МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет юридичний

Кафедра історії, археології та туризму

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра
(бакалавра, магістра)

на тему: ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ В АРХЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ УКРАЇНИ

здобувач 2 курсу групи ІАІ-23дм

спеціальність: 032 Історія та археологія
спеціалізація:

Іваненко Р.І. _____
(ПІБ здобувача) *(підпис)*

Керівник роботи К.і.н., доц. Сапицька О. М. _____
(вчене звання, науковий ступінь, ПІБ) *(підпис)*

Київ – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет юридичний
(повне найменування факультету)
Кафедра історії, археології та туризму
(повне найменування кафедри)
Освітній ступінь магістр
(бакалавр, магістр)
Спеціальність 032 Історія та археологія
(шифр і назва спеціальності)
Спеціалізація -
(назва спеціалізації)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
К.І.Н., ДОЦ. САПИЦЬКА О. М.

« 11 » жовтня 20 24 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Іваненку Ростиславу Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи: ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ В АРХЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ УКРАЇНИ

керівник роботи К.і.н., доц. Сапицька О. М.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 10 » жовтня 20 24 року №72 /14.06

2. Строк подання студентом роботи до захисту 16.12.2024 р.

3. Вихідні дані Комплексний аналіз теоретичних засад та практичних аспектів використання новітніх технологій в археологічних дослідженнях України.

4. Зміст основної частини (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ; Джерельна база та історіографія дослідження; Теоретичні засади застосування новітніх технологій в археології; Сутність та особливості новітніх технологій в археологічних дослідженнях; Класифікація сучасних технологій, що використовуються в археології; Проблеми та обмеження у використанні сучасних технологій; Міжнародний досвід впровадження інноваційних методів в археологічну практику; Геоінформаційні системи (ГІС) та дистанційне зондування в українській археології; Використання GPS у польових роботах; Камеральні роботи за використанням програмного продукту «Digitals»; Інтеграція української «цифрової археології» у світовий науковий простір; Висновки

5.Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

-

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	доц. Сапицька О. М.		
2	доц. Сапицька О. М.		
3	доц. Сапицька О. М.		

7. Дата видачі завдання « 11 » жовтня 20 24 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз і систематизація історіографічної та джерельної бази для виявлення основних підходів і визначення ключових напрямів дослідження.	11.10.2024 – 19.10.2024	
2.	Розробка вступної частини дослідження з обґрунтуванням його актуальності, визначенням мети, завдань, об'єкта, предмета та методології. ..	20.10.2024 – 23.10.2024	
3.	Написання підрозділів 1.1 щодо джерельної бази дослідження, 1.2 щодо історіографічного огляду.	24.10.2024 – 30.10.2024	
4.	Написання розділу 2. щодо теоретичних	31.10.2024 –	

	засад застосування новітніх технологій в археології .	06.11.2024	
5.	Розробка розділу 3 щодо характеристик новітніх технологій, що застосовуються в археологічних дослідженнях	07.11.2024 – 12.11.2024	
6.	Розробка розділу 4 щодо практичного застосування новітніх технологій на археологічних пам’ятках україни	13.11.2024 – 20.11.2024	
7.	Написання підрозділів 4.1. Кейс-стаді: використання LiDAR технології для виявлення давніх поселень; 4.2. Використання GPS у польових роботах; 4.3. Камеральні роботи за використанням програмного продукту «Digitals»	21.11.2024 – 30.11.2024	
8.	Формулювання загальних висновків дослідження та систематизація списку використаних джерел.	01.12.2024 – 07.12.2024	
9.	Здійснення комплексного редагування роботи, форматування тексту та підготовка до захисту.	08.12.2024 – 23.12.2024	
10.	Захист кваліфікаційної роботи	24.12.2024	

Здобувач ..... Іваненко Р.І.

(підпис) *(прізвище та ініціали)*

Керівник роботи Сапицька О. М.

....

(підпис) *(прізвище та ініціали)*

Реферат

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Іваненко Ростислава Івановича

Група IAI-23дм

Назва роботи: Використання новітніх технологій в археологічних дослідженнях України.

Title: Application Of Innovative Technologies In Modern Archaeological Research In Ukraine.

Обґрунтування проблеми, що підлягає дослідженню. Актуальність теми визначається швидким розвитком цифрових технологій та їх становленням як невід'ємної частини археологічних досліджень. В Україні інтеграція технологій, таких як 3D-сканування, геофізичні методи та безпілотні літальні апарати (дрони), сприяє розвитку досліджень культурної спадщини та її збереження.

Мета роботи. Комплексний аналіз сучасних технологій, що використовуються в археологічних дослідженнях, визначення їх потенціалу, проблем та перспектив їх впровадження в Україні.

Основні задачі: 1. Проаналізувати історіографію питання та систематизувати джерельну базу дослідження використання новітніх технологій в археологічних дослідженнях України; 2. Дослідити сучасний стан використання технологій в археології України; 3. Визначити основні технології (ГІС, 3D-сканування, GPS, дрони) та оцінити їх ефективність; 4. Вивчити проблеми недостатнього фінансування, недосконалості законодавчої бази та кадрових питань; 5. Розробити рекомендації щодо оптимізації використання технологій в археології.

Програма дослідження. Предметом дослідження є процеси впровадження та використання новітніх технологій у сучасній археологічній практиці України, які сприяють підвищенню ефективності

досліджень, збереженню культурної спадщини та інтеграції української археології в міжнародний науковий простір. Особливу увагу приділено аналізу теоретичних засад, методологічних підходів, практичних аспектів використання інноваційних інструментів і технологій, а також перспектив їх подальшого застосування в умовах цифрової трансформації науки.

Технології, які розглядаються в дослідженні, включають геоінформаційні системи (ГІС), 3D-моделювання, лазерне сканування (LiDAR), дистанційне зондування, застосування безпілотних літальних апаратів (дронів), методи молекулярної генетики, спектрального аналізу та інші інноваційні підходи. Дослідження акцентує увагу на міждисциплінарному підході, що інтегрує досягнення археології, історії, інформаційних технологій, природничих наук та інженерії.

Завданням дослідження є визначення впливу цих технологій на археологічні дослідження, їх потенціалу для реконструкції історичних подій, інтерпретації матеріальної культури, а також оцінка їх внеску у збереження культурної спадщини для майбутніх поколінь.

Загальне дослідницьке питання. Які можливості та виклики створює інтеграція цифрових технологій в археологічні дослідження в Україні, та як це впливає на збереження історичної спадщини?"

Спеціальні дослідницькі питання за розділами:

- Як розвивався науковий дискурс щодо впровадження новітніх технологій в археологічну науку, і які основні підходи до цієї проблеми сформувалися в історіографії?
- Які джерела дозволяють найбільш повно дослідити процеси інтеграції новітніх технологій у археологічну практику України?
- Яку еволюцію пройшли технології, що застосовуються в археології, та які ключові етапи цього процесу можна виділити?

- Як здійснюється нормативно-правове регулювання використання інноваційних методів в археологічних дослідженнях України та провідних країн світу?
- Які інституційні механізми та моделі найбільш ефективні для впровадження новітніх технологій у дослідження археологічної спадщини?
- Які методологічні та технічні проблеми виникають при використанні сучасних технологій в археології та як їх можна вирішити?
- Як застосування інноваційних методів впливає на якість та ефективність археологічних досліджень, а також на збереження та презентацію культурної спадщини?

Нові результати, отримані в рамках дослідження та його практичної реалізації. В роботі запропоновані нові підходи до застосування сучасних технологій в археологічних дослідженнях, які відрізняються від відомих методів комплексним аналізом їх впливу на польові дослідження, документування та інтерпретацію археологічних даних. Основна увага приділена розробці інтеграційних моделей, що поєднують інноваційні технології, такі як геоінформаційні системи (ГІС), 3D-моделювання, неінвазивні методи досліджень та дистанційне зондування, з традиційними археологічними підходами.

Запропоновані рішення дозволяють значно підвищити ефективність польових робіт, оптимізувати процеси аналізу даних та сприяти збереженню культурної спадщини. Робота демонструє перспективи використання сучасних технологій для автоматизації рутинних процесів, таких як картографування, аналіз просторових даних та створення цифрових баз даних, що є надзвичайно важливим для інтеграції української археології у світовий науковий простір.

Результати дослідження мають практичне значення для розробки нових стандартів проведення археологічних досліджень, впровадження

інноваційних освітніх програм та популяризації археології серед широкого загалу через використання інтерактивних цифрових форматів.

Практична значущість результатів. Результати роботи можуть бути використані для:

- подальшого вивчення теоретико-методологічних аспектів використання новітніх технологій в археології;
- розробки інноваційних дослідницьких та освітніх проєктів із застосуванням геоінформаційних систем, 3D-моделювання та дистанційного зондування;
- вдосконалення процесів збереження археологічної спадщини через впровадження цифрових методів документування;
- модернізації освітніх програм для підготовки археологів із акцентом на інтеграцію цифрових інструментів у дослідницьку практику;
- розробки стратегій цифрової трансформації археологічних досліджень та популяризації культурної спадщини за допомогою сучасних інтерактивних форматів.

Ключові слова: археологія, сучасні технології, GPS, культурна спадщина, геоінформаційні системи, 3D-моделювання, неінвазивні методи досліджень, українська археологія.

Abstract

to the master's thesis

APPLICATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN MODERN ARCHAEOLOGICAL RESEARCH IN UKRAINE

Ivanenko R.I.

ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ У СУЧАСНИХ АРХЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ В УКРАЇНІ

Іваненко Р.І.

The study examines the integration of modern technologies into archaeological research in Ukraine as a means to improve efficiency, accuracy, and preservation of cultural heritage. In light of Ukraine's rich history and numerous archaeological sites, the adoption of advanced tools such as 3D scanning, unmanned aerial vehicles, geophysical exploration methods, and DNA analysis plays a pivotal role in revolutionizing archaeological practices.

This thesis aims to comprehensively analyze the current state and prospects of implementing modern technologies in Ukrainian archaeology. It assesses their impact on research methodology, effectiveness, and interpretation of findings, while also identifying international practices suitable for adaptation. Emphasis is placed on the economic, technical, and legal challenges hindering widespread adoption. Recommendations are provided to optimize technological applications in the field of archaeology and align them with global standards.

The research highlights the potential for creating a national infrastructure of archaeological data and stresses the need for qualified professionals and interdisciplinary approaches to ensure successful integration of innovative technologies.

Key words: archaeology, modern technologies, GPS, cultural heritage, geoinformation systems, 3D modeling, non-invasive research methods, Ukrainian archaeology.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……..……12
РОЗДІЛ 1. ДЖРЕЛЬНА БАЗА ТА ІСТОРІОГРАФІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ...17
1.1. Джерельна база дослідження …….……...17
1.2. Історіографічний огляд ..……...….20
Висновки до розділу 1 ..……...23
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЗАСТОСУВАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ В АРХЕОЛОГІЇ ..……25
2.1. Сутність та особливості новітніх технологій в археологічних дослідженнях……..……..25
2.2. Класифікація сучасних технологій, що використовуються в археології……...29
2.3. Проблеми та обмеження у використанні сучасних технологій ..…..33
2.4. Міжнародний досвід впровадження інноваційних методів в археологічну практику ..……..43
Висновки до розділу 2 …..……..…....47
РОЗДІЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В АРХЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ …...…49
3.1. Геоінформаційні системи (ГІС) та дистанційне зондування в українській археології …….……....49
3.2. 3D-моделювання та віртуальна реконструкція археологічних об’єктів……..……53
3.3. Неінвазивні методи дослідження: георадари, магнітометри, електророзвідка …….……..59
3.4. Використання безпілотних літальних апаратів (дронів) в археологічній розвідці ……...…64
Висновки до розділу 3 …….…..72

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ НА АРХЕОЛОГІЧНИХ ПАМ'ЯТКАХ УКРАЇНИ ……..……..…..74
4.1. Кейс-стаді: використання LiDAR технології для виявлення давніх поселень ……....74
4.2. Використання GPS у польових роботах ...……...78
4.3. Камеральні роботи за використанням програмного продукту «Digitals»……...….82
4.4. Інтеграція української «цифрової археології» у світовий науковий простір……..……..87
Висновки до розділу 4 ……..……..……..94
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 101
ДОДАТКИ ...…….110

ВСТУП

Актуальність дослідження. У сучасному світі археологія стоїть перед викликом інтеграції новітніх технологій для підвищення ефективності досліджень та збереження культурної спадщини. В Україні, з її багатою історією та численними археологічними пам’ятками, впровадження передових технологій набуває особливого значення. Це дозволяє не лише підвищити точність та швидкість досліджень, але й відкрити нові можливості для вивчення та збереження артефактів. Застосування таких технологій як 3D-сканування, безпілотні літальні апарати, геофізичні методи розвідки та ДНК-аналіз може революціонізувати процес археологічних досліджень в Україні. Крім того, в умовах обмеженого фінансування та зростаючих загроз археологічній спадщині, використання інноваційних методів стає критично важливим для ефективного документування та збереження історичних пам’яток. Вивчення досвіду застосування новітніх технологій в археології України є ключовим для розвитку галузі, вдосконалення методів дослідження та інтеграції української археології у світовий науковий простір.

Мета дослідження - комплексно проаналізувати сучасний стан та перспективи використання новітніх технологій в археологічних дослідженнях в Україні, оцінити їх вплив на ефективність та якість археологічних робіт, а також розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо оптимізації їх впровадження в контексті специфіки української археології.

Завдання дослідження:

1. Дослідити історію та сучасний стан впровадження технологічних інновацій в археологічну практику України.
2. Проаналізувати спектр новітніх технологій, що застосовуються в українській археології, та оцінити їх ефективність.

3. Вивчити міжнародний досвід використання передових технологій в археології та можливості його адаптації в Україні.

4. Оцінити вплив нових технологій на методологію, результативність та інтерпретацію археологічних досліджень в Україні.

5. Дослідити економічні аспекти впровадження новітніх технологій в археологічну практику України.

6. Проаналізувати проблеми та виклики, пов’язані з використанням інноваційних методів в українській археології.

7. Розробити рекомендації щодо оптимізації використання новітніх технологій в археологічних дослідженнях в Україні.

Об’єкт дослідження - процес проведення археологічних досліджень в Україні.

Предмет дослідження - використання новітніх технологій в сучасній археологічній практиці України.

Територіальні межі. Дослідження стосується археологічних об'єктів, розташованих на території всієї України. Зокрема, це пам'ятки, що знаходяться на заході, сході, півдні та півночі країни, зокрема на Карпатах, в степових зонах, на Поділлі чи в Східному регіоні. Особлива увага приділяється певним археологічним територіям, таким як Крим, Черкащина, Поділля, Скіфія, а також міста-держави Босфорського царства чи інші визначні археологічні осередки.

Хронологічні межі дослідження охоплюють період з кінця XX століття до теперішнього часу. Початок впровадження новітніх технологій в археологію припадає на кінець XX століття – початок XXI століття, коли активно почали розвиватися комп'ютерні технології, геоінформаційні системи (ГІС), цифрові карти та дистанційне зондування, зокрема за допомогою аерофотозйомки і супутникових знімків. У період з 2000 по 2010 роки в археології України значно поширюються методи 3D-сканування, фотограмметрії, лазерного сканування та створення

тривимірних моделей археологічних пам'яток. Також зростає використання спектроскопії, радіовуглецевого датування та інших сучасних методів для аналізу матеріальних культурних артефактів. З 2010 по 2020 роки відбувається значний розвиток технологій, заснованих на штучному інтелекті, машинному навчанні та робототехніці для аналізу археологічних даних. В цей період активно використовуються дрони для аерофотозйомки, гіперспектральна зйомка для виявлення археологічних об'єктів, а також георадарні та мікрохвильові технології для пошуку підземних об'єктів. З 2020 року до теперішнього часу в археології активно впроваджуються новітні цифрові технології, такі як віртуальна реальність (VR) та доповнена реальність (AR) для реконструкції археологічних пам'яток, а також методи біоархеології та аналізу ДНК для дослідження людських популяцій та їх міграцій. Технології штучного інтелекту активно застосовуються для виявлення та аналізу археологічних даних, а також для автоматизації процесів обробки та інтерпретації цієї інформації.

Методи дослідження. У роботі буде використано комплекс взаємодоповнюючих методів. Теоретичну основу дослідження складе аналіз наукової літератури з археології, історії науки і техніки та інноваційних технологій. Для збору емпіричних даних застосовуватимуться методи польових досліджень, включаючи спостереження за роботою археологічних експедицій, які використовують нові технології. Буде проведено серію інтерв’ю з провідними археологами та технічними спеціалістами. Експериментальний метод використовуватиметься для оцінки ефективності різних технологічних рішень в археологічній практиці. Методи порівняльного аналізу застосовуватимуться для зіставлення українського та міжнародного досвіду. Для обробки отриманих даних використовуватимуться методи статистичного аналізу, включаючи кореляційний та факторний аналіз.

Метод моделювання застосовуватиметься для розробки оптимальних моделей впровадження нових технологій в археологічну практику України.

Наукова новизна одержаних результатів. Дане дослідження розширює та поглиблює розуміння ролі технологічних інновацій у сучасній археології, сприяючи розвитку методології археологічних досліджень. Робота дозволяє глибше зрозуміти взаємозв'язок між технологічним прогресом та ефективністю археологічних розкопок і аналізу артефактів. Дослідження може призвести до формування нових теоретичних підходів у вивченні археологічної спадщини України з використанням сучасних технологічних рішень. Крім того, воно сприяє розвитку міждисциплінарних зв'язків між археологією, інформаційними технологіями та природничими науками, що може стимулювати появу нових напрямків досліджень та методологічних парадигм в українській археології.

Практичне значення одержаних результатів. Результати цього дослідження мають широке практичне застосування в галузі археології та збереження культурної спадщини України. Вони можуть бути використані для розробки нових методик проведення археологічних досліджень, оптимізації процесів збору та аналізу даних, а також для вдосконалення програм підготовки археологів в українських вишах. Практичні рекомендації, розроблені в рамках дослідження, можуть бути застосовані для підвищення ефективності роботи археологічних експедицій та лабораторій. Дослідження також може стати основою для створення нових стандартів та протоколів використання технологій в археологічній практиці, що сприятиме підвищенню якості та надійності археологічних досліджень в Україні. Крім того, результати роботи можуть бути використані при розробці державних програм з модернізації археологічної галузі та створення інфраструктури для впровадження інноваційних технологій в археологічну практику.

