

Фотограмметрія. Практичне застосування в археології: наукові та громадські перспективи

Єреденко Любов

Студентка 4 курсу історичного факультету, освітньої програми «Археологія та преісторія»,
КНУ ім.Т.Г.Шевченка, вул. Володимирська, 60, Київ, 01033, Україна, e-mail: lubawa.reta@gmail.com,
ORCID: 0009-0003-4337-5582.

Стаття створена на основі кваліфікаційної роботи авторки захищеної на кафедрі археології Київського національного університету імені Тараса Шевченка 2024 року. В процесі дослідження теоретичних основ та практичного застосування методів фотограмметрії – було зроблено огляд закордонної та вітчизняної бібліографії. Передбачалось здійснення моделювання археологічних предметів засобами фотограмметрії. Об'єктами моделювання було обрано предмети з НФ ІА НАН України, Розділ IV, колекція №1616, дослідження Г. Ю. Івакіна (Ivakin et. al. 2017) на пам'ятці археології національного значення – «Китаївське городище і курганний могильник» під охоронним номером 260026-Н. Результати сканування оприлюднені в онлайн-репозиторії.

Ключові слова: фотограмметрія, 3D-сканування, пам'яткоохоронна справа, Китаївський археологічний комплекс, цифровізація археологічних об'єктів.

А. Вступ\Introduction

В практиці археологічних досліджень чільне місце займає проблема належної фіксації та документування як самого процесу досліджень (процесуальний опис та фіксація ходу досліджень) так і окремих артефактів-предметів, «об'єктів» в ширшому розумінні (залишки, спори, стратиграфічні та планіграфічні комплекси), археологічних об'єктів (стоянки, поселення, виробничі комплекси тощо), екофактів і навіть археологічних ландшафтів. Документуванню в археології підлягають не лише окремі сутності, але й зв'язки між ними.

Традиційно для документування в археології використовуються текстовий опис, таблиці, рисунок, креслення та фотографія. Одним з найдавніших засобів фіксації археологічних об'єктів був рисунок. Завдяки цьому виду візуальних джерел ми маємо уявлення про вигляд безлічі старожитностей з часів, коли археологія ще не сформувалась як окрема наука. Рисунок, як правило, не був точною копією об'єкта, а передавав основні його риси та особливості. Сучасний археологічний рисунок часто наближений до креслення як схематичного зображення. З часом, рисунки що зображали планіграфічні та стратиграфічні реалії археологічних розкопок набули вигляду креслень.

Проблема як рисунку, так і креслення полягає у суб'єктивності отриманих результатів, оскільки якість передачі реальності на папір залежить виключно від досвіду та навичок виконавця. Проте, варто зазначити, що малювання саме по собі залишається важливою частиною археологічної практики. Воно є корисним для заглиблення у матеріал, оскільки базується на детальному огляді кожного окремого артефакту ізольовано та в межах археологічного об'єкта, а отже – це важлива навичка як для студентів, що тільки розпочинають знайомство з археологічними колекціями, так і для науковців із досвідом, для занурення в матеріал.

Осібнo серед способів археологічного документування знаходиться фотографія. Не торкаючись дискусій про сутність та достовірність цього медіума, відзначимо, що фотографія, хоч і здається на перший погляд вельми об'єктивною – не передає якісно форму, розміри та особливості артефакту, адже є 2D-зображенням, і цей фактор також погіршується через невідповідне освітлення, положення артефакту, низьку контрастність тощо. Розвитком застосування фотографічної техніки є технологія фотограмметричних зображень, що на основі плоских, 2D фотографічних знімків створює 3D-модель. Фотограмметрія це – пасивний метод, тобто, на відміну від лазерного сканування, комп'ютерної томографії чи сканування структурованим світлом, тут сканером виступає фотокамера, яка фіксує природне або штучне світло, відбите від об'єкта.

Саме цей метод ми використали для оцифрування артефактів, як частини реалізації стратегії популяризації Китаївського АК, розробленої групою активістів, аспіранткою Києво-Могилянської Академії Олександрою Івановою та співробітником Інституту археології НАН України Іваном Зоценком.

В. Про фотограмметрію \ About Photogrammetry

Американське товариство фотограмметрії та дистанційного зондування (ASPRS) пропонує одне з визначень фотограмметрії та описує її як «наука, мистецтво та методи отримання достовірної інформації про фізичні об'єкти та навколишнє середовище за допомогою процесу запису, вимірювання та інтерпретації аерофотознімків і фотографій землі» (Saif 2013).

