



АРХЕОЛОГІЯ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ – ЗАСНОВАНИЙ У 1947 Р.
ВИДАЄТЬСЯ ЩОКВАРТАЛЬНО

КИЇВ • 1•2025

Головний редактор

ЧАБАЙ В. П., член-кореспондент НАН України, Інститут археології НАН України

Редакційна колегія

БОЛТРИК Ю. В., кандидат історичних наук, Інститут археології НАН України

БУЙСЬКИХ А. В., член-кореспондент НАН України, Інститут археології НАН України

ГАРДІ С. Е., PhD, Університет ім. Рея Хуана Карлоса, Іспанія

ДЖІНДЖАН Ф., професор, доктор хаб., почесний професор університету Париж 1 Пантеон

Сорбонна, Франція

ЗАЛІЗНЯК Л. Л., професор, доктор історичних наук, Національний університет

«Києво-Могилянська академія»

КАЙЗЕР Е., професор, доктор хаб., Вільний університет Берліну, Німеччина

ОТРОЩЕНКО В. В., професор, доктор історичних наук, Національний університет

«Києво-Могилянська академія»

ПЛАВІНСЬКИЙ М. О., кандидат історичних наук, Варшавський університет, Польща

ПОТЄХІНА І. Д., кандидат історичних наук, Інститут археології НАН України

РАБІНОВИЦ А., PhD, Техаський університет в Остіні, Сполучені штати Америки

ФОРНАСЬЄ Й., професор, доктор хаб., Галле-Віттенбергський університет імені Мартіна Лютера,

Німеччина

ШЕВЧЕНКО Т. М., кандидат історичних наук, Інститут археології НАН України (відповідальний секретар)



ARHEOLOGIA

SCIENTIFIC JOURNAL – FOUNDED IN 1947
FREQUENCY: QUARTERLY

KYIV • 1•2025

Editor-in-Chief

CHABAI V. P., Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Institute of Archaeology
of the National Academy of Sciences of Ukraine

Editorial Board

BOLTRYK Yu. V., PhD in History, Institute of Archaeology of the NAS of Ukraine

BUISKYKH A. V., Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Institute of Archaeology of the NAS of Ukraine

DJINDJIAN F., Professor, Dr. Hab., Professor of the University of Paris 1 Pantheon Sorbonne, France

FORNASIER J., Professor, Dr. Hab., Martin Luther University Halle-Wittenberg, Germany

HARDY S. A., PhD, Rey Juan Carlos University, Spain

KAISER E., Professor, Dr. Hab., Free University of Berlin, Germany

OTROSHCHENKO V. V., Professor, DSc in History, National University of Kyiv-Mohyla Academy

PLAVINSKI M. O., PhD in History, University of Warsaw, Poland

POTEKHINA I. D., PhD in History, Institute of Archaeology of the NAS of Ukraine

RABINOWITZ A., PhD in Classical Archaeology, University of Texas at Austin, the USA

SHEVCHENKO T. M., PhD in History, Institute of Archaeology NAS of Ukraine (Executive Secretary)

ZALIZNIAK L. L., Professor, DSc in History, National University of Kyiv-Mohyla Academy

ЗМІСТ

CONTENTS



Статті

РУДИЧ Т. О., КОЗАК О. Д. Населення південно-західної Волині кінця доби бронзи за антропологічними матеріалами з могильника Рованці
VERTIENKO H. V. Scythian *σάγυρις*: Word — Image — Archaeological Object

Articles

5 RUDYCH T. O., KOZAK O. D. Late Bronze Age Population of South-Western Volyn Based on Anthropological Material From Rovantsi Necropolis
23 ВЕРТІЄНКО Г. В. Скіфський *σάγυρις*: слово — образ — археологічний об'єкт



Публікації археологічних матеріалів

ZABAVIN V. O., NEBRAT S. H. Barrows near Kalynivka village (Based on Materials of the Mariupol Archaeological Expedition)
КОМАР О. В., БІЛИНСЬКА Л. І., БУГАЙ О. М. Середньовічний скарб срібних злитків зі знахідки поблизу с. Дернове на Сумщині

Publications of Archaeological Materials

47 ЗАБАВІН В. О., НЕБРАТ С. Г. Кургани біля с. Калинівка (за матеріалами Маріупольської археологічної експедиції)
80 КОМАР О. В., БІЛИНСЬКА Л. І., БУГАЙ О. М. A Medieval Hoard of Silver Ingots Discovered near Dernove village in Sumy Oblast



Охорона археологічних пам'яток

TELIZHENKO S. A. Monitoring Archaeological Heritage in the Conditions of War: Damage and Military Use of the Mounds Near Vesela Hora Village in Luhansk Oblast

Protection of Archaeological Monuments

110 ТЕЛІЖЕНКО С. А. Моніторинг археологічної спадщини в умовах війни: пошкодження та використання у воєнних цілях курганної групи біля с. Весела Гора Луганської обл.



Методи археологічних досліджень

РАДЧЕНКО С. Б., ЧЕНЦОВ Я. М.
Фотограмметрія у структурі трансдисциплінарної археології: приклад моделювання артефактів із середньовічного степу України

Methodology of Archaeological Research

121 RADCHENKO S. B., CHENTSOV Ya. M. Photogrammetry in the Structure of Transdisciplinary Archaeology: an Example of Modelling Artefacts from the Medieval Steppe of Ukraine



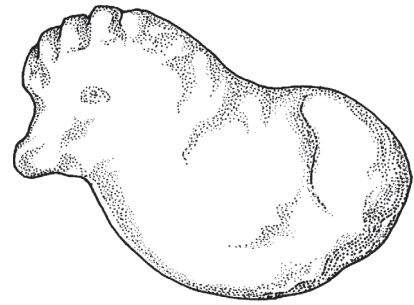
Хроніка

Євгенія Федорівна Редіна: життя, присвячене археології

News Review

149 Yevheniia Fedorivna Redina: a Life Dedicated to Archaeology

ФОТОГРАММЕТРІЯ У СТРУКТУРІ ТРАНСДИСЦИПЛІНАРНОЇ АРХЕОЛОГІЇ: ПРИКЛАД МОДЕЛЮВАННЯ АРТЕФАКТІВ ІЗ СЕРЕДНЬОВІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ



Статтю присвячено методичним особливостям впровадження фотограмметрії як сучасного методу фіксації археологічного матеріалу в щоденну археологічну практику. Особливу увагу приділено опису процесу фотознімання та збору даних, що є одними з найважливіших етапів роботи для створення якісної 3D-моделі. Ілюстративним матеріалом для статті обрано п'ять предметів золотоординського періоду, якісна презентація яких покликана підвищити ступінь вивченості цих матеріалів та збільшити досі невелику кількість студій населення степу України в час панування там Золотої Орди.

Ключові слова: Україна, Степ, методологія, золотоординський період, кочовики, фотограмметрія, 3D.

Події новітньої історії України завдали удару не лише по майбутньому українців, але й продовжують впливати на наше розуміння минулого. Триває війна, яка посилила необхідність термінового оцифрування культурної спадщини, активно пилондрованої загарбником. Зрештою, така потреба не виникла вчора — вона сформувалася декілька років тому у відповідь на світові практики та стандарти. Тривимірні моделі вже давно стали частиною прогресивних наукових досліджень та поволі стають елементом повсякденних практик із фіксації та презентації матеріалу.

*РАДЧЕНКО Симон Богданович — PhD, науковий співробітник, Археологічний музей, Університет Ставангеру, Норвегія. ORCID: 0000-0003-2970-5373, simon.radchenko@gmail.com

ЧЕНЦОВ Ярослав Миколайович — PhD Student, факультет історії та філософії Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова. ORCID: 0009-0007-7532-3786, yarik.chentsov1@gmail.com

Ця стаття відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.uk>

Однак методи тривимірного моделювання не є суто археологічними — вони належать до кола технічних навичок та пов'язані з фотографією, інформатикою та комп'ютерними науками. Це перетворює їх на черговий трансдисциплінарний виклик для української археології і формує потребу в представленні та описі нового методу, його методичному осмисленні, протоколюванні та усвідомленні переваг, недоліків, можливостей і обмежень, які цей метод пропонує археологічному дослідженню. Звісно, ніхто не вимагає від фахівців-археологів стати геоінформатиками, фотографами чи кимось іншим. А втім, без загального розуміння новітніх методів фіксації й дослідження археологічного матеріалу про осучаснення та конкурентоспроможність наших наукових результатів годі й мріяти. Отже, Україні потрібна методична робота та методичні публікації, які узагальнено «перекладатимуть» методи й дисципліни мовою, зрозумілою нашому середовищу.

Ця стаття — спроба необхідної методичної та дидактичної роботи. Вона описує один із найважливіших компонентів практики тривимірного фотограмметричного моделювання археологічних артефактів — фотознімання та збір даних. Особливу увагу приділено визначенню причин і наслідків конкретних практичних обмежень методу й поясненню, що ці обмеження означають для фахівців-археологів, що саме потрібно враховувати та чому фотограмметрія така, а не інакша. Ми прагнули уникнути опису технологічних і технічних тонкощів, вдаючись до них лише там, де це вкрай необхідно. А ще усвідомлюємо, що ця стаття описує лише невелику частину фотограмметричної практики: більш узагальнена картина потребує публікацій іншого формату.

Ілюстративним матеріалом обрано п'ять предметів золотоординського періоду з українського степу, представлених в Національному історичному музеї ім. Дмитра Яворницького у м. Дніпро

(ДНІМ), де фіксація об'єктів культурної спадщини тривала з 27 листопада до 10 грудня 2023 р. Частина з них походить із поховань кочовників, інші ж знайдені під час археологічних розвідок ще на початку ХХ ст. і не були опрацьовані дотепер. Для унаочнення методики роботи з тривимірного моделювання було обрано низку об'єктів, що ілюструють історію середньовічних кочовиків на теренах степової України. Деякі з об'єктів уперше будуть введені до наукового обігу і ще раз підкреслять високу презентаційну ефективність методів 3D-моделювання. Також важливо зазначити, що частина предметів походить із пам'яток, поблизу яких зараз тривають активні бойові дії, що, на жаль, змушує замислитись про неможливість у майбутньому зібрати з них додатковий матеріал та підвищує актуальність їх висвітлення.

Досвід фотограмметричних досліджень в археології

Важливість фотограмметричних практик для археологічних досліджень перебуває у фокусі світових археологічних студій із 1980-х років, коли такі практики вперше були обговорені в контексті польової роботи (Anderson 1982; Fussel 1982). Із того часу з'явилося багато специфічних праць, пов'язаних із пошуком конструктивних рішень для цифрового дослідження культурної спадщини засобами аерофотознімання (Barba et al. 2019), фотограмметрії в закритих приміщеннях (Widerski, Daliga 2018) та тривимірного моделювання невеликих об'єктів (Hermon et al. 2018; Rahaman, Champion 2019). Крім того, усталеність методів та їх все більша інтеграція в щоденну археологічну практику зумовила пошук доступних методичних рішень (Markiewicz et al. 2019), глибшого аналізу точності (Fregonese et al. 2016; Aicardi 2017), шляхів ефективного використання презентаційних можливостей фотограмметрії (McCarthy 2015) та її доцільності для пришвидшення археологічних досліджень і здобування нових археологічних даних (Farjas 2009; Benavides Lopez et al. 2016).

Важливо, що водночас із цими процесами фотограмметрія потрапляє до навчального арсеналу археології і стає обов'язковою частиною практики студентів-археологів та інституалізується як дисципліна в роботах типу «Лекції з фотограмметрії та дистанційного зондування»¹

¹ Переклад із польської та російської здійснили автори статті.

(Bernasik 2008). Виходять централізовані та узагальнювальні публікації, що описують повний цикл фотограмметричної роботи для археолога (наприклад, посібник історичної спільноти штату Огайо, США (Archaeology... 2022). Водночас дисциплінарний розрив між археологами й «технарями» призводить до появи більш лаконічних та інструктивних текстів, іноді зведених до рівня протоколів, що описують послідовність дій та функцій, не занурюючись у технологічні глибини (Marín-Buzón et al. 2021; Cerasoni et al. 2022). Також з'являються роботи, пов'язані зі специфічними можливостями та функціями програмного забезпечення (Doneus et al. 2011; Verhoeven 2011) й унікальними розробками спеціалізованих рішень.

Загалом це означає, що впровадження фотограмметричних методів у світову археологічну практику впродовж останніх сорока років спричинене розумінням необхідності впровадження здобутків технічного прогресу разом із усвідомленням нездоланності дисциплінарного розриву та потреби пом'якшити стрес від взаємодії з ним. Деякі дисципліни, як-от вивчення давнього мистецтва, досягли більших успіхів, ніж інші, як наприклад, археологія палеоліту, однак консенсус щодо ефективності фотограмметричного методу загалом сформувався.

В українській археології склалася дещо інша ситуація. Хоч нашій науці і вдалося успішно інтегрувати найкращі фотограмметричні практики та застосовувати їх до конкретних досліджень, вони представлені не масово, а поодинокими роботами. Їх впровадження почалося близько десяти років тому, відбувалося із запізненням та не є статистично відчутним у масиві археологічних студій в Україні, що є проблемою, породженою зокрема хибами державної політики і браком фінансування.

Попри те, фотограмметрія представлена в польових археологічних дослідженнях (Гнера 2017; Жигола, Скороход 2017; 2022; Жигола 2020; Радченко, Никоненко 2020), при вивченні архітектурно-археологічних об'єктів (Никоненко, Радченко, Волков 2017; Гнера, Пашковський 2018) та як метод цифрової презентації й цифрового збереження археологічних об'єктів (Махортих та ін. 2020). Відповідно до світових практик є спроби реалізувати потенціал тривимірних досліджень при вивченні давнього мистецтва (Radchenko 2022, 2023; Radchenko, Kiosak 2023) та для розв'язання методичних і технологічних задач високоточного 3D-моделювання (Радченко, Дудок 2023). Наре-

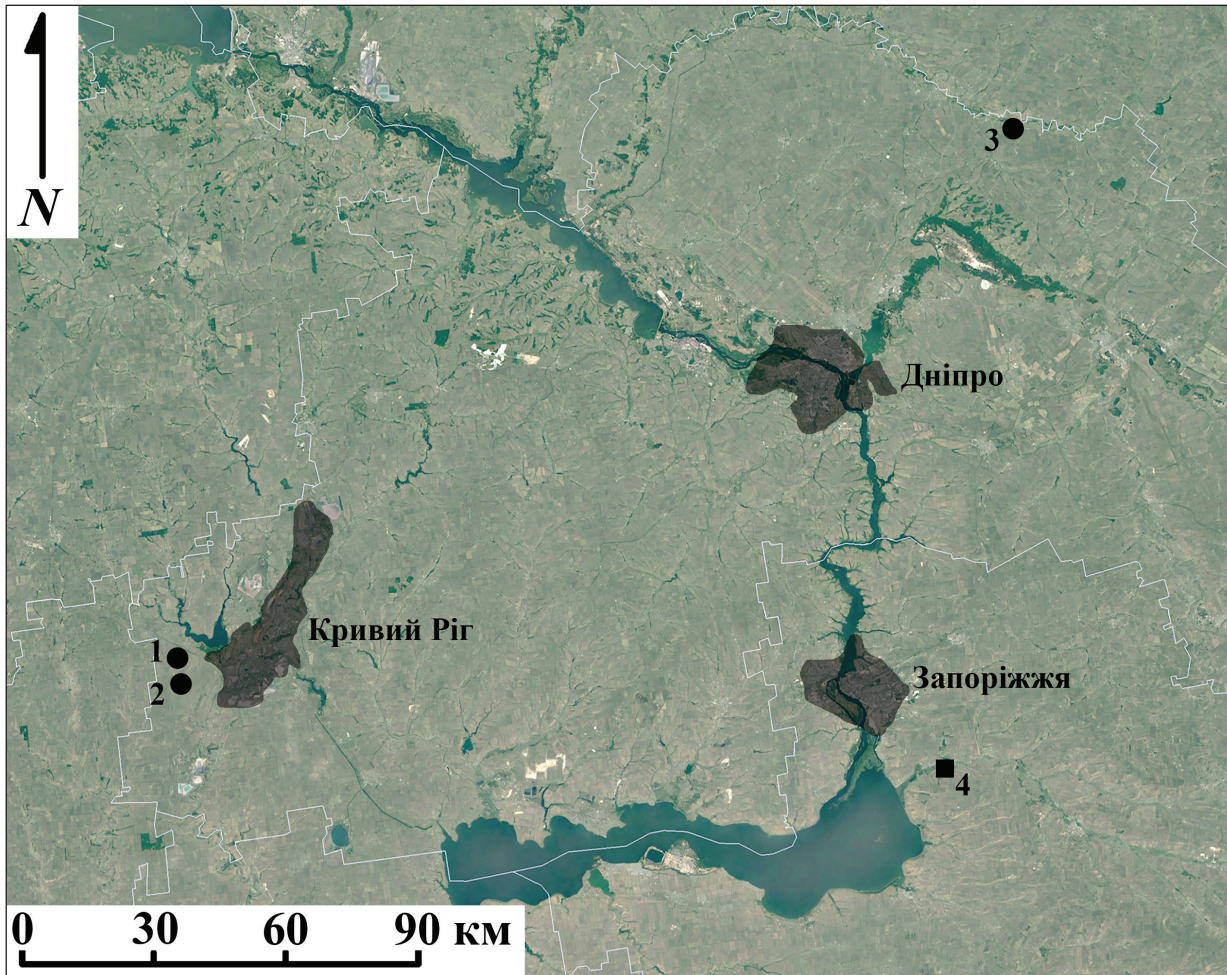


Рис. 1. Степове Подніпров'я з указаною локалізацією пам'яток, із яких походять об'єкти дослідження. Круг — впускне поховання в курганах; Квадрат — імовірна поселенська пам'ятка. 1 — курган № 3 поховання № 10 біля с. Зелений Гай; 2 — курган № 6 поховання № 9 біля с. Зелений Гай; 3 — курган № 7 біля с. Панасівка (раніше — с. Афанасіївка); 4 — імовірна локалізація поселенської пам'ятки біля с. Веселянка (раніше — с. Веселе)

Fig. 1. Steppe Dnipro Ukraine with specified locations of the sites from which the studied objects originate. Circles mark inlet burials in burial mounds and a square marks a possible settlement site. 1 — burial mound no. 3, burial no. 10 near Zelenyi Hai village; 2 — burial mound no. 6, burial no. 9 near Zelenyi Hai village; 3 — burial mound no. 7 near Panasivka village (formerly — Afanasiivka); 4 — possible location of the settlement monument near Veselianka village (formerly — Vesele)

шті, гарно представлено можливості тривимірною моделювання для метрологічних досліджень археологічних матеріалів, переважно кераміки (Веремейчик 2018; Жигола 2018; Жигола, Скороход 2021). Водночас впадає в очі відсутність оглядових та методичних матеріалів, спрямованих на поширення фотограмметрії як методичної практики за винятком одиначної публікації (Жигола, Скороход 2019).

