологии образования и распространения, инновационные форматы представления наследия

После почти 30 лет развития все сферы общества уделяют всё большее внимание культурному наследию, а его цифровизация стремительно развивается. Особенно в области методов презентации распространение 3D-моделирования, визуализации, виртуальной и дополненной реальности, а также появление стереоскопической репродукции карт позволило создать разнообразные интерактивные мультимедийные инструменты представления информации. Это привело к появлению новых форматов отображения и представления информации о объектах культурного наследия с целью её распространения.

С помощью виртуальной реальности, 3D-моделирования, панорамной фотографии, технологии Bluetooth, технологий ближнего поля связи (NFC), систем позиционирования, искусственного интеллекта и других методов наследие может представляться в различных медиаформатах. Агентства по управлению объектами культурного наследия хранят и систематизируют значительные объёмы данных, связанных с этим наследием, в виде цифровых музеев, обеспечивая доступ исследователей и пользователей к ним для онлайн-поиска, консультаций и просмотра, а также предоставляя мультимедийные презентации, посвящённые культурному наследию [28–30]. Многие из этих агентств оснащены киосками с сенсорными экранами, планшетами, мультимедийными гарнитурами, а также устройствами виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR). В магазинах приложений появились мобильные приложения, связанные с музеями культурного наследия, археологическими памятниками, культурными реликвиями и историческими зданиями. С их помощью посетители могут увеличивать масштаб изображения для более детального осмотра объектов культурного наследия и просматривать исторические здания и музеи в 360-градусном режиме.

По мере развития технологий цифрового образования и распространения агентства по управлению объектами культурного наследия всё активнее используют новые технологически

е инструменты для раскопок и продвижения культурных ценностей. Для комплексного управления цифровым контентом в основном применяются технологии широкополосных сетей и мультимедийные базы данных; услуги по поиску информации предоставляются обществу через интернет-платформы, а соответствующие ресурсы интегрируются в систему. Использование цифровых методов для разработки принципов, руководящих принципов и протоколов документирования, мониторинга, интерпретации и распространения информации позволяет руководителям объектов культурного наследия повысить общую практическую ценность цифровых платформ, создавать виртуальные экскурсии и онлайн-выставки, проводить комплексную цифровую каталогизацию и обеспечивать сетевое обмен культурным наследием, а также разрабатывать стратегии развития цифрового наследия и стандарты его оценки.

Еще в 1996 году Министерство культуры Франции возглавило инициативу по запуску программы цифровизации. В 2018 году министерство запустило Национальную программу цифровизации и продвижения культурного контента (далее — «Программа PNV»), которая представляет собой продолжение вышеупомянутой программы и особо делает акцент на более комплексном внедрении стратегии цифровизации культуры. Содержание программы всё больше ориентируется на использование культурных материалов, максимально широкое распространение культурного наследия, развитие цифрового образования и внедрение новых онлайн-сервисов с целью содействия распространению и продвижению ценности культурного наследия, исторических зданий и художественных коллекций.

Исследования по охране культурного наследия с использованием цифровых технологий также способствуют развитию методов его презентации. Различные цифровые медиа стремятся передавать общественности историческую информацию и ценности, лежащие в основе культурного наследия, более наглядно и всесторонне. По соображениям безопасности строго охраняемые исторические здания и древние памятники, как правило, не предоставляют доступ к своим интерьерам для широкой публики. С помощью высокоточных симуляций реальных объектов с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности можно в полной мере раскрыть историческую и эстетическую ценность культурного наследия. Многие университеты и органы управления объектами культурного наследия провели исследования технологий цифровизации наследия в области информационного управления, виртуальной реальности, а также цифрового восстановления и реконструкции. К примерам относятся проект «Виртуальный египетский храм» — совместная работа Университета Питтсбурга и студии FiatLUX (Канада); проект «Цифровой Гиза» — сотрудничество Гарвардского университета с Фондом Эндрю У. Меллона; а также проект «3D-контент сада Нинна-джи Готен» — совместная инициатива храма Нинна-джи в Киото и корпорации SUS.