Зародження принципів фотограмметрії відносять до перших кроків у вивченні перспективи, а саме – до досліджень Леонардо да Вінчі. Проте, звісно, вони були дуже далекі від новацій, що потрясуть людство з винайденням фотографії. Саме з ними пов'язують формування

фотограмметрії як науки. Її розвиток поділяють на чотири стадії, відповідно до розвитку технологій:

- «пласка фотограмметрія», яка фактично розширяла межі традиційної фотографії, коли в об'єктив не вміщалися об'єкти;
- «класична фотограмметрія» базувалася на аналогових, себто плівкових знімках, яка активно використовувалася для аерофотознімків в цілях картографування;
- «аналітична фотограмметрія» це також про аналогове фото, але обробка масиву фотографій вже відбувається не механічно, а математично, із застосуванням комп'ютера;
- «цифрова фотограмметрія» це те, якою ми її знаємо сьогодні. Людство перейшло до цифрової фотографії, але обробка фотографій так само залишається за комп'ютерами та математичними обрахунками. Значний прогрес у якості даних також зробило поширення та удосконалення методів геореференції (Saif 2013).

З 1990-х років частота використання 3D-технологій в археології збільшилася. Хоча зараз дослідники зазначають, що більшість робіт у цьому напрямку, якщо не рахувати аерофотограмметрію, не були суто науковими, а виконували переважно для презентації реконструкцій та ілюстрацій досліджень (Kleijn, Hond, Martinez-Rubi 2016). Безумовно, в українській археології початок застосування аерофотограмметрії пов'язується із роботами К. В. Шишкіна (Shishkin 1973, 32-38).

Ситуація змінюється на початку 2000-х із поширенням нових методів збору даних – цифрова фотограмметрія поєднується з системами лазерного сканування; відбувається активна розробка програмного забезпечення для аналізу 3D-даних (Kleijn, Hond, Martinez-Rubi 2016). Важливо, що саме у цей період з'являються цивільні бортові лазерні системи, що мають невелику похибку – 0.1-0.2 м. Це дозволило впровадити LiDAR сканування в наукові дослідження

(Remondino, Campana 2014). Завдяки цьому в середині 2000-х з'являються перші розробки з поєднання фотограмметрії та лазерного сканування для отримання метрично точних моделей, наділених значно якіснішою текстурою та кольором (Kleijn, Hond, Martinez-Rubi 2016). Таке комбінування методів є важливим, адже LiDAR надає неймовірно точну метричну інформацію, може ігнорувати рослинність для отримання точних топографічних моделей, але при цьому не надає відомості щодо текстури та кольору об'єкта. Фотограмметрія ж без додаткових маніпуляцій надає не масштабовану модель, але при цьому досить точно фіксує колір та текстуру. Таким чином в цей час відбувся перехід від ілюстративного документування до створення метрично точних моделей об'єктів придатних для наступного аналітичного дослідження.

Загалом, існує дуже багато способів отримати 3D-модель об'єкта, але в операціях з культурною спадщиною використовують зазвичай лише обмежену кількість із них. Це пов'язано із дорожнечою методів, складністю роботи з технікою та даними, рідкісністю обладнання. Так, почасти у дослідженнях використовуються лазерні сканери, фотограмметрія, сканери структурованого світла та комп'ютерна томографія, але справді популярними, в силу своєї доступності, є перші два методи.

Усі з них є неінвазивними, оскільки не вимагають прямого контакту з об'єктом, хоча у випадку з рухомих артефактом почасти необхідною є його переорієнтація для повного захоплення усіх особливостей.

С. Історична довідка\Historical reference

Метод був застосований саме для артефактів Китаївського АК з огляду на загрозу забудови, що виникла ще у минулому столітті та існує станом на сьогодні. Це – складний об'єкт, що містить 5 складових елементів: городище, посад, курганий могильник, печерний комплекс

та поселення в урочищі Виноградне. Ця місцевість була вперше заселена в добу енеоліту. На території пам'ятки виявлено артефакти доби бронзи, раннього залізного віку.

Комплекс ототожнюють з Пересіченем – давньоруським містом, згаданим в Іпатіївському літописі. Тоді він стояв на обороні давньоруського Києва, у сучасності став частиною столиці. Це мальовнича, тиха місцевість, що несе в собі тяглість поколінь через численні археологічні пам'ятки (адже пам'ятка є багатошаровою), печери ченців та монастир.