Незначна кількість публікацій такого типу (а тим більше — науковців, знайомих із особливостями методу та перспективами його застосування) сповільнює методичний і технологічний розвиток української археології, а отже, в довгостроковій перспективі а отже, в довгостроковій перспективі стоїть на заваді підтрим-

ці високого рівня конкурентноспроможності й репрезентативності нашої археологічної практики. Враховуючи потенціал фотограмметричної роботи для цифрового захисту культурної спадщини в умовах воєнного часу, потреба загальних методичних текстів, що ілюстрували б ефективність трансдисциплінарної роботи, очевидна.

Об'єкти дослідження

Археологічні артефакти, представлені в цій статті, пов'язані із порівняно погано репрезентованим широкому загалові та лише частково введеним у наукову дискусію золотоординським часом у деяких регіонах степу України. Їх було



Рис. 2. Артефакти, опубліковані у статті. Шифр утворено з поєднання інвентарного номера артефакту у музеї та інвентарного номера тривимірної моделі в проєкті «Preserving Ukrainian Legacy»: 1 — мідний глек А5194_Ref36; 2 — куман А979_Ref39; 3 — кружальний глек А13192_Ref38; 4 — мармурова плитка NV33889_Ref40; 5 — наконечник стріли А13114_Ref41

Fig. 2. Artefacts published in the paper. Index is formed as a combination of the artefacts' museum number and the number of 3D model in «Preserving Ukrainian Legacy» project. 1 — Copper jug A5194_Ref36; 2 — Cuman A979_Ref39; 3 — The circular jug A13192_Ref38; 4 — Marble tile NV33889_Ref40; 5 — Arrowhead A13114_Ref41

знайдено протягом минулого століття у Степовому Подніпров'ї (рис. 1). Нині ці артефакти є частиною фондової колекції ДНІМ. Метричні параметри об'єктів та особливості їх матеріальності було проаналізовано та представлено за результатами тривимірного моделювання, а отже, вони унаочнюють переваги фотограмме-

тричних методів фіксації та аналізу матеріалів і описані у відповідному розділі. Однак перш за все варто розглянути їх археологічний контекст.

Наконечник стріли А13114_Ref41 (рис. 2: 5). Наконечник А13114_Ref41 було знайдено разом із кружальним глеком А13192_Ref38 серед групи впускних «пізньокочівницьких» поховань,

відкритих В.А. Ромашком під час дослідження курганного могильника доби енеоліту-бронзи біля с. Зелений Гай Широкивського р-ну Дніпропетровської обл. (правий берег середньої течії р. Інгулець) у 1999 р. Ці матеріали опубліковано 2003 р. у колективній монографії (Ковалева і др. 2003). Впускні поховання середньовічних кочовиків із цих курганів якісно дослідив та представив П. П. Лісничий у 2002 р. (Лісничий 2002).

Змодельований наконечник стріли, типологічно близький до двох інших з цього поховання, — асиметрично-ромбічний «зрізний» із лопаточкою, що розширюється, та тупокутним вістряем, має кільцевий упор в основі пера. Наконечник має численні аналогії й тяжіє до типу В-ХІ за Г. О. Федоровим-Давидовим (Федоров-Давидов 1966, с. 27-28). До монгольського вторгнення такі наконечники у Східній Європі були невідомі. Вони з'явилися із походом хана Бату в першій половині XIII ст. і досить швидко поширилися по території завоювань Монгольської імперії. Велику їх кількість знайдено і у слов'янських містах, зруйнованих монголами, — Києві, Плеснеську, Ізяславлі та ін. (Медведев 1966, с. 75). Такі наконечники були, зокрема, знайдені і на Золотарьовському поселенні, де 1237 р. відбулась велика битва монгольських військ із військами Волзької Булгарії (Белорыбкин 2001, рис. 76.7, 76.12). Тож обраний об'єкт є досить типовим, типологічно монгольського походження наконечником стріли, що були у вжитку в кочового населення на українських землях із середини XIII ст.

Кружальний глек A13192_Ref38 (рис. 2: 2). У насипаному в енеолітичні часи кургані № 6 було відкрито «пізньокочівницьке» поховання № 9, частково порушене під час встановлення опори геодезичного знака, з якого походить кружальний глек. Він має вузьке, відбите в давнину горло та одну втрачену ручку, яка кріпилася від горла до плічка.

Глек належить до золотоординського періоду і не має значної кількості аналогій, але може бути асоційований із золотоординською керамікою, знайденою в міських центрах Пруто-Дністровського межиріччя XIV ст. — зокрема глеками з Білгорода-Дністровського, описаними як «*червоно-жовта стрічкова кераміка 1 та 2 типів*» (Кравченко 1986, с. 52, рис. 19: 7), та зі Старого Орхя й Лозового, визначеними як червоно-жовта кераміка XIV ст. (Полевой, Бырня, с. 19, рис. 8: 2). Також типологічно близька посудина є, за С. О. Плетньовою, «*масовою керамікою золотоординських міст*» (Плетнева 1981, рис. 101: 26).

Куман A979_Ref39 (рис. 2: 3). Місце знахідки цього глека невідоме, тож археологічний контекст встановити неможливо. Горло посудини та ручка, яка кріпилася до горла, не збереглися. Горло різко переходить у кулястий тулуб із вузьким та пласким дном. Верхня частина тулуба оперезана тонкими багаторядними прямими лініями. У центральній частині його прикрашено врізаною лінією. Місце кріплення ручки було у верхній частині корпусу. Навпроти нього, з протилежної сторони — конусоподібний носик-злив. Посудина має цікаве виробниче пошкодження — деформацію на одному з боків. Глина світло-червоного кольору.

Посудини такого типу мають численні аналогії та називаються по-різному в джерелах різних народів: кунгани, кумани, кумгани, афтоби, афтофи або просто чайники. Вони розповсюджені в Криму, на Кавказі, в містах Поволжя та Середній Азії. На українських землях такі посудини поширюються у зв'язку з монгольською експансією та пізнішим становленням Золотої Орди. Куман із Дніпропетровщини має аналогії з Бахчисарайського ханського палацу (Ибрагимов 2013, с. 261, рис. 333: 23). Також глеки з носиком відомі із золотоординських міських центрів Пруто-Дністровського межиріччя, наприклад, Білгорода-Дністровського (Кравченко 1986, с. 50, рис. 18: 15). Дуже схожий куман описаний із поховання комплексу Родіоновка 3/1, який датується золотоординським часом, а саме не раніше середини XIV ст. (Евглевский, Потемкина 2000, с. 215). За класифікацією Г. О. Федорова-Давидова, такі глеки належать до категорії IX, варіант Б1 (Федоров-Давидов 2001, с. 103, табл. 52: 2).

Мідний глек A5194_Ref36 (рис. 2: 1). Артефакт походить із поховання в кургані № 5 (за щоденником Д. І. Яворницького, який і проводив розкопки пам'ятки, — курган № 7). У 1903 р. Яворницький здійснив масштабні розкопки на території краю (Новомосковський, Олександрівський, Мелітопольський та Бахмутський повіти) напередодні XIII Археологічного з'їзду в Катеринославі 1905 р. (Эварницкий 1907). Це відомо в щоденниках розкопок, опублікованих у «Трудах XIII Археологического съезда в Екатеринославе» та музейних каталогах 1905 і 1910 рр., де курган було позначено як «№ 5». У «пізньокочівницькому» похованні цього кургану поблизу с. Панасівка (раніше — Афанасіївка) Новомосковського пов. Катеринославської губ. було виявлено понад 120 артефактів (Сердюк 2020, с. 4).

Модельований предмет — мідний глек із ручкою, знайдений під колесом колісниці. Артефакт унікальний, тобто не має відомих аналогій. Іноді в поховання середньовічних кочовиків клали мідний казан або котел. Датуються такі «пізньокочівницькі» поховання з казанами XII — першою половиною XIII ст. та атрибутовуються як належні до половецьких об'єктів (Швецов 1980, с. 200). Прецеденти використання замість цих предметів саме мідних чи бронзових глеків невідомі. У своїй монографії Г. О. Федоров-Давидов визначав саме цю посудину як єдиний відомий приклад мідного глека зазначеного періоду і типологізував його як «*відділ А, тип І*» (Федоров-Давидов 1966, с. 87, 259).

Мармурова плитка NV33889_Ref40 (рис. 2: 4). У 1903 р. Д. І. Яворницький здійснив розкопки різних пам'яток біля с. Веселе Мелітопольського пов. Таврійської губ. Дані про дослідження курганів «пізніх кочовиків» і «тюрксько-татарського городища» біля с. Веселого та знахідки з них опубліковано в каталозі 1910 р. Серед предметів, що надійшли до Катеринославського музею ім. О. М. Поля з, імовірно, археологічної розвідки на городищі, були фрагменти гончарної поливної та неполивної кераміки, оброблених плит і квадратної цегли, предметів кінської зброї та монети (Каталог ... 1910, с. 97-99). До предметів, збережених до сьогодні у фондах ДНІМ, належать: 18 одиниць залізних цвяхів; фрагмент вудила; кільце; фрагменти ножів; гачок; бронзова пластина; мідна позолочена пластина з отворами та рельєфною розетою; фрагмент шкіряного ремня від вузди; фрагменти стінок та носика гончарного жовтоглиняного посуду; шматок шлаку з печі; мармурова плитка (Сердюк 2020, с. 14)². Для моделювання з цього списку обрано мармурову плитку NV33889 — промовистий для атрибуції пам'ятки та простий для моделювання й відтворення артефакт.

У золотоординський час мармур був живим матеріалом, його використовували в містах та поселеннях Золотої Орди насамперед як елемент декору будівель. На споруди з мармуру в золотоординських містах указує М. В. Єльніков у своїх дослідженнях свідчень про городища Кінські Води, розташованого за 20 км від с. Веселянка. Із писемних джерел знаємо, що доктор медицини, академік Петербурзької Академії Наук Й.-А. Гільденштедт (Гюльденштедт) у 1773 р. подорожував за дорученням Катерини II

вздовж Нової Дніпровської лінії укріплень. За його свідченням, поблизу Микитинської фортеці, на р. Жеребець (притока р. Конки) він бачив давні споруди. Важливо, що «*в безпосередній близькості від цих мавзолеїв ми знайшли також руїни будівлі довжиною 7 сажнів і шириною 4 сажні, внутрішні стіни якої були покриті зеленим і чорним плямистим мармуром, та найімовірніше, що це була мечеть або магометанська церква*» (Єльніков 2016, с. 21). Отже, хоча прямих аналогій мармуровій плитці з музею в Дніпрі знайти не вдалось, вона, знахідки шлаку з печі, а також не збережених до теперішнього часу золотоординських монет і квадратної цегли може опосередковано свідчити про наявність тут стаціонарного поселення.

Методи

Фотограмметрія, її переваги та процедури.

«Фотограмметричний метод», який англійськими текстами називають *photogrammetry*, *structure-from motion (SfM) photogrammetry* або більш загальним описовим терміном *image-based 3D modelling*, буквально означає, що інформацію для створення тривимірної моделі буде отримано із фотознімків (Rahaman, Champion 2019). Це спричинює основну перевагу фотограмметрії — її доступність та простоту. Експериментальні дослідження доводять, що створення якісної тривимірної моделі артефакту можливе навіть з фотографічних даних, отриманих недорогими камерами та інтегрованими камерами мобільних телефонів (Li et al. 2016). Інша річ, що якість результату прямо залежить від параметрів камери, тому створення моделей, придатних для наукової роботи, потребує кращих технічних рішень (Mahmoud El-Nokrashy et al. 2000; Green, Bevan, Shapland 2014; Fregonese et al. 2016). Однак фотограмметрія — найраціональніший спосіб створювати тривимірні моделі з погляду співвідношення ціни та якості. Лазерний сканер, спроможний створювати фотограмметричні моделі високої точності, коштуватиме приблизно в 5–7 разів дорожче за аналогічне фотограмметричне рішення (тобто щонайменше 1,5 млн гривень). Причина дуже проста: створення повноколірної моделі лазерним сканером потребує фотографування для отримання текстури, а вбудовування якісної камери в лазерний сканер значно підвищує його вартість. Саме тому сканування не може бути масовим рішенням в Україні і зосереджуватись варто власне на фотограмметрії.

² Переклад авторів

Простота фотограмметричного моделювання полягає не в тому, що цей процес є елементарним, а скоріше в тому, що він складається з доволі обмеженого набору практичних дій, які можна засвоїти за короткий період часу. Так, формування технологічних рішень потребує досвіду й фантазії. Однак застосування цих рішень загалом просте (Doneus et al. 2011; Benavidez Lopez 2016). Це вигідно відрізняє фотограмметрію від геоінформаційних досліджень, статистичного аналізу або навіть археологічного рисунка, тобто більш знайомих кожному з нас дослідницьких процедур.

Нарешті, останньою перевагою фотограмметрії, яка випливає з використання фотографій, є її гнучкість. Попри гіпотетично високу точність лазерного сканування, ліміти його можливостей чітко задано потужністю конкретного сканера. Точність фотограмметричної моделі залежить не лише від камери, а й від об'єктива, додаткового обладнання для модифікації фокусної відстані та можливостей програмного забезпечення. Це дає більший простір для помилки, але й більші можливості для застосування методу: теоретично фотограмметрична модель може замінити навіть конфокальну мікроскопію, якщо зібрати відповідний сетап (див. наприклад: Naaland et al. 2021).

Хоча фотограмметрія і є відносно простим способом оцифрування артефактів та створення тривимірних моделей, вона вимагає залучення набору знань навичок і прийомів, які виходять за межі експертизи й технічної підготовки фахових археологів. Сучасні практики акцентують на потребі в трансдисциплінарній роботі, яка неможлива без універсалізації наукового та методичного апарату. Це означає, що методики й формати фотограмметричного оцифрування мають бути описаними та представленими для того, щоб фахівці-археологи могли щонайменше зрозуміти потреби, можливості й обмеження методу, а щонайбільше — впроваджувати його відповідно до своїх академічних потреб.

Питання методів, протоколів і конкретних методичних рішень для здобуття наукових даних із тривимірних моделей археологічних об'єктів перебуває в активній обробці на міжнародному рівні; водночас протоколи збирання фотограмметричних даних, вимоги до точності й детальності моделей стають порівняно ustalеними (Marín-Buzón et al. 2021; Cerasoni et al. 2022). Це означає, що їх можна схематизувати та описати з певним рівнем спрощення

для поширення протоколу за межами експертної фотограмметричної спільноти. Важливо при цьому сформулювати загальне дисциплінарне уявлення про метод, щоб уникнути його запровадження у вітчизняну практику як прояву «трендовості», «магії» чи карго-культу — а для цього варто послідовно описувати потреби й обмеження інструмента, який має перспективи увійти до нашого щоденного вжитку.

Загалом, створення тривимірної моделі фотограмметричним методом передбачає комплекс таких процедур:

- визначення конкретних завдань тривимірного моделювання — збереження, репрезентація, наукове дослідження тощо. Постановка технічного завдання призводить до формулювання конкретного запиту до точності й достовірності тривимірної моделі, без якого правильно обрати стратегію роботи буває вкрай складно;

- визначення параметрів фотограмметричного знімання, адекватних поставленим завданням;

- підготовка робочого місця;

- виконання фотограмметричного знімання (збір даних);

- створення тривимірної моделі, надання їй точності та аналіз відповідності технічному завданню;

- постобробка та використання (Maietti et al. 2016).

У цій статті увагу зосереджено саме на збиранні даних для моделювання невеликих рухомих об'єктів — тобто фотографуванні та безпосередній взаємодії з артефактами (пункти 1–4, рис. 3). Складний і багатофакторний процес тривимірного моделювання потребує окремої уваги.

Радіометрична основа методу.

Базова передумова фотограмметричної роботи з рухомими артефактами (артефактами невеликого розміру): кожна точка об'єкта має бути чітко відображена щонайменше на двох фотознімках, зроблених із різних ракурсів. Ця умова забезпечує досягнення стереоефекту — дозволяє математично визначити положення точки відносно положень камери. По суті, програмне забезпечення повинно «впізнати» точку на різних знімках, визначити її положення на кожному з них, а потім ці положення порівняти. Після цього точка займає певне положення в просторі відносно місця, де перебувала камера під час фотографування (ed. McGlone 2013).