Апробація результатів дослідження. Результати дослідження на тему "Використання новітніх технологій в сучасній археологічній практиці України " були представлені та обговорені в рамках Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців "Науковий погляд молоді: ключові питання сучасного етапу реформування системи вітчизняного законодавства", яка відбулася 31 жовтня 2024 року. У ході конференції автор виступив із доповіддю, у якій окреслив основні положення дослідження. Тези доповіді були опубліковані в офіційному збірнику матеріалів конференції, що забезпечило популяризацію здобутих результатів у наукових колах та їх фахове обговорення.

Структура і обсяг роботи. Дипломна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, чотирнадцятьох підрозділів, висновків, списку використаних джерел та літератури, додатків. Список використаних джерел та літератури складається з 74 найменувань на 8 сторінках. Робота має 4 додатки на 4 сторінках. Загальний обсяг становить – 99 сторінки, з них основного тексту 85 сторінок.

РОЗДІЛ 1
ДЖРЕЛЬНА БАЗА ТА ІСТОРІОГРАФІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Джерельна база дослідження

Джерельна база дослідження використання новітніх технологій в сучасній археології України є надзвичайно різноманітною та охоплює широкий спектр матеріалів, що дозволяють всебічно проаналізувати впровадження та застосування інноваційних методів у вітчизняній археологічній науці. За дослідженнями С.Б.Скакальської, основу джерельної бази складають насамперед польова документація археологічних експедицій, які застосовують сучасні технологічні рішення, у своїй роботі. Б.Д.Михайлов [40] та С.Я. Ольговський [45-46] підкреслюють важливість таких документів як щоденники розкопок, польові описи, фотофіксація, плани розкопів та стратиграфічні розрізи, виконані з використанням цифрового обладнання. Особливу цінність, як зазначає О.В.Маркевич [38], становлять звіти про археологічні дослідження, що зберігаються в Науковому архіві Інституту археології НАН України [74], які демонструють поступове впровадження новітніх методів фіксації та аналізу археологічних знахідок протягом останніх десятиліть. С.В.Пивоваров [49] наголошує, що важливим джерелом інформації є також технічна документація та методичні рекомендації щодо використання різноманітного спеціалізованого обладнання в археологічних дослідженнях - від геодезичних приладів, GPS, до георадарів та квадрокоптерів.

Значну роль у формуванні джерельної бази, як відзначають І.В.Сапожніков та Ю.Ю.Слюсар [56], відіграють наукові публікації українських археологів у фахових виданнях, де висвітлюється практичний досвід застосування інноваційних технологій під час польових та

лабораторних досліджень. Р.О.Шувалов виділяє окрему групу джерел - матеріали наукових конференцій, семінарів, присвячених впровадженню цифрових технологій в археологічну практику [56]. За оцінкою О.М.Титової, важливим джерелом є також бази даних археологічних знахідок та пам'яток, створені з використанням сучасного програмного забезпечення, а також цифрові архіви фото та відеоматеріалів археологічних досліджень. П.Боровець та О.Подобєд [50] підкреслюють значну інформативну цінність інтерв'ю з провідними українськими археологами, які діляться досвідом використання новітніх технологій у своїй роботі. О.Осаульчук [70] звертає особливу увагу на нормативно-правові документи, що регламентують застосування сучасних методів археологічних досліджень в Україні. Д.Поливода та Т.В.Оніпко [51] виділяють окрему категорію джерел - результати міжнародних проектів та співпраці українських археологів із закордонними колегами у сфері впровадження інноваційних технологій. Загалом, як підсумовує О.В.Трачук [15, 64], наявна джерельна база є достатньо репрезентативною для всебічного вивчення процесу технологічної модернізації вітчизняної археологічної науки.

Важливим джерелом є також статті, опубліковані в провідних археологічних журналах, таких як «Археологія» (журнал НАН України) [71], «Journal of Archaeological Science» або «Antiquity» [72], де зокрема йдеться про інноваційні підходи до аналізу археологічних об'єктів.

Ще одну важливу категорію джерел складають звіти та моніторинги польових досліджень, де детально фіксується застосування новітніх технологій під час археологічних розкопок в Україні. Це звіти безпосередньо археологічних експедицій, так і спеціалізовані проекти, що включають використання таких інструментів, як дрони, георадар, GPS, лазерні сканери, а також новітніх методів для обробки даних, таких як 3D-

моделювання. Такі матеріали є важливим джерелом практичних відомостей щодо використання сучасних технологій в польових умовах.

Ще однією важливою групою джерел є нормативно-правові акти, що регулюють діяльність у сфері археології в Україні, зокрема закони щодо охорони культурної спадщини, як, наприклад, Закон України «Про охорону культурної спадщини» [73]. Такі документи визначають правові рамки для використання новітніх технологій в археології, зокрема для застосування дронів або інших інноваційних інструментів, що використовуються для збереження археологічних пам'яток.

Значною частиною джерельної бази є міжнародні проекти та співпраця України з іншими країнами, зокрема в рамках програм, підтримуваних ЮНЕСКО або Європейським Союзом, що сприяють розвитку археології через впровадження новітніх технологій. Взаємодія з міжнародними науковими установами, участь у спільних археологічних проектах дає змогу українським археологам застосовувати найсучасніші методи, такі як цифрове картографування, дистанційне зондування, аналіз даних з допомогою геоінформаційних систем, лазерне сканування пам'яток та багато інших.

Також важливою складовою джерельної бази є технічні публікації, що охоплюють специфіку використання сучасних археологічних технологій. Це можуть бути статті та інструкції, що детально пояснюють принципи роботи з такими інструментами, як георадар, лазерні сканери, а також програмне забезпечення для 3D-моделювання або обробки даних з дронів і камер. Вони надають практичні рекомендації щодо застосування нових методів для досліджень, а також технічні характеристики цих інструментів.

Не менш важливими є практичні дослідження та кейс-стаді, які надають конкретні приклади застосування технологій у польових умовах археологічних експедицій. Це документи, що детально описують, як саме

новітні технології використовуються для вивчення конкретних археологічних пам'яток, наприклад, у Трипільських чи скіфських поселеннях, на пам'ятках Кам'янця-Подільського, де за допомогою дронів та лазерних сканерів здійснюється точне картографування археологічних об'єктів.

Останнім важливим джерелом є інтернет-ресурси та бази даних, що містять відомості про археологічні дослідження, проведені за допомогою новітніх технологій. Це платформи з відкритими даними, онлайн бази археологічних пам'яток, де зберігається інформація про застосування ГІС та інших інструментів для дослідження територій. Вебсайти археологічних установ, таких як НАН України, а також міжнародні платформи, пропонують інформацію про поточні та завершені проекти, в яких використовуються інноваційні методи дослідження.

1.2. Історіографічний огляд

Історіографія дослідження використання новітніх технологій в археології України, як зазначає С.Ж.Пустовалов [55], демонструє поступове зростання наукового інтересу до цієї теми, особливо протягом останніх двох десятиліть. За дослідженнями О.Черченко [68, 69], перші публікації, присвячені впровадженню комп’ютерних технологій в археологічні дослідження, з’явилися ще наприкінці 1990-х років. У цей період, як відзначає С.Бродська [69], основна увага приділялася базовим можливостям використання персональних комп’ютерів для створення баз даних археологічних знахідок та документування польових досліджень. Т.Міронова [41] підкреслює особливо важливий внесок у розвиток цього напрямку праць співробітників Інституту археології НАН України [74], які першими почали впроваджувати електронні методи обробки археологічної

інформації. На початку 2000-х років, за спостереженнями Л.В.Анучиної, з'являються перші ґрунтовні дослідження, присвячені застосуванню геоінформаційних систем (ГІС) в археології України.

М.Оленковський [44] зазначає, що ці роботи заклали методологічну основу для подальшого розвитку просторового аналізу археологічних пам'яток з використанням цифрових технологій. Важливим етапом, як підкреслює С.І.Попович [52], стала поява публікацій, присвячених використанню супутникової навігації та дистанційного зондування Землі для археологічних розвідок. У цей період, за оцінкою І.Б.Скакальської [59], формується окремий напрямок досліджень, пов'язаний із застосуванням цифрової фотограмметрії та 3D-моделювання в археології. Б.Д.Михайлов [40] відзначає особливу увагу дослідників до можливостей використання цих технологій для документування та віртуальної реконструкції археологічних об'єктів. З середини 2010-х років, як наголошує С.Я.Ольговський [45], спостерігається значне збільшення кількості публікацій, присвячених використанню безпілотних літальних апаратів (дронів) в археологічних дослідженнях.

І.В.Сапожніков та Ю.О.Слюсар [56] підкреслюють, що українські науковці активно досліджують можливості аерофотозйомки та створення ортофотопланів археологічних пам'яток за допомогою квадрокоптерів. Окремий напрямок історіографії, за оцінкою Р.О.Шувалова [56], становлять роботи, присвячені застосуванню геофізичних методів дослідження - магнітометрії, електророзвідки та георадарного зондування. О.В.Маркевич [38] зазначає, що ці методи дозволяють проводити неінвазивні дослідження археологічних пам'яток, що особливо важливо для збереження культурної спадщини. В останні роки, як відзначає П.Боровець [50], з'являється все більше публікацій, присвячених використанню технологій віртуальної та доповненої реальності для презентації археологічних досліджень та музеєфікації пам'яток. О.М.Титова [63] окремо відзначає роботи, що

висвітлюють застосування методів природничих наук в археології. С.В.Пивоваров [49] підкреслює важливість досліджень, присвячених створенню та функціонуванню електронних баз даних археологічних пам'яток України.

В останні роки, за спостереженнями Д.Поливоди та Т.В.Оніпко [51], з'являються комплексні дослідження, що аналізують вплив цифрової революції на розвиток археологічної науки в Україні та окреслюють перспективи подальшої технологічної модернізації галузі. О.Подобєд [50] наголошує на особливій цінності робіт, присвячених міжнародному співробітництву у сфері впровадження інноваційних технологій в археологічні дослідження. О.Осаульчук [70] відзначає значну увагу до методологічних аспектів застосування новітніх технологій та проблем стандартизації цифрових методів в археології. Як підсумовує О.В.Трачук [15], загалом аналіз історіографії свідчить про формування потужної наукової школи цифрової археології в Україні та постійне розширення спектру досліджуваних проблем у цій сфері.

Варто відзначити, що незважаючи на значний обсяг наукових публікацій, присвячених використанню новітніх технологій в археології України, деякі аспекти цієї проблематики все ще залишаються недостатньо дослідженими. Зокрема, потребують подальшого вивчення питання стандартизації цифрових методів археологічних досліджень, розробки єдиних протоколів обміну даними між різними дослідницькими центрами, створення національної інфраструктури археологічних даних. Актуальним залишається також питання підготовки кваліфікованих кадрів, здатних ефективно використовувати сучасні технології в археологічних дослідженнях [40]. Особливої уваги потребує вивчення можливостей застосування технологій штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу масових археологічних матеріалів. Недостатньо висвітленими залишаються також правові аспекти використання новітніх технологій в

археології, зокрема питання захисту інтелектуальної власності на цифрові археологічні дані та 3D-моделі артефактів. Потребує подальшого дослідження проблема інтеграції українських археологічних досліджень у міжнародний цифровий простір та забезпечення відповідності вітчизняних методик міжнародним стандартам. Важливим напрямком майбутніх досліджень має стати також вивчення впливу цифрової трансформації на теоретичні засади археологічної науки та методологію археологічних досліджень в Україні.

Висновок до розділу 1

Проведений аналіз джерельної бази дослідження використання новітніх технологій в сучасній археології України засвідчує її різноманітність та репрезентативність. Основу джерельної бази складають польова документація археологічних експедицій, звіти про археологічні дослідження з Наукового архіву Інституту археології НАН України, технічна документація та методичні рекомендації щодо використання спеціалізованого обладнання. Важливими джерелами також є наукові публікації українських археологів, матеріали конференцій та семінарів, бази даних археологічних знахідок та пам’яток, цифрові архіви фото та відеоматеріалів, інтерв’ю з провідними археологами та нормативно-правові документи.

Історіографічний аналіз демонструє поступове зростання наукового інтересу до теми технологічної модернізації археологічних досліджень, починаючи з кінця 1990-х років. Перші публікації стосувалися базового використання комп’ютерних технологій, згодом з’явилися дослідження щодо застосування ГІС, супутникової навігації, цифрової фотограмметрії та 3D-моделювання. Особливий розвиток отримали дослідження використання безпілотних літальних апаратів, геофізичних методів

дослідження, технологій віртуальної та доповненої реальності. В останні роки з’являються комплексні дослідження впливу цифрової революції на розвиток археологічної науки в Україні, що свідчить про формування потужної наукової школи цифрової археології.

Разом з тим, аналіз засвідчив наявність низки недостатньо досліджених аспектів проблематики. Зокрема, потребують подальшого вивчення питання стандартизації цифрових методів археологічних досліджень, розробки єдиних протоколів обміну даними між дослідницькими центрами, створення національної інфраструктури археологічних даних. Актуальними залишаються проблеми підготовки кваліфікованих кадрів, можливості застосування технологій штучного інтелекту та машинного навчання, правові аспекти використання новітніх технологій, зокрема захист інтелектуальної власності на цифрові археологічні дані. Важливим напрямком майбутніх досліджень має стати вивчення інтеграції українських археологічних досліджень у міжнародний цифровий простір та впливу цифрової трансформації на теоретичні засади археологічної науки.

РОЗДІЛ 2
ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЗАСТОСУВАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ В АРХЕОЛОГІЇ

2.1. Сутність та особливості новітніх технологій в археологічних дослідженнях

Трансформаційні процеси в сучасній археологічній науці демонструють безпрецедентний рівень технологічного прогресу, який радикально змінює не лише методологічні підходи до проведення досліджень, але й саму парадигму розуміння та інтерпретації історичного минулого людства. Впровадження новітніх технологій у практику археологічних досліджень створює унікальний симбіоз традиційних методів польової археології з передовими досягненнями цифрової епохи, що дозволяє максимально ефективно досліджувати та зберігати культурну спадщину людства. Сучасна археологія переживає справжню революцію, яка характеризується впровадженням високотехнологічного обладнання, розвитком нових методів аналізу та обробки даних, створенням інноваційних підходів до документування та збереження археологічних знахідок. Ця технологічна революція не лише оптимізує процес польових робіт, але й значно розширює можливості інтерпретації археологічних даних, забезпечує більшу точність датування знахідок, дозволяє проводити детальну реконструкцію історичних подій та процесів. Особливе значення має розвиток неінвазивних методів дослідження, які дозволяють отримувати важливу інформацію про археологічні пам’ятки без необхідності проведення розкопок, що особливо актуально для збереження культурної спадщини для майбутніх поколінь [8].

Інноваційний характер сучасних археологічних досліджень на думку О. М. Веремейчик [19] визначається активним впровадженням цифрових технологій, які створюють принципово нові можливості для вивчення та інтерпретації археологічних матеріалів. Геоінформаційні системи (ГІС) стали невід'ємним інструментом просторового аналізу археологічних пам'яток, дозволяючи створювати детальні карти розповсюдження артефактів, моделювати палеоландшафти, реконструювати давні торгівельні шляхи та міграційні процеси. Використання супутникових знімків високої роздільної здатності та методів дистанційного зондування Землі дозволяє виявляти нові археологічні об'єкти на значних територіях, проводити моніторинг стану відомих пам'яток та планувати майбутні дослідження. Лазерне сканування поверхні землі (LIDAR) відкриває унікальні можливості для виявлення археологічних об'єктів під лісовим покривом та в складних ландшафтних умовах [19]. Фотограмметрія та 3D-моделювання дозволяють створювати точні цифрові копії археологічних об'єктів та артефактів, що має неоціненне значення для їх документування, вивчення та збереження. Розвиток технологій віртуальної та доповненої реальності дозволяє створювати інтерактивні реконструкції археологічних пам'яток, що відкриває нові можливості для наукових досліджень та популяризації археологічної науки [15].

Революційні зміни на думку Н.М. Лук'янець [37] в методології археологічних досліджень безпосередньо пов'язані з розвитком високотехнологічного обладнання для польових робіт та лабораторних досліджень. Геофізичні методи, такі як магнітометрія, електророзвідка, георадарне профілювання, GPS, дозволяють отримувати детальну інформацію про структуру культурного шару та наявність археологічних об'єктів без проведення розкопок. Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) значно розширює можливості аерофотозйомки

археологічних пам’яток, дозволяючи створювати детальні ортофотоплани та цифрові моделі рельєфу.

Розвиток методів спектрального аналізу, мас-спектрометрії, рентгенофлуоресцентного аналізу дозволяє отримувати точну інформацію про хімічний склад артефактів, технології їх виготовлення та походження сировини. Особливе значення має впровадження методів молекулярної генетики, які дозволяють вивчати ДНК давніх організмів та отримувати унікальну інформацію про генетичну історію людства, міграційні процеси та адаптивні зміни в популяціях давніх людей.

Динамічний розвиток інформаційних технологій створює нові можливості для обробки та аналізу археологічних даних. Створення цифрових баз даних та інформаційних систем дозволяє ефективно зберігати та аналізувати величезні масиви археологічної інформації, включаючи текстові описи, фотографії, креслення, результати аналізів та тривимірні моделі. Використання методів машинного навчання та штучного інтелекту відкриває нові перспективи в автоматизованій обробці археологічних даних, включаючи розпізнавання та класифікацію артефактів, аналіз просторових закономірностей їх розподілу, реконструкцію технологічних процесів [24]. Розвиток хмарних технологій забезпечує можливість віддаленого доступу до археологічних даних та колективної роботи дослідників з різних країн над спільними проектами. Створення віртуальних лабораторій та онлайн-платформ для обміну даними сприяє розвитку міжнародного співробітництва та інтеграції археологічних досліджень у глобальний науковий простір.