С начала пандемии COVID-19 использование нематериального контента в социальных сетях, посвящённых культурному наследию, неуклонно растёт [31]. Многие организации, ответственные за управление объектами культурного наследия, начали сотрудничать с игровой индустрией, усиливая представление ценности культурного наследия за счёт создания серьёзных видеоигр и партнёрств с известными франшизами [32], а также применяя технологии дополненной реальности (AR) и виртуальной реальности (VR) для более наглядной презентации истории для широкой публики, особенно для молодой аудитории.

4.6 Практики цифровизации культурного наследия в Китае

4.6.1 Начиная с определённых объектов охраны культурного наследия

Исследования по цифровизации культурного наследия в Китае начались довольно рано. Они были в основном проведены научно-исследовательскими организациями в области культурного наследия с акцентом на крупные объекты охраняемого культурного наследия как основных объектов исследований. Начиная с 1993 года Академия Дуньхуаня реализовала исследовательский проект «Система компьютерного хранения и управления муралами Дуньхуаня», в рамках которого на пещере №45 Могаоских пещер применялась фотограмметрия близкого взгляда для получения высококачественных и высокоточных фотографических изображений муралов на обратной плёнке, а также использовалось цифровое сканирование для создания их цифровых версий. В конце 1998 года Академия Дуньхуаня в сотрудничестве с Северо-Западным университетом и Фондом Меллона провела совместный исследовательский проект «Цифровизация настенных росписей Дуньхуаня и Международный цифровой архив Дуньхуаня». Благодаря техническому сотрудничеству и внедрению специальных методик была разработана методологическая основа для цифровизации двумерных настенных росписей; в результате была завершена полная цифровизация более чем 20 представительных пещер Могао, ранее опубликованных [26]. В 2001 году Музей дворца официально запустил свой веб-сайт, сделав первый шаг к созданию комплексной базы данных исторических архитектурных материалов. В 2004 году технология 3D-лазерного измерения была применена при цифровой реконструкции Запретённого города. В 2017 году Университет Чжэцзяна и Исследовательский институт пещер Юнган провинции Шаньси совместно создали реплику пещеры №3 пещер Юнган в масштабе 1:1 с использованием технологии 3D-печати — это стал первый в мире крупномасштабный проект воссоздания исторического объекта с применением 3D-печати. В последние годы Национальное управление по охране культурного наследия последовательно издало ряд нормативных документов министерства, касающихся цифровой защиты объектов культурного наследия, включая храм Цютаньси, бывшее место расположения цементного завода «Хуасинь» и храм Фучжэнь на горе Уданьшань.

4.6.2 Дигитализация культурного наследия: усиление защиты исторических и культурных городов

Элементов защиты цифрового наследия исторических городских районов существует множество; к ним в первую очередь относятся сбор и классификация данных о наследии, описание и презентация исторических ресурсов, организация баз данных для долгосрочного хранения, поиск информации по запросам и интерактивное распространение информации среди общественности. Процесс цифровизации наследия включает три этапа: ① Цифровая информация. В исторических городских районах этот подход может применяться к векторизации и географическим данным, кадастровой информации и архитектурной документации. Сравнение изменений в кадастровых данных позволяет анализировать процесс урбанизации. Различные мероприятия по градостроительству и строительству в таких районах каталогизируются, фиксируются и упорядочиваются по хронологии. Для анализа изменений в зданиях, дорогах, городской пространственной структуре и функциональном использовании, оценки сохранительной и передающей ценности культурного наследия, а также для прямого связывания кадастровых данных, документальных источников и аналитических выводов с физическими объектами применяется когнитивная модель. ② Цифровые платформы. Они объединяют основную архивную базу данных для управления и сохранения исторических городских районов, создавая платформы цифровизации культурного наследия, которые унифицируют

уют разделение труда и координацию управлений в области цифровой охраны наследия в этих районах. ③ Цифровые стандарты. Для цифровой защиты культурного наследия в исторических культурных районах и исторических городских зонах разработаны соответствующие технические спецификации и стандарты оценки, обеспечивающие поддержку мер по защите и управлению объектами, планированию, ландшафтному дизайну, академическим исследованиям и общественным услугам, связанным с практикой цифровизации культурного наследия [33–34].