Китаїв неодноразово попадав у поле уваги археологів – його дослідження почав ще в 1874 р. Д. Я. Самоквасов (Movchan 1993, 187-205). Проводили розкопки тут й інші відомі археологи – О. Д. Ертель, Н. В. Лінка (Linka 1947, 39-53). Найбільш комплексними були дослідження Івана Івановича Мовчана, що розпочалися у 1973 р., і який багато разів повертався на пам'ятку, що красно відбилася у його бібліографії.

Для сканування ж ми відібрали нову колекцію, що була отримана у 2017 р. Архітектурно-Археологічною Експедицією Інституту археології НАН України під керівництвом Гліба Івакіна (Ivakin et. al. 2017). Тоді, у зв'язку з підготовкою історико-містобудівної документації на ділянки, що розташовувалися в районі пам'ятки, археологи провели комплекс масштабних археологічних робіт на поселенні з установами остаточної меж посаду Китаївського городища.

Проте не дивлячись на усе це, територія комплексу є апетитним шматочком для забудовників, а практична частина у даній науковій роботі – є частинкою тієї боротьби, що ведеться містянами та науковцями за збереження унікальних пам'яток України. Станом на зараз команда SaveKytaiv («Save Kytaiv» 2023-2024) проводить також юридичну та медійну роботу, аби привернути увагу громадськості до судових справ щодо повернення Китаївського АК у державну власність.

D. Практичний досвід (Practical Experience)

У співпраці з ГО «Науково-дослідна лабораторія "Архаїка"» (Scientific and research lab «Archaïc» 2019-2024) було проведене сканування артефактів із використанням фотограмметрії. Організація надала обладнання, а члени команди «Архаїки», студент катедри археології та музеєзнавства Гордієнко Т. та випускниця Іванова О. провели воркшоп для студенток – Єреденко Л. та Гусак А.

В практичній частині своєї роботи ми застосували технологію «Image-Based Modelling», тобто моделювання на основі зображень, що використовує ряд алгоритмів, які за допомогою математичних обрахунків зіставляють фото та будують на основі них тривимірну модель. Вона об'єднує як фотограмметрію, так і комп'ютерний зір. Якщо брати вужче, то нами використовується один з методів «Shape from X», а точніше – «shape (or structure) from motion», або ж «SfM», що також будується на фотограмметрії та комп'ютерному зорі (ScRAP Guidance; Wilczek 2013).

SfM використовує пакет фотографій, що зроблені з накладанням, тобто зображення має містити більше ніж 60% деталей, що потрапили на минулу фотографію, аби визначити положення камери. Якщо значення нижче, зведення моделі може не відбутися зовсім, але чим воно вище – тим модель чіткіша. Головне – це не перенавантажити програмне забезпечення кількістю фото, оскільки результат також буде відсутній (Polo, Felicísimo, Durán-Domínguez 2022).

Цей метод сам по собі також не продукує масштабовану модель, досліднику необхідні додаткове обладнання та маніпуляції для того, аби отримати метрично точну копію артефакту. Натомість за використання якісного обладнання та правильно проведеної обробки фото, він може гарантувати точність текстури та відповідність кольору, що зазвичай не здатні запропонувати лазерні системи сканування.

Підготовка до сканування: було використано фотокамеру Sony a7RV з об'єктивами Sigma 105mm F2.8 DG, Sony FE 50mm f/2,8 G, працювали на штативі. Фоном була чорна матова щільна тканина, обертальну платформу накрили чорною повстю, оскільки вона найкраще поглинає світло та легко прибирається з фото при обробці (рис. 1). Обертальна платформа – механічна, оскільки нам потрібно отримати максимально якісні кадри. Рух автоматичної обертальної платформи у процесі знімка зробив би фото дещо розмитим.



Рис. 1. Робоче місце. Авторка фото – Єреденко Любов.

Fig. 1. Workspace. The author of the photo is Lyubov Yeredenko.

Для освітлення було використано прилади штучного освітлення – два софтбокси (softbox), що дають розсіяне світло нейтральної температури, а також – світлова панель, яку використовували для точкового підсвічення за потреби.

