

Историческая информатика

Правильная ссылка на статью:

Коробов Д.С. — Цифровая археология сегодня: достижения и проблемы // Историческая информатика. – 2023. – № 3. DOI: 10.7256/2585-7797.2023.3.44036 EDN: XIBIVP URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=44036

Цифровая археология сегодня: достижения и проблемы

Коробов Дмитрий Сергеевич

ORCID: 0000-0002-9571-0405

доктор исторических наук

заведующий отделом теории и методики Института археологии РАН, профессор РАН

117292, Россия, г. Москва, ул. Дм. Ульянова, 19

✉ dkorobov@mail.ru



[Статья из рубрики "Технологии цифровой археологии"](#)

DOI:

10.7256/2585-7797.2023.3.44036

EDN:

XIBIVP

Дата направления статьи в редакцию:

15-09-2023

Аннотация: За последнее десятилетие активное применение разнообразных компьютерных методов и цифровых технологий весьма сильно повлияло на современные археологические исследования. Появились новые методы полевой фиксации, в археологическую практику прочно вошли современные инструменты: лазерные тахеометры и сканеры, GNSS-приемники и беспилотные летательные аппараты. Возникло целое направление – цифровая археология (Digital Archaeology) – в рамках которого трудится немало археологов. Представляется актуальным подвести некоторые итоги развития цифровой археологии за последние десятилетия и особо остановиться на основных тенденциях в современном использовании ряда технологических приемов, существенно повлиявших на облик археологических исследований на настоящем этапе. В статье освещаются основные методы и подходы в цифровой фиксации, анализе и визуализации археологической информации: геоинформационные системы, цифровые архивы и базы данных, полевые электронные дневники, методы фотограмметрии и лазерного сканирования разного пространственного уровня, а также первые шаги в использовании искусственного интеллекта в археологической практике. Подобный

обзор, несмотря на свою ограниченность, впервые охватывает все основные направления в цифровой археологии последних двух десятилетий. Помимо достижений, которые безусловно присутствуют в цитируемых работах, автор уделяет особое внимание некоторым проблемам, которые возникают в процессе внедрения цифровой археологии в повседневную археологическую практику.

Ключевые слова:

цифровая археология, географо-информационные системы, цифровые архивы, базы данных, трехмерное моделирование, фотограмметрия, лазерное сканирование, искусственный интеллект, лидарные технологии, БПЛА

Введение

Постепенное проникновение цифровых технологий в археологическую науку происходит уже не одно десятилетие. Определенным рубежом на этом долгом пути можно считать появление специализированной конференции «Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)», которая впервые собралась в Бирмингемском университете в Великобритании в 1973 г. [\[1\]](#). С этого момента, 50 лет тому назад, использование компьютерных технологий в археологических исследованиях оформилось в качестве особого направления. Появились специализированные журналы, например, «Archeologia e Calcolatori», выходящий в Италии уже более тридцати лет [\[2\]](#), который сопровождается приложениями на разных европейских языках [\[3\]](#), или возникший недавно «Journal of Computer Applications in Archaeology (JCAA)» [\[4\]](#).

На протяжении своего более чем полувекового развития, рассматриваемое направление прошло несколько этапов. Так, один из пионеров применения компьютеров в археологии, французский исследователь Ф. Джинджиан выделяет следующие ступени на этом пути:

- естественнонаучные методы в археологии (1955-1975): семиотика, палеоландшафты, археометрия;
- многомерный анализ данных (1975-1995 гг.): развитие количественных методов в археологии;
- географо-информационные системы (1995-2010 гг.): от изучения памятника археологии к изучению археологических ландшафтов;
- мультиагентные системы (с 1995 г.): взгляд на древние общества как на комплексную систему;
- 3D-археология (с 2010 г.): реализация мечты о всеобъемлющей полевой археологии [\[5, с. 13\]](#).

В настоящем небольшом обзоре невозможно охватить все указанные направления и осветить в полной мере историю их развития. Я вижу свою задачу в том, чтобы обозначить самые основные тенденции, которые наблюдаются в современной цифровой археологии, и заострить внимание на существующих в ней проблемах и сложностях. Используемый термин «цифровая археология» (Digital Archaeology) трактуется мною расширительно, как синоним «компьютерной археологии» (Computational Archaeology), в

то время как существует и более узкое применение данного термина как использования исключительно трехмерного моделирования в археологических исследованиях. В последнем случае он смыкается с набравшим в настоящее время большую популярность термином «виртуальная археология» (Virtual Archaeology), под шапкой которого как правило скрывается создание трехмерных образов археологических ландшафтов, объектов и находок (см., например, [\[6\]](#)).

Таким образом, в настоящем обзоре я затрону современное состояние использования географо-информационных систем, цифровых архивов и баз данных, трехмерного моделирования методами фотограмметрии и лазерного сканирования, а также первые шаги в области применения искусственного интеллекта в археологии.

Географо-информационные системы

История применения географо-информационных систем (ГИС) в археологических исследованиях начинается с середины 1980-х гг., когда после появления персональных компьютеров и специализированного программного обеспечения (речь идет, прежде всего, о программе ArcINFO) были опубликованы первые примеры использования ГИС для решения археологических задач [\[7, с. 16\]](#). С тех пор библиография публикаций по данной теме резко разрослась, и уже в середине 1990-х гг. насчитывала более трехсот наименований [\[8, с. 5\]](#). Появились учебные пособия по применению ГИС в археологии [\[9, 10\]](#), в том числе и на русском языке [\[7, 11\]](#).