В настоящее время Китай разработал и внедрил достаточно развитые многоуровневые подходы к цифровизации культурного наследия в исторических и культурных городах.

На провинциальном уровне провинция Сычуань создала платформу 3D-данных для исторических и культурных ресурсов городских и сельских районов, обеспечив единый сбор, интеграцию и представление базовых географических данных, историко-культурных материалов и данных 3D-моделей по всей провинции. Это обеспечивает фундаментальную поддержку и аналитическую основу для управления историко-культурными ресурсами, их планирования и проектирования, охраны и использования, что эффективно повышает потенциал провинции Сычуань в области защиты и управления историко-культурными ресурсами⑥.

На муниципальном уровне в 2018 году в историко-культурном районе Эннинг-роуд в Гуанчжоу было проведено первое трёхмерное сканирование и картографирование основных улиц. На этой основе была разработана цифровая платформа «Память Гуанчжоу» — первый в Китае проект по сохранению городской памяти под руководством государства, направленный на систематическое повышение доступности и популяризацию истории и культуры города для широкой публики. Гуанчжоу уже перешёл на этап применения интеллектуальных технологий и разработал специальную подмодель для охраны исторического города на основе крупной модели градостроительного планирования «CanPlan». С использованием исследовательской платформы по истории и культуре города, созданной Градостроительной компанией, была создана масштабная языковая модель, включающая базовую информацию о исторических и культурных ресурсах Гуанчжоу, планы сохранения исторических культурных районов, а также данные о зданиях и окружающей среде в трёхмерном формате. а также другие аспекты управления планированием[32]. Гуанчжоу дополнительно разработал серию цифровых стандартов по охране окружающей среды, устранив пробелы в отраслевой практике и обеспечив научное и стандартизированное руководство для соответствующей деятельности⑥.

Тем временем Сучжоу провёл масштабные практические исследования в области создания цифровых двойников и цифровых платформ. Была разработана Платформа защиты и обновления исторического города Сучжоу на основе технологии CIM+, в которой была предложена инновационная архитектура цифрового двойника для древнего города Сучжоу. Руководствуясь цифровыми сценариями и технологиями, данная инициатива решает противоречие между сохранением древнего города и его возрождением, способствует устойчивому развитию древнего города Сучжоу и исследует цифровое обновление традиционных строительных методов, цифровую эволюцию традиционных образов жизни а также цифровое укрепление традиционных культурных ценностей в древнем городе Сучжоу [35].

На сельском уровне примером может служить Цифровой музей традиционных китайских деревень уезда Цзиньчжай провинции Аньхой. В этом уезде насчитывается 5 традиционных деревень национального уровня и 20 — провинциального уровня. Опираясь на характерную пространственную структуру «гора–деревня–поле–лес», музей использует мультимедийный

ые технологии, панорамное просмотра и другие форматы для всестороннего представления уникальных ценностей и символики деревень, создавая цифровой музей, сочетающий образовательную ценность, интерактивность и визуальную привлекательность, а также обеспечивающий цифровую защиту и передачу традиционных деревень⁷.