Під час розпізнавання точки програмне забезпечення орієнтується на властивості пікселя фотографії (найменшої неподільної частинки фотозображення) — перш за все його колір. Однак для розпізнавання однієї й тієї самої точки на різних знімках обчислення враховують властивості сусідніх точок. Оскільки сусідні точки на різних знімках залишаються подібними, програмне забезпечення визначає точки на різних знімках як один об'єкт — по суті, впізнає їх у різних умовах (рис. 4: 1, 2). Така процедура відбувається з кожним пікселем на знімку, поки не реконструюється вся сцена — положення всіх важливих точок (складових артефакту) відносно всіх зроблених знімків (рис. 4: 3). Відповідно, фотограмметрист має забезпечити «впізнаваність» пікселів на етапі збирання даних, а саме:

- визначити вимоги до точності та роздільної здатності тривимірної моделі відповідно до запитів дослідження;

- визначити параметри знімання так, щоб усі потрібні точки об'єкта були чіткими;

- виконати знімання так, щоб кожна точка об'єкта була зображена щонайменше двічі (на практиці — набагато частіше);

- створити умови, за яких програмне забезпечення правильно визначатиме положення одних точок об'єкта відносно інших.

Визначення конкретних завдань.

Перше питання, яке постає під час планування оцифрувальних робіт, — питання про точність моделі. Точність тут характеристика не якісна, а кількісна. Тобто модель не може бути «точною» чи «неточною». Точність — це ступінь розбіжності між лінійними вимірами моделі та власне модельованого артефакту. Скажімо, якщо ширина археологічного шурфу на місцевості — строго 1 м, а ширина його на моделі — 0,95–1,05 м, то точність моделі становить приблизно 5 см. Це означає, що для використання тривимірної моделі в науковій роботі потрібно розуміти, що саме з нею відбуватиметься і якою для цього повинна бути модель. Немає сенсу, скажімо, здійснювати остеологічні вимірювання на моделях, де будь-яке вимірювання точніше 5 см буде недостовірним. Але цілком можливо, що вона буде достатньою для популяризаційної роботи. Отже, міждисциплінарне дослідження потребує чіткого визначення потреб і постановки завдань до того, як починається його практична частина.

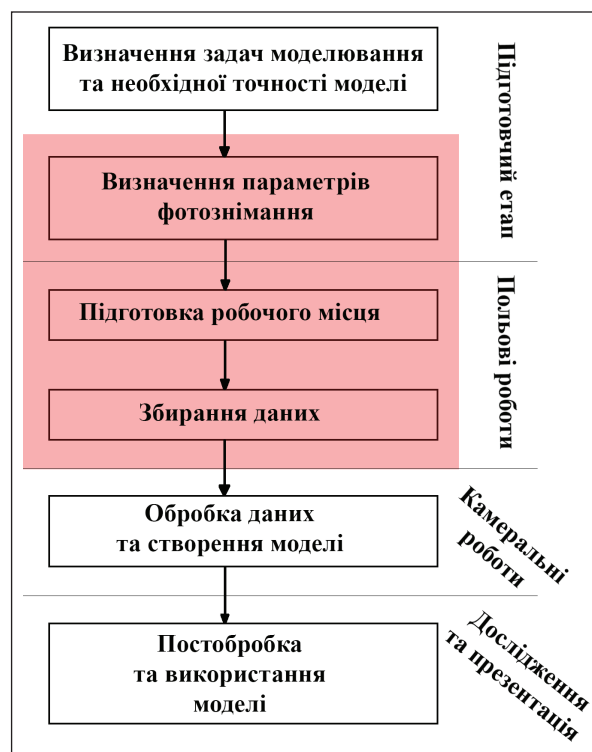


Рис. 3. Загальна схема створення тривимірної моделі. Процеси, що детально описані в цій статті, позначено червоним прямокутником

Fig. 3. A general scheme for creating a 3D-model. The processes described in detail in this paper are marked with a red rectangle

Водночас питання математичної точності та вимірних параметрів моделі не пов'язане з фотографуванням безпосередньо. Це проблема математичної обробки та обґрунтування моделі, і її потрібно розглядати й осмислювати окремо. Із процедурою фотографування точність пов'язана через роздільну здатність моделі — її спроможність відтворювати реальну поверхню археологічного об'єкта. Інструкція з топографічного знімання, методичні вказівки геоінформатиків (Наказ «Про затвердження Інструкції...» 1998) та й сама фотограмметрична практика показують, що роздільна здатність має бути принаймні втричі вищою за необхідну точність моделі. Тобто якщо потрібна точність вимірювання становить 1 мм, то її роздільна здатність має бути приблизно 0,33 мм (Mahmoud El-Nokrashy 2000; Li et al. 2016).

У фотограмметрії маємо два способи говорити про роздільну здатність (і враховувати потрібно обидва): розмір одного пікселя фотознімка та розмір одного полігона — трикутника, з яких складається тривимірна модель. На етапі збирання даних вони залежать від роздільної здатності камери та відстані до об'єкта. Скажі-

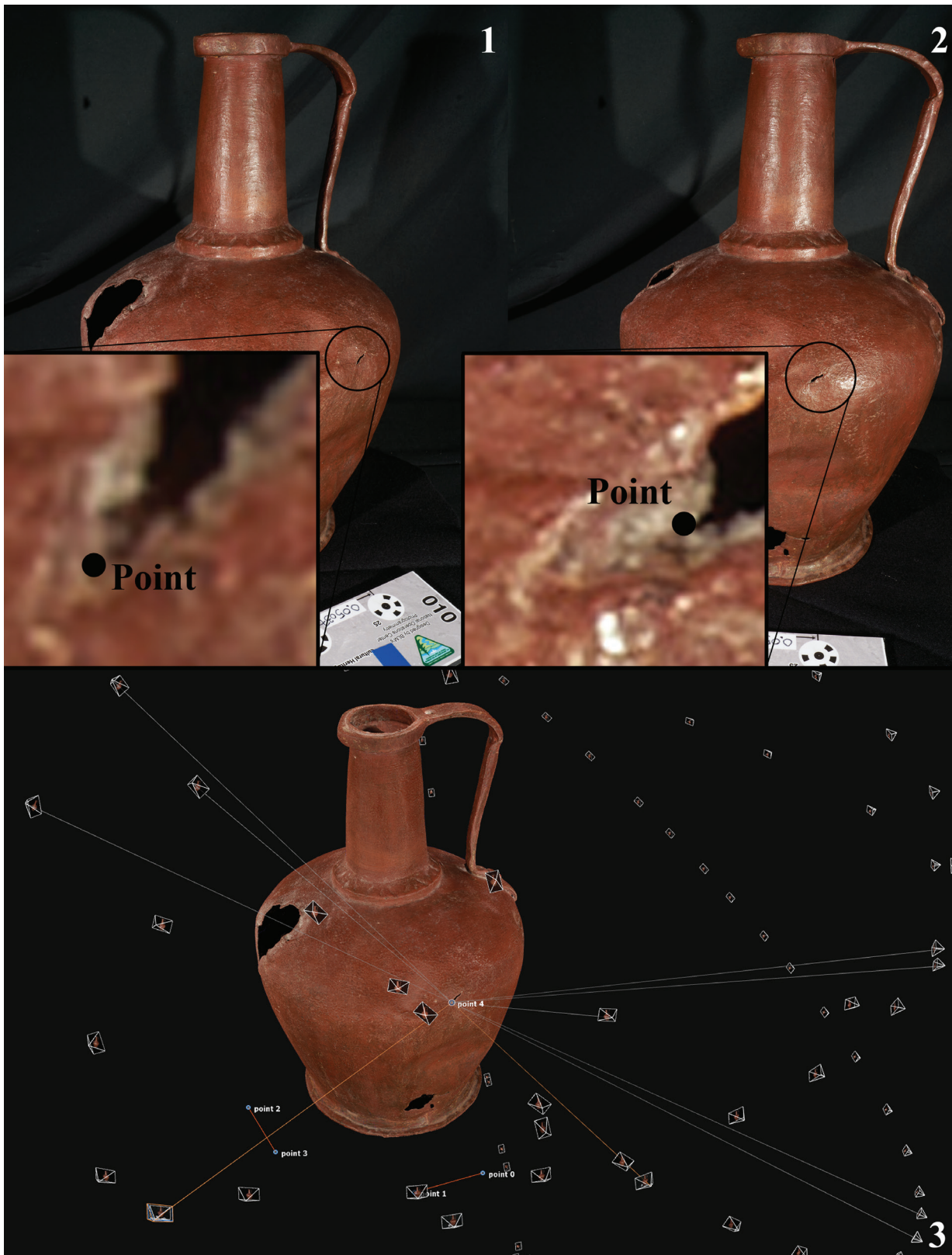


Рис. 4. Механізм сприйняття програмою точок археологічного артефакту. 1, 2 — «сусідні» фото глека A5194_Ref36. На збільшених зонах позначено характерну точку, що по-різному виглядає з різних ракурсів. 3 — тривимірна модель у програмному середовищі Reality Capture. Лінії пов'язують характерну точку зі знімками, на яких програмне забезпечення її «розпізнало»

Fig. 4. The mechanism of perception of archaeological artefact points by the program. 1, 2 — “close” images of the vessel A5194_Ref36. The zoomed-in areas show a specific point that looks different from various angles. 3 — 3D-model in Reality Capture software. Lines connect the specific point with the images on which the software algorithms “recognised” it

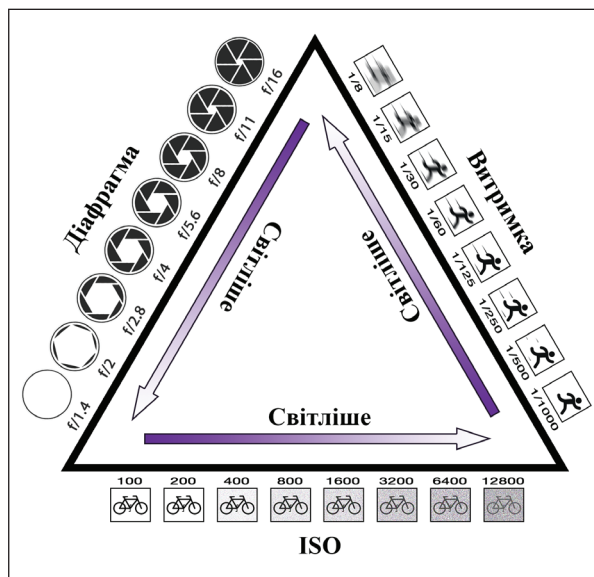


Рис. 5. Трикутник схематично пояснює взаємодію діафрагми, витримки та ISO. Рисунок запозичено з *actioncamera.blog*, модифіковано та перекладено авторами

Fig. 5. A triangle explains the interaction between aperture, shutter speed and ISO. The image is taken from *actioncamera.blog*, modified and translated by the authors

мо, розмір одного пікселя на фото, зробленого камерою з матрицею 5700×8488 на відстані 1 м від артефакту, буде приблизно 0,1 мм. Тобто, за найоптимістичнішими оцінками, точність вимірювань на моделі в результаті не перевищуватиме 0,3 мм. Для її збільшення потрібно зменшувати відстань до артефакту під час знімання, а це часто суперечить іншим параметрам, які потрібно враховувати. Знову-таки, неможливо проаналізувати те, чого модель не відображає, тобто роздільна здатність є принциповим параметром, який показує потенціал дослідницького використання моделі.

Саме через те, що потреби в точності прямо впливають на способи збирання даних, їх необхідно визначити якомога раніше. В умовах, коли моделювання виконує фотограмметрист для подальшого використання моделі археологом, першим питанням має бути: «Навіщо ми це робимо?» Такий підхід відповідає і загальній логіці процесу моделювання, і сучасним уявленням про трансдисциплінарну науку (Lidén, Eriksson 2013).

Вибір параметрів знімання.

Вибір параметрів знімання — обов'язкова процедура, яка передуює створенню моделей у лабораторних умовах та великою мірою визначає формат взаємодії з обладнанням (передусім фотокамерою). Обладнання, використане при робо-

ті з цією статтею та артефактами з Дніпровського національного історичного музею, являє собою загальний набір фотограмметричних інструментів: це професійна камера та об'єктиви із середньою фокусною відстанню (24–50 мм). Загальну інформацію щодо нього подано в табл. 1.

Важливо, що зміна параметрів уже під час процесу знімання призводить до значного погіршення якості результату, отже, про них потрібно

Таблиця 1. Параметри обладнання, використаного для створення опублікованих моделей

Table 1. Parameters of the equipment used to create the published models

Параметр	Значення
Камера	Sony A7R III
Тип сенсора	36 × 24 мм BSI-CMOS
Ефективний простір знімка	42 Мегапікселів
Ширина знімку	7952 пікселів
Висота знімку	5304 пікселів
Глибина кольору	24 біт
Процесор	Bionz X
ISO	50–102400
Діапазон витримки	1/8000 — 30 с
Об'єktiv 1	Tamron 24mm F/2.8 Di III OSD M1:2
Фокусна відстань	24 мм
Діафрагма	1/2,8–1/22
Мінімальна відстань до об'єкта	0,12 м
Об'єktiv 2	Sony — FE 50mm F1.8
Фокусна відстань	50 мм
Діафрагма	1/1,8–1/22
Мінімальна відстань до об'єкта	0,45 м
Ноутбук	IdeaPad Pro 5i (16" Intel)
Графічна карта	NVIDIA® GeForce RTX™ 3050 Laptop GPU 6GB GDDR6
Оперативна пам'ять	16 GB LPDDR5-5200MHz (Soldered)
Процесор	13th Generation Intel® Core™ i5-13500H Processor (E-cores up to 3.50 GHz P-cores up to 4.70 GHz)
Дисковий простір	1 TB SSD M.2 2242 PCIe Gen4 TLC
Програмне забезпечення (обробка фото)	Capture One 16.3
Програмне забезпечення (створення моделі)	Reality Capture 1.30

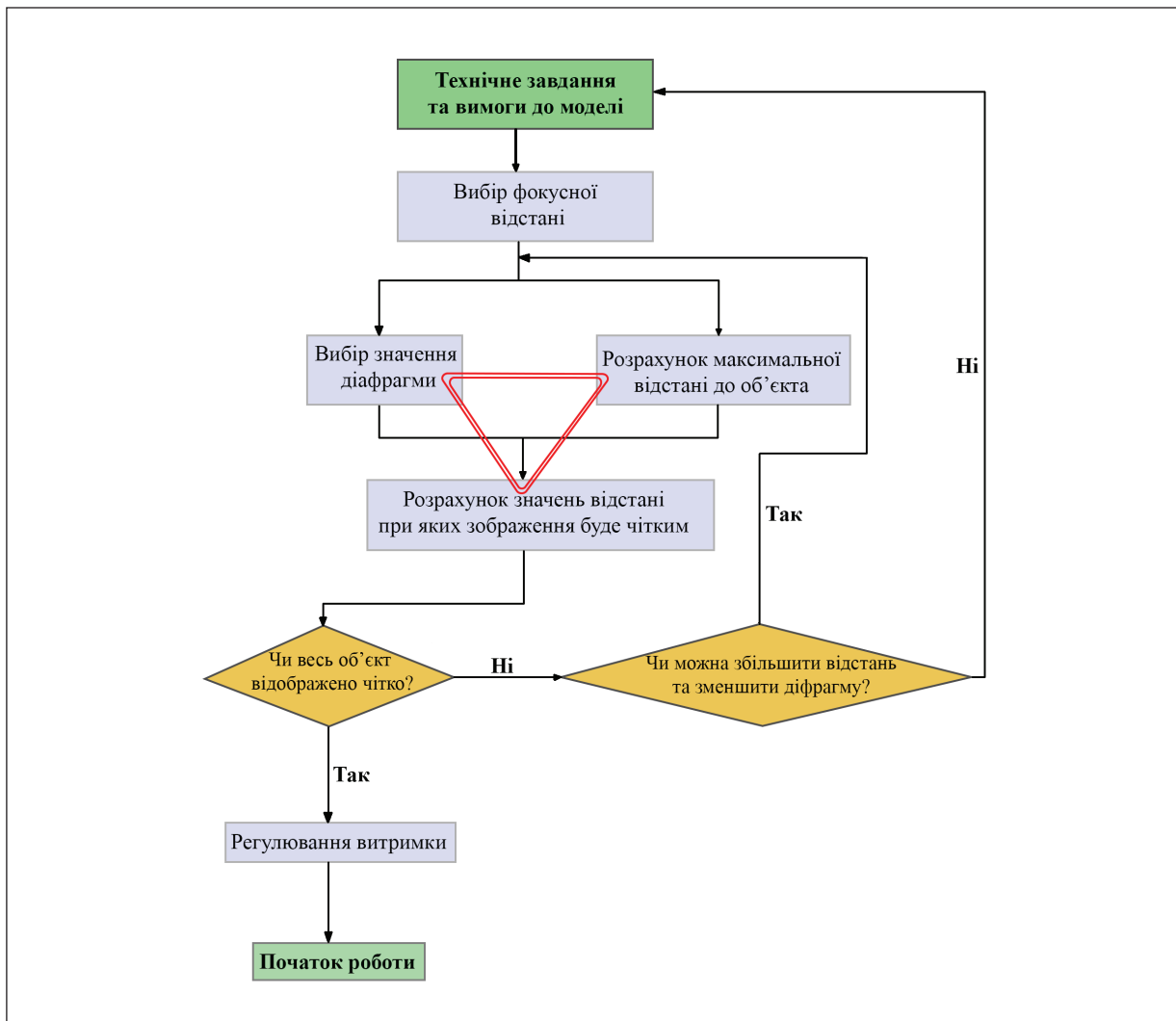


Рис. 6. Блок-схема визначає послідовність дій для вибору параметрів знімання при фотограмметричному моделюванні невеликих рухомих об'єктів археологічної спадщини

Fig. 6. A flowchart defines the sequence of actions for selecting the acquisition parameters for photogrammetric modelling of small portable archaeological heritage objects

подумати заздалегідь. Більшість їх: фокусна відстань, витримка, значення ISO та діафрагми — залежать від обраної фотокамери. Ці параметри пов'язані, і кожен з них так чи інакше впливає на результати фотографування (рис. 5).