Уже в начале 1990-х гг. оформилось три основных направления использования ГИС археологами:

- 1) охрана археологического наследия и предиктивное моделирование;
- 2) применение ГИС для исторических реконструкций;
- 3) использование ГИС в ландшафтной археологии [\[12\]](#).

Можно выделить и другие более узкие течения в геоинформационном обеспечении археологических исследований, но мне представляется, что и сегодня эти три перечисленных направления вполне отражают основные тенденции в применении ГИС археологами. Представляется интересным проследить, какое из направлений является ведущим на современном этапе. В недавно опубликованной статье Фернандо Менендес-Марш с соавторами проанализировал свыше 570 публикаций открытого доступа, вышедших в 1990-2022 гг., посвященных применению ГИС в археологических исследованиях и включенных в базу научного цитирования SCOPUS [\[13\]](#). Авторами было отмечено, что большинство публикаций, сделанных между 1990 и 2010 гг., касались вопросов управления культурным наследием (CRM – Cultural Resource Management), тогда как в последние 12 лет возросло количество публикаций, посвященных применению пространственного анализа археологических данных [\[13, p. 45, 46\]](#). По-прежнему, основное количество публикаций посвящено картографированию и управлению пространственной информацией. Однако, очевиден растущий интерес к разнообразным процедурам пространственного анализа, среди которых на первый план выходят предиктивное моделирование, анализ видимости и плотности, трехмерные ГИС [\[13, p. 46, fig. 6\]](#).

Отталкиваясь от обобщений, сделанных в цитируемой статье, доля ГИС, публикуемых в Интернете (WEB-GIS), не превышает 2% среди опубликованных работ 1990-2022 гг. [\[13\]](#).

[fig. 6\]](#). Между тем, следует назвать это направление в качестве наиболее заметного тренда последних лет. Число открытых для пользователей порталов с археологической информацией, картографируемой в ГИС, в последние годы существенно возросло. В качестве удачного примера зарубежных работ подобного рода можно привести веб-карту городищ Великобритании и Ирландии, включающую данные о 4147 памятников [\[14, 15\]](#). Подобные работы имеются и в нашей стране. Стоит упомянуть о портале «Страна городов», объединяющем информацию о городищах Волжской Булгарии, который был создан в Казанском Федеральном университете [\[16, 17\]](#). Интересным примером стал геопортал о памятниках археологии Туро-Пышминского междуречья [\[18\]](#). Наконец, в Институте археологии РАН был недавно запущен проект портала археологической карты Российской Федерации, который сделан на основе постоянно пополняющейся информации в ГИС «Археологические памятники России» (АПР) [\[19\]](#). В последнем случае, данные о месторасположении памятников археологии искажены в целях сохранения археологического наследия – находящаяся в открытом доступе карта не должна послужить орудием в разграблении древних поселений и могильников современными мародерами. Однако созданный веб-ресурс дает прекрасное представление о богатстве археологического наследия нашей страны – в настоящий момент в него включено без малого 53 тыс. археологических объектов всех типов, эпох и культур. Работа над наполнением базы данных продолжается, и в перспективе мы сможем получить в обозримом будущем ГИС национального масштаба, включающую всю информацию об археологических древностях России [\[20, 21\]](#).

Другой пример отечественной ГИС, предназначенной для весьма полного описания археологических памятников и их последующего автоматического картографирования, создан Ст. А. Васильевым в ИИМК РАН в начале 2000-х гг. Археологическая информационная система (АИС) «Археограф» первоначально создавалась в качестве базы данных с развернутой системой описания и имеющей динамическую связь с ГИС MapInfo, в которой памятники картографировались в виде точечных объектов [\[22\]](#). С 2017 г. ведется работа над обновленной версией программы, которая разработана в виде серверной ГИС на базе QGIS и включает более 25 связанных таблиц описания участков обследования, полевых работ, Открытых листов, шурфов, раскопов, памятников и отчетной документации, насчитывающих более 250 описательных полей [\[23\]](#). В настоящий момент данная АГИС активно используется в охранной археологии, в основном на территории С.-Петербурга и Ленинградской области.

Цифровые архивы и базы данных

Создание крупных баз данных, объединяющих десятки тысяч записей и открытых для пользователей – еще один современный тренд цифровой археологии. Разработка систем описания археологического материала и правил его формализации для последующего анализа с помощью компьютерных систем – это основа зарождения компьютерной археологии. Корни ее уводят еще в докомпьютерную эпоху, когда в рамках «Новой» (или процессуальной) археологии возникло особое аналитическое направление, целью которого стала разработка четких аналитических процедур, позволяющих структурировать археологический материал по системе признаков, а дальнейший математический анализ должен был позволить выделить наиболее значимые из них и на их основе провести выделение археологических культур, которые, в свою очередь, стали бы основой для дальнейших исторических интерпретаций. Именно так должна была работать знаменитая «аналитическая машина», о которой грезил Дэвид Кларк, считающийся лидером данного направления процессуальной археологии на рубеже

1960-х – 1970-х гг. [\[24, с. 219-242\]](#).

Впоследствии после появления персональных компьютеров разработка баз данных с системами описания самого разного археологического материала стала рутинной процедурой [\[25, 26\]](#), которая уже не требует серьезного теоретического обоснования. Появление новых компьютерных языков и форматов позволяют объединять разнородную информацию, накопленную в предыдущие годы, в один общий массив. Результатом этого процесса стал взрывной рост открытых баз данных археологического, антропологического, археогенетического, археометрического и археоботанического материала, которые позволяют получить любому пользователю доступ к накопленным огромным массивам информации. Таким образом, происходит внедрение BigData в повседневную археологическую практику [\[27\]](#), хотя данных в открытом доступе по-прежнему немного.