5 Заключение и перспективы

5.1 Природа цифровизации культурного наследия, определяемая спросом, требует проведения исследований для быстрого реагирования на реальные вызовы и создания платформ для анализа данных

Независимо от того, сталкиваются ли объекты культурного наследия с изменением климата, чрезмерным туризмом или процессом восстановления в постпандемический период после COVID-19, текущие вызовы, с которыми они сталкиваются, тесно связаны с постоянно возникающими изменениями и кризисами по всему миру. Хотя цифровизация вряд ли может заменить физические объекты культурного наследия, неоспоримо, что этот подход способен смягчать или отсрочить различные формы неизбежного повреждения наследия, компенсировать недостатки его распространения, способствовать региональному интегрированию и укреплять чувство культурной принадлежности. Многие органы управления объектами культурного наследия поддерживают связь с общественностью с помощью всё большего числа цифровых инициатив, оперативно реагируя на реальные вызовы и способствуя созданию платформ для анализа данных. Национальные правительства также продолжают внедрять меры и стратегически планируют развитие культурного наследия и его цифровизации.

5.2 Технологически обусловленный характер цифровизации культурного наследия направляет исследовательские усилия на решение вопросов применения цифровых технологий в защите культурного наследия и способствует постоянному продвижению к информатизации, интенсификации, интерактивности и интеллектуализации.

Цифровые технологии представляют собой мощный инструмент для записи и визуализации культурного наследия. Они развивались от простой цифровой записи и архивирования до создания 3D-моделей и их распознавания, разработки баз данных по культурному наследию и интеграции информационных технологий. Появление технологий цифрового взаимодействия — таких как виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR) — постоянно способствует продвижению исследований в области цифровизации культурного наследия в направлении информатизации, углубления анализа, интерактивности и интеллектуализации. Хотя исследования по цифровизации культурного наследия накопили десятилетия ценных опыта, с постоянным усовершенствованием компьютерных сетей, технологий обработки больших данных и других научных инструментов данная область по-прежнему находится на стадии накопления опыта и одновременной корректировки направлений в ответ на технологические изменения. В будущем перед ней ещё предстоит значительный потенциал для развития.

5.3 Дигитализация культурного наследия приводит к трансформации традиционной системы его сохранения

Цель цифровизации культурного наследия — защищать и передавать его с помощью цифровых технологий, обеспечивая его постоянное сохранение и широкое распространение в цифровом пространстве. Технологически обусловленная трансформация традиционной европейской системы охраны культурного наследия побудила к переосмыслению вопросов по длине и целостности в процессе цифровизации и открыла новые возможности для изучения социальных аспектов этой деятельности. Цифровизация культурного наследия внесла

значительный практический вклад в непрерывную документацию объектов наследия, интеллектуальное определение их уязвимости, обеспечение надежности процессов реставрации, создание цифровых моделей и баз данных о культурном наследии, а также в технологическое совершенствование способов его экспозиции и интерпретации.

5.4 В Китае уже существуют достаточно развитые практики цифровизации культурного наследия как в целях его сохранения, так и для защиты исторических и культурных городов; однако срочно требуется принятие национального законодательства о защите цифровизации наследия, а также разработка соответствующих технических спецификаций и стандартов оценки для цифровизации объектов исторических городских районов.

На основе существующих подходов необходимо ускорить создание междисциплинарных и межведомственных баз данных по городскому планированию, разработку цифровых моделей охраны культурного наследия в исторических городских районах, а также создание специализированных баз данных по культурному наследию для этих районов. Эти элементы следует интегрировать в существующую систему градостроительного планирования исторических и культурных районов с целью создания цифровых платформ по охране наследия для исторических городских зон, обеспечивающих достоверную и эффективную информационную поддержку при защите исторических и культурных городов. Данные о наследии исторических городских районов также должны быть открыто доступны всем заинтересованным сторонам в рамках условий авторского права, что способствует их широкому использованию общественностью. Следует подчеркнуть, что, хотя цифровизация культурного наследия стала чрезвычайно важным инструментом его сохранения и распространения, она не должна заменять физическую защиту объектов наследия и их экспозиционное использование.