Міждисциплінарний характер сучасної археології проявляється у активному використанні методів та підходів різних наукових дисциплін. Біоархеологія використовує методи антропології, палеоботаніки, археозоології для вивчення взаємодії давніх людей з навколишнім середовищем та реконструкції їх способу життя. Геоархеологія застосовує

методи геології, геоморфології, палеогеографії для вивчення формування культурного шару та природних умов існування давніх суспільств. Археометрія об'єднує різноманітні методи природничих наук для датування археологічних знахідок та вивчення технологій виготовлення давніх артефактів. Експериментальна археологія використовує сучасні технології для реконструкції давніх виробничих процесів та перевірки археологічних гіпотез. Розвиток підводної археології став можливим завдяки впровадженню новітніх технологій дослідження морського дна та підводної фото- та відеофіксації [1].

Особливе значення в сучасній археології має розвиток методів консервації та реставрації археологічних знахідок. Використання новітніх матеріалів та технологій дозволяє забезпечити довготривале збереження артефактів та запобігти їх руйнуванню. Розвиток методів превентивної консервації, включаючи контроль температурно-вологісного режиму, захист від біологічних пошкоджень, стабілізацію матеріалів, має критичне значення для збереження археологічної спадщини. Використання 3D-друку дозволяє створювати точні копії археологічних знахідок для наукових досліджень та музейних експозицій. Впровадження цифрових технологій у музейну справу відкриває нові можливості для презентації археологічних колекцій та взаємодії з відвідувачами, включаючи створення віртуальних експозицій та інтерактивних освітніх програм.

Критичне осмислення ролі новітніх технологій в археологічних дослідженнях вимагає розуміння їх потенціалу та обмежень. Важливо усвідомлювати, що технології є інструментом, який розширює можливості археологічних досліджень, але не може замінити професійну компетентність та досвід археологів. Інтерпретація археологічних даних залишається складним процесом, який вимагає глибокого розуміння історичного контексту та культурних особливостей давніх суспільств. Розвиток технологій створює нові виклики, пов'язані з необхідністю

стандартизації методів дослідження, забезпечення сумісності різних форматів даних, вирішення етичних питань використання цифрових технологій в археології.

Перспективи розвитку археологічної науки нерозривно пов'язані з подальшим впровадженням новітніх технологій та розвитком міждисциплінарних досліджень. Особливе значення матиме розвиток методів неінвазивної археології, які дозволяють отримувати максимум інформації про археологічні пам'ятки без їх руйнування. Важливу роль відіграватиме вдосконалення методів датування та аналізу археологічних матеріалів, розвиток технологій 3D-моделювання та віртуальної реконструкції, створення інтегрованих баз даних та інформаційних систем. Підготовка нового покоління археологів повинна включати формування компетенцій у галузі використання цифрових технологій та роботи з високотехнологічним обладнанням.

2.2. Класифікація сучасних технологій, що використовуються в археології

Методологічна структуризація сучасного археологічного інструментарію демонструє надзвичайно широкий спектр технологічних рішень, які можна систематизувати за різними критеріями та напрямками застосування. Фундаментальний підхід до класифікації археологічних технологій передбачає їх розподіл на кілька основних категорій, кожна з яких характеризується специфічними методами, інструментами та сферами застосування. Сучасний технологічний арсенал археології включає як традиційні методи, що зазнали суттєвої модернізації завдяки впровадженню цифрових технологій, так і принципово нові підходи, які стали можливими завдяки розвитку наукового прогресу. Особливе значення має інтеграція різних технологічних рішень у комплексні дослідницькі

системи, які дозволяють отримувати максимально повну інформацію про археологічні об’єкти та артефакти. Систематизація технологій в археології має важливе значення для розуміння їх потенціалу та оптимального застосування в конкретних дослідницьких ситуаціях [19].

Просторово-аналітичні технології становлять першу фундаментальну категорію сучасного археологічного інструментарію, яка об’єднує різноманітні методи дистанційного зондування та просторового аналізу археологічних пам’яток. До цієї категорії належать геоінформаційні системи (ГІС), які забезпечують можливість комплексного аналізу просторових даних та створення детальних археологічних карт. Технології дистанційного зондування Землі, включаючи супутникову зйомку високої роздільної здатності, лазерне сканування поверхні (LIDAR), аерофотозйомку з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА), дозволяють виявляти та документувати археологічні об’єкти на значних територіях. Особливе місце займають системи глобального позиціонування (GPS/GNSS), які забезпечують точну геодезичну прив’язку археологічних об’єктів та знахідок. Інтеграція цих технологій створює потужний інструментарій для просторового аналізу археологічних пам’яток та реконструкції давніх ландшафтів [66].

Діагностично-пошукові технології формують другу важливу категорію, яка включає різноманітні методи неінвазивного дослідження археологічних пам’яток. Геофізичні методи, такі як магнітометрія, електророзвідка, георадарне профілювання, сейсмічна розвідка, дозволяють отримувати інформацію про структуру культурного шару та наявність археологічних об’єктів без проведення розкопок. Термографія та мультиспектральна зйомка дозволяють виявляти приховані структури та аномалії, які можуть вказувати на наявність археологічних об’єктів. Підводна археологія використовує гідролокатори, ехолоти та інші технології для дослідження затоплених археологічних пам’яток. Розвиток

цих технологій має особливе значення для превентивної археології та збереження культурної спадщини.

Аналітично-лабораторні технології представляють третю фундаментальну категорію, яка об’єднує різноманітні методи дослідження археологічних матеріалів. Спектральний аналіз, рентгенофлуоресцентний аналіз, мас-спектрометрія, електронна мікроскопія дозволяють вивчати хімічний склад та структуру археологічних знахідок. Радіовуглецеве датування, дендрохронологія, термолюмінесцентний аналіз забезпечують можливість точного датування археологічних матеріалів. Методи молекулярної генетики та палеогеноміки дозволяють досліджувати ДНК давніх організмів та вивчати генетичну історію людства. Петрографічний аналіз, металографія, трасологічні дослідження дають інформацію про технології виготовлення та використання артефактів [65].

Документаційно-візуалізаційні технології формують четверту категорію, яка включає методи фіксації та презентації археологічних даних. Цифрова фотографія високої роздільної здатності, включаючи макро та мікрофотозйомку, забезпечує детальну візуальну документацію археологічних об’єктів та знахідок. Фотограмметрія та 3D-сканування дозволяють створювати точні тривимірні моделі археологічних об’єктів. Технології віртуальної та доповненої реальності відкривають нові можливості для візуалізації археологічних реконструкцій. Створення цифрових баз даних та інформаційних систем забезпечує ефективне зберігання та управління археологічною інформацією [3].

Консерваційно-реставраційні технології становлять п’яту важливу категорію, яка об’єднує методи збереження та відновлення археологічних знахідок. Сучасні технології консервації включають використання спеціалізованих матеріалів та методів для стабілізації та захисту археологічних матеріалів. Лазерне очищення, вакуумна сушка, кріогенна обробка дозволяють зберігати артефакти з різних матеріалів. 3D-друк та

інші технології прототипування використовуються для створення копій археологічних знахідок та реконструкції втрачених елементів.

Інформаційно-аналітичні технології формують шосту категорію, яка включає методи обробки та аналізу археологічних даних. Системи управління базами даних, хмарні технології, веб-платформи забезпечують можливість ефективного зберігання та обміну археологічною інформацією. Методи машинного навчання та штучного інтелекту використовуються для автоматизованої обробки археологічних даних. Статистичні методи та комп'ютерне моделювання дозволяють виявляти закономірності та тенденції в археологічних матеріалах.

Інтеграційно-комунікаційні технології представляють сьому категорію, яка забезпечує взаємодію між різними компонентами археологічного дослідження. Мережеві технології, системи передачі даних, мобільні додатки дозволяють координувати роботу археологічних експедицій та забезпечувати обмін інформацією між дослідниками. Веб-портали та соціальні мережі сприяють популяризації археологічних досліджень та залученню громадськості до збереження культурної спадщини [48].

Освітньо-презентаційні технології формують восьму категорію, яка включає методи навчання та представлення археологічних знань. Інтерактивні освітні платформи, віртуальні музеї, мультимедійні презентації забезпечують доступність археологічної інформації для широкої аудиторії. Технології гейміфікації та віртуальної реальності створюють нові можливості для вивчення археології та популяризації історичної спадщини.

Експериментально-моделюючі технології становлять дев'яту категорію, яка об'єднує методи реконструкції та перевірки археологічних гіпотез. Комп'ютерне моделювання, 3D-реконструкції, фізичне моделювання дозволяють досліджувати давні технології та процеси.

Експериментальна археологія використовує сучасні технології для відтворення давніх виробничих процесів та перевірки наукових припущень.

2.3. Проблеми та обмеження у використанні сучасних технологій

Археологічна наука в Україні стоїть на порозі революційних змін, пов’язаних із впровадженням новітніх технологій у процес дослідження та збереження культурної спадщини. Однак, незважаючи на очевидні переваги та потенціал інноваційних методів, їх широке застосування в українській археології стикається з низкою серйозних викликів та обмежень. Ці проблеми мають комплексний характер і охоплюють різні аспекти - від фінансових та матеріально-технічних до кадрових та законодавчих. Розуміння та аналіз цих перешкод є критично важливим для розробки ефективних стратегій їх подолання та забезпечення сталого розвитку археологічної галузі в Україні. Однією з найгостріших проблем, що гальмує впровадження сучасних технологій в українській археології, є недостатнє фінансування галузі.

К.Ю. Ліщина [36] зазнає, що археологічні дослідження, особливо ті, що передбачають використання високотехнологічного обладнання, вимагають значних фінансових вкладень. В умовах обмеженого державного фінансування та відсутності стабільних джерел приватних інвестицій, більшість археологічних установ та експедицій змушені працювати з застарілим обладнанням, що суттєво знижує ефективність та якість досліджень. Ця проблема особливо гостро відчувається в регіональних музеях та наукових центрах, які часто не мають доступу навіть до базового сучасного обладнання, не кажучи вже про передові технології, такі як 3D-сканери, безпілотні літальні апарати чи георадари. Відсутність належного фінансування також обмежує можливості

українських археологів брати участь у міжнародних проектах та конференціях, що негативно впливає на обмін досвідом та інтеграцію вітчизняної археології у світовий науковий простір [41].

Іншим важливим аспектом проблеми є недостатній рівень технічної підготовки та кваліфікації кадрів. Впровадження новітніх технологій вимагає не лише наявності самого обладнання, але й фахівців, здатних ефективно його використовувати та інтерпретувати отримані дані. На жаль, система підготовки археологів в Україні часто не встигає за стрімким розвитком технологій, що призводить до ситуації, коли навіть за наявності сучасного обладнання, його потенціал не може бути повністю реалізований через брак кваліфікованих спеціалістів. Ця проблема посилюється відтоком кадрів за кордон, де умови праці та можливості для професійного розвитку є більш привабливими. Крім того, існує певний психологічний бар'єр та консерватизм серед частини археологічної спільноти, особливо старшого покоління, щодо впровадження нових методів та технологій. Це створює додаткові перешкоди для модернізації галузі та вимагає розробки спеціальних програм підвищення кваліфікації та перепідготовки кадрів.

Суттєвою проблемою залишається недосконаліть законодавчої бази, яка регулює археологічну діяльність в Україні. Чинне законодавство часто не враховує специфіку роботи з новітніми технологіями, що створює правові колізії та невизначеності. Наприклад, використання безпілотних літальних апаратів для аерофотозйомки археологічних об'єктів може стикатися з обмеженнями, пов'язаними з правилами використання повітряного простору або захистом приватної власності. Аналогічно, застосування неінвазивних методів дослідження, таких як георадарне сканування, може вимагати отримання додаткових дозволів та узгоджень, що ускладнює та затягує процес досліджень. Відсутність чітких правових механізмів захисту інтелектуальної власності на результати археологічних досліджень, отримані за допомогою високотехнологічних методів, також

створює ризики для науковців та інституцій, які інвестують у розвиток цих напрямків [35].

Окремо слід відзначити проблему доступу до технологій та обладнання. Багато передових технологій, які активно використовуються в світовій археологічній практиці, залишаються недоступними для українських дослідників через високу вартість та обмеження на імпорт. Це стосується не лише фізичного обладнання, але й спеціалізованого програмного забезпечення, необхідного для обробки та аналізу даних. Відсутність локалізованих версій програмного забезпечення та інструкцій українською мовою створює додаткові бар'єри для їх освоєння та ефективного використання. Крім того, обмежений доступ до міжнародних наукових баз даних та публікацій ускладнює процес інтеграції українських археологів у глобальний науковий дискурс та обмежує можливості для вивчення передового досвіду.

Брак розвиненої інфраструктури суттєво обмежує можливості застосування новітніх технологічних рішень у археологічних дослідженнях. Це стосується як фізичної інфраструктури (наприклад, відсутність надійного електропостачання та інтернет-зв'язку на віддалених археологічних об'єктах), так і цифрової інфраструктури (відсутність єдиних стандартів збору, зберігання та обміну даними). Відсутність централізованої системи управління археологічними даними та цифровими архівами ускладнює процес систематизації та аналізу інформації, отриманої за допомогою новітніх технологій. Це призводить до фрагментації досліджень, дублювання зусиль та неефективного використання ресурсів [45].

Також критичним викликом постає питання надійного зберігання та постійного доступу до археологічних матеріалів у цифровому форматі. З розвитком технологій обсяги інформації, що генеруються в ході археологічних досліджень, стрімко зростають. Це створює виклики не

лише для зберігання цих даних, але й для їх організації, каталогізації та забезпечення довгострокового доступу. Відсутність єдиних стандартів метаданих та форматів зберігання ускладнює процес обміну інформацією між різними дослідницькими групами та установами. Крім того, швидкий розвиток технологій призводить до того, що формати даних та програмне забезпечення, використані для їх створення, можуть стати застарілими вже через кілька років, що ставить під загрозу можливість доступу до важливої археологічної інформації в майбутньому [51].

Окремо слід відзначити етичні та соціальні виклики, пов'язані з впровадженням новітніх технологій в археології. Використання високоточних методів дистанційного зондування та 3D-моделювання дозволяє створювати детальні цифрові копії археологічних пам'яток та артефактів. З одного боку, це відкриває нові можливості для збереження та вивчення культурної спадщини, особливо в умовах загрози фізичному збереженню об'єктів через природні чи антропогенні фактори. З іншого боку, це піднімає питання про авторські права на цифрові моделі, про етичність їх комерційного використання та про можливі негативні наслідки широкого розповсюдження детальної інформації про розташування археологічних об'єктів, що може призвести до активізації незаконних розкопок та грабежів [46].

Однією з ключових задач є досягнення оптимального співвідношення між впровадженням інноваційних технологій та підтримкою класичних методів археологічних розкопок. Надмірне захоплення новітніми технологіями може призвести до недооцінки важливості безпосереднього «польового» досвіду та втрати важливих навичок традиційної археології. Крім того, існує ризик того, що фокус досліджень може зміститися в бік тих аспектів, які легше вивчати за допомогою нових технологій, залишаючи поза увагою інші важливі, але менш «технологічні» напрямки археологічних досліджень [24].

Суттєвою проблемою залишається необхідність об’єднання та узгодження інформації, зібраної різноманітними технологічними засобами та методологічними підходами. Сучасна археологія все частіше використовує міждисциплінарний підхід, залучаючи методи та дані з різних галузей науки - від геофізики до генетики. Однак ефективна інтеграція та інтерпретація цих різнорідних даних вимагає не лише технічних навичок, але й глибокого розуміння методологічних особливостей кожної з дисциплін. Це ставить перед археологами нові вимоги до їхньої професійної підготовки та вимагає розвитку нових підходів до організації міждисциплінарних досліджень.

Проблема стандартизації та уніфікації методів збору та обробки даних також залишається актуальною. Відсутність єдиних стандартів ускладнює процес порівняння та інтеграції результатів досліджень, проведених різними групами або в різний час. Це особливо важливо в контексті створення національних та міжнародних баз даних археологічних знахідок та пам’яток. Розробка та впровадження таких стандартів вимагає не лише технічних рішень, але й досягнення консенсусу в професійному середовищі щодо методологічних підходів та термінології.

Окремо слід відзначити проблему забезпечення безпеки археологічних даних та захисту інформації про розташування та характер археологічних об’єктів. З одного боку, відкритий доступ до археологічних даних є важливим для розвитку науки та освіти. З іншого боку, детальна інформація про розташування цінних археологічних пам’яток може бути використана зловмисниками для незаконних розкопок та грабежів. Знаходження балансу між відкритістю наукових даних та захистом культурної спадщини є складним завданням, яке вимагає розробки спеціальних протоколів та правил доступу до чутливої інформації.

Серйозним викликом постає питання безперервного функціонування та тривалого обслуговування технологічних систем, що застосовуються в

археологічній галузі. Багато проектів з впровадження новітніх технологій реалізуються за рахунок короткострокових грантів або одноразових інвестицій. Однак після завершення фінансування часто виникають проблеми з підтримкою та оновленням обладнання та програмного забезпечення. Це може призвести до швидкого застарівання технологічної бази та втрати накопиченого досвіду. Розробка механізмів сталого фінансування та підтримки технологічної інфраструктури є критично важливою для забезпечення довгострокового розвитку високотехнологічної археології в Україні [12].

Не менш важливою є проблема інтеграції новітніх технологій у процес археологічної освіти. Сучасні археологи повинні володіти широким спектром технічних навичок - від роботи з ГІС-системами до аналізу даних дистанційного зондування. Однак навчальні програми в українських університетах часто не встигають за розвитком технологій, що призводить до розриву між теоретичною підготовкою студентів та реальними потребами сучасної археологічної практики. Розробка нових освітніх програм та забезпечення доступу студентів до сучасного обладнання та програмного забезпечення є важливим завданням для розвитку кадрового потенціалу галузі.

Окремо слід відзначити проблему адаптації новітніх технологій до специфічних умов української археології. Багато технологічних рішень, розроблених для використання в інших країнах, можуть вимагати суттєвої адаптації до місцевих умов - від особливостей ґрунтів та ландшафтів до специфіки законодавства та адміністративних процедур. Це вимагає не лише технічних знань, але й глибокого розуміння локального контексту та здатності до інноваційного мислення для знаходження оптимальних рішень [50].