Фокусна відстань — характеристика об'єктива фотокамери, відстань від центру оптичної системи до її головного фокуса (Климишина, Корсунь 2003, с. 498). Фокусна відстань визначає ширину поля зору фотокамери, геометричну правильність зображення та відстань, необхідну для того, щоб фотографований об'єкт був чітким. Специфіка роботи фотограмметричних алгоритмів передбачає уникання зміни фокусної відстані під час процесу знімання. Тому об'єктив потрібно завчасно обирати відповідно до розмірів об'єкта. Для споруд

або великих артефактів доречно користуватися об'єктивом із короткою фокусною відстанню (але не менше 24 мм, щоб уникнути спотворень форми об'єкта через ефект «риб'ячого ока»), а для малих — наприклад, монет — довгофокусними приладами (70–105 мм).

Витримка — тривалість часу, протягом якого заслон камери відкритий при фотографуванні. Іншими словами, час, за який фотоапарат отримує потрібні для фото дані. Більша витримка збільшує кількість світла в кадрі, але й призводить до нечіткості зображення від найменшого руху в кадрі (рис. 7).

Діафрагма — перегородка, що обмежує потрапляння світлових променів на сенсор камери. Значення діафрагми визначає, наскільки широко відкрита камера для збирання інформації про

знімок. Малі значення діафрагми — наприклад, $f/16$ — мінімізують кількість світла на знімку, але й забезпечують високу чіткість зображення. Тривимірне моделювання невеликих археологічних об'єктів зазвичай потребує значення діафрагми $1/11$ – $1/16$ (рис. 8).

Значення ISO — значення чутливості сенсора фотокамери, тобто показник того, наскільки швидко вона набирає світло. Збільшення цього параметра призводить до появи шумів на фото, тому для створення тривимірних моделей бажано тримати його в діапазоні 40–250.

Крім цих чотирьох, на результат моделювання значно впливає також відстань між камерою та об'єктом. Загальні рекомендації щодо вибору параметрів знімання для невеликих рухомих об'єктів (таких як представлені в цьому тексті) зведено в табл. 2.

На практиці інтерпретація табл. 2 призводить до значного звуження можливих опцій і параметрів знімання (табл. 3). Для того щоб досягнути якісного відображення об'єкта, знімати доведеться зі штатива, керуючи камерою на віддалі. Це дасть можливість збільшити витримку та яскравість знімка, а отже — зменшити діафрагму, підвищивши чіткість зображення. Якщо ж цього недостатньо для того, щоб весь об'єкт дослідження опинився «у фокусі»,

то відстань між камерою й об'єктом потрібно збільшувати, поки ця умова не буде виконана.

Загальна процедура вибору параметрів знімання для створення тривимірних моделей невеликих археологічних об'єктів така (рис. 6):

- вибір фокусної відстані відповідно до розмірів об'єкта та наявного обладнання (зазвичай — 50 мм);

- визначення такого значення діафрагми, яке б забезпечило максимальну різкість зображення (за замовчуванням — $f/16$);

- розрахунок максимальної відстані до об'єкта відповідно до вимог до роздільної здатності моделі та знімків (яким має бути розмір пікселя і яку потрібно встановити відстань до артефакту для досягнення такого значення). Такий розрахунок може потребувати попередніх тестів та обчислень. За умови створення моделі «максимальної точності» відстань обирають таку, щоб бути якомога ближче до об'єкта, який повністю чітко відображався б на знімку;

- перевірка, чи буде артефакт повністю чітко відображений на знімках. Для цього зручно використовувати калькулятори глибини різкості, які на основі фокусної відстані, відстані до артефакту та діафрагми визначають ту відстань до камери, на якій об'єкти будуть чіткими (Андреев 2015; Cambridge in Color 2020);

Таблиця 2. Параметри знімання та їх вплив на якість відображення об'єкта

Table 2. Shooting parameters and how they affect the object display quality

Назва параметра	Одиниці вимірювання	Вплив на результат знімання	Що потрібно врахувати	Рекомендація
Фокусна відстань	мм	Базовий параметр об'єктива, що визначає розмір чітко відображеної ділянки на знімку		50 мм для невеликих об'єктів (типу «керамічна посудина до 20 л»), >50 мм для менших об'єктів, <50 мм (але не менше 24 мм) для великих об'єктів
Діафрагма	$1/f$	Зменшує кількість світла, яке захоплює камера, однак збільшує чітко зображуваний простір на знімку	Чіткість знімку має бути якомога вищою, а це передбачає малі значення діафрагми та мало світла на знімку	Не більше $1/10$ та не менше $1/22$. Інші значення призводять або до геометричних спотворень, або до нечіткості зображення
ISO	—	Визначає чутливість камери до світла (наскільки яскравий знімок)	Підвищення значення ISO призводить до появи шуму та візуальних дефектів	Не більше 200
Витримка	с	Визначає кількість світла у кадрі	Висока витримка потребує стабілізації камери (штатив)	За умови використання штатива та пристрою для віддаленого керування камерою витримка може бути будь-якою
Відстань до об'єкта	м	Визначає роздільну здатність знімків об'єкта та чіткість його зображення	Розташування камери занадто близько призведе до нечіткості зображення.	Залежить від розмірів об'єкта та значень фокусної відстані і діафрагми, визначається останнім. Для невеликих об'єктів — 0,8–1,2 м

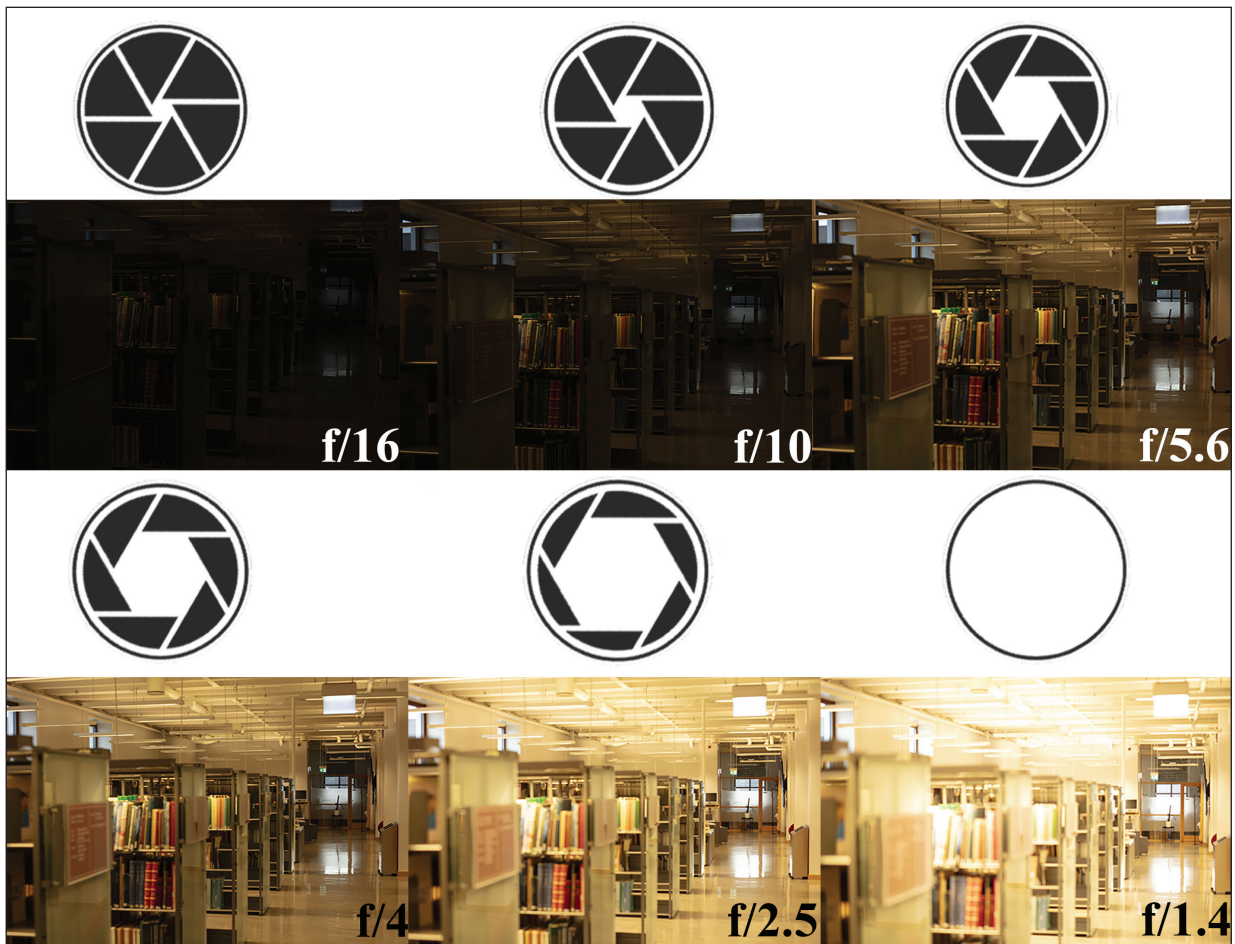


Рис. 7. Зміна кадру залежно від значення діафрагми
 Fig. 7. The change of the shot depending on the aperture value

- за можливості та при потребі варто зменшити значення діафрагми й збільшити відстань до об'єкта так, щоб артефакт на знімках було відображено повністю чітко. Якщо ж балансу між параметрами знайти не вдається, варто переглянути, чи можна досягти визначених параметрів роздільної здатності з наявним обладнанням;

- встановлення такого значення витримки, яке б забезпечило достатнє освітлення знімка при врахуванні всіх інших параметрів.

Підготовка робочого місця.

Інша важлива відмінність невеликих рухомих артефактів від археологічних комплексів, пам'яток чи об'єктів *in situ* полягає в тому, що рухомі артефакти можуть і мають бути змодельовані повністю, тобто включно з тією поверхнею, на якій артефакт стоїть. Наприклад, денце керамічної посудини — важлива та вкрай інформативна її частина, тому вона теж має бути відображена на тривимірній моделі. Це означає, що під час моделю-

вання об'єкт буде перевернутий і його положення щодо інших речей в кадрі зміниться. А оскільки програмне забезпечення сприймає світло не як сукупність «артефактів», а як су-

Таблиця 3. Параметри фотограмметричного знімання опублікованих артефактів

Table 3. Parameters of photogrammetric survey of published artefacts

Назва моделі	Параметри			
	Фокусна відстань, мм	Діафрагма	Витримка, с	ISO
A5194_Ref36	24	1/16	1/3	125
A13192_Ref38	24	1/16	1/3	125
A979_Ref39	24	1/16	1/3	125
NV33889_Ref40	50	1/16	1/3	125
A13114_Ref41	50	1/16	1/3	125

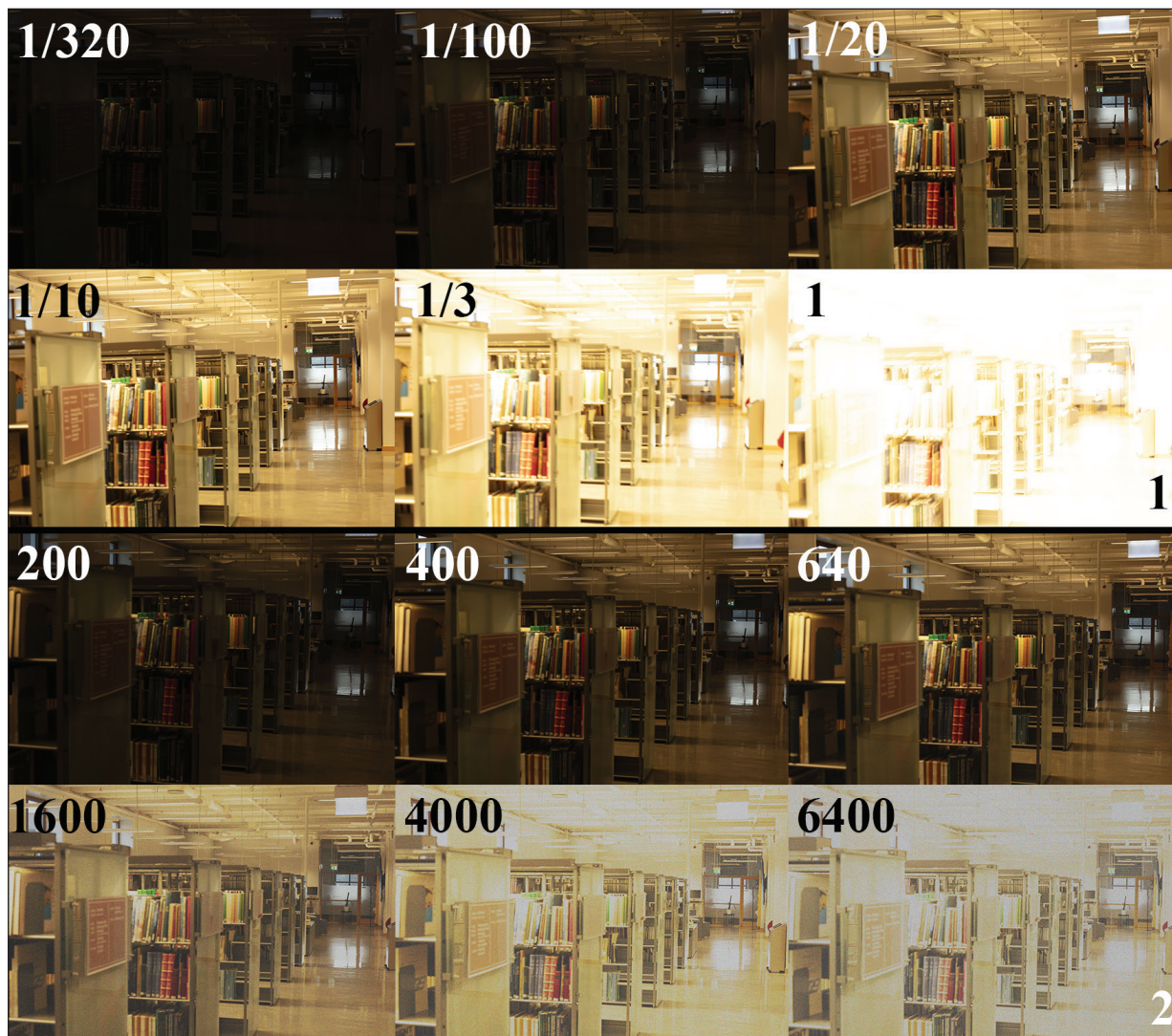


Рис. 8. Зміна кадру в залежності від значення параметрів знімання: 1 — витримка; 2 — ISO. Значення параметрів вказано у верхньому лівому куті кожного кадру

Fig. 8. The change of the shot depending on the shooting settings: 1 — shutter speed; 2 — ISO. The values of the parameters are indicated in the upper left corner of each shot.

купність пікселів (пройде ще декілька років, перш ніж це твердження застаріє під впливом розвитку штучного інтелекту), усі предмети в кадрі також потрапляють до обробки. Коли ж положення артефакту відносно цих об'єктів змінюється, штучний інтелект надає цій зміні прямого сенсу — «пересуває» об'єкт, змішуючи два його положення в одній моделі (рис. 9). Саме тому тривимірне моделювання денця керамічної посудини значно збільшує робочий час — потрібно шукати рішення, яке б завадило цій процедурі. Найпростішим рішенням такого типу є використання одноманітного заднього тла, яке б не надавало програмі інформацію про положення об'єкта в просторі.

Таких рішень може бути три:

- використання фотобоксу (одноманітного білого тла). На жаль, білі стінки фотобоксів та лискуватість значної кількості археологічних предметів призводять до значних ускладнень при постобробці знімків та спотворень результату;

- використання одноманітного чорного тла, наприклад, чорної повстяної тканини з якомога вищим коефіцієнтом поглинання світла;

- модифікація знімків під час постобробки. Цей спосіб значно збільшує час на виготовлення моделі, але оптимізує збір даних. Такий варіант вигідний в умовах (доволі поширених у нашій практиці) обмеженого доступу до предметів, який перешкоджає створенню ідеальних робочих умов.

Усі три варіанти включають використання поворотного столика, на якому, власне, і зна-

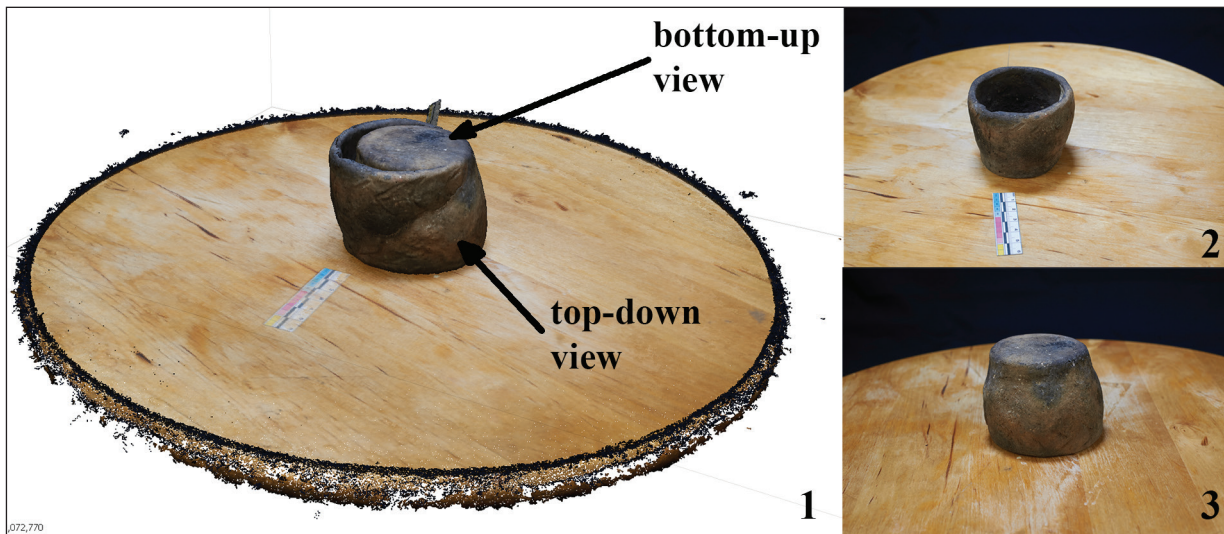


Рис. 9. Результат прямої обробки фото з «активним» бекграундом (без однотонного заднього тла) — програмне забезпечення «змішує» декілька положень камери в одну модель. 1 — результат вирівнювання знімків без постобробки; 2 — знімок з прямим положенням предмета на поворотному столику; 3 — знімок перевернутого предмета

Fig. 9. The result of the direct photo processing with an “active” background (without a monochrome background) — the software “mixes” several camera positions into one model. 1 — an image alignment result without post processing; 2 — a photo with a straight subject on a turntable; 3 — a photo of an inverted object

ходиться артефакт. Таким чином, робоча сцена складається з артефакту на поворотному столику, камери на штативі, механізму дистанційного керування камерою, джерел освітлення та (в ідеальній ситуації) чорного тла (рис. 10).