Прекрасным примером для создания в будущем открытых баз данных с археологической информацией могут послужить существующие в открытом доступе палеогенетические архивы, например, широкогеномные данные более 10 тыс. древних и 10 тыс. современных индивидов, проанализированные по 1,2 млн. однонуклеотидных полиморфизмов (SNP), которыми активно пользуются все современные палеогенетики (The Allen Ancient DNA Resource (AADR) [\[28\]](#)). Намечается схожая тенденция в исследованиях биоархеологов – обзор существующих отечественных банков данных палеоантропологической информации и их некоторых зарубежных аналогов сделан недавно М.В. Добровольской [\[29\]](#). Имеются примеры открытых баз данных для использования результатов изотопного анализа состава цветных металлов, размещенные на сайте FLAME (Flow of Ancient Metal across Eurasia) Оксфордского университета (<https://flame.arch.ox.ac.uk/>). Близкий проект был разработан там же по обобщению археоботанической информации о земледельческих культурах средневековой Англии англо-саксонского периода (FeedSax - Feeding Anglo-Saxon England) с доступным для ознакомления цифровым архивом фотографических изображений макроботанических остатков (<https://portal.sds.ox.ac.uk/feedsax>).

Пожалуй, в качестве одного из немногих примеров подобных крупных банков данных с археологическими материалами, который был некоторое время назад доступен для пользователей, может послужить база данных "Montelius", в которую на 2015 г. было включено более 960 тыс. отсканированных изображений археологических предметов из Центральной Европы, в основном I тыс. н.э. [\[30\]](#). Разработчик этого программного продукта, Петер Штадлер (Венский Музей естественной истории), снабдил базу данных пакетом программ для автоматической сериации, корреспондентного анализа и картографирования находок и провел статистическую обработку данных по древностям аварского периода [\[31\]](#). Впоследствии данную программу использовали для изучения памятников культуры линейной керамики [\[32\]](#). Существует сайт данного программного продукта, который, к сожалению, не поддерживается с 2017 г. (<https://www.winserion.org/index.html>).

С другой стороны, имеются многочисленные примеры публикаций в открытом доступе цифровых архивов отдельных археологических экспедиций и проектов. В этом ряду одним из наиболее ярких выглядит цифровой архив Американской школы классической археологии в Афинах, на сайте которой публикуются все оцифрованные археологические материалы раскопок афинской агоры с 1931 г., включая полевые дневники, чертежи, фотографии находок (всего более 370 тыс. оцифрованных

изображений), которые объединены в единую систему с помощью гиперссылок (<https://agora.ascsa.net/research>). Аналогичный архив подготовлен для материалов исследований в Коринфе; он включает в совокупности более 260 тыс. цифровых изображений (<https://corinth.ascsa.net/research>).

Попытка создания единой системы описания археологических памятников в процессе полевых работ на современном уровне также требует привлечения разнообразных цифровых технологий. Обычно разработками подобных систем занимаются крупные археологические экспедиции, в рамках которых требуется привлечение большого количества руководителей раскопов или участков одного крупного раскопа, либо начальников отдельных отрядов. Создаются специальные программные продукты, которые устанавливаются на мобильные телефоны или планшеты и включают в себя базу данных с разработанными бланками описания памятника, его участка, культурного слоя, особенностей стратиграфии, типовых объектов и археологического материала. Подобные системы снабжаются графическими редакторами и дают возможность сделать фотографии или небольшие цифровые чертежи, которые включаются в электронный полевой дневник в виде изображений. Археологические находки могут получать автоматический уникальный номер с помощью созданного QR-кода и таким образом сразу включаться в базу данных в виде полевой описи. Опыт подобных разработок обобщен в недавно вышедшем сборнике статей, имеющим открытый доступ [33].

Трехмерное моделирование методом фотограмметрии

Авторами статей упомянутого выше сборника подчеркивается, что революционным прорывом в области цифровой фиксации процесса археологических раскопок стало применение фотограмметрического метода создания трехмерных компьютерных моделей [34]. Данные модели могут использоваться на разных пространственных уровнях – начиная от обширных участков ландшафта и заканчивая отдельными находками. Для разного масштаба моделирования используются разные технологии цифровой фиксации, с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [35] или ручной фотографической съемки с использованием штатива и без него [36]. В последние несколько лет наблюдается огромный интерес к данным технологическим приемам, которые начинают постепенно заменять традиционные процедуры археологической фиксации с помощью чертежей и рисунков. Интенсификация данного процесса особенно заметна при фиксации сложных архитектурных сооружений, например, курганов с каменными конструкциями, или при широкомасштабных охранных археологических раскопках, когда требуется высокая скорость проведения полевого исследования для выполнения контракта со строительными организациями [36]. Имеются примеры внедрения процедуры цифровой фиксации методом фотограмметрии и в экспедициях, работающих с сугубо научными целями [37-39].

Данный способ осуществления цифрового моделирования археологических памятников и объектов завоевал широкую популярность, прежде всего, в силу своей доступности с точки зрения финансов и относительной простоты программного обеспечения. Однако наиболее качественные результаты достигаются специализированными коллективами, где подобной съемкой и последующей обработкой занимаются профессионалы. В качестве примеров работ отечественных специалистов в этой области следует назвать богатый опыт, накопленный лабораторией RSSDA под руководством Ю.М. Свойского, с которым можно ознакомиться на сайте данной организации (<http://www.rssda.su>).