Знімки робилися дистанційно, за допомогою мобільного застосунку Creators' App для того, аби камера була максимально статичною, а фото виходили якомога чіткішими. Плюсом була можливість налаштовувати фокусування в програмі, чого не можна зробити, якщо використовувати пульт дистанційного керування, що під'єднується до камери. Окрім цього, через велику кількість натискань такі пульти

схильні до швидкого зношування, оскільки тільки для однієї моделі робиться декілька сотень фотографій.

Для фіксації у нестійких положеннях використовується пластилін, що не залишає слідів при вилученні. Ми використовували білий, оскільки він найбільш контрастний до артефактів, отже – він дуже легко вилучається з фото при обробці.

Предмети з колекції були відібрані відповідно до наших потреб – артефакти мають бути показовими, їх має бути доцільно та можливо відсканувати.

Процес отримання фотознімків:

1. Перше фото – завжди з карткою калібрування кольору (color card), в нашому випадку це Datacolor Spydercheckr 24.
2. Далі – одне коло знімків з масштабами (scale bars) (рис. 2), при цьому обертання досить значне – приблизно 20° на кожен знімок. Ці фото будуть використані для масштабування та калібрування кольору моделі.



Рис. 2. Спеціальні масштаби, оброблене фото з масштабами. Автор фото – Тім Гордієнко.

Fig. 2. Special scales, processed photo with scales. The author of the photo is Tim Hordienko.

3. Опісля – декілька циклів знімків із зовсім меншим обертанням платформи – 10-15° в різних позиціях артефакту, щоб подолати

феномен самооклюзії (у випадку з горщиком) та аби захопити в об'єктив усі можливі сторони артефакту.

Загалом, на одну модель йде приблизно 200-300 фото, залежно від розміру може бути більше або менше (табл. 1).

При переході до наступного кроку варто зазначити, що для роботи з 3D-моделлями потрібні досить коштовні ПК, з великою кількістю оперативної пам'яті та потужною відеокартою. Що слабше ПК, то довше буде відбуватися обробка, займаючи години для кожного з етапів. У нашому випадку це LENOVO Legion Pro 5-16ARX8, об'єм ОЗП, відеокарта GeForce RTX 4070 на 24GB, процесор Ryzen 9 7945HX, 2,5 (5,4) ГГц.

Обробка фото: необхідно використовувати ПЗ, у якому можливо одночасно обробляти цілий пакет фотографій, у нашому випадку це Capture One, але можна використовувати Adobe Photoshop Lightroom, Adobe Photoshop, RawTherapee, а з безкоштовних програм – GIMP тощо.

4. За допомогою першого знімку з color card ми проводимо налаштування балансу білого, щоб колір артефакту на фото відповідав реальності.
5. Далі відбувається прибирання усього зайвого з фото – використовуємо радіальну «маску» для фотографій з масштабом (рис. 2), просто для артефактів використовуємо ШІ, який самостійно визначає межі артефакту (рис. 3). Решта фото затемняється скиданням кривої кольору.

Процес тривалий за часом, але потрібний для отримання чистої моделі без вкраплень навколишнього середовища.

Перетворення 2D-знімків у 3D-модель: Для зведення моделі використовуємо Reality Capture, але є й інші ліцензійні ПЗ – Photomodeler

Scanner, Autodesk ReCap Pro та інші. Хочеться зазначити, що популярним залишається Agisoft Metashape, але це продукт країни-агресора, який до того ж має непомірну вартість.



Рис. 3. Оброблене фото без масштабу. Авторка фото – Іванова Олександра.

Fig. 3. Processed photo without scale. The author of the photo is Oleksandra Ivanova.

6. Для створення щільної хмари точок використовується пакет фото, оброблених у попередньому етапі. Це все ще не модель, а саме хмара точок.
7. Далі – відбувається перетворення хмари точок у модель. На цьому етапі вона може показати прогалини, у нашому випадку це сталося всередині горщика, під вінцем. Проблема була вирішена інтеграцією додаткових фото, із допоміжним освітленням.
8. Для масштабування обираються декілька фото зі scale bars, вноситься відома відстань між поділками, відмічаючи відрізки на кожному з фото. Таким чином, програмне забезпечення визначає розмір об'єкта.
9. Для контролю точності можливо застосувати розрахунки на основі даних, що видає Reality Capture після масштабування, за формулою, де S – це scale bar, а n – їхня кількість, використана для масштабування моделі:

$$\sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + \dots + S_n^2}{n}} \times 1000$$

Е. Результати\Results

Отже, впродовж декількох днів навчально-практичного процесу було створено шість 3D-моделей – два кістяні астрагали, один хрест-енколпійон та один натільний хрест, горщик та уламок плінфи. Окрім цього, оскільки у наявності було гарне обладнання, ми зробили сотні якісних фотографій артефактів (табл. 1), що, окрім як для створення моделі, були б, на нашу думку, цікаві широкому загалу. Серед оброблених для 3D-моделювання фотографій також були відібрані красиві кадри, які були та продовжують використовуватися командою активістів у популяризаційних цілях.