В дальнейшем необходимо уделять внимание таким вызовам, как исчезновение данных о цифровом наследии и когнитивные ограничения; вопросу поиска баланса между виртуальным и реальным для полного и глубокого передачи ценности наследия; необходимости разработки этической основы и кодексов практики цифровой защиты; а также вопросу разработки интеллектуальных стратегий защиты [36–37].

Цифровизация культурного наследия способствовала обмену информацией между учёным и из различных областей и по всему миру, раскрывая сложность современного мира. Это создаст изменения и новые возможности для развития наследия в соответствии с тенденциями социального прогресса и станет неизбежным результатом, а также практической необходимостью развития исследований в области культурного наследия.

Благодарности

Авторы благодарят Лиан Гофэна, Сюй Хаовэня и Чжоу Хайдуна за их вклад в подготовку данной статьи.

Примечания

Некоторый контент взят с официального сайта Лондонской хартии: <http://www.londoncharter.org/>.

② Часть информации взята с официального сайта CIPA Heritage Documentation: <https://www.cipaheritagedocumentation.org/>.

③ Часть информации взята с официального сайта Cultural Heritage Online («Культурное наследие в интернете»): <https://japanheritage.bunka.go.jp/ja/>.

Некоторый контент взят с официального сайта Visualising Ballarat: <http://www.visualisingballarat.org.au/>, официального сайта HUL Ballarat: <https://www.hulballarat.org.au/> и официального сайта Базы данных викторианского наследия: <https://vhd.heritagecouncil.vic.gov.au/>.

⑤ Часть информации взята с официального сайта проекта Arches: <https://www.archesproject.org/>.

⑥ Ши Юйцзюнь. Цифровые и интеллектуальные подходы к охране и управлению историческим городом Гуанчжоу. Третий форум CIM по строительству умных городов: цифровые технологии для усиления защиты и передачи наследия исторических и культурных городов, 29 декабря 2024 г.

⑦ Чжан Хунхуэй. Цифровые технологии как инструмент защиты исторических и культурных ресурсов. Третий форум CIM по строительству умных городов: «Цифровые технологии для обеспечения сохранения и передачи наследия исторических и культурных городов», 29 декабря 2024 г.

Справочные материалы

[1] ЮНЕСКО. Устав о сохранении цифрового наследия [S]. Париж: 32-я сессия Генеральной конференции ЮНЕСКО, 18-е пленарное заседание, 2003 год.

[2] Летелье Р., Шмид В., Лебланк Ф. Запись, документирование и управление информацией для сохранения исторических мест. Том 1: Основные принципы [М]. Лос-Анджелес: Институт охраны культурного наследия Гетти, 2007.

[3] Лаборатория визуализации Кинга, Королевский колледж Лондона. Лондонская хартия по компьютерной визуализации культурного наследия, проект 2.1 [R]. Лондон: Симпозиум «Просветление результатов 3D-визуальных исследований», 2012.

[4] Бичем Р., Денард Х., Никколуччи Ф. Введение в Лондонскую хартию [С]. // Иоаннидес М., Арнольд Д., Никколуччи Ф. и др. Эволюция информационных коммуникаций и технологий в сфере культурного наследия. В: Заседания конференции VAST. Будапешт: Archaeolingua, 2006: 263–269.

[5] БОКС П. ГИС и управление культурными ресурсами: Руководство для специалистов по охране наследия [М]. Бангкок: Основное региональное управление ЮНЕСКО в Азии и Тихоокеанском регионе, 1999.

[6] Якобсон Дж., Холден Л. Виртуальный египетский храм [С] // Коммерс П., Ричардс Г. Труды конференции ED-MEDIA 2005 — Всемирная конференция по образовательным мультимедиа, гипермультимедиа и телекоммуникациям. Монреаль: Ассоциация по развитию компьютерных технологий в образовании (AACE), 2007: 4531–4536.