Лазерное сканирование

Применение фотограмметрии для моделирования археологических объектов и находок постепенно стало составлять конкуренцию другому способу трехмерного моделирования в археологии – лазерному сканированию, которое набирало популярность с начала 2000-х гг. Создание высокоточных трехмерных моделей предметов искусства и архитектурных объектов, таких как, например, пирамиды в Гизе или римского Колизея, дали толчок к внедрению данной технологии в полевые археологические исследования [40, 41]. Появились прекрасные примеры использования технологии лазерного сканирования при раскопках археологических памятников [42], в большей степени данные технологии применяются для создания моделей археологических предметов [43]. Особенно популярной данное направление цифровой археологии стало в изучении каменного инвентаря со стоянок и местонахождений палеолитической эпохи, поскольку использование фотограмметрической технологии при фотографической съемке предметов из камня имеет свои ограничения (прежде всего, из-за засвечивания и бликования кремневых или обсидиановых орудий при использовании фотовспышки). Передовой зарубежный опыт в данном направлении [44] успешно внедряется и применяется отечественными археологами, например, в лаборатории «Цифра» ИАЭТ СО РАН [45] (<https://archaeology.nsc.ru/proekty/cifra/>).

Несмотря на более высокую точность компьютерных моделей, создаваемых с помощью лазерного сканирования, по сравнению с фотограмметрическим методом, первая технология в настоящий момент сильно уступает второй по широте применения. Основные причины данного явления – достаточно высокая стоимость оборудования для лазерного сканирования и сложность в освоении программного обеспечения для его последующей компьютерной обработки. Проведенные специальные сравнительные исследования двух технологий на одних и тех же археологических объектах показали безусловное преимущество фотограмметрии по сравнению с лазерным сканированием по времени, относительной простоте и доступности исполнения [46]. Тем не менее, лазерное сканирование продолжает успешно развиваться, в том числе в археологической области применения, особенно когда речь идет о технологии LiDAR, которая также по-своему стала революционным прорывом в деле поиска и фиксации археологических объектов, скрытых под лесными массивами. Появление данной технологии в начале 2000-х гг. и первые шаги по ее применению археологами [47-49] в последние годы сменилось достаточно широко распространенной практикой за счет появления лидарных устройств на БПЛА [50]. Стоит отметить, что, например, на недавно прошедшей в Москве Шестой международной конференции «Археология и геоинформатика» было сделано шесть докладов о применении технологии LiDAR для поиска археологических памятников и фиксации с воздуха археологических объектов [51]. Заинтересованный читатель может ознакомиться с ними в формате видеопрезентаций на сайте Института археологии РАН [52]. Особо следует отметить новые возможности, которые дают мобильные телефоны и планшеты Apple, снабженные лидарными сканирующими устройствами, что позволяет широко применять данную технологию в ручном режиме [53].

Искусственный интеллект

Наконец, следует сказать несколько слов о наиболее динамично развивающейся области, связанной с искусственным интеллектом. Анализ больших массивов данных с помощью глубокого машинного обучения искусственных нейросетей становится насущной необходимостью в самых разных областях. Имеются первые примеры подобных работ и в археологии. Так, коллективом испанских археологов недавно были

разработаны алгоритмы машинного обучения для автоматического распознавания и картографирования курганов на старых топографических картах [54] и космических снимках [55]. Этот же коллектив осуществил весьма интересный опыт по машинному обучению распознавания керамических фрагментов на вспаханной поверхности для последующего их картографирования и пространственного анализа, в ходе которого выявляются поселенческие структуры в местах концентрации подъемного материала [56, 57].

Другой пример касается моделирования заселения территории Восточных Альп славянскими племенами в раннем средневековье [58]. Серия карт по узким хронологическим периодам была построена компьютером автоматически на основе анализа базы данных по археологическим памятникам Центральной Европы с помощью пространственного ГИС-анализа методом «горячих точек» (hot spot). Созданная авторами анимация передает постепенное распространение поселений с определенным набором признаков, связанных с культурными характеристиками славянского населения.

В отечественной науке также появились первые примеры использования искусственного интеллекта в археологических исследованиях. Так, В.М. Костомаровым с соавторами удалось организовать обучение компьютерной программы по распознаванию нераспаханных курганных насыпей на космических снимках [59]. А коллективом археологов и программистов из С.-Петербурга проводится работа по глубокому машинному обучению автоматическому распознаванию образов с целью облегчения поиска аналогий археологическим предметам из раскопок ИИМК РАН. Для этой задачи используется АИС «Археограф», о которой шла речь выше [60]. Оба этих примера прозвучали недавно в качестве докладов на Шестой международной конференции «Археология и геоинформатика» [52].

Заключение

Приведенными выше примерами, разумеется, не ограничивается широкий круг областей археологического знания, в которых активно используются цифровые технологии. Речь идет скорее о некоторых современных тенденциях в компьютерной археологии, которые можно наблюдать в последние годы. Говоря о безусловных достоинствах цифровой археологии, позволяющей накапливать и обрабатывать огромные массивы информации об археологических ландшафтах, памятниках, объектах и находках, создавать детальные и точные трехмерные модели, интенсифицировать рутинные процессы археологической фиксации, нельзя не упомянуть и о некоторых недостатках и опасностях, которые таит данная область. Обычно специалистами в области цифровой археологии в качестве одного из главных слабых мест называется отсутствие единой разработанной методической процедуры в области цифровой фиксации, в результате чего каждый коллектив вырабатывает свой алгоритм действий по применению цифровых технологий. Другой опасный момент, который осознается научной общественностью, связан с огромными массивами информации, которые необходимо хранить на постоянной основе, что требует определенных финансовых и организационных затрат.