До важливих параметрів сцени також належить взаємодія об’єкта з освітленням простору. Перш за все світло повинно падати на об’єкт однаково та рівномірно під час всього процесу знімання, адже рух тіней по поверхні артефакту змінює конфігурацію пікселів (колір поверхні) та заважає програмному забезпеченню розпізнати точки об’єкта. До того ж моделі частково затінених об’єктів часто виглядають не найкращим чином. Це означає, що про світло також потрібно подбати заздалегідь, особливо в умовах часто бідно освітлених і тісних фондових приміщень, де зберігаються археологічні артефакти.

Варто сказати, що спокусливе рішення зробити всю сцену якомога яскравішою також неправильне, адже призводить до зміни кольору предмета, неконтрольованості його освітленості та появи візуальних дефектів на знімку. Крім того, відблиски лискучих поверхонь (лакованих або ангобованих посудин, шліфованого каменю, а особливо — скляних посудин і жовтого металу тощо) виглядатимуть інакше на кожному фото, а отже, заважатимуть обробці матеріалів та й спотворюватимуть уявлення про форму поверхні. Частково виправити ситуацію можна, обладнав-

ши об’єктив і джерела світла поляризаційними фільтрами, а частково — двічі подумавши, чи справді моделювання конкретно цього складного предмета є життєво необхідним³.

Збирання даних (фотографування).

Власне етап практичного збирання даних описати порівняно просто: він полягає у фотографуванні об’єкта з усіх можливих ракурсів, так щоб кожна точка потрапляла на хоча б два, а насправді якомога більшу кількість знімків. Так, інструкція з топографічного знімання пропонує утримувати відсоток спільного простору («перекриття») між знімками на рівні 56 % (тобто одна точка потрапляє щонайменше на три знімки). Але для фотограмметричного моделювання невеликих об’єктів це значення має бути більшим і може сягати понад десять знімків однієї й тієї ж самої точки з різних ракурсів (Guidi, Malik, Mikoli 2020). Зразковий сценарій — обертання артефакту на поворотному столику з ідеально чорним покриттям та ідеально чорним тлом так, щоб один повний поворот предмета навколо своєї осі було зафіксовано на 18–24 фотографіях. Таких обертів потрібно декілька — щоб відобразити всі точки об’єкта. Однак є й особливості, які доводиться врахувати попри загальну простоту процедури.

³ Поєднання всіх цих деталей засвідчує, що найгіршим предметом для тривимірного моделювання є золота монета — маленька, пласка й блискуча.

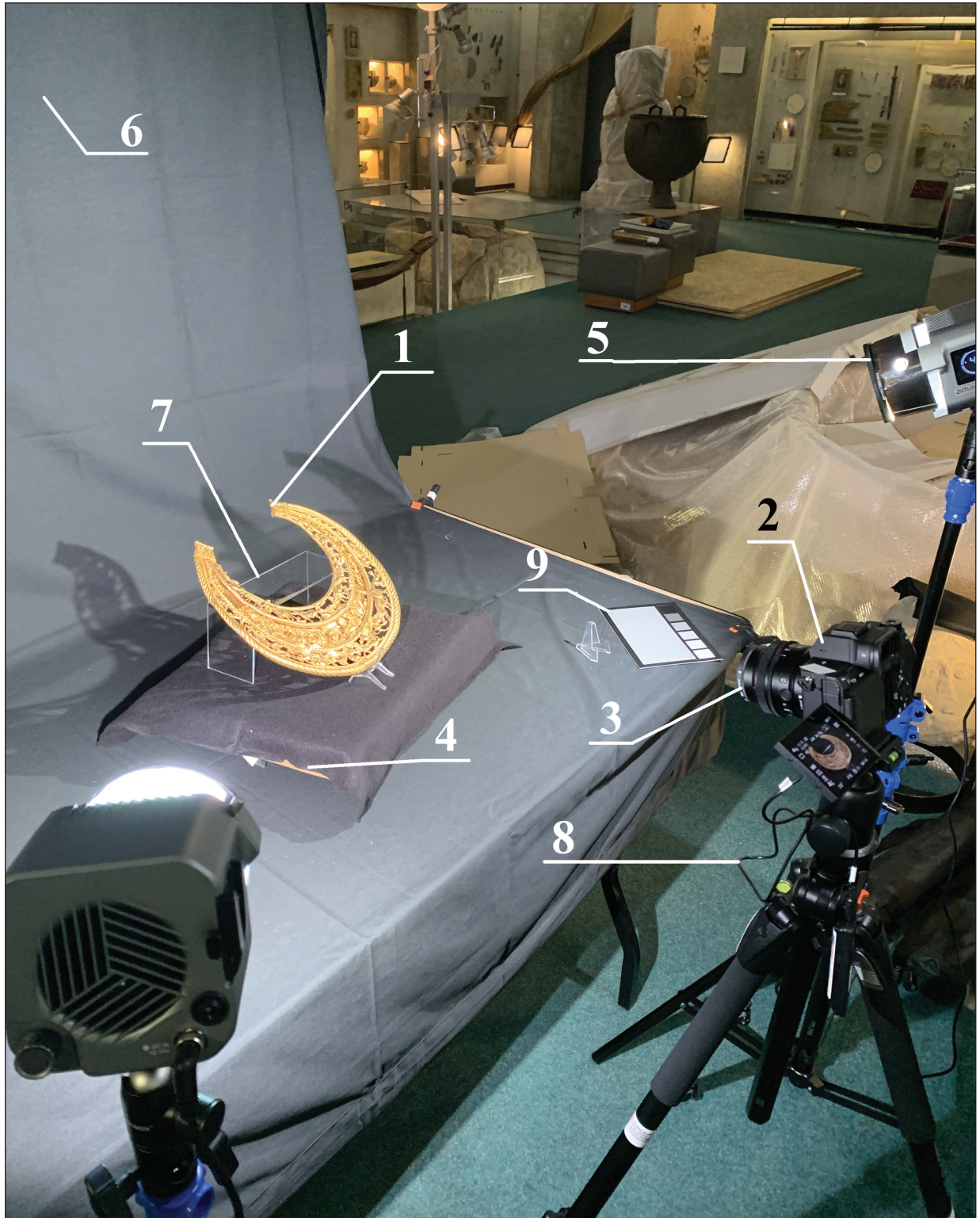


Рис. 10. Підготоване робоче місце для тривимірного моделювання артефакту: 1 — артефакт; 2 — фотокамера; 3 — об'єктив із поляризаційним фільтром; 4 — поворотний столик; 5 — джерело освітлення із поляризаційним фільтром; 6 — заднє тло; 7 — підставка для об'єкта; 8 — кабель з'єднує камеру з пристроєм дистанційного керування; 9 — картка для калібрування кольору майбутньої моделі. Фото Дар'ї Геннадіївни Гембержевської

Fig. 10. Prepared workplace for 3D-modelling of an artefact: 1 — an artefact; 2 — a camera; 3 — a lens with a polarising filter; 4 — a turntable; 5 — a light source with a polarising filter; 6 — a background; 7 — a stand for the object; 8 — a cable connecting the camera to a remote control device; 9 — a card for colour calibration of the future model. Photo by Daria Hemberzhevskaya

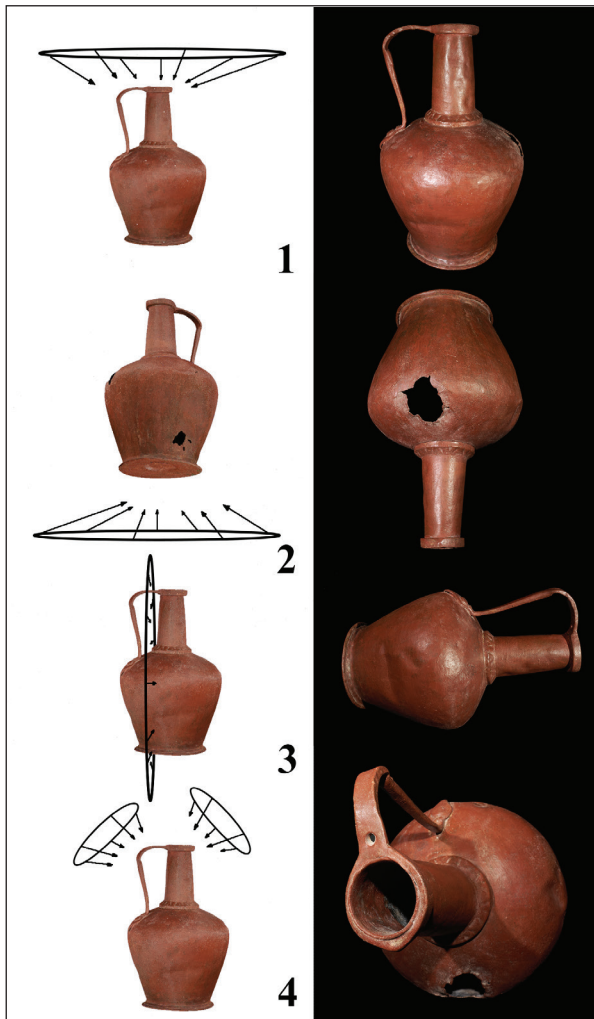


Рис. 11. Положення камери відносно об'єкта при фотограмметричному моделюванні: 1 — вигляд «зверху»; 2 — видгляд «знизу»; 3 — «поперечне» коло для додаткового зв'язку між різними положеннями камери; 4 — фотографування складних ділянок, наприклад, внутрішньої частини посудини

Fig. 11. Camera position regarding the object during photogrammetric modelling: 1 — a “top view”; 2 — a “bottom view”; 3 — a “transverse” circle for additional connection between different camera positions; 4 — photographing of difficult areas, for example, the inner part of a vessel

Той факт, що під час тривимірного моделювання артефакт потрібно обертати та фотографувати в різних положеннях, сильно ускладнює збирання даних і збільшує кількість роботи, зокрема й при постобробці даних. Фотографування, скажімо, розкопу — справа доволі проста: вона потребує великої кількості знімків з якомога більшої кількості ракурсів, так, щоб кожна ділянка розкопу потрапила на хоча б два (а краще більше) кадри. Осмислюється ця процедура так само просто, як і озвучується, і, попри всі технічні тонкощі, є доволі простою (Verhoeven 2011). Однак коли мова йде про «багатосторонній» предмет,

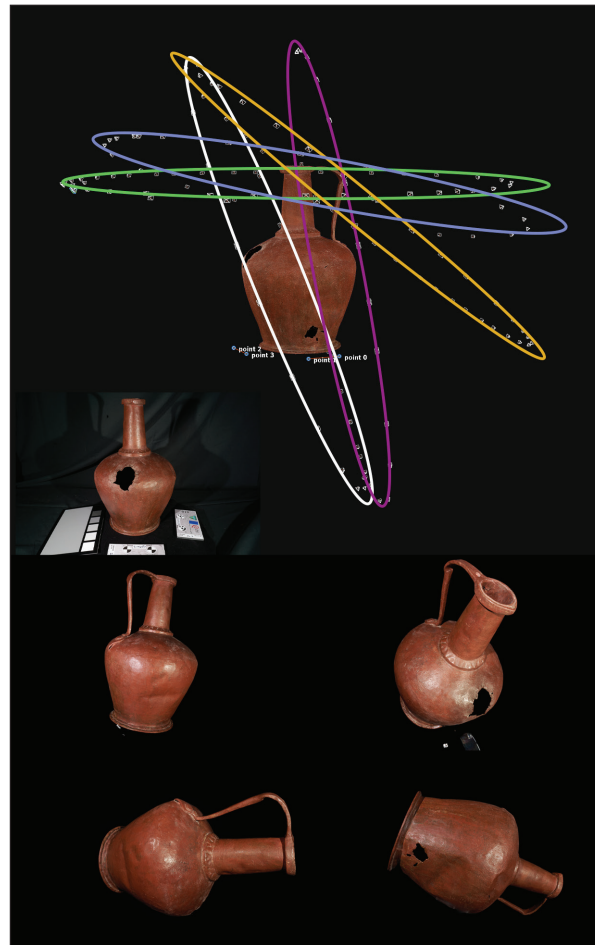


Рис. 12. Сценарій зйомки для глека A5194_Ref36 включає п'ять «обертів» камери відносно об'єкта (насправді ж — артефакту навколо своєї осі)

Fig. 12. The shooting scenario for the jug A5194_Ref36 includes five camera “rotations” regarding the object (in fact, the artefact’s rotation around its axis)

скажімо, про горщик із характерним дном, процес ускладнюється. Такий об'єкт потрібно знімати у двох різних положеннях, щоб зафіксувати всі його точки (рис. 11: 1, 2) (Benito-Calvo et al. 2018; Mangani et al. 2020; Sorrentino et al. 2023). Теоретично цього має бути достатньо, адже всі точки артефакту будуть відображені на декількох знімках. На практиці програмним алгоритмам часто не вдається пов'язати серії знімків, зроблених із різними положеннями камери, особливо якщо рух камери відносно артефакту однонаправлений для різних положень предмета (рис. 12). Тому світовий досвід рекомендує створення додаткових — «поперечних» — серій знімків, які б пов'язували основні набори даних та надавали більше інформації про артефакт (рис. 11: 3) (Porter, Roussel, Soressi 2016). До того ж форма археологічних об'єктів часто вимагає додаткової уваги до особливо складних ділянок — внутрішньої



Рис. 13. Труднощі фотограмметричного моделювання, пов'язані з формою артефакту. 1 — фотографування внутрішньої поверхні ручки посудини (A5194_Ref36) часто здійснюється під великим кутом, що заважає цифровій реконструкції її форми; 2 — поверхня під вінцями посудини часто невидима та недоступна для фотографування

Fig. 13. Photogrammetric modeling challenges caused by the artefact shape complications: 1 — inner surface of the vessel's handle (A5194_Ref36) can often be imaged under a significant angle, complicating the geometry reconstruction, 2 — surface under the vessel's rim is often invisible and non-acquirable.

поверхні посудини, ручок амфори, додаткових елементів тощо (рис. 11: 4). Не завжди їх фотографування в принципі є технічно можливим. Наприклад, внутрішні сторони ручок посудин часто недоступні для прямого фотографування (не під кутом), отже, отримати їх чітку геометрію буває доволі складно. Це призводить до «артефактів» та «шумів» на зламів поверхонь. Крім того, простір під вінцями керамічних артефактів часто залишається невидимим, а отже, й недоступним для фотографування з будь-якого ракурсу (рис. 13). Тому керамічні посудини часто оцифровують без внутрішньої поверхні під вінцями.

Загалом з урахуванням усіх цих потреб моделювання однієї керамічної посудини середнього розміру потребує 80–130 фотографій із різних ракурсів та приблизно 1 год робочого часу при зніманні. Це означає, що грантові заявки, які передбачають оцифрування 100 артефактів за два тижні, мають під собою реальне підґрунтя тільки за наявності фахової команди, комфортного доступу до предметів та продуманого сценарію знімання і є абсолютно неможливі в уявному обтяженому бюрократією музеї, що працює по п'ять годин чотири рази на тиждень.

Власне, додання всіх описаних перепон і є основною роботою експерта з фотограмметричного моделювання — врахування всіх перелічених факторів, формування сценарію знімання, а крім того — його узгодження з реальними можливостями та конкретними по-

требами. Це необхідні умови створення репрезентативної моделі. Розуміти ці умови має не лише безпосередньо виконавець роботи, але й археолог-замовник, який планує проєкт діджиталізації чи міждисциплінарну співпрацю. І лише така співпраця, яка ґрунтується на врахуванні всієї складності та багатофакторності процесу, дає конкретний та конструктивний результат, здатний збагатити археологічне дослідження та покращити його репрезентативність.

Результати моделювання і подальші перспективи

Зворотна сторона такого збагачення дещо нівелює оптимістичний пафос останніх рядків: тривимірне моделювання — не самостійна дослідницька процедура. Власне, моделі об'єктів самі собою реалізують цифровий захист спадщини (що дуже важливо для нашої галузі, яка порівняно самостійно долає труднощі воєнного часу); вони також мають відкритий і готовий до реалізації потенціал у галузі популяризації спадщини, підвищенні доступу до неї, а також для «деколонізації» артефактів.

Однак дослідницький потенціал тривимірних моделей правильно назвати прихованим — його не можна проаналізувати та реалізувати без залучення зовнішнього кола експертів. І мова тут не лише про археологів, а переважно про представників інших точних чи природни-

чих дисциплін, які можуть використати цифрові дані для продукування міждисциплінарного знання. Фотограмметрія в цьому сенсі — допоміжний інструмент, який надає максимально швидкі, прості й доступні інструменти для представлення та дослідження предмета в його матеріальному вимірі — об'єктивніше й повніше, ніж креслення чи фото (утім, не здатний повністю їх витіснити). Особливо це важливо для об'єктів, про археологічний та історичний контекст яких маємо обмежене уявлення, — їх потрібно представляти максимально повно й точно для спрощення подальшої роботи (табл. 4). А вже конкретні наукові дослідження таких матеріалів — справа постановки наукових завдань — метрологічних (Жигола, Скороход 2019), технологічних (Radchenko, Kiosak 2022; Dubinsky, David, Grossman 2023), морфологічних (Haaland et al. 2021), трасологічних (Sorrentino et al. 2023) чи будь-яких інших — список обмежено лише дослідницькою фантазією та метричними характеристиками моделі (точністю й роздільною здатністю).