Цифрові копії були опубліковані на платформі Sketchfab (табл. 1), звідки вони будуть портовані у тематичні публікації на сайті SaveKytyayiv після завершення його розробки. Для соцмереж були використані відеоогляди 3D-моделей, зроблені також за допомогою функції, пропонуваної Reality Capture (табл. 2, #1). Так, для поширення петиції проти знищення Китаївського АК, було створене відео, що наочно демонструвало археологічні залишки на поселенні (табл. 2, #2). Вже зараз активістами використовуються отримані матеріали для привернення уваги до судових засідань щодо ділянок Китаєва (табл. 2, #3). Отже, командою були отримані метрично точні цифрові моделі артефактів, що можуть бути в майбутньому використані як дослідниками в наукових цілях, так і громадськими активістами для підвищення інтересу суспільства до конкретної пам'ятки та до археології в цілому. Наукова обробка даних моделей може охоплювати морфологічний аналіз, як це робить, до прикладу, Жигола В. та Скороход В. у сфері керамології (Zhyhola, Skorokhod 2021, 181–191), безумовно, це також і зусилля, направлені на збереження артефактів у цифровому вигляді, що є актуальним у воєнний час, коли росіяни можуть просто знищити наші сховища.

Вищеописаний метод презентації артефактів також і доступніє їх, дозволяючи ознайомлюватися з ними без фізичного відвідування музейних установ, що є особливо актуальним під час війни, коли більшість експозицій евакуйована, а музеї залишаються пустими. На прикладі Музею історії міста Києва можна бачити, що археологічна експозиція може бути створена на основі експонованих 3D-моделей артефактів. Велика кількість колекцій також недоступна для громадян, оскільки наукові, науково-навчальні фонди не є відкритими, як, наприклад, артефакти, з якими ми працювали в ході нашого дослідження, адже відскановані артефакти походять з Наукових Фондів ІА НАНУ. Таким чином, оприлюднення 3D-моделей археологічних предметів уможливлюють реалізацію невід'ємного права кожної людини на доступ до культурної спадщини.

Ф. Висновки\Conclusions

Розвиток неінвазивних методів, що сприяють збереженню культурної спадщини, є дуже важливим напрямком в нашій науці, що не просто дозволяє зберегти артефакт у цифровому вигляді, але й залучити громадськість до вивчення та захисту історії та археології нашої держави.

Окрім цього, культурну, релігійну та рекреаційну цінність комплексу, артефакти якого були оцифровані, важко переоцінити. Вимоги сталого розвитку урбанізованих територій спонукають до довгострокового планування міської забудови. Таке планування йде у розріз з чинною концепцією максимально щільної житлової та комерційної забудови міста Києва. Територія Китаївського археологічного комплексу має непересічне значення для сталого розвитку київської агломерації через збіг його розташування, природних властивостей місцевості та історико-культурного ресурсу, що міститься на його території. За умови розвитку місцевості через створення заповідника, музею, паркових маршрутів – місце може перетворитися на ключову точку культурного туризму, впливати

на місто економічно. І звісно, хотілося б зберегти пам'ятку для майбутніх поколінь науковців.

3D-археологія, як її називають в англійських публікаціях, надає широкий спектр методів, що здатні суттєво збільшити кількість та якість інформації, що здобувається в ході польових досліджень. Використання даних технологій дозволяє широко обмінюватися даними з науковцями з будь-яких куточків світу, моделі дозволяють провести метричні, морфологічні дослідження цих цифрових моделей без необхідності виходити з дому або ж піддавати артефакти ризику при перевезенні.

Залучення подібних науково-допоміжних матеріалів до музейних установ сьогодні дозволяє демонструвати матеріальну культуру навіть не зважаючи на евакуйовані колекції, або ж на недоступність їх через зберігання у закритих фондах, як це й трапилося у нашому випадку. Доступність цифрових моделей це важливий фактор не лише для «внутрішнього користувача», але й суттєвий напрямок для розвитку «культурної дипломатії» та презентації України у світі.