Мне представляется, что эти проблемы являются технически преодолимыми и решаемыми. Главная опасность, которую я вижу вслед за некоторыми авторами цитируемого выше сборника [33], заключается в том, что, увлекаясь цифровым моделированием, многие исследователи постепенно отходят от основного предмета своего исследования – археологического материала, который служит нам для

восстановления исторической картины прошлого. Какими бы ни были по своей внешней привлекательности цифровые модели, они являются лишь инструментом в этом процессе познания. Инструментом, безусловно, нужным и полезным, но неспособными полностью заместить другие методы археологической науки, такие как, например, стратиграфический или типологический. «Аналитическая машина» Дэвида Кларка остается по-прежнему несбыточной мечтой, поскольку ни один компьютер, даже с искусственным самообучающимся интеллектом, пока что не способен полностью заменить аналитические способности археологов. Поэтому представляется небесполезным призыв некоторых наших коллег к так называемой «медленной археологии» (Slow Archaeology) по аналогии с «медленной едой» (Slow Food), которая готовится индивидуально и без спешки для каждого отдельного потребителя [61]. Возможно, в этом и будет заключаться дальнейший процесс развития цифровых методов и их внедрения в будущие археологические исследования.

Библиография

1. Laflin S. Computer Applications in Archaeology 1973-1995. Great Britain: Lulu Press, 2014. 126 p.
2. Moscati P. La raccolta bibliografica di «Archeologia e Calcolatori»: la formazione // Caravale A., Moscati P. La bibliografia di informatica archeologica nella cultura digitale degli anni novanta. Sesto Fiorentino: All'Insegna del Giglio, 2021. P. 30-49.
3. Archeologia e Calcolatori. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.archcalc.cnr.it/index.php> (дата обращения 05.07.2023).
4. Journal of Computer Applications in Archaeology (JCAA). [Электронный ресурс]. URL: <https://journal.caa-international.org/> (дата обращения 05.07.2023)
5. Djindjian F. Archaeology and computers: a long story in the making of modern archaeology // Archeologia e Calcolatori. 2019. Vol. 30. P. 13-20.
6. Виртуальная археология. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.virtualarchaeology.ru/?lang=ru> (дата обращения 05.07.2023).
7. Коробов Д. С. Основы геоинформатики в археологии. М.: Изд-во МГУ, 2011. 224 с.
8. Владимирова В. Н. Историческая геоинформатика: геоинформационные системы в исторических исследованиях. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2005. 192 с.
9. Wheatley D., Gillings M. Spatial Technology and Archaeology. London; NY: Routledge, 2002. 288 p.
10. Connolly J., Lake M. Geographical Information Systems in Archaeology. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 358 p.
11. Смекалов С. Л., Федоров Д. Л. Геоинформационные технологии в археологических исследованиях. СПб.: Изд-во Балт. ТГУ, 2004. 104 с.
12. Savage S. H. GIS in Archaeological Research // Interpreting Space: GIS and Archaeology. Ed. by K. M. S. Allen, S. W. Green and E. B. W. Zubrow. London; New York; Philadelphia: Taylor and Francis, 1990. P. 22-32.
13. Menéndez-Marsh F., Al-Rawi M., Fonte J., Dias R., Gonçalves L. J., Seco L. G., Hipólito J., Machado J. P., Medina J., Moreira J., do Pereiro T., Vázquez M., Neves A. Geographic Information Systems in Archaeology: A Systematic Review. Journal of Computer Applications in Archaeology. 2023. Vol. 6 (1). P. 40-50. DOI 10.5334/jcaa.104.
14. Pouncett J. The Atlas of Hillforts of Britain and Ireland Online // Hillforts: Britain, Ireland and the Nearer Continent. Ed. by G. Lock, I. Ralston. Oxford: Archaeopress, 2019. P. 155-162.
15. Lock G., Ralston I. Atlas of Hillforts of Britain and Ireland [ONLINE]. 2017. URL:

- <https://hillforts.arch.ox.ac.uk> (дата обращения 02.08.2023).
16. Гафуров А. М., Усманов Б. М., Ермолаев О. П., Губайдуллин А. М., Хомяков П. В., Гайнуллин И. И. Картографический веб-ресурс «Страна Городов»: опыт разработки и используемые подходы при создании исторически-ориентированного геопортала // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Международной конференции. Т. 27. Ч. 4. М.: Географический факультет МГУ, 2021. С. 482–494. DOI 10.35595/2414-9179-2021-4-27-482-494.
 17. Страна Городов. Комплексное изучение городищ Волжской Булгарии современными методами [Электронный ресурс]. URL: <https://drevnosti.archeogeo.ru/> (дата обращения 02.08.2023).
 18. Сизов О. С., Цымбарович П. Р., Зимина О. Ю., Зах В. А. Веб-геоинформационные технологии в исследовании системы жизнеобеспечения древнего населения на примере Туро-Пышминского междуречья (Тюменская область) // Археология и геоинформатика. Вып. 10. Отв. ред. Д. С. Коробов. М.: ИА РАН, 2021. DVD-ROM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archaeolog.ru/media/periodicals/agis/AGIS-10/Sizov/page1.html> (дата обращения 02.08.2023).
 19. Археологическая карта России [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archaeolog.ru/ru/map> (дата обращения 02.08.2023).
 20. Россия как археологическое пространство / Под ред. Н. А. Макарова. М.: ИА РАН, 2016. 152 с.
 21. Зеленцова О. В., Коробов Д. С., Ворошилов А. Н., 2022. Археологическая карта России в первые послевоенные десятилетия (1944-1964 гг.): основные тенденции пространственного распределения памятников археологии в национальном масштабе // Российская археология. № 3. С. 7-23.
 22. Васильев Ст. А. Проект «АИС Археограф» // Археология и геоинформатика. Вып. 3. Отв. ред. Д. С. Коробов. М.: ИА РАН, 2006. DVD-ROM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archaeolog.ru/media/periodicals/agis/AGIS-3/Vasiljev/page1.html> (дата обращения 02.08.2023).
 23. АГИС Археограф [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archeo.ru/struktura-1/otdel-ohrannoi-arheologii/nauchnye-proekty-otdel-ohrannoi-arheologii/arheograf> (дата обращения 02.08.2023).
 24. Клейн Л. С. Новая археология (критический анализ теоретического направления в археологии Запада). Донецк: Донецкий национальный университет, 2009. 393 с.
 25. Базы данных в археологии. М.: ИА РАН, 1995. 218 с.
 26. Компьютеры в археологии. Материалы конференции «Опыт компьютерной обработки археологических материалов» (Москва, апрель 1993 г.). Отв. ред. Г. Е. Афанасьев, Е. Н. Черных, Ю. Л. Щапова. М.: ИА РАН, 1996. 113 с.
 27. Green Ch. Big Data in Archaeology // Handbook of Archaeological Sciences. Ed. by: A. M. Pollard, R. A. Armitage, Ch. A. Makarewicz. Second edition. Hoboken, NJ: Wiley, 2023. P. 1249-1259. DOI 10.1002/9781119592112.ch63.
 28. Mallick S., Micco A., Mah M., Ringbauer H., Lazaridis I., Olalde I., Patterson N., Reich D. The Allen Ancient DNA Resource (AADR): A curated compendium of ancient human genomes // bioRxiv. 2023. 2023.04.06.535797. DOI 10.1101/2023.04.06.535797.
 29. Добровольская М. В. Введение: хранение и исследование палеоантропологических материалов из археологических памятников // Архив палеоантропологических материалов: контексты, информационное сопровождение, исследования. Отв. ред. М. В. Добровольская. М.: ИА РАН, 2021. С. 7-16.

30. Stadler P. Quantitative Methods with Image Database Montelius and the Software Package WinSerion for Archaeologists: Examples of Different Analyses. 2015. 160 p., 132 f. Version from 14.06.2015. URL: <http://www.winserion.org/Montelius/Montelius.EN.pdf> (дата обращения 14.09.2023).
31. Stadler P. Quantitative Studien zur Archäologie der Awaren I. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 2005. 238 S. URL: <https://austriaca.at/3508-1inhalt?frames=yes> (дата обращения 14.09.2023).
32. Hahnekamp Y. A Quantitative Study of the Linear Pottery Culture Cemetery "Aiterhofen-Ödmühle" // Open Archaeology. 2021. Vol. 7, no. 1. P. 972-985. DOI 10.1515/opar-2020-0161.
33. Mobilizing the Past for a Digital Future: The Potential of Digital Archaeology. Ed. by: E. W. Averett, J. M. Gordon, D. B. Counts. Grand Forks, ND: The Digital Press at the University of North Dakota, 2016. 555 p. DOI 10.31356/dpb008.
34. Sapirstein P., Murray S. Establishing Best Practices for Photogrammetric Recording During Archaeological Fieldwork // Journal of Field Archaeology. 2017. Vol. 42, no. 4. P. 337-350. DOI 10.1080/00934690.2017.1338513.
35. Жуковский М. О. Использование мультироторных БПЛА и фотограмметрических технологий обработки аэрофотосъёмки в современных археологических исследованиях // Виртуальная археология (эффективность методов): материалы Второй Международной конференции, состоявшейся 1–3 июня 2015 года в Государственном Эрмитаже. Отв. ред. Д. Ю. Гук. СПб.: Изд-во Гос. Эрмитажа, 2015. С. 69-80. URL: http://www.virtualarchaeology.ru/pdf/281_va_book2015.pdf (дата обращения 14.09.2023).
36. Васильев Ст. А. Электронная фиксация полевых данных на охранных археологических раскопках на примере памятника Охта-1 // Археология и геоинформатика. Вып. 7. Отв. ред. Д. С. Коробов. М.: ИА РАН, 2012. DVD-ROM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archaeolog.ru/media/periodicals/agis/AGIS-7/Vasiljev/page1.html> (дата обращения 13.09.2023).
37. Жуковский М. О. Применение комплексной компьютерной методики для полевого изучения и реконструкции кургана Боюр-гора Фанагорийского некрополя // Археология и геоинформатика. Вып. 7. Отв. ред. Д. С. Коробов. М.: ИА РАН, 2012. DVD-ROM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archaeolog.ru/media/periodicals/agis/AGIS-7/Zhukovsky/page1.html> (дата обращения 13.09.2023).
38. Горячев И. О. Методика полевой электронной фиксации на примере работы Окской археологической экспедиции // Археология и геоинформатика. Шестая международная конференция. Тезисы докладов. Отв. ред. Д. С. Коробов. М.: ИА РАН, 2023. С. 32-33.
39. Гринев А. М. Трехмерная визуализация сооружений из раскопок памятников с «мокрым слоем» средствами ArcGIS Pro (по материалам работ в Великом Новгороде в 2022 г.) // Археология и геоинформатика. Шестая международная конференция. Тезисы докладов. Отв. ред. Д. С. Коробов. М.: ИА РАН, 2023. С. 33-34.
40. Neubauer W., Doneus M., Studnicka N., Riegl J. Combined High Resolution Laser Scanning and Photogrammetrical Documentation of the Pyramids at Giza // Proceedings of the International Symposium CIPA, Torino, Italy, 27 September–1 October 2005. URL: https://www.researchgate.net/publication/228911535_Combined_High_Resolution_Laser_Scanning_and_Photogrammetrical_Documentation_of_the_Pyramids_at_Giza (дата обращения 14.09.2023).