Методика метричних вимірювань тривимірних моделей здебільшого доволі проста — програмні інструменти для цього вбудовані в інтерфейс багатьох програмних рішень для роботи з 3D. Серед них: Blender, Agisoft Metashape, Meshlab, CloudCompare тощо. Методики таких обчислень та вимірювань вже апробовано і в зарубіжних (Fregonese et al. 2016; Porter, Rousset, Soressi 2016; Hermon et al. 2018), і в українських (Махортих та ін. 2020; Radchenko, Kiosak 2022) студіях, зокрема й для вивчення керамічних посудин (Веремейчик 2018; Жигола 2018, 2021; Жигола, Скороход 2019).

Для якомога повнішого метричного представлення змодельованих посудин було використано змішану методику безпосередніх та опосередкованих вимірювань. Оскільки Reality Capture (програмне забезпечення, у якому й було створено моделі) не має окремих інструментів для метричного аналізу, його було здійснено засобами Meshlab (рис. 14: 1). Так, безпосередньо можна виміряти діаметр вінця й горла, діаметр денця, ширину профілю ручки та смужки глиняного тіста, висоту від верху ручки до краю вінця, а також порахувати кількість пальцевих защипів та виміряти їх параметри.

У тому випадку, коли безпосереднє вимірювання моделі не могло забезпечити достатню точність, модель було відредаговано для уможливлення точніших вимірювань — видалено ті частини, які заважали отримати доступ до потрібних відстаней. Таку «порізану» модель завантажено до середовища Meshlab та обміряно за допомогою стандартних інструментів. До опосередковано виміряних параметрів належать максимальний діаметр посудини, висота горла та загальна висота (рис. 14: 2).

Деякі параметри не підлягають безпосереднім вимірюванням при будь-якій конфігурації моделі. Їх визначено за допомогою тригонометричних обчислень і безпосередніх вимірювань пов'язаних відстаней. Так, наприклад, висота максимальної ширини тулуба — катет прямокутного трикутника, утвореного максимальним радіусом посудини та відстанню від центру денця до тулуба на максимальній його ширині (рис. 15).

Нарешті, параметри об'єму та густини передбачають автоматизовані розрахунки. Так, об'єм розраховано у Meshlab за допомогою ін-

Таблиця 4. Параметри тривимірних моделей досліджуваних об'єктів
Table 4. Parameters of 3D models of the objects under study

Номер моделі	A5194_Ref36	A13192_Ref38	A979_Ref39	NV33889_Ref40	A13114_Ref41
Кількість фото	153	123	116	133	148
Кількість полігонів	7 097 612	6 883 498	6 686 556	2 936 294	1 499 748
Роздільна здатність (мкм / піксель)	106	140	152	56	74
Роздільна здатність (полігон)	0,029 мм	0,019 мм	0,021 мм	0,012 мм	0,005 мм
Оцінена точність	0,196 мм	0,196 мм	0,196 мм	0,05 мм	0,05 мм
Розмір файлу	786 Мбайт	463 Мбайт	741 Мбайт	343 Мбайт	362 Мбайт

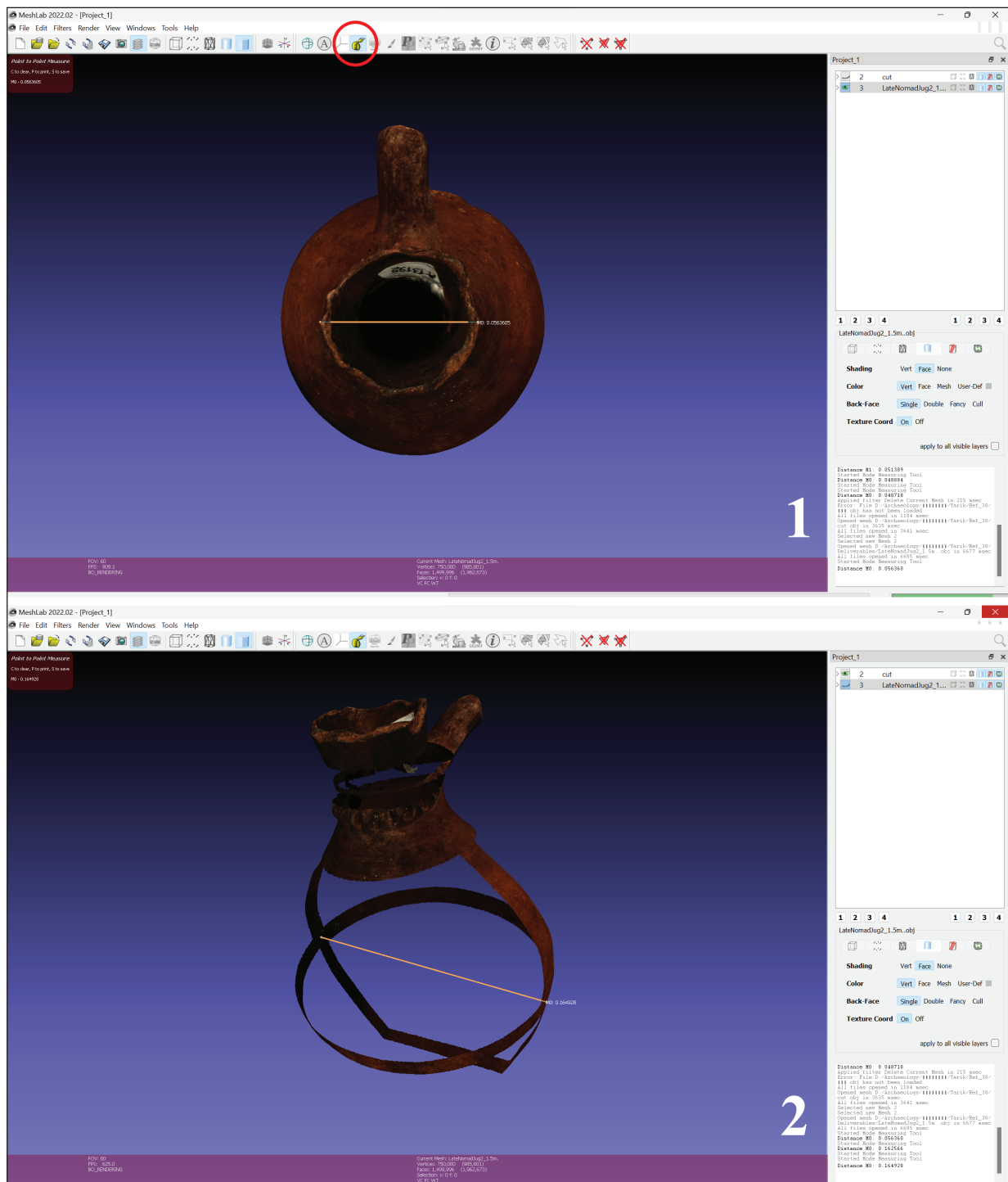


Рис. 14. Вимірювання лінійних метричних параметрів моделі у середовищі Meshlab: 1 — безпосередні вимірювання; 2 — вимірювання недоступних за замовчуванням параметрів

Fig. 14. Measurement of linear metric parameters of the model in Meshlab environment: 1 — direct measurements; 2 — measurements of parameters not available by default

струмента *Filter* — *Quality Measure and Computations* — *Compute Geometric Measures*. Густина ж тіста визначено як частку (результат ділення) маси посудини на її об'єм.

Цікавим є об'єкт A979_Ref39, тривимір-на модель якого дає змогу оприаявити дета-

лі технологічних і постдепозиційних процесів — орнаментування, деформацій тощо (рис. 16). Наприклад, заглажені сліди лінійних прокреслень поблизу «носика» цієї посудини свідчать, що орнамент було нанесено до того, як посудина набула своєї фінальної фор-



Рис. 15. Опосередковане вимірювання параметрів посудини в середовищі Meshlab шляхом тригонометричних розрахунків

Fig. 15. Indirect measurement of the vessel's metric parameters in Meshlab environment due to trigonometric calculations

ми (рис. 16: 2). Тобто спочатку її було виліплено й орнаментовано, а вже потім гончар додав лійчасту частину та загладив простір навколо неї. Так само унаочнюються сліди цих загладжувань (рис. 16: 3) та й основні технологічні відбитки — сліди гончарного кола. А, крім них, і виробнича деформація (рис. 16: 1) та загладження придонної частини (рис. 16: 4). Власне, біографічно-технологічні викладки такого типу — сильна сторона саме фотограмметричного методу з його потенціалом дослідження матеріальності предмета (табл. 5). Тим цінніша така викладка, зважаючи на те, що доволі не часто в археологічній літературі надається настільки вичерпна інформація, за якою можна встановити точні ознаки певного типу посудини. Якщо говорити про цей об'єкт, то викладку ознак, притаманних таким глекам — куманам, надав Г. О. Федоров-Давидов, а саме: ознаки, що визначають функціональну категорію — у цьому випадку це глек зі зливом; типотворювальні ознаки — загальні пропорції та розмір посудин, місце кріплення й висота ручки; варіанти ознаки — ширина вінчика, розміри ручки в профілі та орнаментация (Федоров-Давидов 2001, с. 33). У табл. 5 подано значення всіх перелічених ознак. За-

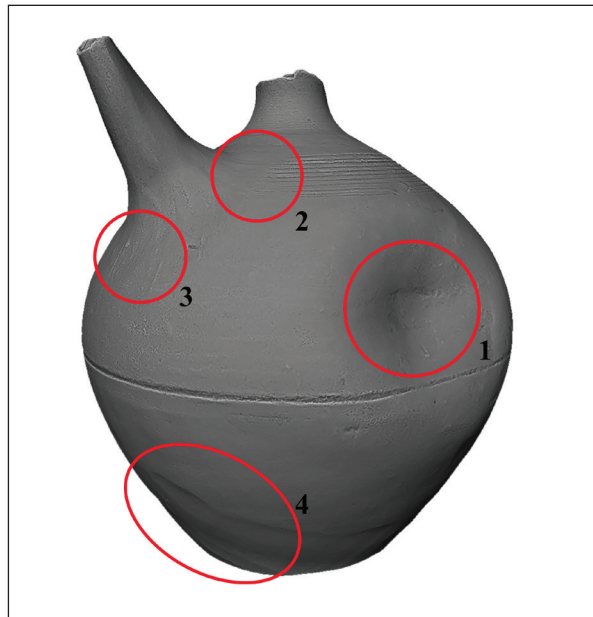


Рис. 16. Тривимірний модель посудини A979_Ref39 після постобробки з визначеними ділянками інтересу: 1 — пошкодження при виробництві посудини; 2 — сліди орнаментации посудини до затирання; 3 — загладження поверхні в точці сполучення з «лійкою»; 4 — грубе загладження придонної частини посудини

Fig. 16. 3D-model of the A979_Ref39 vessel after the post-processing with the distinguished points of interest: 1 — a damage during the vessel production; 2 — traces of vessel ornamentation before mashing; 3 — surface smoothing near the “spout” area; 4 — rough smoothing of the vessel's bottom part

уважимо також, що визначені за допомогою спеціальних програм параметри глека є значно точнішими і можуть допомогти в пошуках типологічних аналогій майбутнім дослідникам. Тривимірні моделі представлених об'єктів доступні за QR-кодом (рис. 17).

Таблиця 5. Метричні параметри посудини A979_Ref39

Table 5. Metric parameters of the vessel A979_Ref39

Параметр	Значення
Діаметр горла, см	4,54
Діаметр лійки, см	3,2
Максимальний діаметр, см	19,72
Діаметр донця, см	11,39
Висота горла, см	18,37
Висота максимальної ширини тулуба, см	9,55
Висота кріплення ручки, см	14,59
Ширина профілю ручки, см	1,64
Об'єм посудини, л	3,94

Простіша доля склалася в об'єкта A13192_Ref38. Тут немає слідів виробничих пошкоджень, однак, крім стандартних параметрів, можемо виміряти ширину защипу на вінці та ширину пальця, яким защипи було зроблено, а також — середню ширину смужки тіста, використаної при створенні посудини (табл. 6). Оскільки аналогій такому «пальцевому» защипу на золотоординських глеках указаної форми не виявлено, то його вимірювання дає змогу ввести до наукового обігу новий параметр для таких посудин, описаних далі. Також зазначимо, що дослідник П. П. Лесничий який серед іншого описував аналізований глек, застосував чотири параметри для його виміру: висота виробу — 24,5 см, діаметр горла — 5,6 см, діаметр денця — 10,4 см та максимальний діаметр тулуба — 17 см (Лесничий 2002, с. 119). У табл. 6 можна побачити різницю у вимірах дослідника і тих, що зроблені за допомогою фотограмметрії; також для об'єкта було обрано більше типологізаційних ознак, що спростить подальший пошук аналогій таким глекам.

Обмеженими є й результати огляду мідного глека A5194_Ref36 (табл. 7) — перш за все через відсутність зрозумілих аналогій та недостатню вивченість предметів такого типу загалом. Однак зроблена модель дає можливість якісної публікації предмета та його метричних характеристик, а також створює потенціал для майбутнього вивчення джерела деформацій поверхні мідної посудини й пошуку аналогій для унікального об'єкта.

Так само й з іншими предметами колекції — мармуровою плиткою NV33889_Ref40 (табл. 8) і стрілою A13114_Ref41 (табл. 9). Для першої прикметним є відображення структури мармуру на тривимірній моделі та геометричні параметри плитки порівняно з параметрами аналогій будівельних матеріалів із території України, а саме золотоординських поселень, які ще потребують вивчення й замірів. Щодо стріли, ми знову можемо порівняти опис предмета П. П. Лесничим і дані, отримані завдяки фотограмметрії. Дослідник характеризував стрілу разом з ще однією, типологічно до неї близькою, та визначав їхні розміри від $3,1 \times 1,6$ до $3,6 \times 2$ см (Лесничий 2002, с. 113). У табл. 9 наведено детальнішу характеристику, до якої додається два параметри — діаметр кільцевого упору й діаметр дерев'яної частини, завдяки чому інтерпретація типологічно близьких до обраного наконечника стріли полегшується. Загалом же, враховуючи унікальність колекції,



Рис. 17. QR-код, який веде до колекції тривимірних моделей артефактів, представлених у дослідженні

Fig. 17. The QR code linking to a collection of the 3D-models of the artefacts presented in the research

обмежене представлення аналогічних об'єктів в українському степу та неповторність деяких предметів, їх максимально інформативне та репрезентативне документування є необхідною основою для подальшого дослідження теми. А на сучасному етапі така робота неможлива без тривимірної фіксації.

Таблиця 6. Метричні параметри посудини A13192_Ref38

Table 6. Metric parameters of the vessel A13192_Ref38

Параметр	Значення
Діаметр вінця, см	5,49
Діаметр горла, см	4,87
Максимальний діаметр, см	16,55
Діаметр денця, см	10,25
Висота горла, см	4,91
Загальна висота, см	23,86
Висота максимальної ширини тулуба, см	10,94
Висота кріплення нижньої частини ручки, см	11,43
Висота від верха ручки до края вінця, см	2,3
Ширина профілю ручки, см	4,29
Ширина смужки глиняного тіста, см	2,7–3,2
Кількість пальцевих защепів	18
Довжина защепа, см	0,767
Ширина защепа, см	0,925
Об'єм посудини, л	2,934

Висновки

Потенціал фотограмметричних досліджень вповні розкривається у комплексі з іншими дисциплінарними студіями, які дають апарат для інтерпретації здобутих даних. Віртуальна репрезентація артефактів, що належать кочовикам періоду Золотої Орди на території сучасної України, враховуючи ситуацію сьогодення, підкреслює необхідність оцифрування, в тому числі тривимірного, численних українських археологічних колекцій. Навіть матеріали, які вказують на існування специфічних пам'яток та артефактів, виключених із загального дискурсу про цю добу, потребують кращої документації та повнішого представлення. Тож саме такі матеріали й стали демонстраційними зразками для нашої методичної роботи. Крім того, щоб представити їх на новому рівні, ми прагнули висвітлити конструктивні й технологічні деталі, які вирізняють історії цих артефактів. Це особливо важливо в контексті руйнації, якої ці пам'ятки зазнали внаслідок бойових дій та окупації українських територій під час російського вторгнення, наприклад, привласнення окупантами значних колекцій Донецького краєзнавчого музею ще у 2014 р. або пошкодження та знищення половецьких кам'яних скульптур (т. зв. «баб») на горі Кременець поблизу м. Ізюм у 2022 р.

Таблиця 7. Метричні параметри посудини A5194_Ref36

Table 7. Metric parameters of the vessel A5194_Ref36

Параметр	Значення
Діаметр вінця, см	4,74
Діаметр горла, см	5,37
Максимальний діаметр, см	18,57
Діаметр денця, см	12,77
Висота горла, см	11,03
Загальна висота, см	28,63
Висота максимальної ширини тулуба, см	11,48
Висота кріплення нижньої частини ручки, см	16,94
Ширина профілю ручки, см	1,35
Довжина вдавнення на основі горла, мм	0,6–0,7
Ширина вдавнення на основі горла, мм	0,25–0,35
Об'єм посудини, л	3,67

Що ж до фотограмметричних методів та їх інтегрування в археологічні дослідження, то принциповим є створення можливостей для трансдисциплінарного діалогу: спільна комунікація фахівців різного профілю, поява навчальних та методичних текстів, а також тих, які забезпечують «переклад» технічних викладок на мову потреб, запитів і можливостей археологів і музеєзнавців. Саме такі матеріали формують підґрунтя для реальної цифровізації археологічних досліджень в Україні та сприяють переходу від несистемних методичних запозичень до справжньої міждисциплінарної комунікації. Сподіваємось, що ця стаття — одне з них.