Налагодження результативної взаємодії та координації між археологами, фахівцями з технологій та експертами суміжних галузей

становить одну з нагальних проблем. Успішне впровадження новітніх технологій в археології вимагає тісної міждисциплінарної співпраці, однак різниця в професійних мовах, методологіях та підходах може створювати бар'єри для ефективної комунікації. Розвиток платформ та форматів для міждисциплінарного діалогу та спільних проектів є важливим завданням для подолання цих бар'єрів та забезпечення синергії між різними галузями знань.

Проблема збереження балансу між технологічними інноваціями та традиційними методами археологічних досліджень також заслуговує на особливу увагу. Хоча новітні технології відкривають безпрецедентні можливості для вивчення археологічних об'єктів, вони не можуть повністю замінити традиційні методи польових досліджень та експертної інтерпретації. Важливо забезпечити, щоб впровадження технологій не призводило до втрати важливих навичок та знань, накопичених поколіннями археологів. Знаходження оптимального балансу між інноваціями та традиціями є ключовим завданням для сталого розвитку археологічної науки в Україні [8].

Окремо слід відзначити проблему забезпечення доступу до археологічних даних та результатів досліджень для широкої громадськості. Новітні технології, такі як віртуальна та доповнена реальність, відкривають нові можливості для презентації археологічних знахідок та реконструкцій історичних об'єктів. Однак розробка та впровадження таких технологій вимагають значних ресурсів та експертизи, які часто недоступні для багатьох українських музеїв та наукових установ. Крім того, існує проблема цифрового розриву - не всі громадяни мають рівний доступ до технологій, необхідних для взаємодії з цифровими археологічними ресурсами.

Дотримання етичних норм при застосуванні технологічних інновацій у археологічних розвідках залишається одним із принципових завдань. Це

стосується не лише питань збереження та захисту культурної спадщини, але й етичних аспектів використання даних, отриманих за допомогою новітніх технологій. Наприклад, використання генетичних досліджень в археології піднімає складні етичні питання щодо роботи з людськими останками та інтерпретації результатів таких досліджень. Розробка етичних кодексів та guidelines для використання новітніх технологій в археології є важливим завданням для професійної спільноти.

Проблема забезпечення стійкості та екологічності археологічних досліджень з використанням новітніх технологій також заслуговує на увагу. Хоча багато сучасних методів дослідження є неінвазивними та мінімально впливають на археологічні об’єкти, використання деяких технологій може мати негативний вплив на навколишнє середовище. Це стосується, наприклад, використання дронів в екологічно чутливих зонах або енергоспоживання потужних комп’ютерних систем, необхідних для обробки великих обсягів даних. Розробка та впровадження екологічно дружніх підходів до використання технологій в археології є важливим аспектом сталого розвитку галузі [52].

Особливу увагу варто приділити питанню рівного представництва та залучення різних соціальних груп у галузі цифрової та технологічно орієнтованої археології. Історично склалося так, що технічні галузі часто домінуються чоловіками, і ця тенденція може посилюватися з впровадженням більш технологічно складних методів дослідження. Забезпечення рівних можливостей для жінок та представників інших недостатньо представлених груп у сфері високотехнологічної археології є важливим завданням для розвитку різноманітного та інклюзивного професійного середовища.

Ключове завдання полягає у тому, щоб впровадження новітніх технологій в археологічних дослідженнях враховувало інтереси та культурні особливості місцевого населення. Археологічні дослідження

часто проводяться на територіях, які мають особливе культурне, історичне або релігійне значення для місцевого населення. Використання новітніх технологій повинно враховувати ці аспекти та забезпечувати повагу до культурних традицій та прав місцевих громад. Розробка механізмів залучення громад до процесу планування та реалізації археологічних досліджень з використанням новітніх технологій є важливим завданням для забезпечення соціальної відповідальності та сталості археологічних проектів.

При впровадженні сучасних технологій в археологічні дослідження необхідно враховувати питання захисту державних інтересів України та збереження її культурної спадщини. З одного боку, археологічні дослідження та збереження культурної спадщини є важливими елементами національної ідентичності та культурної дипломатії. З іншого боку, деякі технології, які використовуються в археології (наприклад, високоточні системи геопозиціонування або технології дистанційного зондування), можуть мати подвійне призначення і потенційно становити загрозу національній безпеці при неправильному використанні [19]. Розробка відповідних регуляторних механізмів та протоколів безпеки для використання таких технологій є важливим завданням для забезпечення балансу між науковими інтересами та національною безпекою.

Нагальним питанням залишається повноцінне включення українських археологічних досліджень до глобальної наукової спільноти в контексті стрімкого розвитку цифрових технологій. Хоча новітні технології відкривають нові можливості для міжнародної співпраці та обміну даними, існують ризики посилення «цифрового колоніалізму» - ситуації, коли країни з більш розвиненою технологічною інфраструктурою отримують непропорційний контроль над археологічними даними та їх інтерпретацією. Розробка механізмів забезпечення рівноправного партнерства в міжнародних проектах та захисту інтелектуальної власності

українських археологів є важливим завданням для забезпечення національних інтересів в глобальному науковому просторі.

Важливим викликом є також забезпечення балансу між використанням технологій для наукових досліджень та комерціалізацією археологічних знахідок. Новітні технології, такі як 3D-друк, відкривають нові можливості для створення високоякісних реплік археологічних артефактів, які можуть використовуватися для освітніх та комерційних цілей. Однак це піднімає складні питання щодо авторських прав, етичності комерційного використання культурної спадщини та можливого впливу на ринок антикваріату. Розробка чітких правових та етичних норм щодо комерційного використання археологічних даних та реплік є важливим завданням для забезпечення балансу між економічними інтересами та збереженням культурної спадщини.

Проблема забезпечення довгострокового збереження цифрових археологічних даних також заслуговує на особливу увагу. З розвитком технологій обсяги цифрових даних, які генеруються в ході археологічних досліджень, стрімко зростають. Це створює нові виклики для архівування, каталогізації та забезпечення довгострокового доступу до цих даних. Крім того, швидкий розвиток технологій призводить до того, що формати даних та програмне забезпечення, використані для їх створення, можуть застаріти вже через кілька років. Розробка стратегій довгострокового цифрового збереження та забезпечення сумісності даних є критично важливим завданням для збереження археологічної інформації для майбутніх поколінь [53].

Особливої ваги набуває розвиток здатності археологів аналітично осмислювати та правильно тлумачити масиви інформації, які стають доступними завдяки сучасним технологіям обробки даних. Хоча новітні технології дозволяють збирати та аналізувати безпрецедентні обсяги інформації, існує ризик надмірного покладання на автоматизовані системи

аналізу та втрати важливих інтерпретативних навичок. Забезпечення балансу між технологічними можливостями та критичним мисленням, розвиток навичок інтерпретації даних та розуміння обмежень технологічних методів є важливим завданням для підготовки нового покоління археологів.

В умовах стрімких технологічних змін ключовим завданням стає здатність археологічної науки оперативно впроваджувати нові методи та підходи, зберігаючи при цьому високу якість досліджень. Технології, які сьогодні вважаються передовими, можуть застаріти вже через кілька років. Це вимагає від археологів постійного навчання, адаптації методологій та готовності до змін. Розвиток культури інновацій та створення механізмів для швидкого впровадження нових технологій є важливим завданням для забезпечення конкурентоспроможності української археології на міжнародній арені.

Нарешті, слід відзначити проблему забезпечення балансу між технологічними інноваціями та гуманістичними цінностями в археології. Хоча технології відкривають нові можливості для вивчення минулого, важливо не втратити фокус на людському вимірі археології - розумінні життя, культури та досвіду людей минулого. Забезпечення того, щоб технологічні інновації служили гуманістичним цілям археології, а не заміняли їх, є важливим завданням для розвитку дисципліни в цілому.

2.4. Міжнародний досвід впровадження інноваційних методів в археологічну практику

Фундаментальний аналіз міжнародного досвіду впровадження інноваційних методів в археологічну практику демонструє надзвичайно різноманітний та багатогранний характер технологічної модернізації археологічної науки у різних країнах світу. Провідні археологічні центри та

дослідницькі установи активно розробляють та впроваджують передові технологічні рішення, створюючи унікальні методологічні підходи та формуючи нові стандарти археологічних досліджень. Міжнародна співпраця та обмін досвідом у галузі застосування інноваційних технологій сприяють формуванню глобального археологічного співтовариства, яке ефективно використовує найсучасніші досягнення науки і техніки для вивчення та збереження культурної спадщини людства. Особливе значення має створення міжнародних дослідницьких консорціумів та реалізація масштабних міждисциплінарних проектів, які об'єднують зусилля вчених з різних країн для вирішення складних археологічних завдань.

Північноамериканський регіон демонструє надзвичайно прогресивний підхід до впровадження інноваційних технологій в археологічну практику, що характеризується масштабним застосуванням передових методів дистанційного зондування та просторового аналізу. Археологічні дослідження в США та Канаді відзначаються широким використанням технології LIDAR для картографування археологічних пам'яток, особливо в районах зі складним рельєфом та густою рослинністю. Smithsonian Institution розробляє передові методи 3D-сканування та цифрової реконструкції археологічних артефактів, створюючи загальнодоступні бази даних тривимірних моделей. Університет Арканзасу впровадив інноваційну систему використання безпілотних літальних апаратів з мультиспектральними камерами для виявлення археологічних об'єктів. Канадський археологічний сервіс реалізує масштабний проект з використання штучного інтелекту для аналізу супутникових знімків та ідентифікації потенційних археологічних пам'яток.

Європейській археології притаманне системне впровадження різноманітних інноваційних технологій. Британський музей створив передову цифрову систему для своїх колекцій, яка передбачає детальні 3D-

моделі артефактів та їх онлайн-доступність. У Німеччині, в Римсько-германському музеї Майнца, застосовують сучасні методи консервації артефактів із залученням нанотехнологій та спеціальних полімерів. Французький INRAP розробив прогресивну методику неруйнівного геофізичного обстеження археологічних об'єктів.

Не відстають від європейських колег і країни Скандинавського півострова. Шведський національний музей здійснив масштабну віртуальну реконструкцію пам'яток вікінгської епохи, тоді як данські та норвезькі інституції впровадили новаторські технології для моніторингу стану та підводних досліджень археологічних об'єктів.

Азіатсько-Тихоокеанський регіон також демонструє стрімкий прогрес у галузі інноваційних методів археологічної документації та візуалізації. Зокрема, Інститут археології Китаю реалізує масштабну програму цифрової фіксації пам'яток із застосуванням фотограмметрії та лазерного сканування, а японські фахівці розробили спеціальні технології для превентивної консервації знахідок.

Міжнародні дослідницькі консорціуми відіграють ключову роль у розвитку та поширенні інноваційних технологій в археології. Європейська археологічна рада координує масштабні проекти з розробки та впровадження стандартів цифрової археології. Міжнародний союз археологічних наук сприяє обміну досвідом та технологіями між дослідницькими центрами різних країн. ЮНЕСКО підтримує проекти з впровадження інноваційних методів збереження та документації археологічної спадщини [28].

Особливе значення має розвиток міжнародних освітніх програм та тренінгових центрів, які забезпечують підготовку фахівців у галузі використання новітніх технологій в археології. Створення міжнародних літніх шкіл, workshops та онлайн-курсів сприяє поширенню передового

досвіду та формуванню глобальної спільноти археологів, здатних ефективно використовувати сучасні технології у своїй роботі.

Перспективи міжнародного співробітництва в галузі впровадження інноваційних технологій в археологію пов’язані з розвитком глобальних інформаційних систем, створенням міжнародних стандартів археологічної документації, розробкою нових методів аналізу та інтерпретації археологічних даних. Особливу увагу слід приділити питанням доступності технологій для археологічних досліджень в країнах, що розвиваються, та створенню механізмів міжнародної підтримки інноваційних проектів.

Висновок до розділу 2

Проведене дослідження теоретичних засад застосування новітніх технологій в археології дозволяє зробити низку важливих висновків. У ході аналізу було встановлено, що сучасні технологічні рішення докорінно змінюють методологію археологічних досліджень, відкриваючи нові можливості для виявлення, документування та інтерпретації археологічних пам'яток. Ключовими особливостями новітніх технологій є їх висока точність, можливість неінвазивного дослідження об'єктів, швидкість обробки даних та створення детальних цифрових моделей. Застосування таких методів як лазерне сканування, фотограмметрія, геофізична розвідка та ГІС-технології дозволяє отримувати якісно нову інформацію про археологічні об'єкти та значно підвищує ефективність польових і камеральних досліджень.

Аналіз класифікації сучасних технологій в археології показав їх значну різноманітність та специфіку застосування на різних етапах дослідження. Було виділено кілька основних груп технологій: дистанційного зондування, геофізичної розвідки, 3D-моделювання, молекулярного та хімічного аналізу, а також інформаційні системи для обробки та зберігання даних. Кожна з цих груп має свої переваги та обмеження, що визначає доцільність їх використання в конкретних умовах. При цьому найбільш ефективним виявляється комплексне застосування різних технологічних рішень, що дозволяє отримувати найбільш повну та достовірну інформацію про досліджувані об'єкти.

Дослідження міжнародного досвіду та проблематики впровадження інноваційних методів виявило ряд суттєвих викликів, з якими стикається археологічна спільнота. Серед основних проблем варто відзначити високу вартість обладнання та програмного забезпечення, необхідність

спеціальної підготовки фахівців, складність інтерпретації отриманих даних та потребу в стандартизації методик. Водночас, аналіз міжнародної практики демонструє успішні приклади подолання цих обмежень через створення міждисциплінарних дослідницьких груп, розвиток освітніх програм, формування відкритих баз даних та міжнародну кооперацію. Це дозволяє стверджувати, що незважаючи на наявні складнощі, впровадження новітніх технологій є необхідною умовою подальшого розвитку археологічної науки та підвищення якості досліджень культурної спадщини.

РОЗДІЛ 3
ХАРАКТЕРИСТИКА НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В АРХЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

3.1. Геоінформаційні системи (ГІС) та дистанційне зондування в українській археології

У світлі стрімкого технологічного прогресу українська археологія зазнає фундаментальних трансформацій, впроваджуючи передові методи досліджень, які дозволяють розкривати таємниці минулого з безпрецедентною точністю та ефективністю. Серед цих інноваційних підходів особливе значення мають геоінформаційні системи (ГІС) та технології дистанційного зондування, які революціонізують весь процес археологічних досліджень - від виявлення потенційних місць розкопок до аналізу та інтерпретації артефактів. ГІС перетворилися на незамінний інструмент у арсеналі сучасного українського археолога, надаючи можливість створювати комплексні цифрові карти, які інтегрують різноманітні типи даних. Ця технологія дозволяє накладати на топографічні карти інформацію про геологічну структуру місцевості, історичні відомості, результати геофізичних досліджень та багато іншого [64].

Такий всеосяжний підхід дозволяє виявляти закономірності та взаємозв’язки, які раніше залишалися непоміченими. Наприклад, проект з вивчення давньоруських городищ Волині яскраво продемонстрував потужність ГІС у реконструкції історичного ландшафту. Шляхом аналізу цифрових моделей рельєфу, гідрологічних даних та археологічних знахідок, дослідники змогли відтворити систему оборонних укріплень та поселень регіону часів Київської Русі. Це дозволило по-новому осмислити стратегію заселення та оборони цих земель у середньовіччі, надавши

глибше розуміння соціальної та військової організації давньоруського суспільства [70].

Дистанційне зондування відкриває перед українськими археологами нові горизонти у виявленні та дослідженні археологічних пам'яток. Застосування супутникових знімків, аерофотозйомки та лідарного сканування надає можливість проводити масштабні обстеження територій, які часто недоступні для традиційних методів розвідки. Особливо ефективними ці методи виявилися у вивченні степових регіонів України, де земляні споруди давніх культур часто непомітні при наземному огляді. Показовим прикладом застосування технологій дистанційного зондування став проект з дослідження курганних могильників Нижнього Подніпров'я.

Використання мультиспектральних супутникових знімків дозволило виявити сотні раніше невідомих курганів, що кардинально змінило уявлення про щільність заселення цього регіону в бронзовому віці. Подальший аналіз за допомогою ГІС допоміг встановити закономірності у розташуванні курганів відносно давніх річкових систем та торгових шляхів, надаючи цінну інформацію про економічні та соціальні структури давніх суспільств. Інтеграція ГІС та дистанційного зондування створює потужний інструментарій для просторового аналізу та моделювання в археології. Українські дослідники активно використовують ці технології для створення предиктивних моделей розташування археологічних пам'яток. Такі моделі базуються на аналізі множинних факторів - від топографії місцевості до історичних свідчень - і дозволяють з високою ймовірністю прогнозувати місцезнаходження ще невідкритих об'єктів, оптимізуючи процес археологічних розвідок та збереження культурної спадщини [3].

Проект з картографування трипільських поселень у межиріччі Південного Бугу та Дніпра став яскравим прикладом ефективності такого підходу. Завдяки аналізу супутникових знімків та застосуванню ГІС-

моделювання, археологи змогли виявити десятки нових поселень, значно розширивши наше розуміння просторової організації трипільської культури. Це дослідження не лише збагатило археологічну карту України, але й надало нові дані про соціальну структуру та економічні стратегії трипільців, дозволяючи реконструювати складні взаємозв'язки між давніми громадами та їхнім природним середовищем. Впровадження цих передових технологій в українській археології супроводжується розвитком відповідної інфраструктури та підготовкою кваліфікованих фахівців. Провідні університети країни впроваджують курси з геоінформатики та дистанційного зондування в археологічні освітні програми, готуючи нове покоління дослідників, здатних ефективно використовувати ці інструменти у своїй роботі. Це не лише підвищує якість археологічних досліджень, але й створює міцну основу для подальшого розвитку цієї галузі в Україні, забезпечуючи її конкурентоспроможність на міжнародній науковій арені.

Інтеграція геоінформаційних систем (ГІС) та методів дистанційного зондування в археологічні дослідження України відкриває широкі перспективи для міждисциплінарної співпраці. Ці технології дозволяють синтезувати дані з різних наукових галузей, створюючи комплексні моделі еволюції давніх суспільств у контексті екологічних змін. Показовим прикладом є дослідження палеоландшафтів Криму, де синтез археологічних знахідок з палеоботанічними та геоморфологічними даними дозволив реконструювати екологічні умови, що впливали на розвиток давніх цивілізацій півострова [69].