[7] Ян Чэнь, Чэнь Чжэньюй. Цифровая защита мирового культурного и природного наследия и новые международные тенденции [J]. Landscape Architecture, 2023, 30(10): 96–102.

[8] Ян Чэнь, Ван Чжиро. Исследование осуществимости демонстрации и цифрового использования наследия классических садов Цзяннаня [J]. Garden (Luyuan), 2024, 41(9): 19–28.

[9] Чжан Сун. Опыт европейских хартий по сохранению культурного наследия и практики городского охранения в Китае [J]. City Planning Review (Журнал городского планирования), 2024(2): 64–70.

[10] Эпич Р., Чабби А. Запись, документирование и управление информацией для сохранения исторических мест. Том 2: Иллюстрированные примеры [М]. Лос-Анджелес: Институт охраны культурного наследия Гетти, 2007.

[11] ДЕМАС М. Планирование охраны и управления археологическими памятниками: подход, основанный на ценностях [М]. // ТЕУТОНИКО Ж. М., ПАЛУМБО Г. «Планирование управления археологическими памятниками» — Международная конференция, организованная И

- институтом сохранения культурного наследия Гетти и Университетом Лойола-Мэримонт, 19–22 мая 2000 г. Лос-Анджелес: Институт сохранения культурного наследия Гетти, 2002: с. 27–54.
- [12] Кублер Б. Стратегии цифровой медиации в музеях: исследовательский анализ стратегического подхода [С]. Конференция ORNUM: Организация и цифровизация, CREGO Дижон, 2019.
- [13] Кублер Б. Номерные стратегии на практике в музейных организациях: пример интерактивных инструментов культурной медиации [С]. Сорбонна, Париж: 8-й конференц-семинар AIRMAP «Интеллектуальные территории и устойчивое государственное управление», 2019.
- [14] Квинтеро М. С. Защита застроенной культурной наследия: трудности цифровизации культурных ресурсов [С] // Второй Международный симпозиум по сохранению и цифровизации и культурного наследия. 2012: 6–17.
- [15] ШОПТ М. Оценка влияния предложений по строительству высотных зданий на застроенный культурный наследие: региональные города Англии в XXI веке [J]. *Progress in Planning*, 2007, 68(3): 97–199.
- [16] VANEGAS C, ALIAGA D, MUELLER P, и др. Моделирование внешнего вида и поведения городских пространств [J]. *Computer Graphics Forum*, 2010, 29(1): 25–42.
- [17] GUNATHAKURTA S, KOBAYASHI Y, PATEL M, и др. Проект «Цифровой феникс»: многомерное путешествие сквозь время [М] // Хаген Х., Гухатакурма С., Штайнебах Г. Визуализация устойчивого планирования. Берлин и Гейдельберг: Springer, 2009: с. 159–184.
- [18] НОРРИС С., УОЛШ М. Дж., КАФЕНБЕРГЕР Т. А. Визуализация Фамагусты: междисциплинарные подходы к изучению православной соборной церкви святого Георгия греков в Фамагусте, Кипр [J]. *Archives and Manuscripts*, 2014, 42(1): 48–60.
- [19] PETTY Z, LANDRIEU J, COULAIS J, и др. Проблемы масштабирования пространства и времени в управлении данными: виртуальное восстановление культурного наследия Клунии [J]. *Applied Geomatics*, 2012, 6(2): 71–79.
- [20] MORTARA M, CATALANO E C, BELLOTTI F, и др. Изучение культурного наследия с помощью серьезных игр [J]. *Журнал культурного наследия*, 2014, 15(3): 318–325.
- [21] ГО Сяотун, ЯН Чэнь, ХАН Фэн. Инновации в цифровом записи и сохранении культурного ландшафтного наследия [J]. *Китайская ландшафтная архитектура (Чжунго Юаньчунь)*, 2020, 36(11): 84–89.
- [22] Хаддад Н. От геодезических измерений до 3D-лазерного сканера: обзор методов пространственной документации исторических объектов [J]. *Журнал Университета короля Сауда — Инженерные науки*, 2011, 23(2): 109–118.
- [23] Квинтеро М. С., Авад Р., Баразцетти Л. Использование цифровых рабочих процессов для понимания, содействия и участия в сохранении объектов культурного наследия при решении как этических, так и технических проблем [J]. *Built Heritage*, 2020, 4(6): 1–18.
- [24] Ян Чэнь. Ландшафт цифрового наследия: цифровые подходы и инновации в развитии и исторического городского ландшафта Балларата, Австралия [J]. *Китайская архитектура садов (Чжунго Юаньчунь)*, 2017, 33(6): 83–88.
- [25] Фу Синъи, Ма Сяоцзюань, Сунь Чжицзюнь. Исследование цифровой реставрации поврежденных фресок: кейс-стади исследования фресок Дуньхуаня [J]. *Art & Design (Декор)*, 2019(1): 21–27.
- [26] Чэнь Чжэньван, Фань Цзинши. Применение интеграции культуры и технологий в охране культурного наследия: исследование цифровизации пещер Могао в Дуньхуане [J]. *Dunhuang Research (Дуньхуанское исследование)*, 2016(2): 100–107.