Подяки

Ця стаття написана завдяки проєкту «Preserving Ukrainian Legacy: Enhancing Cultural Heritage Protection through 3D Digitization Training and Collaboration», тренінгу та підтримці фахівців організації CyArk та допомозі Ягеллонського університету в Кракові. Створення й публікація моделей були б неможливі також без співпраці з ДНІМ, особливо з п. Ганною Юрченко та п. Ганною Подолян. Окремо вдячні підказкам п. Михайла Єльнікова та влучним коментарям анонімного рецензента.

Таблиця 8. Метричні параметри мармурової плити NV33889_Ref40

Table 8. Metric parameters of the marble block NV33889_Ref40

Параметр	Значення
Довжина, см	6,77
Ширина, см	5,63
Висота, см	2,32
Пропорції	2,92 : 1,93 : 1

Таблиця 9. Метричні параметри стріли A13114_Ref41

Table 9. Metric parameters of the arrow A13114_Ref41

Параметр	Значення
Довжина пера, см	3,52
Ширина пера, см	1,66
Діаметр кільцевого упора, см	0,9
Діаметр дерев'яної частини, см	0,749

Дослідження було частково підтримано грантовою програмою «European Union's Horizon Europe train and mobility actions

Андреев, В. 2015. Калькулятор ГРИП. *О фотографии*. Режим доступу: <https://vasili-photo.com/articles/dof-calculator.html> [Дата звернення 22 вересня 2024].

Белорыбкин, Г. Н. 2001. *Золотаревское поселение*. Пенза: ПГПУ.

Веремейчик, О. М. 2018. Кераміка середини XIII ст. з садиби ювеліра в Любечі. *Археологія і давня історія України*, 4(29), с. 297-316. <https://doi.org/10.37445/adiu.2018.04.17>.

Гнера, В. А. 2017. Археологічна аерофотозйомка за допомогою квадрокоптерів DJI Phantom (порівняльний аналіз). *Питання історії науки і техніки*, 4, с. 52-60.

Гнера, В. А., Пашковський, О. А. 2018. 3D-моделювання в музефікації фундаментів Десятинної церкви. *Opus Mixtum*, 6, с. 202-204.

Ельников, М. В. 2016. Городище «Кінські Води» у писемних джерелах XVII—XX ст. *Наукові праці історичного факультету Запорізького національного університету*, 46, с. 19-23.

Евглевский, А. В., Потемкина, Т. М. 2000. О некоторых видах гончарной керамики у восточноевропейских номадов развитого средневековья. В: *Евглевский, А. В. (відп. ред.). Стени Европы в эпоху средневековья*. 1. Донець: ДонГУ, с. 209-226.

Эварницкий, Д. И. 1907. Раскопки курганов в пределах Екатеринославской губернии. В: *Труды XIII Археологического съезда в Екатеринославе*, 1. Москва (б.в.), с. 108-157.

Жигола, В. С., Скороход, В. М. 2017. Фотограмметрична фіксація у польовій археології на прикладі пам'яток Подесення. В: Горбаненко, С. А., Гречко, Д. С., Корохіна, А. В. (ред.). *Інтерпретація археологічних джерел: здобутки та виклики. Матеріали наукової конференції молодих вчених*. Київ: Стародавній світ, с. 134-137.

Жигола, В. С. 2018. Метрологічні дослідження 3D-моделей археологічної кераміки. В: Дятлов, В. О. (відп. ред.). *Середньовічні та ранньомодерні старожитності Центрально-Східної Європи*. Чернігів: Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Тараса Шевченка, с. 47-54.

Жигола, В. С., Скороход, В. М. 2019. Новітні методи фіксації в археології. *Археологія*, 2019, 1, с. 118-130. <https://doi.org/10.15407/archaeologyua2019.01.118>.

Жигола, В. С. 2020. Цифрова фіксація поховання X ст. *Археологія і давня історія України*, 2(35), с. 321-326. <https://doi.org/10.37445/adiu.2020.02.23>.

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

Жигола, В. С., Скороход, В. М. 2022. Фотограмметрична топографічна основа археологічної пам'ятки. *Археологія і давня історія України*, 3(44), с. 456-465. <https://doi.org/10.37445/adiu.2022.03.31>.

Ибрагимов, А. М. 2013. *Бахчисарайский Ханский дворец XVI—XVIII вв.* Симферополь: ИА НАНУ.

Каталог Екатеринославского областного музея им. А. Н. Поля. 1910. Екатеринослав: Типография губернского земства.

Ковалёва, И. Ф., Марина, З. П., Ромашко, В. Л., Тесленко, Д. Л., Шалобудов, В. Н., Векленко, В. А. 2003. *Курганы энеолита-бронзы в криворожском течении Ингульца*. Днепропетровск: ДНУ.

Климишина, І., Корсунь, А. 2003. *Астрономічний енциклопедичний словник*. Львів: Головна астрономічна обсерваторія НАН України.

programme» відповідно до стипендіальної грантової угоди Marie Skłodowska-Curie actions No. 101153375.

Кравченко, А. А. 1986. *Средневековый Белгород на Днестре (конец XIII—XIV вв.)*. Киев: Наукова Думка.

Лесничий, П. П. 2002. Позднекочевнические погребения у с. Зеленый Гай на р. Ингулец. В: Ковальова, І. Ф. (відп. ред.). *Проблеми археології Подніпров'я*. Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, с. 112-123.

Махортих, С. В., Котова, Н. С., Джос, В. С., Радченко, С. Б. 2020. Нові поховально-ритуальні комплекси доби ранньої бронзи поблизу Кам'яної Могили. *Археологія і давня історія України*, 4(37), с. 226-239.

Медведев, А. Ф. 1966. Ручное метательное оружие (лук и стрелы, самострел) VIII—XIV вв. *Археология СССР. Свод археологических источников*, вып. ЕІ-36. Москва: Наука.

1998. *Наказ «Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98)» № 56 від 09.04.98*, м. Київ [online]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text> [Дата звернення 26 вересня 2024].

Никоненко, Д. Д., Радченко, С. Б., Волков, А. В. 2017. Вітовтова вежа за даними сучасних фотограмметричних досліджень. *Археологія*, 4, с. 120-129. <https://doi.org/10.15407/archaeologyua2017.04.120>.

Плетнева, С. А. 1981. Кочевники восточноевропейских степей в X—XIII вв. Печенеги, торки, половцы. В: Плетнева, С. А. (отв. ред.). *Стени Евразии в эпоху средневековья*. Москва: Наука.

Полевой, Л. Л., Бырня, П. П. 1974. *Средневековые памятники XIV—XVII*. Археологическая карта Молдавской ССР, 7. Кишинёв: Штиинца.

Радченко, С. Б., Никоненко, Д. Д. 2020. Фотограмметричні дослідження господарських об'єктів ранньої залізної доби. В: Болтрик, Ю. В. (відп. ред.). *Археологічні дослідження в Україні 2020*. Київ: Інститут археології НАН України, с. 361-363.

Радченко, С. Б., Дудок, Т. Г. 2023. Мірна шкала для масштабування та вимірювання моделей. Патент на корисну модель No. 153395. *Bulletin of Legal Rights*, 26, p. 4-11.

Сердюк, М. Й. 2020. Характеристика археологічної колекції ДНІМ «Старожитності пізніх кочовиків IX—XIV ст.». *Науковий архів ДНІМ*, 6/н, арк. 7.

Фёдоров-Давыдов, Г. А. 1966. *Кочевники Восточной Европы под властью золотоордынских ханов*. Москва: МГУ.

Фёдоров-Давыдов, Г. А. 2001. *Золотоордынские города Поволжья: Керамика. Торговля. Быт*. Москва: МГУ.

Швецов, М. Л. 1980. Котлы из погребений средневековых кочевников. *Советская археология*, 2, с. 192-202.

Aicardi, I., Chiabrando, F., Lingua, A., Noardo, F. 2017. Recent Trends in Cultural Heritage 3D Survey: The Photogrammetric Computer Vision Approach. *Journal of Cultural Heritage*, 32, p. 257-266. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.11.006>

Anderson, R. C. 1982. Photogrammetry: The Pros and Cons for Archaeology. *World Archaeology*, 14(2), p. 205-205.

Archaeology Guidelines Supplement Photogrammetry. 2022. *State Historic Preservation Office*. Columbus. Ohio History Connection.

Barba, S., Barbarella, M., Di Benedetto, A., Fiani, M., Gujski, L., Limongiello, M. 2019. Accuracy Assessment of 3D Photogrammetric Models from an Unmanned Aerial Vehicle. *Drones*, 3(4), 79. <https://doi.org/10.3390/drones3040079>.

Benavides Lopez, J. A., Aranda Jiménez, G., Sánchez Romero, M., Alarcón García, E., Fernández Martín, S., Lozano Medina, A., Esquivel Guerrero, J. A. 2016. 3D Modelling

in Archaeology: The Application of Structure from Motion Methods to the Study of the Megalithic Necropolis of Panoria (Granada, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 10, p. 495-506. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.11.022>.

Benito-Calvo, A., Crittenden, A. N., Livengood, S. V., Sánchez-Romero, L., Martínez-Fernández, A., de la Torre, I., Pante, M. 2018. 3D 360° Surface Morphometric Analysis of Pounding Stone Tools used by Hadza Foragers of Tanzania: A New Methodological Approach for Studying Percussive Stone Artefacts. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 20, p. 611-621. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.06.003>.

Bernasik, J. 2008. *Wykłady z fotogrametrii i teledetekcji*. Kraków (w. ed.).

Cambridge in Color. 2020. Depth of Field Calculator. Available at: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/dof-calculator.htm> [Accessed 22 September 2024].

Cerasoni, J. N., Nascimento Rodrigues, F., Tang, Y., Yuko Hallett, E. 2022. Do-It-Yourself Digital Archaeology: Introduction and Practical Applications of Photography and Photogrammetry for the 2D and 3D Representation of Small Objects and Artefacts. *PlosOne*, 17(4), e0267168. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267168>.

Doneus, M., Verhoeven, G., Fera, M., Briese, C., Kucera, M., Neubauer, W. 2011. From Deposit to Point Cloud — a Study of Low-cost Computer Vision Approaches for the Straightforward Documentation of Archaeological Excavations. *Geoinformatics CTU FCE*, 6, p. 81-88. <https://doi.org/10.14311/gi.6.11>.

Dubinsky, L., David, M., Grosman, L. 2023. Recognizing Technique Variation in Rock Engravings: ArchCUT3-D for Micro-morphological Analysis. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 316. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01742-7>.

Farjas, M. 2009. *Digital Photogrammetry: 3D Representation of Archaeological Sites*. [online]. Available at: <https://www.biblicalarchaeology.org/wp-content/uploads/photogrammetry1.pdf> [Accessed 03 January 2024].

Fregonese, L., Fassi, F., Achille, C., Adami, A., Ackermann, S., Nobile, A., Giampaola, D., Carsana, V. 2016. 3D Survey Technologies: Investigations on Accuracy and Usability in Archaeology. The Case Study of the New “Municipio” Underground Station in Naples. *Acta Imeko*, 5(2), p. 55-63. https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v5i2.342.

Fussell, A. 1982. Terrestrial Photogrammetry in Archaeology. *World Archaeology*, 14(2), p. 151-172.

Guidi, G., Malik, U. S., Micoli, L. L. 2020. Optimal Lateral Displacement in Automatic Close-Range Photogrammetry. *Sensors*, 20, 6280. <https://doi.org/10.3390/s20216280>.

Green, S., Bevan, A., Shapland, M. 2014. A Comparative Assessment of Structure from Motion Methods for Archaeological Research. *Journal of Archaeological Science*, 46, p. 173-181. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.02.030>.

Haaland, M. M., Strauss, A. M., Velliky, E. C., Mentzer, S. M., Miller, C. E., van Niekerk, K. L., Henshilwood, C. S. 2021. Hidden in Plain Sight: A Microanalytical Study of a Middle Stone Age Ochre Piece Trapped Inside a Micromorphological Block Sample. *Geoarchaeology*, 36, p. 283-313. <https://doi.org/10.1002/gea.21830>.

Hermon, S., Polig, M., Driessen, J., Jans, G., Bretschneider, J. 2018. An Integrated 3D Shape Analysis and Scientific Visualization Approach to the Study of a Late Bronze Age Unique Stone Object from Pyla-Kokkinokremos, Cyprus. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 10, e00075. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.e00075>.

Maietti, F., Piaia, E., Ferrari, F., Brunoro, S. 2016. Input to Standardization in 3D Data Acquisition. Deliverable Report D2.2. *Inception*, 30 November 2016 [online]. Available at: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5ac948a36&appId=PPGMS> [Accessed 22 September 2024].

Li, X., Chen, Z., Zhang, L., Jia, D. 2016. Construction and Accuracy Test of a 3D Model of Non-Metric Camera Images Using Agisoft PhotoScan. *Procedia Environmental Sciences*, 36, p. 184-190. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.09.031>

Lidén, K., Eriksson, G. 2013. Archaeology vs. Archaeological Science: Do We Have a Aase? *Current Swedish Archaeology*, 21, p. 11-20. <https://doi.org/10.37718/CSA.2013.01>.

Magnani, M., Douglass, M., Schroder, W., Reeves, J., Braun, D. R. 2020. The Digital Revolution to Come: Photogrammetry in Archaeological Practice. *American Antiquity*, 85(4), p. 737-760. <https://doi.org/10.1017/aaq.2020.59>.

Mahmoud El-Nokrashy, O. A., Mohamed Ashraf, E., Ahmed Abd-Elreheem, M., Abbas, M. 2000. Accuracy Analysis for New Close-Range Photogrammetric Systems. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXIII, part B5, p. 17-24.

Marín-Buzón, C.; Pérez-Romero, A.; López-Castro, J. L.; Ben Jerbania, I.; Manzano-Agugliaro, F. 2021. Photogrammetry as a New Scientific Tool in Archaeology: Worldwide Research Trends. *Sustainability*, 13, 5319. <https://doi.org/10.3390/su13095319>.

Markiewicz, J., Pilarska, M., Łapiński, S., Kaliszewaska, A., Bieńkowski, R., Cena, A. 2019. Quality Assessment of the Use of a Medium Format Camera in the Investigation of Wall Paintings: An Image-Based Approach. *Measurement*, 132, p. 224-237. <https://doi.org/j.measurement.2018.07.001>.

McCarthy, J. K. 2015. Multi-Image Photogrammetry as a Practical Tool for Cultural Heritage Survey and Community Engagement. *Journal of Archaeological Science*, 43, p. 175-185. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.01.010>.

McGlone, J. C. (ed.). 2013. *Manual of Photogrammetry. Sixth Edition*. ASPRS.

Porter, S. T., Roussel, M., Soressi, M. 2016. A Simple Photogrammetry Rig for the Reliable Creation of 3D Artifact Models in the Field Lithic Examples from the Early Upper Paleolithic Sequence of Les Cottés (France). *Advances in Archaeological Practice*, 4, p. 71-86. <https://doi.org/10.7183/2326-3768.4.1.71>.

Radchenko, S. 2022. Rediscovered Mesolithic Rock Art Collection from Kamyana Mohyla Complex in Eastern Ukraine. *Open Archaeology*, 8(1), p. 114-131. <https://doi.org/10.1515/opar-2022-0230>.

Radchenko, S. 2023. *Parietal and Portable Art of Kamyana Mohyla, Ukraine*. London: BAR Publishing.

Radchenko, S., Kiosak, D. 2022. Upper Paleolithic rock art of Ukraine Between Here and Nowhere. *Quaternary International*, 640, p. 44-60. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.09.008>.

Rahaman, H., Champion, E. 2019. To 3D or Not 3D: Choosing a Photogrammetry Workflow for Cultural Heritage Groups. *Heritage*, 2(112), p. 1836-1851. <https://doi.org/10.3390/heritage2030112>.

Sorrentino, G., Menna, F., Remondino, F., Paggi, M., Longo, L., Borghi, A., Re, A., Lo Guidice, A. 2023. Close-Range Photogrammetry Reveals Morphometric Changes on Replicative Ground Stones. *PlosONE*, 18(8), e0289807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289807>.

Verhoeven, G. 2011. Taking Computer Vision Aloft — Archaeological Threedimensional Reconstructions from Aerial Photographs with Photoscan. *Archaeological Prospection*, 18, 1, p. 67-73. <https://doi.org/10.1002/arp.399>.

Widerski, T., Daliga, K. 2018. Accuracy Analysis of 3D Model Obtained by Photogrammetric Method on the Example of Historic Room from Wisłoujskie Fortress. *E3S Web of Conferences*, 63, e00013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186300013>.

Simon B. Radchenko¹, Yaroslav M. Chentsov²

¹ PhD, Researcher, the Museum of Archaeology, the University of Stavanger, Norway. ORCID: 0000-0003-2970-5373, simon.radchenko@gmail.com

² PhD student, the Odesa Mechnykov National University, Ukraine. ORCID: 0009-0007-7532-3786, yarik.chentsov1@gmail.com

PHOTOGRAMMETRY IN THE STRUCTURE OF TRANSDISCIPLINARY ARCHAEOLOGY: AN EXAMPLE OF MODELLING ARTEFACTS FROM THE MEDIEVAL STEPPE OF UKRAINE

The paper focuses on applying Structure-from-Motion photogrammetry as a tool for archaeological research. It dwells on its impact on contemporary archaeological science and discusses the practical experience of 3D modeling. To illustrate the applied solutions, the article focuses on five artefacts from the Golden Horde period from the Ukrainian Steppe. The paper aims to contribute to the set methodological and didactic efforts and thus impact Ukrainian archaeology, improving its competitive potential. Therefore, a large part of the text is devoted to describing the data acquisition setup and process with particular attention to the demands of the process and specific hints to be known. Considerable attention is paid to highlighting specific practical limitations of the method, together with their causes and effects. Moreover, the text expands on what these limitations mean for practicing archaeologists and what needs to be considered when starting to work with photogrammetry. This is provided through a straightforward explanation to ensure the transdisciplinary communication between photogrammetrists and archaeologists.