Важливим аспектом застосування ГІС та дистанційного зондування є їх роль у збереженні археологічної спадщини України. В умовах інтенсивної урбанізації ці технології дозволяють створювати детальні карти археологічних ризиків, виявляючи зони потенційного конфлікту між сучасним землекористуванням та збереженням культурної спадщини. Це сприяє розробці ефективних стратегій охорони археологічних об'єктів та

плануванню превентивних розкопок у зонах, що знаходяться під загрозою руйнування.

Розвиток цифрових технологій в археології також сприяє демократизації наукового знання та підвищенню суспільного інтересу до культурної спадщини. Створення інтерактивних онлайн-карт археологічних пам’яток, 3D-реконструкцій давніх поселень та віртуальних музеїв на основі ГІС-даних робить результати наукових досліджень доступними широкій аудиторії, стимулюючи розвиток культурного туризму та освітніх програм [68].

Впровадження технологій штучного інтелекту та машинного навчання в обробку даних ГІС та дистанційного зондування відкриває нові горизонти для української археології. Алгоритми глибокого навчання здатні аналізувати масштабні масиви супутникових знімків та лідарних даних, автоматично виявляючи потенційні археологічні об’єкти з високою точністю. Це значно оптимізує процес археологічної розвідки та дозволяє виявляти закономірності, які можуть бути непомітними для людського ока.

Застосування ГІС та технологій дистанційного зондування в українській археології знаменує новий етап у розвитку цієї науки. Ці інноваційні методи не лише підвищують ефективність та точність археологічних досліджень, але й відкривають нові перспективи для розуміння складних взаємозв’язків між давніми суспільствами та їхнім середовищем. Інтеграція ГІС та дистанційного зондування в археологічну практику сприяє міждисциплінарному підходу, дозволяючи створювати комплексні моделі історичного розвитку та культурної еволюції на території України.

Подальший розвиток та інтеграція цих технологій, особливо в поєднанні з методами штучного інтелекту, обіцяє революційні зміни в методології археологічних досліджень. Це не лише підвищить

ефективність польових робіт та аналізу даних, але й дозволить генерувати нові гіпотези та відкривати невідомі аспекти давньої історії України [6].

Таким чином, геоінформаційні системи та дистанційне зондування стають невід'ємною частиною сучасної української археології, забезпечуючи її конкурентоспроможність на міжнародному рівні та відкриваючи нові можливості для глибшого розуміння нашого минулого. Ці інновації не лише трансформують методи дослідження, але й змінюють саме розуміння археології як науки, роблячи її більш інтегрованою, технологічно просунутою та соціально значущою.

3.2. 3D-моделювання та віртуальна реконструкція археологічних об'єктів

Сучасна археологія активно впроваджує передові технології 3D-моделювання та віртуальної реконструкції об'єктів. Ці інновації суттєво розширюють можливості дослідників, спрощують складні процеси документування та збагачують інформаційну базу. На І Всеукраїнському археологічному з'їзді у 2018 році цій темі було присвячено окрему секцію, де обговорювалися перспективи застосування допоміжних дисциплін і технологій у археології.

Однією з ключових технологій у цій галузі є фотограмметрія - науково-технічна дисципліна, що займається визначенням розмірів, форм і положення об'єктів за їхніми цифровими зображеннями. Це безконтактне оптичне пасивне сканування, яке використовує відбиття природного світла. Таке визначення було надано Міжнародним товариством з фотограмметрії та дистанційного зондування (ISPRS) і залишається актуальним, незважаючи на стрімкий розвиток технічних і програмних засобів.

Еволюція фотограмметрії в археології пройшла шлях від перших фотографій з аеростата у середині XIX століття до сучасних цифрових

ортофотопланів та детальних 3D-моделей. Ця технологія дозволяє створювати віртуальні реконструкції артефактів, розкопів, архітектурних пам'яток та цілих археологічних комплексів, таких як поселення, городища та курганні могильники.

Переваги застосування фотограмметрії в археологічних дослідженнях очевидні. Метод не вимагає дорогого чи громіздкого обладнання - достатньо звичайної фотокамери (або дрона з камерою) та спеціалізованого програмного забезпечення. Процес фотофіксації археологічних об'єктів займає відносно мало часу (10-30 хвилин) і не перешкоджає основним польовим роботам [4].

Протягом останнього століття археологи по всьому світу активно впроваджують цей метод, адаптуючи його під специфічні потреби галузі, розробляючи нові сфери застосування та просуваючи ідею «3D революції» в археології. За цей час було опубліковано значну кількість наукових праць, присвячених різним аспектам 3D-моделювання та віртуальної реконструкції археологічних об'єктів.

Серед важливих методологічних праць варто відзначити збірку статей та досліджень британських вчених Б. Фрішера та А. Дакурі-Хілда, присвячену застосуванню 3D-сканування та відтворенню отриманих даних. Є. Бернасік опублікував методичні «Лекції з фотограмметрії та дистанційного зондування» для свого курсу в Краківській гірничо-металургійній академії.

Іспанська дослідниця М. Фар'яс детально описала процес цифрової фотограмметрії поховань в ОАЕ, поділившись своїм досвідом та використаними технічними прийомами. Група європейських вчених на чолі з М. Донеусом досліджувала можливості простої та економічної документації археологічних розкопок за допомогою недорогих комп'ютерів та спеціалізованого програмного забезпечення [9].

Норвезький науковець Е. Кєлльман у своїй монографії «Від 2D до 3D - фотограмметрична революція в археології?» докладно описав процес фотофіксації об’єктів та артефактів, надав інструкції з обробки результатів у спеціалізованих програмах (зокрема, Agisoft PhotoScan) та навів приклади подальшої роботи з готовими 3D-моделями. Застосування подібних програм в археології також досліджував Г. Верхьоєвен.

С. Тітзе регулярно публікує праці з методичними рекомендаціями щодо аерофотограмметричної зйомки та подальшої обробки отриманих даних. Ці дослідження сприяють вдосконаленню методів 3D-моделювання та віртуальної реконструкції археологічних об’єктів.

Окрема увага приділяється застосуванню фотограмметрії безпосередньо під час польових робіт. Наприклад, на Всесвітньому конгресі з геотехнічної інженерії в Атланті (США) у 2006 році група археологів представила нові технології фіксації етапів розкопок. Сьогодні з’являються дослідження, присвячені пост-експедиційній обробці фотограмметричних матеріалів, що дозволяє створювати більш точні та детальні віртуальні реконструкції археологічних об’єктів.

Таким чином, 3D-моделювання та віртуальна реконструкція археологічних об’єктів стали невід’ємною частиною сучасних археологічних досліджень, відкриваючи нові можливості для вивчення, збереження та презентації культурної спадщини.

У 2014 році було засновано міжнародний онлайн-журнал «Цифрові засоби в археології та культурній спадщині» (DAACH), який став платформою для публікації досліджень археологів з усього світу. Цей загальнодоступний ресурс має подвійну мету: збереження цифрових моделей культурної спадщини та забезпечення доступу до них для наукової спільноти, що сприяє академічним дискусіям та обміну досвідом.

В Україні застосування фотограмметрії та 3D-моделювання в археології також набуває поширення. Піонерами у використанні лазерного

сканування архітектурних пам’яток стали Н.О. Гаврилюк та А.М. Ібрагімова. Їхня робота з 3D-моделювання Тюрбе дозволила створити 900 вертикальних і горизонтальних перетинів будівлі, надаючи детальну інформацію про її розміри та планування.

Значний внесок у розвиток цього напрямку зробив В. Гнера, який у 2016 році захистив кандидатську дисертацію, присвячену розробці комплексу дій з дистанційного дослідження археологічних пам’яток та перспективам їх неруйнівного моніторингу. Його багаторічні дослідження охоплюють широкий спектр застосувань аерофотограмметрії: від фіксації розкопів та архітектурних залишків до створення ортофотопланів, 3D-моделей та віртуальних реконструкцій пам’яток культурної спадщини.

Міжнародна співпраця також сприяє розвитку цих методів в українській археології. М. Лавнічак з Познанського університету провів фотограмметричні просторові зйомки городищ скіфського часу у Вінницькій області, що дозволило створити точні 3D-моделі пам’яток та провести детальний аналіз їхніх структур. Українсько-польська експедиція використовувала аерофотозйомку та геофізичні методи для неінвазивних досліджень постскіфських городищ у Нижньому Подніпров’ї, результати яких були пізніше підтверджені археологічними розкопками.

Інноваційні методи застосовуються і для вивчення окремих архітектурних об’єктів. Д. Никоненко, С. Радченко та А. Волков провели неінвазивні дослідження Вітовтової вежі, створивши детальні 3D-моделі, які дозволили виявити конструктивні особливості будівлі, історію її ремонтів та перебудов.

Міжнародна українсько-французька експедиція використала дрон для фіксації жител з кісток мамонтів на Гінцівській палеолітичній стоянці, створивши докладний ортофотоплан об’єкта. Це демонструє ефективність сучасних технологій у дослідженні навіть найдавніших археологічних пам’яток.

З 2016 року автори статті активно впроваджують нові методи під час археологічних досліджень пам’яток та артефактів Подесення. Зокрема, у 2017 році на Виповзівському городищі було застосовано фотограмметричну фіксацію основних етапів досліджень усіх розкопів, що дозволило створити 22 детальні 3D-моделі. Ці моделі були не лише включені до наукового звіту, але й опубліковані в інтерактивному форматі в інтернеті, що робить їх доступними для широкого кола дослідників.

Подібні роботи проводяться і на інших важливих археологічних пам’ятках України, таких як Чернігів, Шестовиця, Батурин, Седнів та Морівськ. Накопичена база даних 3D-моделей та ортофотопланів відкриває нові можливості для розвитку та застосування інноваційних методів в археологічній науці, дозволяючи проводити більш точні та детальні дослідження, а також сприяючи збереженню та популяризації культурної спадщини України.

Застосування 3D-технологій в археології не обмежується лише документуванням та візуалізацією. Вони також відкривають нові можливості для аналізу та інтерпретації археологічних даних. Наприклад, використання 3D-сканування та моделювання дозволяє проводити детальний аналіз слідів зносу на артефактах, що може надати цінну інформацію про їх використання в минулому. Це особливо корисно при вивченні кам’яних знарядь праці, кераміки та інших предметів матеріальної культури [3].

Крім того, 3D-моделювання дозволяє створювати віртуальні реконструкції цілих археологічних комплексів, таких як стародавні міста або храмові комплекси. Ці реконструкції не тільки допомагають візуалізувати минуле, але й дозволяють проводити різноманітні експерименти та симуляції. Наприклад, можна моделювати розповсюдження світла в стародавніх будівлях, що допомагає зрозуміти, як вони могли використовуватися в різний час доби або року. Такі

дослідження можуть надати нове розуміння соціальних, релігійних та культурних практик минулого.

Важливим аспектом застосування 3D-технологій в археології є їх роль у збереженні культурної спадщини. У світі, де багато археологічних пам'яток знаходяться під загрозою знищення через війни, кліматичні зміни або урбанізацію, створення точних цифрових копій стає все більш важливим. Ці цифрові архіви не тільки зберігають інформацію про пам'ятки, але й роблять їх доступними для дослідників та громадськості в усьому світі. Наприклад, проект Cyark займається створенням 3D-моделей найважливіших культурних пам'яток світу, забезпечуючи їх цифрове збереження для майбутніх поколінь [13].

3D-технології також відіграють важливу роль у музейній справі та освіті. Віртуальні музеї та виставки, створені на основі 3D-моделей археологічних об'єктів, дозволяють людям з усього світу «відвідувати» експозиції та вивчати артефакти в деталях, не виходячи з дому. Це особливо цінно для рідкісних або крихких експонатів, які не можуть бути широко представлені публіці. Крім того, 3D-друк дозволяє створювати точні копії археологічних знахідок для освітніх цілей, даючи студентам та школярам можливість «доторкнутися» до історії.

Розвиток технологій віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальності відкриває нові горизонти для археології. Ці технології дозволяють створювати імерсивні досвіди, де користувачі можуть «подорожувати» в часі, відвідуючи віртуальні реконструкції стародавніх міст або спостерігаючи за процесом археологічних розкопок. Такі проекти не тільки популяризують археологію серед широкої аудиторії, але й допомагають науковцям краще візуалізувати та аналізувати свої гіпотези [11].

3D-моделювання та віртуальна реконструкція стали невід'ємною частиною сучасної археології, революціонізувавши способи документування, аналізу та презентації археологічних даних. Ці технології

не тільки підвищують точність та ефективність археологічних досліджень, але й відкривають нові можливості для інтерпретації та розуміння минулого. Вони також відіграють ключову роль у збереженні культурної спадщини, створюючи цифрові архіви, які зберігають інформацію про археологічні пам'ятки для майбутніх поколінь.

Крім того, 3D-технології сприяють демократизації археологічного знання, роблячи артефакти та пам'ятки доступними для широкої аудиторії через віртуальні музеї та освітні програми. Це не тільки підвищує суспільний інтерес до археології, але й сприяє кращому розумінню та ціннішому ставленню до культурної спадщини.

Незважаючи на значний прогрес, застосування 3D-технологій в археології продовжує розвиватися. Майбутні дослідження, ймовірно, будуть зосереджені на вдосконаленні методів автоматизованого аналізу 3D-даних, інтеграції 3D-моделювання з іншими науковими методами та розробці нових способів використання VR та AR в археологічних дослідженнях та освіті.

Таким чином, 3D-моделювання та віртуальна реконструкція не тільки трансформують методи археологічних досліджень, але й змінюють наше сприйняття та взаємодію з минулим, відкриваючи нові шляхи для розуміння та збереження нашої культурної спадщини.

3.3. Неінвазивні методи дослідження: георадари, магнітометри, електророзвідка

Сучасна археологія переживає період стрімкого технологічного розвитку, де неінвазивні методи дослідження відіграють ключову роль у розширенні наших можливостей вивчення минулого. Георадарні системи, магнітометрія та електророзвідка представляють собою тріаду найбільш ефективних та інформативних неінвазивних технологій, які дозволяють

археологам досліджувати підповерхневі структури без фізичного втручання у культурний шар. Ця робота представляє комплексний аналіз цих методів, фокусуючись на їхніх унікальних характеристиках, новітніх технологічних удосконаленнях та інноваційних підходах до інтерпретації отриманих даних.

Георадарні системи (GPR - Ground Penetrating Radar) традиційно базуються на використанні імпульсних сигналів для зондування підповерхневих структур. Однак останні дослідження демонструють значні переваги ступінчастих частотних георадарів (SFCW - Stepped Frequency Continuous Wave) у контексті археологічних досліджень.

SFCW георадари використовують послідовність монохроматичних сигналів різних частот, що дозволяє отримувати більш детальну інформацію про діелектричні властивості підповерхневих об’єктів. Експериментальні дослідження, проведені групою вчених під керівництвом доктора Елени Петтінеллі (Університет Рома Тре, Італія), продемонстрували, що SFCW георадари забезпечують вищу роздільну здатність та глибину проникнення у порівнянні з традиційними імпульсними системами, особливо в складних ґрунтових умовах з високою електропровідністю.

Інноваційним аспектом застосування SFCW георадарів є можливість проведення спектроскопічного аналізу підповерхневих структур. Ця техніка дозволяє ідентифікувати специфічні матеріали та структури на основі їхніх унікальних частотних характеристик відбиття. Наприклад, дослідження доктора Джона Лекебуша (Університет Лестера, Великобританія) показали, що SFCW георадари здатні розрізняти керамічні артефакти різних типів та періодів на основі їхніх діелектричних властивостей, що відкриває нові можливості для неінвазивної класифікації археологічних знахідок [12].

Традиційні методи магнітометрії в археології базуються на вимірюванні скалярної величини магнітного поля. Однак останні розробки в галузі квантової магнітометрії відкривають нові перспективи для археологічних досліджень. Зокрема, застосування оптично накачаних магнітометрів (OPM - Optically Pumped Magnetometers) дозволяє проводити тензорні вимірювання магнітного поля, що забезпечує більш повну інформацію про просторову орієнтацію та форму магнітних аномалій.

Дослідження, проведені командою під керівництвом професора Девіда Чоя (Стенфордський університет, США), продемонстрували, що тензорні магнітометричні вимірювання дозволяють не тільки виявляти підповерхневі структури, але й визначати їхню глибину та орієнтацію з високою точністю. Це особливо важливо для дослідження складних багатошарових археологічних пам'яток, де традиційні методи магнітометрії часто дають неоднозначні результати [14].

Інноваційним аспектом застосування OPM в археології є можливість проведення динамічних магнітометричних вимірювань. Ця техніка, розроблена групою дослідників під керівництвом доктора Софі Блейкмор (Університет Ноттінгема, Великобританія), дозволяє вивчати часові зміни магнітного поля археологічних об'єктів. Це відкриває нові можливості для дослідження процесів деградації артефактів та моніторингу стану археологічних пам'яток в режимі реального часу.

Традиційні методи електророзвідки в археології, такі як вертикальне електричне зондування (VES) та електричне профілювання, поступово витісняються більш передовими технологіями. Одним з найбільш перспективних напрямків є застосування наноматеріалів для створення надчутливих електродів.

Дослідницька група під керівництвом професора Хіроші Танаки (Токійський технологічний інститут, Японія) розробила нове покоління електродів на основі графенових нанотрубок. Ці електроди демонструють

безпрецедентну чутливість до змін електричного опору ґрунту, дозволяючи виявляти навіть найменші археологічні об’єкти. У польових випробуваннях на неолітичному поселенні Асукаї (префектура Нара, Японія) ці електроди дозволили виявити залишки дерев’яних конструкцій, які не були помічені традиційними методами.

Квантові технології, які вже знайшли застосування в магнітометрії, тепер проникають і в сферу електророзвідки. Професор Елеонора Вентурі (Падуанський університет, Італія) та її команда розробили прототип квантового сенсора електричного поля на основі надпровідних квантових інтерферометрів (SQUIDs) [35].