G. Подяки\Acknowledgements

Висловлюю безмірну вдячність усім, хто допоміг зробити цю статтю не просто теоретичним оглядом, а й аналізом практичного досвіду. ГО «Науково-дослідна лабораторія "Архаїка"» та її співробітникам Івановій О. та Гордієнку Т. за проведення ґрунтового та плідного воркшопу. В. о. завідувача сектору наукових фондів ІА НАНУ Сон Н. О. та завідувачу розділу IV Капустіну К. М. за доступ до колекції. Зоценку І. В. та активістам, що побажали залишитися не названими, за організацію роботи!

Від щирого серця дякую моїм науковим керівникам – Зоценку Івану Володимировичу та Шидловському Павлу Сергійовичу, та науковому консультанту – Борисову Артему Вадимовичу за підтримку на шляху написання роботи.

Література

Жигола, В., Скороход, В. 2021. Застосування фотограмметричних методів у керамології. *Археологічна керамологія* 1-2 (5-6), с. 181–191.

Івакін, Г. (†), Баранов, В., Івакін, В., Зоценко, І., Бібіков, Д., Оленіч, А., Переверзев, С. 2017. Науково-рятивні дослідження Архітектурно-археологічної експедиції ІА НАНУ на території м. Києва. *Археологічні дослідження в Україні*, с. 59–62.

Лінка, Н. В. 1952. Роботи експедиції «Великий Київ» за 1947 р. В: Єфименко, П. П. (ред.) *Археологічні пам'ятки УРСР*, Т. III, с. 39-53.

Мовчан, І. І. 1993. Південний форпост стародавнього Києва. В: Толочко, П. П. (ред.) *Стародавній Київ. Археологічні дослідження 1984-1989 рр.* – К: Наукова думка, с.187-205.

Науково-дослідна лабораторія «Архаїка» [online]. Режим доступу: <https://archaic.com.ua/> [Дата звернення: 11 вересня 2024].

Громада «Save Kytaiv» [online]. Режим доступу: <https://savekytayiv.com/> [Дата звернення: 11 вересня 2024].

Шишкін, К. В. 1973. З практики дешифрування аерофотознімків у археологічних цілях. *Археологія* 52, с. 32–38.

Kleijn, M., Hond, R., Martinez-Rubi, O. 2016. A 3D spatial data infrastructure for Mapping the Via Appia. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 3 (2), p. 23-32.

Polo, M., Felicísimo, Á. M., Durán-Domínguez, G. 2022. Accurate 3D models in both geometry and texture: An archaeological application. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 27, e00248.

Remondino, F., Campana, S. 2014. *3D Modeling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices*. n.p.: BAR International Series.

Saif, W. 2022. *Photogrammetry: A Brief Historical Overview*. n.p.

ScRAP Guidance (n.d.) *3D Field Recording. PART 1: What is it?*. n.p.

Wilczek, J. 2013. *Metody 3D akvizice a jejich aplikace v archeologii (e-learningové materiály)*. Brno: Masarykova univerzita.

References

Zhyhola, V., Skorokhod, V. 2021. Zastosuvannia fotogrametrychnykh metodiv u keramologii. *Arkeolohichna keramologia* 1-2 (5-6), p. 181–191.

Ivakin, H. (†), Baranov, V., Ivakin, V., Zotsenko, I., Bibikov, D., Olenych, A., Pereverziev, S. 2017. Naukovo-riativni doslidzhennia Arkhitekturno-arkheolohichnoi ekspedytsii IA NANU na terytorii m. Kyieva. *Arkeolohichni doslidzhennia v Ukraini*. p. 59–62 (in Ukrainian).

Linka, N. V. 1952. Roboty ekspedytsii «Velykyi Kyiv» za 1947. In: Yefymenko, P. P. (ed.) *Arkeolohichni pamiatky* T. III. p. 39-53 (in Ukrainian).

Movchan, I. I. 1993. Pivdennyi forpost starodavnoho Kyieva. Tolochko, P. P.(editor) *Starodavnyi Kyiv. Arkheolohichni doslidzhennia 1984-1989* – Kyiv: Naukova dumka. p.187-205 (in Ukrainian).

Scientific and research lab «Archaic» 2019-2024 [online]. Access mode: <https://archaic.com.ua/> [Date of application: 11 September 2024].