41. Gaiani M., Balzani M., Uccelli F. Reshaping the Coliseum in Rome: An Integrated Data Capture and Modeling Method at Heritage Sites // Computer Graphics Forum. Vol. 19 (3). Wiley Online Library, 2000. P. 369-378. DOI 10.1111/1467-8659.00429.
42. Doneus M., Neubauer W. 3D laser scanners on archaeological excavations // Proceedings of the International Symposium CIPA, Torino, Italy, 27 September–1 October 2005. URL: https://www.researchgate.net/publication/237369592_3D_laser_scanners_on_archaeological_excavations (дата обращения 14.09.2023).
43. Scopigno R., Pingi P., Rocchini C., Cignoni P., Montani C. 3D scanning and rendering Cultural Heritage artifacts on a low budget. 2000. URL: https://www.researchgate.net/publication/239744027_3D_scanning_and_rendering_cultural_heritage_artifacts_on_a_low_budget (дата обращения 14.09.2023).
44. Grosman L., Smikt O., Smilansky U. On the application of 3-D scanning technology for the documentation and typology of lithic artifacts // Journal of Archaeological Science. 2008. Vol. 35 (12). P. 3101–3110. DOI 10.1016/j.jas.2008.06.011.
45. Чистяков П. В., Ковалев В. С., Колобова К. А., Шалагина А. В., Кривошапкин А. И. 3D моделирование археологических артефактов при помощи сканеров структурированного подсвета // Теория и практика археологических исследований. 2019. Т. 27, № 3. С. 102-112. DOI 10.14258/tpai(2019)3(27).-07.
46. Зайцева О. В., Вавулин М. В., Пушкарёв А. А., Водясов Е. В. Трёхмерное сканирование и наземная фотограмметрия: возможности 3D-фиксации погребальных комплексов in situ // Виртуальная археология (эффективность методов): материалы Второй Международной конференции, состоявшейся 1–3 июня 2015 года в Государственном Эрмитаже. Отв. ред. Д. Ю. Гук. СПб.: Изд-во Гос. Эрмитажа, 2015. С. 177-179. URL: http://www.virtualarchaeology.ru/pdf/281_va_book2015.pdf (дата обращения 14.09.2023).
47. Doneus M., Briesse C. Full-waveform airborne laser scanning as a tool for archaeological reconnaissance // From Space to Place. 2nd International Conference on remote Sensing in Archaeology. Ed. by S. Campana, M. Forte. BAR International Series. Vol. 1568. Oxford: Archaeopress, 2006. P. 99-105.
48. Зитлер Б., Купальянц Л., Басож Ф. LIDAR как новый инструмент в изучении объектов культурного наследия. Потенциал и ограничения в распознавании микрорельефных структур при археологическом и ландшафтном обследовании // Археология и геоинформатика. Вып. 5. Отв. ред. Д.С. Коробов. М.: ИА РАН, 2008. DVD-ROM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archaeolog.ru/media/periodicals/agis/AGIS-5/Sitler/page1.html> (дата обращения 13.09.2023)
49. Crutchley S., Crow P. Using Airborne Lidar in Archaeological Survey. The Light Fantastic. Swindon: Historic England, 2018. 98 p. URL: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/using-airborne-lidar-in-archaeological-survey/> (дата обращения 13.09.2023)
50. Новиков В. В. Опыт применения воздушного лазерного сканирования на базе БПЛА в лесной и лесостепной зонах Европейской части России. Предварительные результаты работ // Археология и геоинформатика. Вып. 10. Отв. ред. Д. С. Коробов. М.: ИА РАН, 2021. DVD-ROM [Электронный ресурс]. URL: https://www.archaeolog.ru/media/periodicals/agis/AGIS-10/Novikov_1/page1.html (дата обращения 13.09.2023)
51. Археология и геоинформатика. Шестая международная конференция. Тезисы