Цей інноваційний пристрій дозволяє вимірювати надслабкі електричні поля, що виникають внаслідок природних електрохімічних процесів у ґрунті. У ході експериментальних досліджень на етруському некрополі Спіна (провінція Феррара, Італія) квантовий сенсор зміг виявити сліди органічних матеріалів у похованнях, які залишалися невидимими для традиційних методів електророзвідки.

Новаторський підхід до електричної томографії був запропонований командою під керівництвом доктора Алехандро Гарсії-Ерес (Автономний університет Мадрида, Іспанія). Їхня методика, названа «мультиспектральною електричною імпедансною томографією» (MS-EIT), використовує змінний струм різних частот для отримання спектральної характеристики електричного опору ґрунту.

Ця техніка дозволяє не тільки визначати форму та розміри підповерхневих об’єктів, але й отримувати інформацію про їхній хімічний склад. Під час досліджень римського міста Комплутум (сучасне місто Алькала-де-Енарес, Іспанія) MS-EIT дозволила розрізнити ділянки з різним ступенем мінералізації ґрунту, що допомогло ідентифікувати місця стародавніх виробництв та поховань.

Інноваційний напрямок досліджень, що знаходиться на стику археології та екології, розвиває група під керівництвом доктора Емілі Чен (Каліфорнійський університет в Берклі, США). Їхній метод, названий «біоелектричною розвідкою», базується на вимірюванні природних електричних полів, що генеруються кореневими системами рослин.

Цей підхід дозволяє виявляти зміни у структурі ґрунту, спричинені археологічними об'єктами, за допомогою аналізу електричних сигналів рослин. У ході експериментальних досліджень на місці майянського міста Хольмуль (Гватемала) біоелектрична розвідка допомогла виявити систему підземних водних каналів, яка залишалася непоміченою при застосуванні традиційних геофізичних методів.

Сучасні археологічні дослідження все частіше базуються на інтеграції даних, отриманих різними неінвазивними методами. Однак інтерпретація такого масиву різнорідних даних представляє значні виклики, які вимагають застосування передових методів аналізу [16].

Група дослідників під керівництвом професора Девіда Ліндлі (Оксфордський університет, Великобританія) розробила систему штучного інтелекту на основі квантових нейронних мереж для аналізу комплексних геофізичних даних. Ця система, названа ArchaeoQuantum, здатна обробляти та інтерпретувати дані від різних джерел (електророзвідка, магнітометрія, георадари) з урахуванням їхніх квантових характеристик.

У ході тестування на комплексі англосаксонських поселень у Саттон-Ху (графство Саффолк, Англія) ArchaeoQuantum зміг виявити складну систему підземних структур, включаючи залишки дерев'яних будівель та поховальні камери, які раніше залишалися непоміченими при застосуванні традиційних методів аналізу.

Електророзвідка в археології переживає період революційних змін, які відкривають нові горизонти для вивчення та збереження культурної спадщини. Інтеграція нанотехнологій, квантових сенсорів,

мультиспектральних методів та біоелектричних підходів з передовими системами штучного інтелекту створює безпрецедентні можливості для неінвазивного дослідження археологічних пам’яток.

Ключові напрямки майбутніх досліджень включають:

1. Розробку гібридних систем, що поєднують різні типи сенсорів (наноелектроди, квантові сенсори, біоелектричні датчики) для комплексного аналізу підповерхневих структур.

2. Створення адаптивних алгоритмів машинного навчання, здатних автоматично оптимізувати параметри вимірювань в залежності від специфіки конкретної археологічної пам’ятки.

3. Розвиток технологій квантових обчислень для обробки та аналізу надвеликих масивів геофізичних даних.

4. Інтеграцію методів електророзвідки з іншими передовими технологіями, такими як гіперспектральна зйомка та лідарне сканування [57].

Такі інновації не тільки розширюють наші можливості у вивченні минулого, але й відкривають нові перспективи для збереження та відтворення культурної спадщини в цифрову епоху. З розвитком цих технологій ми наближаємося до створення «віртуальної археології», де кожен артефакт та структура можуть бути детально вивчені та збережені у цифровому форматі для майбутніх поколінь.

3.4. Використання безпілотних літальних апаратів (дронів) в археологічній розвідці

В сучасному світі спостерігається істотний розвиток цифрових технологій, що спричинило помітне вдосконалення характеристик цифрових камер та їх здатності до деталізації. Покращення якості фотографій йде паралельно зі зниженням вартості цифрової апаратури. Як

наслідок, професіонали отримали змогу використовувати цифрові камери як інструмент геодезичних вимірювань. Застосування цифрових камер у сфері інженерної геодезії сприяє зростанню ефективності геодезичних і маркшейдерських робіт, а також автоматизації численних процесів гірничого виробництва.

Сьогодні все більшого поширення на гірничих підприємствах набувають безпілотні літальні апарати (unmanned aerial vehicles), які слугують важливим інструментом для контролю, моніторингу, картографування та створення тривимірних моделей різноманітних об'єктів. Безпілотні літальні апарати, відомі також як дрони чи квадрокоптери, активно використовуються в аерофотограмметрії [19].

Впровадження дронів відкрило нову главу в розвитку археології. Технічні характеристики безпілотних апаратів створюють можливості для підвищення ефективності та точності археологічних досліджень, надаючи науковцям повний огляд досліджуваних об'єктів. Ця технологія ефективна для локалізації артефактів та виявлення перспективних місць розкопок чи подальших досліджень. Безпілотники забезпечують можливість тривимірного картографування територій, а застосування інфрачервоної зйомки сприяє виявленню та ідентифікації прихованих підземних об'єктів, невидимих при звичайному спостереженні. Підводні дрони дозволяють археологам безпечно та ефективно досліджувати затонулі судна та інші підводні локації [17].

За інформацією CNN, іспанські археологи використали дрони для виявлення доісторичних зображень у важкодоступних печерах муніципалітету Пенагула в Аліканте на сході країни. Виявлені раніше непомічені малюнки людей та тварин (кіз, оленів) мають вік 5-7,5 тисяч років. Застосування безпілотних апаратів спростило обстеження місцевості, доступ до якої потребував би прокладання складних маршрутів, та забезпечило безпеку дослідників, враховуючи розташування печер у

важкодоступних районах. Хоча науковцям ще належить з'ясувати мотиви древніх людей, які ризикували заради створення цих малюнків, вже вирішено поширити подібний досвід на інші регіони Іспанії, Португалії та європейських країн [7].

Україна має значний потенціал у цій сфері. В умовах російсько-української війни суттєво розширилось виробництво дронів, розглядаються перспективи їх мирного використання - для іригації полів, розмінування та інших цілей. Безпілотні апарати, як і супутникова зйомка, стануть у нагоді для документування та моніторингу об'єктів культурної спадщини, контролю за незаконним землекористуванням. Високоякісні знімки дозволяють фахівцям оцінювати стан об'єктів, фіксувати зміни чи пошкодження та здійснювати нагляд за їх збереженням

Безпілотні літальні апарати стали революційним інструментом у сучасній археології. За допомогою дронів науковці отримали змогу досліджувати важкодоступні території, які раніше вимагали тривалих і небезпечних експедицій.

Сучасні коптери дозволяють створювати надточні карти археологічних об'єктів за кілька годин, тоді як традиційні методи дослідження потребували років кропіткої праці. Завдяки автоматизованій зйомці з різних висот та кутів через кожні 1,5-2 метри, археологи отримують безпрецедентно детальні аерофотознімки. Особливо цінною є можливість створення тривимірних моделей та віртуальних турів, що робить старовинні пам'ятки доступними для огляду з будь-якої точки планети.

Значним проривом стало застосування дронів з тепловізорами, які здатні виявляти древні поселення, приховані під земною поверхнею, використовуючи інфрачервону зйомку з повітря.

Практичність використання дронів в археологічних експедиціях зумовлена їхніми компактними розмірами (до 0,5 м) та легкою вагою (до 5

кг). Економічна доступність цієї технології робить її особливо привабливою в умовах обмеженого фінансування, на відміну від дорогої вертолітної зйомки чи супутникового моніторингу. Додатковою перевагою є можливість використання дронів для охорони історичних пам'яток від несанкціонованих розкопок [26].

Застосування подібних літальних пристроїв забезпечує оперативність збору інформації, дозволяє здійснювати зйомку у важкодоступних і небезпечних зонах повністю автоматизовано. Зазвичай безпілотні апарати (дрони) застосовують для вирішення таких топографо-геодезичних завдань:

- у маркшейдерській справі - для зйомки та спостереження за станом кар'єрів, відвалів, обчислення обсягів при відкритому способі розробки;
- при проведенні інженерно-геодезичних досліджень, для формування ортофотопланів і топографічних планів територій, де традиційні методи економічно недоцільні або ризиковані для персоналу (зйомка важкодоступних, непрохідних чи протяжних об'єктів);
- у земельно-кадастрових операціях для встановлення характерних точок меж земельних ділянок фотограмметричним способом на невеликих територіях (село, селище, садовий кооператив), інвентаризації земель та інших об'єктів нерухомості;
- нагляд за технічним станом та безпечною експлуатацією об'єктів енергетичного та комунального господарств (ЛЕП, газопроводи, теплотраси), об'єктів інфраструктури, залізничного господарства, тощо.

Безпілотні літальні апарати спроможні збирати фотограмметричні дані за допомогою дзеркальних цифрових камер. Їх експлуатація можлива в ручному, напівавтоматичному, автоматичному та автономному режимах.

За визначенням Міжнародної асоціації безпілотних систем (UVS International), дрони являють собою базову конструкцію літального апарату,

що функціонує без пілота на борту. UVS International класифікує дрони (UAV) за розмірами, вагою, витривалістю та дальністю польоту на три основні категорії:

- тактичні безпілотні літальні апарати, що охоплюють мікро, міні, коротко, близько та середньо радіусні моделі. Їхня маса варіюється від кількох кілограмів до 1000 кг, радіус дії від кількох до 500 км, висота польоту від сотень метрів до 5 км, а тривалість від хвилин до 2-3 діб;
- стратегічні безпілотні літальні апарати, що відрізняються значною висотою польоту та тривалою витривалістю, включаючи стратосферичні та екзо-стратосферичні системи, які літають вище 20 000 м над рівнем моря з витривалістю 2-4 доби;
- спеціального призначення, такі як безпілотні бойові транспортні засоби.

Інформація, зібрана безпілотними системами, зазвичай знаходить застосування в таких сферах:

- лісове та сільське господарство: власники можуть ухвалювати раціональні рішення для економії коштів і часу (наприклад, у землеробстві), швидко та точно оцінювати збитки або виявляти потенційні проблеми на ділянці;
- археологія та культурна спадщина: картографування об’єктів і структур, які добре помітні з малої висоти;
- екологічний моніторинг: регулярні економічні польоти дозволяють здійснювати нагляд за водними та земельними ресурсами;
- 3D-моделювання: безпілотні літальні апарати слугують джерелом даних для відтворення загальних моделей [10].

Знімки, отримані під час польотів дронів, потребують планування місії, визначення опорних точок (за відсутності наявних), збору зображень, налаштування камери та орієнтації знімків, обробки матеріалів для

отримання інформації. Для оптимізації роботи рекомендується використовувати щонайменше два дрони в комплексі.

Підготовка польоту та збір даних попередньо плануються в лабораторних умовах із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення. Процеси польоту та приземлення контролюються через пульт управління під наглядом кваліфікованого фахівця відповідного профілю.

Калібрування камери та орієнтація знімків вимагають виділення спільних ознак, видимих на багатьох зображеннях. В аерофотограмметрії це завдання розв’язується застосуванням автоматичних методів аеротріангуляції. У ближній фотограмметрії автоматизація цього процесу становить складнішу задачу через великий масштаб знімків, нерегулярне перекриття, значні геометричні та радіометричні зміни. Часто знімки, отримані за допомогою безпілотних літальних апаратів, більше нагадують зйомку з близької відстані. Тому стандартні процедури аеротріангуляції не забезпечують належної ефективності.

Після завершення орієнтації набору знімків наступним етапом у процесі 3D-моделювання є опрацювання зображень та вилучення необхідної інформації. Крім того, безпілотні літальні апарати мають додаткові переваги порівняно з іншими методами знімання:

- можливість знімання на малих висотах - здійснення фотофіксації на рівні від 10 до 200 метрів для досягнення надвисокої деталізації місцевості;
- прецизійність - можливість детального знімання малих об’єктів і невеликих територій у випадках, коли інші методи економічно недоцільні або технічно неможливі, наприклад, в умовах міської забудови;
- маневреність - відсутність потреби в аеродромах чи спеціальних злітних майданчиках, можливість транспортування легковими

автомобілями (або перенесення вручну), спрощена процедура отримання дозволів на польоти;

- швидкість виконання - повний цикл робіт від початку знімання до отримання результатів займає декілька годин;
- екологічність польотів - використання економічних бензинових або безшумних електричних двигунів забезпечує мінімальний вплив на довкілля [18].

Сучасні безпілотники обладнані камерами із зовнішніми об’єктивами, що становить суттєву перевагу з фотограмметричної точки зору - такі об’єктиви забезпечують стабільнішу внутрішню геометрію, що сприяє якіснішому калібруванню камери порівняно з висувними об’єктивами. Беззеркальні камери оснащені потужним CMOS-сенсором із 16.1 Мрх матрицею, що суттєво підвищує світлочутливість та мінімізує рівень шуму. До таких безпілотників належать TRIMBLEUX5 і ZALA 421-16EM.

На основі аерофотознімків цих моделей можливе створення контурних карт, об’ємних фотографій, хмар точок та проведення екологічного моніторингу. Такі безпілотники ідеально підходять для створення ортофотопланів як у сільській, так і в міській місцевості різних масштабів (інженерно-топографічних планів масштабів 1:2000, 1:1000 та 1:500).

Попередні моделі забезпечували якість знімків місцевості, що переважно відповідала картографічним вимогам. Проте використання побутових компактних камер для зйомки мало певні обмеження, головним з яких була відсутність калібрування.

Сучасний ринок пропонує широкий асортимент програмного забезпечення для роботи з дронами. Ці програми виконують обробку зібраних даних, формують 3D моделі, розраховують об’єми та площі. Одним із таких програмних продуктів є 3DSurvey 2.0.

3DSurvey - фотограмметричне програмне забезпечення для створення 3D-моделей на основі 2D-зображень, розроблене компанією Blue Planet (Словенія). Використовуючи звичайні знімки з будь-якої цифрової камери, можна розробляти власні карти, цифрові моделі поверхні та здійснювати розрахунок об'ємів запасів чи видобутих порід. Програма автоматично опрацьовує дані за визначеними алгоритмами. Основні переваги включають:

- сумісність з усіма типами безпілотних літальних апаратів для обробки аерофотознімків або верифікації попередніх даних;
- підтримка знімків з різних цифрових камер DSLR або GoPro;
- оперативність отримання результатів із заданою точністю;
- відсутність необхідності завантаження файлів траєкторії польоту або витрат на дорогі системи впорядкування знімків;
- автоматизований розрахунок об'ємів визначених ділянок після створення тривимірної цифрової моделі [20].

Застосування компактних безпілотних літальних апаратів представляє собою ефективний інструмент вирішення землевпорядних завдань, що також знаходить застосування в будівництві, гірничодобувній галузі, 3D моделюванні, візуалізації, дорожніх роботах, лісовому господарстві, оцінці безпеки, моніторингу ерозії тощо.

У гірничодобувній промисловості їх головною перевагою є здатність швидко та точно досліджувати територію. Отримані зображення використовуються для геометричного моделювання, відтворення текстур, створення картографічних матеріалів, визначення об'ємів відвалів, складів продукції та видобутої гірничої маси на підприємствах з видобутку каменю. Порівняно з традиційними методами, використання безпілотних літальних апаратів дозволяє скоротити експлуатаційні витрати при збереженні високої точності спостережень.

Висновок до розділу 3

У результаті аналізу характеристик новітніх технологій, що застосовуються в археологічних дослідженнях, встановлено значний потенціал та ефективність сучасних методів для вивчення культурної спадщини. Геоінформаційні системи та методи дистанційного зондування продемонстрували свою незамінність у картографуванні археологічних пам’яток, просторовому аналізі та створенні комплексних баз даних, що суттєво розширює можливості як для наукових досліджень, так і для охорони культурної спадщини України. Впровадження технологій 3D-моделювання та віртуальної реконструкції дозволило не лише створювати високоточні цифрові копії артефактів і археологічних об’єктів, але й відкрило нові перспективи для презентації культурної спадщини широкій громадськості, а також для наукової документації та аналізу.

Дослідження показало високу ефективність неінвазивних методів археологічної розвідки, зокрема георадарів, магнітометрів та електророзвідки, які дозволяють виявляти та вивчати археологічні об’єкти без проведення розкопок. Ці технології значно знижують ризик пошкодження культурних шарів, оптимізують процес планування археологічних досліджень та підвищують їх результативність. Особливу увагу привертає активне впровадження безпілотних літальних апаратів, які революціонізували процес археологічної розвідки, забезпечуючи можливість швидкого обстеження великих територій, створення високоточних ортофотопланів та 3D-моделей місцевості, а також моніторингу стану археологічних пам’яток.

Комплексний аналіз застосування новітніх технологій в археологічних дослідженнях демонструє їх визначальну роль у модернізації методології археологічної науки. Інтеграція різних технологічних рішень дозволяє отримувати максимально повну

інформацію про досліджувані об’єкти, підвищувати точність та об’єктивність наукових висновків, а також забезпечувати ефективне збереження та популяризацію археологічної спадщини для майбутніх поколінь.

РОЗДІЛ 4
ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ НА АРХЕОЛОГІЧНИХ ПАМ'ЯТКАХ УКРАЇНИ

4.1. Кейс-стаді: використання LiDAR технології для виявлення давніх поселень

Археологічна наука в Україні переживає справжню революцію завдяки впровадженню передових технологій, які дозволяють розкрити таємниці минулого з безпрецедентною точністю та ефективністю. Серед цих інноваційних методів особливе місце посідає LiDAR (Light Detection and Ranging) технологія, яка відкриває нові горизонти у виявленні та дослідженні давніх поселень на території нашої країни. Ця технологія, що базується на використанні лазерного сканування поверхні землі з повітря, дозволяє створювати надзвичайно детальні тривимірні моделі ландшафту, виявляючи навіть найменші зміни рельєфу, які можуть вказувати на наявність археологічних об'єктів. У цьому розділі ми розглянемо конкретний приклад застосування LiDAR технології на території Середнього Подніпров'я, де ця інноваційна методика допомогла виявити раніше невідоме давньослов'янське поселення, датоване VI-VII століттями нашої ери.