«Save Kytaiv» 2023-2024 [online]. Access mode: <https://savekytayiv.com/> [Date of application: 11 September 2024].

Shishkin, K. V. 1973. Z praktiki deshifruvannia aerofotoznmiv v arkheologichnikh tsiliakh. *Arkheologiya* 52, p. 32–38 (in Ukrainian).

Kleijn, M., Hond, R., Martinez-Rubi, O. 2016. A 3D spatial data infrastructure for Mapping the Via Appia. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 3 (2), p. 23-32.

Polo, M., Felicísimo, Á. M., Durán-Domínguez, G. 2022. Accurate 3D models in both geometry and texture: An archaeological application. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 27, e00248.

Remondino, F., Campana, S. 2014. *3D Modeling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices*. n.p.: BAR International Series.

Saif, W. 2022. *Photogrammetry: A Brief Historical Overview*. n.p.

ScRAP Guidance (n.d.) *3D Field Recording. PART 1: What is it?*. n.p.

Wilczek, J. 2013. *Metody 3D akvizice a jejich aplikace v archeologii (e-learningové materiály)*. Brno: Masarykova univerzita.

Таблиця 1. Таблиця використаних для моделювання фотознімків та посилань на 3D-моделі.**Table 1.** Table of photographs used for modelling and links to 3D models.

Артефакт	Загальна кількість фото	Кількість фото зі scale bars	Посилання на модель
astragali_1	173	19	https://skfb.ly/pqwsq
astragali_2	197	20	https://skfb.ly/pqws8
encolpion_3	232	7	https://skfb.ly/pqwst
brick_4	162	18	https://skfb.ly/pqwsu
cross_5	84	16	https://skfb.ly/oZBID
pot_6	336	9	https://skfb.ly/pqwsB

Таблиця 2. Приклади використання отриманих матеріалів у громадянських цілях.**Table 2.** Examples of using the obtained materials for civil purposes.

#	Платформа	Посилання
#1	Facebook	https://m.facebook.com/story.php?story_fbid=pfbid02yaCYCDqJnWa5X5RjxQuL53ZTH1h6RjQQeTvBNrrzrH-dRog9BHxv5gaQiTktabheWl&id=61557354272301
#2	Instagram	https://www.instagram.com/reel/C8n3GVxpzSt/?igsh=MXZ2bjQx-aTcyNGJncA==
#3	Сайт пам'ятки	https://savekytayiv.com/Археологія

Photogrammetry. Practical application in Archaeology: Scientific and Public Perspectives

Yeredenko Lyubov

Student, Department of Archaeology and Museum Studies, Taras Shevchenko National University of Kyiv address: Volodymyrska St, 60, Kyiv 01033, Ukraine, e-mail: lubawa.reta@gmail.com, ORCID: 0009-0003-4337-5582.

The article is the result of the 2024 qualification work by the author, a student of the Department of Archaeology and Museology at Taras Shevchenko National University of Kyiv. The theoretical part about photogrammetry, which is based on the study of foreign and domestic historiography on the subject, is briefly presented in the introduction and the section «About Photogrammetry.»

In the introduction, the author raises the issue of proper documentation: both traditional and new methods. The objectivity of archaeological drawing and photography is discussed, as well as the striking difference between 2D and 3D images in terms of the amount and quality of preserved information about the object. The section «About Photogrammetry» briefly outlines the history of photogrammetry and its increasing use in archaeological research. Photogrammetry is compared with laser scanning systems, and the advantages of combining these methods are examined.

The sections «Practical Experience» and «Results» showcase the achievements of a workshop on artifact scanning using the photogrammetry method. With the support of the non-governmental organization «Scientific and Research Lab 'Archaïc',» a small catalog of artifacts was created. The experience was step-by-step and thoroughly described in this article. The results section specifies the potential for using the obtained models for future scientific purposes – both for analysis and for preserving at least digital copies in emergencies. The use of 3D models by activists for promoting and protecting the heritage site is also demonstrated.

The conclusions summarize the findings and bring out the main theme of the work – the importance of protecting the Kytaiv Archaeological Complex, its place and significance in the cultural life and archaeology of Kyiv, the capital of Ukraine; the importance of developing archaeological documentation; and the importance of representing academic science to the public through dialogue, including the publication of materials such as 3D models.

Keywords: photogrammetry, 3D scanning, monument protection, Kytaiv Archaeological Complex, digitalization of archaeological sites.