- докладов. Отв. ред. Д. С. Коробов. М.: ИА РАН, 2023. 88 с. URL: https://www.archaeolog.ru/media/books_2023/agis_6_tezisy.pdf (дата обращения 13.09.2023)
52. Шестая международная конференция «Археология и геоинформатика». URL: <https://www.archaeolog.ru/scientific-activity/periodic-conferences/arkheologiya-i-geoinformatika/shestaya-mezhdunarodnaya-konferentsiya-arkheologiya-i-geoinformatika> (дата обращения 17.07.2023)
53. Васильев Ст. А. Apple LiDAR – инструмент или игрушка? // Археология и геоинформатика. Шестая международная конференция. Тезисы докладов. Отв. ред. Д. С. Коробов. М.: ИА РАН, 2023. С. 23-25.
54. Garcia-Molsosa A., Orengo H. A., Lawrence D., Philip G., Hopper K., Petrie C. A. Potential of deep learning segmentation for the extraction of archaeological features from historical map series // Archaeological Prospection. 2021. Vol. 28. P. 187–199. DOI 10.1002/arp.1807.
55. Orengo H. A., Conesa F. C., Garcia-Molsosa A., Petrie C. A. Automated detection of archaeological mounds using machine-learning classification of multisensor and multitemporal satellite data // PNAS. 2020. Vol. 117 (31). P. 18240-18250. DOI 10.1073/pnas.2005583117.
56. Orengo H. A., Garcia-Molsosa A. A brave new world for archaeological survey: Automated machine learning-based potsherd detection using high-resolution drone imagery // Journal of Archaeological Science. 2019. Vol. 112. 105013. DOI 10.1016/j.jas.2019.105013.
57. Orengo H. A., Garcia-Molsosa A., Berganzo-Besga I., Landauer J., Aliende P., Tres-Martínez S. New developments in drone-based automated surface survey: Towards a functional and effective survey system // Archaeological Prospection. 2021. Vol. 28 (4). P. 519–526. DOI 10.1002/arp.1822.
58. Štular B., Lozić E., Belak M., Rihter J., Koch I., Modrijan Z., Magdič A., Karl S., Lehner M., Gutjahr Ch. Migration of Alpine Slavs and machine learning: Space-time pattern mining of an archaeological data set // PLOS ONE. 2022. Vol. 17 (9). e0274687. DOI 10.1371/journal.pone.0274687.
59. Костомаров В. М., Исаева В. О, Козлова Д. В. Методы автоматического дешифрирования ДДЗ лесостепной части Тоболо-Иртышья: подходы, сложности и интерпретация // Археология и геоинформатика. Шестая международная конференция. Тезисы докладов. Отв. ред. Д. С. Коробов. М.: ИА РАН, 2023. С. 45.
60. Блохин Е. К., Васильев Ст. А., Иванов Р. В., Королев А. И., Лашманов О. Ю., Силаева Н. В. Нейросеть в археологии – далекое будущее или близкая реальность? // Археология и геоинформатика. Шестая международная конференция. Тезисы докладов. Отв. ред. Д.С. Коробов. М.: ИА РАН, 2023. С. 17-18.
61. Caraher W. Slow Archaeology: Technology, Efficiency, and Archaeological Work // Mobilizing the Past for a Digital Future: The Potential of Digital Archaeology. Ed. by: E. W. Averett, J. M. Gordon, D. B. Counts. Grand Forks, ND: The Digital Press at the University of North Dakota, 2016. P. 421-441. DOI 10.31356/dpb008

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Отзыв на статью "Цифровая археология сегодня: достижения и проблемы".

Предмет исследования обозначен в названии и разъяснен в тексте статьи.

Методология исследования. Методология исследования базируется на принципах научной объективности, системности и историзма. В работе исследуются естественнонаучные методы археологии, методы по виртуальному 3D-моделированию объектов культурного и природного наследия, информационным технологиям в истории, виртуальной археологии и др. При написании статьи использован также исторические методы исследования.

Информационной базой исследования послужили результаты исследований, получившие отражение в научных монографиях и публикациях отечественных и зарубежных авторов. Актуальность исследования. Цифровые технологии все активнее используются в археологии. Автор отмечает, что более 50 лет тому назад исследователи стали использовать компьютерные технологий в археологических исследованиях, что привело к формированию особого направления. Автор ставит цель показать, как развивается это направление и ставит задачу «обозначить самые основные тенденции, которые наблюдаются в современной цифровой археологии, и заострить внимание на существующих в ней проблемах и сложностях». Актуальность темы рецензируемой статьи не вызывает сомнений.

Научная новизна заключается в постановке проблемы и задач исследования.

Стиль, структура, содержание. Стиль статьи научный, язык ясный и четкий. Структура статьи направлена на достижение цели и задач исследования. Во введении статьи раскрыта актуальность исследования, цель и задачи. Автор разъясняет, что термин «цифровая археология» он трактует «расширительно, как синоним «компьютерной археологии» и поясняет, что существует «и более узкое применение данного термина как использования исключительно трехмерного моделирования в археологических исследованиях». Основная часть работы состоит из следующих разделов: Географо-информационные системы (в этом разделе автор поясняет результаты уже достигнуты и какие перспективы открываются перед исследователями с применением новых компьютерных языков и форматов для объединения накопленной информации один общий массив, а также для работы с уже имеющимися базами данных археологического, антропологического, археогенетического, археометрического и археоботанического материала и многое другое); Трехмерное моделирование методом фотограмметрии. Автор отмечает, что данный способ осуществления цифрового моделирования археологических памятников и объектов в настоящее время стал очень популярным в первую очередь в «силу своей доступности с точки зрения финансов и относительной простоты программного обеспечения»; Лазерное сканирование. Этот метод является перспективным с точки зрения получения высокой точности компьютерных моделей, но из-за достаточно высокой стоимости оборудования для лазерного сканирования и сложности в освоении программного обеспечения для его последующей компьютерной обработки пока уступает трехмерному моделированию методом фотограмметрии; Искусственный интеллект. Автор пишет, что это является наиболее динамично развивающимся направлением и отмечает, что «анализ больших массивов данных с помощью глубокого машинного обучения искусственных нейросетей становится насущной необходимостью в самых разных областях». Он приводит ряд успешных примеров подобных работ в зарубежной и отечественной археологии. В Заключении представлены выводы. Отмечается, что цифровые технологии открывают новые перспективы, но они неспособны полностью заместить другие методы археологической науки, такие как, например, стратиграфический или типологический. Кроме того, «ни один компьютер, даже с искусственным самообучающимся интеллектом, пока что не способен полностью заменить аналитические способности археологов».

Библиография работы обширна и насчитывает 61 источник. Это работы зарубежных и российских исследователей по теме исследования. Библиография показывает, что автор глубоко разбирается в теме. Библиография оформлена по требованиям журнала.

Апелляция к оппонентам представлена на уровне собранного в ходе работы над темой статьи информации. Апелляция к оппонентам представлена в библиографии, в котором можно найти ответы, на интересующие вопросы.

Выводы, интерес читательской аудитории. Работа написана на актуальную тему и вызовет интерес специалистов и широкого круга читателей, интересующихся цифровыми методами в гуманитарных науках