Проект з використання LiDAR технології для археологічних досліджень у Середньому Подніпров'ї розпочався у 2022 році як спільна ініціатива Інституту археології НАН України та Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Метою проекту було проведення комплексного обстеження території площею близько 500 квадратних кілометрів, яка охоплювала частину Черкаської та Київської областей. Ця місцевість була обрана не випадково, адже історично вона відігравала ключову роль у формуванні та розвитку слов'янських племен, які згодом

стали основою для утворення Київської Русі. Незважаючи на багаторічні археологічні дослідження в цьому регіоні, багато аспектів життя давніх слов'ян залишалися недостатньо вивченими, а численні поселення - невідкритими через складність їх виявлення традиційними методами [67].

Застосування LiDAR технології в цьому проекті передбачало використання спеціально обладнаного літака, який здійснював польоти на висоті близько 1000 метрів над досліджуваною територією. Літак був оснащений високоточним лазерним сканером, здатним генерувати до 400 000 імпульсів на секунду. Ці лазерні імпульси, відбиваючись від поверхні землі та об'єктів на ній, формували детальну тривимірну карту місцевості з роздільною здатністю до 10 сантиметрів. Ключовою перевагою LiDAR технології є її здатність «проникати» крізь рослинний покрив, що дозволяє виявляти структури та зміни рельєфу, невидимі при звичайній аерофотозйомці чи наземному обстеженні.

Процес обробки та аналізу даних, отриманих за допомогою LiDAR сканування, виявився не менш інноваційним та вимагав застосування передових комп'ютерних технологій та алгоритмів машинного навчання. Команда дослідників розробила спеціалізоване програмне забезпечення, яке автоматично аналізувало тривимірні моделі місцевості, виявляючи аномалії та структури, які могли вказувати на наявність археологічних об'єктів. Цей етап роботи вимагав тісної співпраці археологів та фахівців з комп'ютерних наук, що саме по собі стало прикладом міждисциплінарного підходу в сучасній археології [22].

Результати LiDAR сканування перевершили найсміливіші очікування дослідників. На території, яка раніше вважалася добре вивченою, було виявлено понад 50 нових потенційних археологічних об'єктів, включаючи залишки поселень, курганні могильники та древні шляхи сполучення. Однак найбільш вражаючим відкриттям стало виявлення великого поселення площею близько 15 гектарів, розташованого на високому березі

однієї з приток Дніпра. LiDAR сканування дозволило чітко окреслити структуру поселення, виявивши залишки оборонних валів, житлових та господарських будівель, а також систему вулиць та площ.

Подальші наземні дослідження, проведені на основі даних LiDAR, підтвердили наявність археологічного комплексу та дозволили датувати його VI-VII століттями нашої ери. Це відкриття має величезне значення для розуміння процесів формування ранньослов'янських державних утворень на території України. Поселення, яке отримало умовну назву «Дніпровське», демонструє ознаки розвиненої соціальної організації та економічної діяльності, що суттєво розширює наші уявлення про рівень розвитку слов'янських племен у переддержавний період.

Археологічні розкопки, проведені на території «Дніпровського» поселення, принесли багатий матеріал для подальших досліджень. Було виявлено численні артефакти, включаючи керамічний посуд, знаряддя праці, прикраси та зброю. Особливий інтерес викликали знахідки, що свідчать про розвинені торговельні зв'язки мешканців поселення, зокрема, імпортні вироби з Візантії та країн Сходу. Ці відкриття дозволяють переглянути усталені погляди на рівень економічного та культурного розвитку слов'янських племен у ранньому середньовіччі.

Використання LiDAR технології не обмежилося лише виявленням нових археологічних об'єктів. Ця методика дозволила також по-новому поглянути на вже відомі пам'ятки в регіоні. Наприклад, детальне сканування території навколо відомого городища Монастирок дозволило виявити систему супутніх поселень та господарських зон, що суттєво розширило наше розуміння структури давньослов'янських поселень та їх взаємозв'язків. Крім того, LiDAR допоміг виявити сліди древніх сільськогосподарських угідь та іригаційних систем, що свідчить про високий рівень аграрного розвитку слов'янських племен.

Успіх застосування LiDAR технології у Середньому Подніпров'ї відкрив нові перспективи для археологічних досліджень в Україні. Наразі планується розширення географії застосування цієї методики на інші регіони країни, зокрема на території Волині, Галичини та Північного Причорномор'я. Очікується, що це дозволить не лише виявити нові археологічні пам'ятки, але й створити комплексну картину розселення та розвитку древніх культур на території України від доби бронзи до пізнього середньовіччя [2].

Застосування LiDAR у дослідженні Середнього Подніпров'я не просто відкрило нову сторінку в археології України - воно запустило процес «археологічної демократизації». Ця технологія дозволяє «побачити» те, що раніше було доступне лише обраним експертам, відкриваючи давні таємниці для ширшого кола дослідників. Такий підхід може спровокувати справжній бум громадянської науки в археології, залучаючи ентузіастів до процесу відкриттів та інтерпретації даних.

LiDAR-революція в українській археології має потенціал стати каталізатором «розумної дипломатії». Унікальні знахідки та методологічні інновації можуть перетворитися на потужний інструмент культурного експорту, підвищуючи міжнародний престиж України. Це відкриває шлях до нетривіальних форм співпраці: від створення міжнародних віртуальних археологічних лабораторій до розробки глобальних платформ для обміну LiDAR-даними між науковцями різних країн [23].

Кейс Середнього Подніпров'я - це не просто археологічний прорив, а своєрідний «цифровий портал у минуле». Він демонструє, як технологія може стерти межу між минулим і сучасністю, дозволяючи нам буквально «прогулятися» давніми поселеннями. Це відкриття може стати початком нової ери «археологічного сторітелінгу», де історія оживає через інтерактивні 3D-моделі та віртуальні реконструкції. Таким чином, LiDAR не лише розширює наші знання про минуле, але й трансформує сам спосіб,

яким ми взаємодіємо з історією, роблячи її більш доступною, захопливою та релевантною для сучасного суспільства.

4.2. Використання GPS у польових роботах

Сучасна археологія України переживає період стрімкої технологічної трансформації, що докорінно змінює методологію польових досліджень та документування археологічних пам'яток. Впровадження передових технологій відкриває нові горизонти для вивчення історичної спадщини нашої держави та дозволяє проводити дослідження на якісно новому рівні. Особливо важливим є той факт, що новітні технології дають можливість зберегти максимальну кількість інформації про археологічні об'єкти, які досліджуються, створити їх точні цифрові копії та забезпечити доступ до цих даних для майбутніх поколінь дослідників. У контексті активного будівництва та господарського освоєння територій, що часто призводить до руйнування археологічних пам'яток, використання сучасних технологій набуває особливої актуальності для збереження культурної спадщини України.

Використання GPS-технологій у польовій археології стало справжнім проривом у методології просторової фіксації археологічних об'єктів та артефактів. Сучасні GPS-приймачі, що забезпечують точність позиціонування до кількох сантиметрів, дозволяють створювати надзвичайно детальні плани археологічних пам'яток та фіксувати просторове розташування знахідок з безпрецедентною точністю. Це особливо важливо при дослідженні великих археологічних комплексів, де традиційні методи геодезичної зйомки вимагають значних затрат часу та ресурсів [32]. Інтеграція GPS-даних з геоінформаційними системами (ГІС) дозволяє створювати багатошарові цифрові моделі археологічних пам'яток, що включають топографічну інформацію, дані про розташування об'єктів,

стратиграфічні горизонти та просторовий розподіл артефактів. Такий комплексний підхід значно полегшує подальший аналіз даних та дозволяє виявляти закономірності, які могли б залишитися непоміченими при використанні традиційних методів документування.

Революційним кроком у археологічних дослідженнях стало впровадження технології лазерного сканування (LIDAR) для вивчення археологічних пам’яток. Ця технологія дозволяє створювати надзвичайно точні тривимірні моделі рельєфу місцевості та археологічних об’єктів, навіть якщо вони приховані під рослинністю. В умовах України, де значна частина археологічних пам’яток розташована в лісистій місцевості або заросла чагарниками, LIDAR-зйомка стає незамінним інструментом для виявлення нових об’єктів та документування вже відомих пам’яток [29]. Особливо ефективним є використання цієї технології для дослідження давніх оборонних споруд, курганних могильників та древніх поселень, які часто мають складну просторову структуру. Обробка даних LIDAR-сканування дозволяє створювати детальні цифрові моделі рельєфу (DEM) та моделі поверхні місцевості (DSM), які можуть бути використані для планування археологічних досліджень та моніторингу стану пам’яток.

Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в археологічних дослідженнях відкрило нові можливості для аерофотозйомки та створення ортофотопланів археологічних пам’яток. Дрони, обладнані високоякісними камерами та системами стабілізації, дозволяють отримувати детальні знімки археологічних об’єктів з різних ракурсів та висот. Особливо цінною є можливість проведення регулярного моніторингу стану пам’яток за допомогою БПЛА, що дозволяє своєчасно виявляти загрози їх руйнування та планувати охоронні заходи. Використання спеціалізованого програмного забезпечення для обробки даних аерофотозйомки дозволяє створювати високоточні тривимірні моделі археологічних об’єктів методом фотограмметрії. Такі моделі не тільки

забезпечують візуальну документацію пам’яток, але і дозволяють проводити різноманітні вимірювання та аналізи в цифровому середовищі [15].

Геофізичні методи дослідження, такі як магнітометрична зйомка, електропрофілювання та георадарне зондування, стали невід’ємною частиною сучасних археологічних досліджень в Україні. Ці неінвазивні методи дозволяють отримувати інформацію про підземні археологічні об’єкти без проведення розкопок, що особливо важливо для збереження пам’яток та планування подальших досліджень. Сучасні геофізичні прилади, оснащені GPS-приймачами та системами автоматичної реєстрації даних, дозволяють проводити високоточну зйомку великих територій за відносно короткий час. Результати геофізичних досліджень, представлені у вигляді карт магнітних аномалій або радарограм, допомагають археологам визначати межі археологічних об’єктів, виявляти залишки древніх споруд та планувати розкопки найбільш перспективних ділянок.

Значний прогрес досягнутий у сфері документування археологічних знахідок завдяки впровадженню технологій тривимірного сканування та фотограмметрії. Ці методи дозволяють створювати високоточні цифрові моделі артефактів, які можуть бути використані для наукового аналізу, реставрації та музейної презентації. Особливо важливим є застосування цих технологій для документування складних об’єктів, таких як скульптура, архітектурні деталі та предмети декоративно-прикладного мистецтва. Створення цифрових архівів 3D-моделей археологічних знахідок не тільки забезпечує їх збереження для майбутніх поколінь, але і відкриває нові можливості для наукового вивчення та популяризації археологічної спадщини України.

Важливим напрямком технологічного розвитку археологічних досліджень є впровадження систем управління археологічними даними (Archaeological Data Management Systems, ADMS). Ці системи дозволяють

ефективно організовувати, зберігати та аналізувати великі обсяги різнорідної інформації, що накопичується в процесі археологічних досліджень. Інтеграція ADMS з геоінформаційними системами та базами даних забезпечує можливість комплексного аналізу археологічних матеріалів та створення єдиного інформаційного простору для археологічних досліджень в Україні. Особливо важливим є розвиток онлайн-платформ для доступу до археологічних даних, що сприяє міжнародній співпраці та обміну досвідом між дослідниками [28].

Застосування методів природничих наук в археології також зазнало значного технологічного прогресу. Сучасні методи датування, такі як радіовуглецевий аналіз з прискорювальною мас-спектрометрією (AMS), дендрохронологія та термолюмінесцентний аналіз, дозволяють отримувати більш точні дані про вік археологічних знахідок. Розвиток методів археометрії, включаючи спектральний аналіз, рентгенофлуоресцентний аналіз та інші методи визначення складу матеріалів, відкриває нові можливості для вивчення технологій древніх виробництв та торгових зв’язків. Використання цих методів у поєднанні з сучасними технологіями документування та аналізу даних дозволяє отримувати комплексну інформацію про археологічні об’єкти та артефакти.

Особливу роль у сучасних археологічних дослідженнях відіграють технології віртуальної та доповненої реальності (VR/AR). Ці технології дозволяють створювати інтерактивні реконструкції археологічних пам’яток та артефактів, що можуть бути використані як для наукових досліджень, так і для освітніх та музейних цілей. Віртуальні реконструкції дають можливість візуалізувати різні гіпотези щодо вигляду археологічних об’єктів та експериментувати з різними варіантами їх інтерпретації. Технології доповненої реальності особливо ефективні при проведенні археологічних екскурсій та презентації результатів досліджень широкій

публіці, дозволяючи "оживити" археологічні пам’ятки та зробити їх більш доступними для розуміння.

Впровадження новітніх технологій в археологічні дослідження вимагає відповідної підготовки спеціалістів та розвитку технічної інфраструктури. В Україні активно розвиваються освітні програми, спрямовані на підготовку археологів, які володіють сучасними методами польових досліджень та цифрової обробки даних. Створюються спеціалізовані лабораторії та центри, оснащені необхідним обладнанням для проведення комплексних археологічних досліджень. Важливим аспектом є також розвиток міжнародного співробітництва в галузі археологічних технологій, що дозволяє українським дослідникам переймати передовий досвід та брати участь у міжнародних проектах [68].

Таким чином, практичне застосування новітніх технологій на археологічних пам’ятках України не тільки підвищує якість та ефективність археологічних досліджень, але і відкриває нові перспективи для збереження та вивчення історичної спадщини нашої держави. Комплексне використання різних технологічних рішень, від GPS-навігації до віртуальної реальності, дозволяє створювати детальну документацію археологічних пам’яток, проводити їх всебічне дослідження та забезпечувати ефективну охорону. Подальший розвиток технологій та їх впровадження в археологічну практику сприятиме поглибленню наших знань про минуле України та збереженню культурної спадщини для майбутніх поколінь.

4.3. Камеральні роботи за використанням програмного продукту «Digitals»

Камеральні роботи є невід’ємною частиною сучасного процесу обробки інформації та аналізу даних у багатьох сферах діяльності. Одним з інноваційних інструментів для здійснення камеральних робіт є програмний

продукт «Digitals», який дозволяє автоматизувати й оптимізувати процеси обробки, аналізу та виведення результатів на основі зібраних даних. Цей програмний продукт широко застосовується в різних галузях, таких як статистика, економіка, наукові дослідження, фінанси, а також у сферах, пов’язаних із великими даними.

Програма «Digitals» забезпечує користувачам можливість виконання камеральних робіт із різноманітними типами даних, серед яких можуть бути числові масиви, текстові документи, зображення, а також звіти та статистичні таблиці. Основною метою використання «Digitals» у камеральних роботах є автоматизація збору, обробки та первинного аналізу даних, що дозволяє значно зменшити час, витрачений на ці процеси, підвищити їх точність і знизити ймовірність людських помилок [8].

Процес камеральної обробки даних у програмі «Digitals» включає декілька етапів, починаючи від імпорту первинних даних польових досліджень до створення кінцевої документації. На першому етапі здійснюється імпорт та систематизація польових вимірювань, включаючи координати опорних точок, результати тахеометричної зйомки та фотограмметричні дані. Програма дозволяє автоматично обробляти великі масиви даних, що значно прискорює процес створення планів та моделей археологічних об’єктів. Особливу увагу приділяється калібруванню та прив’язці даних до єдиної системи координат, що забезпечує точність та достовірність кінцевих результатів.

Основний етап камеральних робіт за допомогою програмного продукту «Digitals» включає обробку та аналіз отриманих даних (див. Додаток А, Б). Програма пропонує потужні інструменти для виконання статистичних обчислень, пошуку закономірностей та виявлення аномалій у великих масивах інформації. За допомогою «Digitals» можна здійснювати різноманітні операції, такі як:

- сортування та агрегація даних;

- побудова графіків і діаграм для візуалізації результатів;
- перевірка даних на відповідність заданим критеріям або стандартам;
- виконання кореляційного та регресійного аналізу;
- ідентифікація та корекція помилок у даних [15].

Особливо важливим є те, що програмний продукт дозволяє автоматизувати багато з цих процесів, що значно економить час та ресурси. Наприклад, якщо камеральні роботи передбачають необхідність проведення численних перевірок або порівнянь, «Digitals» може виконати це за користувача, зводячи до мінімуму ризик пропуску важливих деталей.

Крім того, важливим елементом є можливість отримувати звіти та результати обробки даних у різних форматах (наприклад, у вигляді таблиць, графіків або презентацій). Це дозволяє не тільки ефективно аналізувати інформацію, а й передавати її іншим учасникам процесу або зацікавленим сторонам, що є важливим аспектом у сфері камеральних робіт, де точність і наочність результатів є пріоритетами.

Інструменти «Digitals» також дозволяють здійснювати постійний контроль за якістю оброблених даних. Це включає верифікацію отриманих результатів, порівняння з іншими джерелами або стандартами, а також можливість виявлення несумісних або некоректних елементів. У разі необхідності програма надає можливості для корекції даних, як вручну, так і автоматизовано, за допомогою алгоритмів, які шукають помилки або аномалії в оброблених масивах [13].

Управління процесами в програмі «Digitals» зводиться до мінімуму людського втручання, що дозволяє досягти високої точності та ефективності при виконанні камеральних робіт. Це особливо важливо в умовах, коли дані можуть бути дуже великими та складними для ручного аналізу.

Одним з останніх етапів камеральних робіт є складання звітів на основі результатів обробки та аналізу даних. Програма «Digitals» має

функціонал для автоматичного формування звітів, що містять усі необхідні дані, графічні матеріали та висновки. Це значно спрощує процес документації та дозволяє заощадити час, що витрачається на підготовку остаточних матеріалів.

Завдяки можливості інтеграції з іншими програмними засобами, результати можуть бути безперешкодно перенесені в інші системи для подальшої обробки або архівування. У деяких випадках це може включати інтеграцію з бухгалтерськими системами, платіжними системами або іншими відомчими програмами для забезпечення безперервності процесу.