The methodological issues are presented via the 3D models of the five Golden Horde period Ukrainian steppe artefacts. This selection is explained by the lack of coverage of the interaction between the steppe nomads and the Golden Horde in Ukrainian research history. Therefore, the first part of the text also contains a detailed presentation of the artefacts' archaeological context and suggested attribution.

The second part of the paper describes photogrammetric equipment and methods, procedures, and subtleties of photogrammetric study of small objects. The choice of equipment and the essential parameters are discussed and summarized in an overview table as they directly affect the 3D modeling results. The importance of data acquisition scenario development and the coherence of research needs with methodological tools is highlighted.

The photogrammetric procedures result in an entirely new level of study and representation of archaeological artefacts in Ukraine's Medieval archaeology. The models are featured with detailed descriptions, including specific observations of their individual features. This characterization level clearly demonstrates the photogrammetric method's research potential if enriched with archaeological context and multidisciplinary study.

Key words: Ukraine, Steppe, Golden Horde period, nomads, photogrammetry, 3D, methodology.

References

- Andreev, V. Kalkulator GRIP. *O fotografii*. Available at: <https://vasili-photo.com/articles/dof-calculator.html> [Accessed 22 September 2024].
- Belorybkin, G. N. 2001. *Zolotarevskoe poselenie*. Penza: PGPU.
- Veremeychuk, O. M. 2018. Ceramics of the Middle of the 13th century from the jeweler's estate in Lyubech. *Archaeology and Early History of Ukraine*, 4(29), p. 297-316. <https://doi.org/10.37445/adiu.2018.04.17>.
- Hnera, V. A. 2017. Archaeological Aerial Photography with the Help of quadcopters DJI Phantom (Comparative Analysis). *Pytannia istorii nauky i tekhniki*, 4, p. 52-60.
- Hnera, V. A., Pashkovskiy, O. A. 2018. 3D-modeliuvannya v muzeifikatsii fundamentiv Desiatynnoi tserkvy. *Opus Mixtum*, 6, p. 202-204.
- Yelnykov, M. V. 2016. Hillfort "Konskie Vody" in Written Sources of 17th—20th century. *Naukovi pratsi istorychnoho fakultetu Zaporizkoho natsionalnoho universytetu*, 46, p. 19-23.
- Evglevskij, A. V., Potemkina, T. M. 2000. On Some Types of Pottery Ceramics of Eastern European Nomads of Developed Middle Ages. In: Evglevskij, A. V. (exec. ed.). *The European Steppes in the Middle Ages*, 1. Donetsk: DonGU, p. 209-226.
- Evarnitskii, D. I. 1907. Raskopki kurganov v predelakh Ekaterinoslavskoi gubernii. In: *Trudy XIII Arkheologicheskogo siezda v Ekaterinoslave*, 1. Moscow (w. ed.), p. 108-157.
- Zhyhola, V. S., Skorokhod, V. M. 2017. Fotogrammetrychna fiksatsiia u polovii arkhelohii na prykladi pamiatok Podesennia. In: Horbanenko, S. A., Hrechko, D. S., Korokhina, A. V. (eds.). *Interpretatsiia arkhelohichnykh dzherel: zdobutky ta vyklyky. Materialy naukovoi konferentsii molodykh vchenykh*. Kyiv: Starodavnii svit, p. 134-137.
- Zhyhola, V. S. 2018. Metrolohichni doslidzhennia 3D-modelei arkhelohichnoi keramiki. In: Diatlov, V. O. (exec. ed.). *Serednovichni ta rannomoderni starozhytnosti Tsentralno-Skhidnoi Yevropy*. Chernihiv: Natsionalnyi universytet «Chernihivskiy kolehium» imeni Tarasa Shevchenka, p. 47-54.
- Zhyhola, V. S., Skorokhod, V. M. 2019. The newest fixation methods in archaeology. *Arheologia*, 2019, 1, p. 118-130. <https://doi.org/10.15407/archaeologyua2019.01.118>.
- Zhyhola, V. S. 2020. Digital Fixation of the 10th Century Burial. *Archaeology and Early History of Ukraine*, 2(35), p. 321-326. <https://doi.org/10.37445/adiu.2020.02.23>.
- Zhyhola, V. S., Skorokhod, V. M. 2021. Zastosuvannya fotogrammetrychnykh metodiv u keramolohii. *Arkheolohichna keramoloheia*, 1–2 (5–6), p. 181-191.

- Zhyhola, V. S., Skorokhod, V. M. 2022. Photogrammetric Topographic Basis of Archaeological Site. *Archaeology and Early History of Ukraine*, 3(44), p. 456-465. <https://doi.org/10.37445/adiu.2022.03.31>.
- Ibragimova, A. M. 2013. *Bakhchisaray khan's palace 16–18 century*. Simferopol: National academy of Sciences of Ukraine institute of archaeology.
- Katalog Ekaterinoslavskogo oblastnogo muzeia im. A. N. Polia*. 1910.. Ekaterinoslav: Tipografiia gubernskogo zemstva.
- Klymyshyna, I., Korsun, A. 2003. *Astronomichniy entsyklopedychnyi slovnyk*. Lviv: Holovna astronomichna observatoriia NAN Ukrainy.
- Kovaleva, I. F., Marina, Z. P., Romashko, V. L., Teslenko, D. L., Shalobudov, V. N., Veklenko, V. A. 2003. *Kurgany eneolitabronzy v krivorozhskom techenii Ingultsa*. Dnepropetrovsk: DNU.
- Kravchenko, A. A. 1986. *Srednevekovyi Belgorod na Dnestre (konets XIII—XIV vv.)*. Kyiv: Naukova Dumka.
- Lesnichii, P. P. 2002. Pozdnekochevnicheskie pogrebeniia u s. Zelenyi Gai na r. Ingulets. In: Kovalova, I. F. (exec. ed.). *Problemy arkheologii Podniprovia*. Dnipropetrovsk: RVV DNU, p. 112-123.
- Makhortykh, S. V., Kotova, N. S., Dzhos, V. S., Radchenko, S. B. 2020. New Burial and Ritual Assemblages of Early Bronze Age Located near the Complex of Kamyana Mohyla. *Archaeology and Early History of Ukraine*, 4(37), p. 226-239.
- Medvedev, A. F. 1966. Ruchnoe metatelnoe oruzhye (luk i strely, samostrel) VIII—XIV vv. *Arheologiya SSSR. Svod arkheologicheskikh istochnikov*, vol. EI–36. Moskva: Nauka.
1998. *Nakaz «Pro zatverdzhennia Instruksii z topografichnoho znimannia u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 (HKNTA-2.04-02-98)» № 56 vid 09.04.98, m. Kyiv* [online]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text> [Accessed 26 Sempember 2024].
- Nykonenko, D. D., Radchenko, S. B., Volkov, A. V. 2017. Vytautas Tower According to Modern Photogrammetric Studies. *Arheologia*, 4, p. 120-129. <https://doi.org/10.15407/archaeologyua2017.04.120>.
- Pletneva, S. A. 1981. Kochevniki vostochnoevropeiskikh stepei v X—XIII vv. Pechenegi, torki, polovtsy. In: Pletneva, S. A. (exec. ed.). *Stepi Evrazii v epokhu srednevekovia*. Moskva.
- Polevoi, L. L., Byrnia, P. P. 1974. *Srednevekovye pamiatniki XIV—XVII*. Arkheologicheskaiia karta Moldavskoi SSR, vol. 7. Kishinev: Shtiintsa.
- Radchenko, S. B., Nykonenko, D. D. 2020. Fotogrammetrychni doslidzhennia hospodarskykh ob'ektiv rannoi zaliznoi doby. In: Boltryk, Yu. V. (exec. ed.), *Arkheolohichni doslidzhennia v Ukraini 2020*, p. 361-363.
- Radchenko, S. B., Dudok, T. H. 2023. Mirna shkala dlia masshtabuvannia ta vymiriuvannia modelei. Patent na korysnu model No. 153395. *Bulletin of Legal Rights*, 26, p. 4-11.
- Serdiuk, M. Y. 2020. Kharakterystyka arkheolohichnoi koleksii DNIM “Starozhytnosti piznykh kochovykiv IX—XIV st.”. *Naukovyi arkhiv DNIM*, without no, ark. 7.
- Fedorov-Davydov, G. A. 1966. *Kochevniki Vostochnoi Evropy pod vlastiu zolotoordynskikh hanov*. Moskva: MGU.
- Fedorov-Davydov, G. A. 2001. *Zolotoordynskie goroda Povolzhia: Keramika. Torgovlia. Byt*. Moskva. MGU.
- Shvetsov, M. L. 1980. Kotly iz pogrebenii srednevekovykh kochevnikov. *Sovetskaia arkheologiya*, 2, p. 192-202.
- Aicardi, I., Chiabrande, F., Lingua, A., Noardo, F. 2017. Recent Trends in Cultural Heritage 3D Survey: The Photogrammetric Computer Vision Approach. *Journal of Cultural Heritage*, 32, p. 257-266. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.11.006>
- Anderson, R. C. 1982. Photogrammetry: The Pros and Cons for Archaeology. *World Archaeology*, 14(2), p. 205-205.
- Archaeology Guidelines Supplement Photogrammetry. 2022. *State Historic Preservation Office*. Columbus. Ohio History Connection.
- Barba, S., Barbarella, M., Di Benedetto, A., Fiani, M., Gujski, L., Limongiello, M. 2019. Accuracy Assessment of 3D Photogrammetric Models from an Unmanned Aerial Vehicle. *Drones*, 3(4), 79. <https://doi.org/10.3390/drones3040079>.
- Benavides Lopez, J. A., Aranda Jiménez, G., Sánchez Romero, M., Alarcón García, E., Fernández Martín, S., Lozano Medina, A., Esquivel Guerrero, J. A. 2016. 3D Modelling in Archaeology: The Application of Structure from Motion Methods to the Study of the Megalithic Necropolis of Panoria (Granada, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 10, p. 495-506. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.11.022>.
- Benito-Calvo, A., Crittenden, A. N., Livengood, S. V., Sánchez-Romero, L., Martínez-Fernández, A., de la Torre, I., Pante, M. 2018. 3D 360° Surface Morphometric Analysis of Pounding Stone Tools used by Hadza Foragers of Tanzania: A New Methodological Approach for Studying Percussive Stone Artefacts. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 20, p. 611-621. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.06.003>.
- Bernasik, J. 2008. *Wykłady z fotogrametrii i teledetekcji*. Kraków (w. ed.).
- Cambridge in Color. 2020. Depth of Field Calculator. Available at: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/dof-calculator.htm> [Accessed 22 September 2024].
- Cerasoni, J. N., Nascimento Rodrigues, F., Tang, Y., Yuko Hallett, E. 2022. Do-It-Yourself Digital Archaeology: Introduction and Practical Applications of Photography and Photogrammetry for the 2D and 3D Representation of Small Objects and Artefacts. *PlosOne*, 17(4), e0267168. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267168>.
- Doneus, M., Verhoeven, G., Fera, M., Briese, C., Kucera, M., Neubauer, W. 2011. From Deposit to Point Cloud — a Study of Low-cost Computer Vision Approaches for the Straightforward Documentation of Archaeological Excavations. *Geoinformatics CTU FCE*, 6, p. 81-88. <https://doi.org/10.14311/gi.6.11>.
- Dubinsky, L., David, M., Grosman, L. 2023. Recognizing Technique Variation in Rock Engravings: ArchCUT3-D for Micro-morphological Analysis. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 316. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01742-7>.
- Farjas, M. 2009. Digital Photogrammetry: 3D Representation of Archaeological Sites. [online]. Available at: <https://www.biblicalarcheology.org/wp-content/uploads/photogrammetry1.pdf> [Accessed 03 January 2024].
- Fregonese, L., Fassi, F., Achille, C., Adami, A., Ackermann, S., Nobile, A., Giampaola, D., Carsana, V. 2016. 3D Survey Technologies: Investigations on Accuracy and Usability in Archaeology. The Case Study of the New “Municipio” Underground Station in Naples. *Acta Imeko*, 5(2), p. 55-63. https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v5i2.342.
- Fussell, A. 1982. Terrestrial Photogrammetry in Archaeology. *World Archaeology*, 14(2), p. 151-172.

- Guidi, G., Malik, U. S., Micoli, L. L. 2020. Optimal Lateral Displacement in Automatic Close-Range Photogrammetry. *Sensors*, 20, 6280. <https://doi.org/10.3390/s20216280>.
- Green, S., Bevan, A., Shapland, M. 2014. A Comparative Assessment of Structure from Motion Methods for Archaeological Research. *Journal of Archaeological Science*, 46, p. 173-181. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.02.030>.
- Haaland, M. M., Strauss, A. M., Velliky, E. C., Mentzer, S. M., Miller, C. E., van Niekerk, K. L., Henshilwood, C. S. 2021. Hidden in Plain Sight: A Microanalytical Study of a Middle Stone Age Ochre Piece Trapped Inside a Micromorphological Block Sample. *Geoarchaeology*, 36, p. 283-313. <https://doi.org/10.1002/gea.21830>.
- Hermon, S., Polig, M., Driessen, J., Jans, G., Bretschneider, J. 2018. An Integrated 3D Shape Analysis and Scientific Visualization Approach to the Study of a Late Bronze Age Unique Stone Object from Pyla-Kokkinokremos, Cyprus. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 10, e00075. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.e00075>.
- Maietti, F., Piaia, E., Ferrari, F., Brunoro, S. 2016. Input to Standardization in 3D Data Acquisition. Deliverable Report D2.2. *Inception*, 30 November 2016 [online]. Available at: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentId=080166e5ae948a36&appId=PPGMS> [Accessed 22 September 2024].
- Li, X., Chen, Z., Zhang, L., Jia, D. 2016. Construction and Accuracy Test of a 3D Model of Non-Metric Camera Images Using Agisoft PhotoScan. *Procedia Environmental Sciences*, 36, p. 184-190. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.09.031>
- Lidén, K., Eriksson, G. 2013. Archaeology vs. Archaeological Science: Do We Have a Aase? *Current Swedish Archaeology*, 21, p. 11-20. <https://doi.org/10.37718/CSA.2013.01>.
- Magnani, M., Douglass, M., Schroder, W., Reeves, J., Braun, D. R. 2020. The Digital Revolution to Come: Photogrammetry in Archaeological Practice. *American Antiquity*, 85(4), p. 737-760. <https://doi.org/10.1017/aaq.2020.59>.
- Mahmoud El-Nokrashy, O. A., Mohamed Ashraf, E., Ahmed Abd-Elreheem, M., Abbas, M. 2000. Accuracy Analysis for New Close-Range Photogrammetric Systems. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXIII, part B5, p. 17-24.
- Marín-Buzón, C.; Pérez-Romero, A.; López-Castro, J. L.; Ben Jerbania, I.; Manzano-Agugliaro, F. 2021. Photogrammetry as a New Scientific Tool in Archaeology: Worldwide Research Trends. *Sustainability*, 13, 5319. <https://doi.org/10.3390/su13095319>.
- Markiewicz, J., Pilarska, M., Łapiński, S., Kaliszewaska, A., Bieńkowski, R., Cena, A. 2019. Quality Assessment of the Use of a Medium Format Camera in the Investigation of Wall Paintings: An Image-Based Approach. *Measurement*, 132, p. 224-237. <https://doi.org/j.measurement.2018.07.001>.
- McCarthy, J. K. 2015. Multi-Image Photogrammetry as a Practical Tool for Cultural Heritage Survey and Community Engagement. *Journal of Archaeological Science*, 43, p. 175-185. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.01.010>.
- McGlone, J. C. (ed.). 2013. *Manual of Photogrammetry. Sixth Edition*. ASPRS.
- Porter, S. T., Roussel, M., Soressi, M. 2016. A Simple Photogrammetry Rig for the Reliable Creation of 3D Artifact Models in the Field Lithic Examples from the Early Upper Paleolithic Sequence of Les Cottés (France). *Advances in Archaeological Practice*, 4, p. 71-86. <https://doi.org/10.7183/2326-3768.4.1.71>.
- Radchenko, S. 2022. Rediscovered Mesolithic Rock Art Collection from Kamyana Mohyla Complex in Eastern Ukraine. *Open Archaeology*, 8(1), p. 114-131. <https://doi.org/10.1515/opar-2022-0230>.
- Radchenko, S. 2023. *Parietal and Portable Art of Kamyana Mohyla, Ukraine*. London: BAR Publishing.
- Radchenko, S., Kiosak, D. 2022. Upper Paleolithic rock art of Ukraine Between Here and Nowhere. *Quaternary International*, 640, p. 44-60. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.09.008>.
- Rahaman, H., Champion, E. 2019. To 3D or Not 3D: Choosing a Photogrammetry Workflow for Cultural Heritage Groups. *Heritage*, 2(112), p. 1836-1851. <https://doi.org/10.3390/heritage2030112>.
- Sorrentino, G., Menna, F., Remondino, F., Paggi, M., Longo, L., Borghi, A., Re, A., Lo Guidice, A. 2023. Close-Range Photogrammetry Reveals Morphometric Changes on Replicative Ground Stones. *PlosONE*, 18(8), e0289807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289807>.
- Verhoeven, G. 2011. Taking Computer Vision Aloft — Archaeological Threedimensional Reconstructions from Aerial Photographs with Photoscan. *Archaeological Prospection*, 18, 1, p. 67-73. <https://doi.org/10.1002/arp.399>.
- Widerski, T., Daliga, K. 2018. Accuracy Analysis of 3D Model Obtained by Photogrammetric Method on the Example of Historic Room from Wisłoujście Fortress. *E3S Web of Conferences*, 63, e00013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186300013>.