- [27] Ян Ц. Использование «интерпретативной модели» для контекстного проектирования баз данных памятников природы: пример национального парка острова Сент-Хелена в Квинсленде, Австралия [J]. *Geographical Research*, 2015, 53(3): 321–335.
- [28] Жарьер Э. Экспериментальный подход к изучению влияния использования интерактивного инструмента в культурной сфере: применение к музеям искусства [Диссертация]. Дижон: Университет Бургунии, 2015.
- [29] Менкарелли Р., Ривьер А. Участие клиента в контексте технологий самообслуживания [J]. *Revue Francaise de Gestion*, 2014, 241(4): 13–30.
- [30] MEUTER M L, BITNER M J, OSTROM A L, и др. Выбор среди различных моделей предоставления услуг: исследование опыта клиентов с использованием технологий самообслуживания [J]. *Journal of Marketing*, 2005, 69(2): 61–83.
- [31] Кублер Б. Культурная медиация и геймификация: когда музей привлекает элементы игры [J]. *Espaces: Туризм и досуг*, 2021, 378: 15–18.
- [32] Кублер Б. Путешествие в мир приложений для посещения музеев. Тенденции, направления и оценка интерактивности приложений музеев Франции [С]. Париж: «Опыт посетителя музея: источники, формы, теоретические аспекты», Академический семинар третьего курса Лувровской школы, 2020.
- [33] Хэ Янь, Ма Инхуа. Исследование использования цифровых технологий для усиления защиты и передачи исторических и культурных городов [J]. *Китайские древние города (Чжунго Минчэн)*, 2024, 38(4): 70–76.
- [34] Чжу Цзинлу, Цинь Цзе. Цифровая переводческая работа и продвижение мер по сохранению исторических и культурных городов: исследование цифровой платформы «Память Гуанчжоу» [J]. *Planners (Планировщики)*, 2021, 37(22): 51–54.
- [35] YANG Tao, LI Jing, LI Mengyao, и др. Методы цифрового двойника для защиты и возрождения исторического и культурного наследия в древнем городе Сучжоу [J]. *City Planning Review (Журнал городского планирования)*, 2024(1): 82–90.
- [36] ВУ Чжицян. Десять ключевых терминов в развитии дисциплины городского и сельского планирования (2023–2024) [J]. *City Planning Review (Журнал городского планирования)*, 2023(6): 1–4.
- [37] GAN Wei, WU Zhiqiang, WANG Yuankai, и др. Разработка теоретической модели городского проектирования с использованием технологий искусственного интеллекта в дизайне [J]. *City Planning Review (Журнал городского планирования)*, 2023(2): 12–18.

Ai 辅助翻译