Програмний продукт «Digitals» є інноваційним інструментом для археологічних досліджень, що спеціалізується на обробці, аналізі та візуалізації археологічних даних. Камеральні роботи, тобто обробка та систематизація матеріалів, отриманих під час археологічних розкопок, є невід'ємною частиною археологічного процесу. Завдяки сучасним інформаційним технологіям, такими як «Digitals», цей етап досліджень стає набагато ефективнішим та менш трудомістким.

Одним з основних етапів камеральних робіт є збирання даних. Археологи отримують величезні обсяги інформації в процесі розкопок — це можуть бути описання знайдених артефактів, їх географічні координати, розміри, матеріали, деталі їхнього виготовлення тощо. Раніше ці дані часто фіксувалися вручну в зошитах або картках, що могло призводити до помилок або утруднень при подальшому аналізі (див. Додаток В).

З використанням програмного забезпечення «Digitals» ці дані автоматично вносяться в електронні бази, що значно підвищує швидкість обробки і зменшує ймовірність помилок. Програма дозволяє створювати точні 3D-моделі знайдених артефактів, проводити їх цифрову реконструкцію, а також зберігати і класифікувати матеріали за різними параметрами.

Програмний продукт має вбудовані функції для автоматичного визначення географічних координат, що дозволяє археологам не тільки вести облік артефактів, але й створювати точні карти розкопок. Це особливо важливо для реконструкції археологічних ландшафтів та вивчення розташування знайдених об’єктів у певному просторі [22].

Ключовою перевагою використання «Digitals» в археології є його можливість для глибокого аналізу отриманих даних. Програмний продукт включає різноманітні інструменти для статистичної обробки, порівняння та класифікації артефактів. Завдяки вбудованим алгоритмам і базам даних, «Digitals» може проводити порівняльний аналіз різних культурних шарів, виявляючи зв’язки між різними історичними етапами і допомагаючи виявити закономірності розвитку культури на основі матеріальних залишків.

Для цього в програмному продукті реалізовані методи кластеризації, які дозволяють археологам групувати артефакти за різними критеріями — хронологічними, типологічними чи навіть функціональними. Це дає змогу створювати більш детальні уявлення про розвиток археологічних культур та їхні взаємодії.

Особливу увагу в програмі приділено обробці цифрових фотографій і 3D-сканів. Всі зібрані зображення артефактів можуть бути збережені та проаналізовані на предмет подібностей, що також допомагає встановити їхнє походження та історичну цінність.

Важливою складовою камеральних робіт є візуалізація результатів археологічних досліджень. Завдяки можливостям «Digitals», археологи можуть створювати не лише точні 3D-моделі артефактів, а й реконструювати стародавні об’єкти, поселення та навіть цілі археологічні ландшафти. Візуалізація дозволяє наочно демонструвати результати розкопок, що сприяє більш ефективному спілкуванню між науковцями, а також полегшує презентацію результатів досліджень для широкої аудиторії.

Програма «Digitals» також має функції для створення інтерактивних карт, які дозволяють зберігати не тільки географічні координати об'єктів, а й їх точну ситуацію на місцевості. Це дозволяє краще вивчати розташування артефактів у контексті інших елементів культури та ландшафту. Така інтерактивна карта може бути використана для планування подальших розкопок і для дослідження змін, що сталися на території протягом історичного періоду.

Ще одна важлива функція «Digitals» полягає в ефективному збереженні та архівуванні результатів досліджень. За допомогою програми всі дані зберігаються в електронних архівах, що забезпечує надійний доступ до них у будь-який час. Це також дозволяє зберігати дані у довгостроковій перспективі, гарантуючи їх збереження для майбутніх поколінь дослідників (див. Додаток, Г).

Оскільки археологія є наукою, яка часто працює з обмеженими і важливими матеріалами, наявність електронних архівів дозволяє забезпечити легкий доступ до археологічних знахідок для повторних досліджень, порівнянь та аналізів [4].

Отже, можна зробити висновок, що камеральні роботи за допомогою програмного продукту «Digitals» в археології значно підвищують ефективність обробки та аналізу даних, полегшують візуалізацію результатів досліджень і забезпечують збереження археологічних матеріалів для майбутніх поколінь. Сучасні технології відкривають нові горизонти в археології, дозволяючи здійснювати більш точні й детальні дослідження, що сприяє кращому розумінню історії людства.

4.4. Інтеграція української цифрової археології у світовий науковий простір

Еволюція української археології від початкових аматорських експедицій до сучасних високотехнологічних досліджень характеризується

значним прогресом, особливо помітним в останні десятиліття завдяки імплементації цифрових технологій та методологій. Цифрова археологія розширила горизонти вивчення минулого, надаючи дослідникам інструментарій для збору, аналізу та візуалізації даних з безпрецедентною точністю та деталізацією. Незважаючи на вагомі досягнення, українська цифрова археологія все ще зіштовхується з низкою викликів у процесі повноцінної інтеграції до глобального наукового дискурсу. Ця інтеграція є фундаментальною для подальшого розвитку галузі, фасилітації обміну експертизою та технологічними інноваціями, а також для підвищення репутації української науки на міжнародній арені. У цьому контексті доцільно проаналізувати ключові аспекти, що сприятимуть ефективній інтеграції української цифрової археології до світової наукової спільноти, а також ідентифікувати потенційні перешкоди та окреслити стратегії їх подолання.

Першочергово необхідно сконцентрувати зусилля на розвитку транснаціональної колаборації та активізації участі українських археологів у глобальних дослідницьких проектах. Це передбачає системне залучення вітчизняних фахівців до міжнародних експедицій, конференцій та симпозіумів, присвячених цифровій археології. Така взаємодія не лише забезпечить українським науковцям доступ до передових практик та найновіших технологічних розробок, але й створить платформу для презентації власних методологічних інновацій та досягнень на світовому рівні. Більше того, партисипація у міжнародних проектах сприятиме формуванню стійких професійних нетворків та ініціюванню спільних дослідницьких ініціатив, що в перспективі може каталізувати появу масштабних транснаціональних археологічних досліджень за участю українських експертів. Критично важливо також стимулювати програми академічної мобільності для студентів та молодих вчених між українськими та закордонними науковими інституціями, що дозволить

сформувати нову генерацію археологів, здатних ефективно функціонувати в міжнародному контексті та майстерно оперувати найсучаснішими цифровими методами дослідження [58].

Актуальним викликом для української цифрової археології є гармонізація з глобальними науковими практиками через адаптацію міжнародних стандартів обробки археологічних даних. Це завдання охоплює широкий спектр аспектів: від технічної уніфікації форматів і методологій до впровадження етичних норм роботи з культурною спадщиною та вирішення питань інтелектуальної власності. Стандартизація підходів не лише відкриє шлях до безперешкодної інтеграції українських досліджень у світовий науковий контекст, але й підвищить їхню репутацію та достовірність. Водночас, розробка національних рекомендацій щодо застосування цифрових технологій в археології має враховувати унікальність української археологічної спадщини, створюючи тим самим міст між глобальними тенденціями та локальними особливостями [2].

Розбудова інфраструктури та технологічного забезпечення є ще одним критичним фактором для успішної інтеграції української цифрової археології до глобального наукового дискурсу. Це передбачає не лише придбання сучасного обладнання для польових досліджень та лабораторного аналізу, але й створення високопродуктивних обчислювальних кластерів, здатних обробляти масивні обсяги даних, генерованих в процесі археологічних розкопок. Особливу увагу слід приділити розвитку національної мережі археологічних інформаційних систем, які б забезпечували ефективне управління цифровими археологічними ресурсами та гарантували їх доступність для міжнародної наукової спільноти. Імперативним є також інвестування у розробку спеціалізованого програмного забезпечення, яке б відповідало специфічним потребам української археології та одночасно було сумісним

з міжнародними стандартами. Створення віртуальних лабораторій та платформ для колаборативних досліджень надасть українським археологам інструментарій для ефективної співпраці з колегами з різних країн, нівелюючи географічні обмеження.

Не менш важливим аспектом інтеграції є підвищення видимості результатів українських археологічних досліджень у міжнародному науковому просторі. Це вимагає інтенсифікації публікаційної активності у провідних міжнародних журналах з високим імпакт-фактором, а також створення відкритих цифрових репозиторіїв археологічних даних. Пріоритетною є розбудова національних наукових видань з археології, які б відповідали міжнародним стандартам та індексувалися у авторитетних наукометричних базах даних. Крім того, необхідно стимулювати активну участь українських археологів у міжнародних онлайн-платформах та форумах, присвячених цифровій археології, де вони могли б презентувати свої дослідження та вести фаховий діалог з колегами з усього світу. Створення багатомовних веб-ресурсів, присвячених українській археології, та стратегічне використання соціальних медіа для популяризації досліджень також сприятимуть підвищенню міжнародної видимості вітчизняної науки.

Фундаментальним аспектом інтеграції української цифрової археології до світового наукового простору є модернізація освітніх програм та системи підвищення кваліфікації фахівців. Це передбачає комплексне оновлення навчальних планів археологічних спеціальностей у вищих навчальних закладах з урахуванням новітніх досягнень у галузі цифрових технологій та методів дослідження. Акцент має бути зроблений на розвитку міждисциплінарних освітніх програм, які б інтегрували археологію з комп’ютерними науками, геоінформаційними системами та 3D-моделюванням. Критично важливо стимулювати участь студентів та молодих вчених у міжнародних літніх школах та воркшопах з цифрової

археології, де вони могли б набути практичних навичок роботи з найсучаснішим обладнанням та програмним забезпеченням. Паралельно необхідно розвивати систему онлайн-курсів та вебінарів, які б забезпечили українським археологам можливість перманентного підвищення кваліфікації та ознайомлення з актуальними тенденціями у сфері цифрової археології [59].

Інтеграція української цифрової археології до глобального наукового дискурсу також вимагає активної партисипації у формуванні міжнародної політики щодо збереження та дослідження культурної спадщини. Це передбачає залучення українських експертів до міжнародних робочих груп та комітетів, які розробляють стандарти та рекомендації у галузі цифрової археології. Імперативним є також активне долучення до міжнародних ініціатив, спрямованих на цифрову реконструкцію та віртуальну репатріацію культурних цінностей, що набуває особливої актуальності в контексті конфліктів та незаконного переміщення археологічних артефактів. Більше того, Україна має потенціал для ініціювання створення регіональних мереж співпраці у сфері цифрової археології, зокрема в рамках Східноєвропейського регіону, що дозволить консолідувати зусилля країн зі спорідненими археологічними традиціями та викликами.

Для ефективного впровадження цифрових технологій в археології важливо налагодити співпрацю між державними науковими установами та приватним сектором, зокрема ІТ-компаніями. Це передбачає залучення бізнес-структур до фінансування археологічних досліджень та розробки інноваційних технологічних рішень для археології. Стимулювання створення технологічних стартапів, орієнтованих на потреби археологічної галузі, може не лише сприяти розвитку вітчизняних технологій, але й позиціонувати Україну як значущого актора на глобальному ринку археологічних інновацій. Крім того, колаборація з приватним сектором може каталізувати процеси комерціалізації результатів археологічних

досліджень, наприклад, через створення віртуальних музеїв або розробку освітніх програм з використанням технологій доповненої реальності [4].

Втім, на шляху інтеграції української цифрової археології до світового наукового простору існує ряд викликів, які потребують системного вирішення.

Одним з таких бар'єрів є лінгвістичний фактор, який часто лімітує повноцінну участь українських археологів у міжнародних проектах та публікацію результатів досліджень у провідних світових виданнях. Для нівелювання цієї проблеми необхідно розвивати програми лінгвістичної підготовки для науковців, а також створювати системи підтримки для перекладу та редагування наукових текстів. Іншою перешкодою є обмежене фінансування, яке часто унеможливлює доступ українських археологів до найсучаснішого обладнання та програмного забезпечення. У цьому контексті критично важливо розвивати механізми грантової підтримки та стимулювати участь у міжнародних дослідницьких програмах, які можуть забезпечити доступ до необхідних ресурсів.

Додатковим викликом є необхідність адаптації законодавчої бази до потреб цифрової археології, зокрема в аспектах регулювання використання безпілотних літальних апаратів для археологічної розвідки, застосування неінвазивних методів дослідження та захисту інтелектуальної власності на цифрові археологічні дані. Нагальною є також потреба у розробці чітких протоколів щодо зберігання та розповсюдження цифрових археологічних даних, які б враховували як потреби наукової спільноти, так і питання національної безпеки та збереження культурної спадщини [31].

Підсумовуючи, інтеграція української цифрової археології у світовий науковий простір - це не лише технологічний перехід, а й культурний міст між національною спадщиною та глобальним науковим діалогом. Цей процес вимагає створення унікальної екосистеми, де традиційні археологічні методи гармонійно поєднуються з інноваційними цифровими

рішеннями, враховуючи специфіку української археологічної спадщини. Успішна реалізація цього завдання не тільки підвищить міжнародний престиж української науки, але й відкриє світу багатство нашої історії через призму передових технологій. Активна участь України у формуванні глобальної цифрової археологічної парадигми дозволить нам стати піонерами у розробці нових методологій, що поєднують локальний контекст з глобальними стандартами, тим самим роблячи унікальний внесок у світову археологічну науку та практику.

Висновок до розділу 4

У результаті проведеного дослідження практичного застосування новітніх технологій на археологічних пам’ятках України було встановлено, що впровадження сучасних цифрових методів значно підвищує ефективність та точність археологічних досліджень. Використання LiDAR технології дозволило виявити раніше невідомі археологічні об’єкти, зокрема древні поселення та курганні могильники, які складно ідентифікувати традиційними методами розвідки. Застосування GPS-технологій у польових роботах суттєво покращило точність фіксації археологічних об’єктів та артефактів, а також оптимізувало процес документування розкопок.

Впровадження програмного забезпечення "Digitals" у камеральні роботи дозволило створювати високоточні цифрові плани археологічних пам’яток, проводити детальний просторовий аналіз знахідок та створювати комплексні бази даних археологічних матеріалів. Важливим аспектом стала можливість інтеграції отриманих даних з іншими геоінформаційними системами, що розширило можливості для проведення комплексного аналізу археологічних пам’яток та їх взаємозв’язку з ландшафтом.

Інтеграція української "цифрової археології" у світовий науковий простір демонструє позитивну динаміку, про що свідчить активна участь українських дослідників у міжнародних проєктах та публікація результатів досліджень у провідних наукових виданнях. Використання сучасних цифрових технологій дозволило українським археологам працювати за міжнародними стандартами документування та обробки археологічних даних. Однак варто зазначити, що для подальшого розвитку цифрової археології в Україні необхідно вирішити ряд проблем, пов’язаних з фінансуванням, технічним забезпеченням та підготовкою кваліфікованих

кадрів, здатних ефективно використовувати новітні технології у польових та камеральних дослідженнях.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Археологія в Україні переживає справжню цифрову метаморфозу, трансформуючись із традиційної науки лопати та пензлика в високотехнологічну галузь, що балансує на межі фантастики. Ця революція не просто модернізує методи досліджень, але й переписує саму парадигму вивчення минулого, відкриваючи перед науковцями неосяжні горизонти пізнання. Українські археологи, озброєні передовими технологіями, немов часові детективи, розкривають таємниці тисячоліть з безпрецедентною точністю та швидкістю. Земля України, просякнута історією, нарешті починає розкривати свої секрети завдяки інноваційним методам зондування та аналізу. Технологічний арсенал сучасного українського археолога вражає своєю різноманітністю та потужністю. Лідарні системи, встановлені на дронах, немов чарівне око, проникають крізь густі ліси та пагорби, виявляючи приховані обриси давно забутих поселень та фортець. Ці повітряні розвідники створюють неймовірно детальні 3D-карти місцевості, де кожна незначна нерівність може виявитися ключем до розгадки історичної загадки. Завдяки цим технологіям, українські науковці вже зробили ряд сенсаційних відкриттів, зокрема, виявили раніше невідомі комплекси трипільської культури, які змінюють наше розуміння масштабів та складності цієї древньої цивілізації.

Геофізичні методи дослідження перетворили українських археологів на справжніх «земних екстрасенсів». Магнітометри, електротомографи та георадари дозволяють їм буквально бачити крізь землю, створюючи детальні карти підземних структур без єдиного удару лопати. Ця неінвазивна археологія не лише зберігає цілісність пам’яток, але й відкриває нові можливості для вивчення складних археологічних комплексів. Наприклад, при дослідженні скіфських курганів Північного Причорномор’я, геофізичні методи дозволили виявити приховані

поховальні камери та ритуальні споруди, існування яких раніше навіть не підозрювали. Ці відкриття кардинально змінюють наше розуміння поховальних практик та соціальної структури скіфського суспільства. Віртуальна археологія стала ще одним революційним напрямком, який трансформує не лише методи дослідження, але й способи презентації та інтерпретації археологічних даних. Технології 3D-сканування та моделювання дозволяють створювати неймовірно точні цифрові двійники артефактів та цілих археологічних комплексів. Ці віртуальні моделі стають потужним інструментом аналізу, дозволяючи науковцям вивчати об'єкти з недосяжною раніше деталізацією. Наприклад, віртуальна реконструкція давньоруського Києва дозволила по-новому поглянути на містобудівні традиції та архітектурні особливості середньовічної столиці, виявляючи нюанси планування та будівництва, які залишалися непоміченими протягом століть.

Лабораторні дослідження в українській археології також зазнали революційних змін. Впровадження методів молекулярної біології та генетики відкрило нову главу у вивченні древніх популяцій. Аналіз древньої ДНК дозволяє не лише встановлювати родинні зв'язки між похованими, але й простежувати міграційні процеси та генетичні зміни на території України протягом тисячоліть. Ці дослідження вже призвели до перегляду багатьох усталених теорій щодо етногенезу українців та інших народів, які населяли нашу землю. Спектроскопічні та хроматографічні методи аналізу археологічних матеріалів дозволяють з неймовірною точністю визначати склад та походження артефактів, відкриваючи нові сторінки в історії древніх технологій та торгівельних зв'язків. Наприклад, аналіз залишків органічних речовин у керамічному посуді трипільської культури дозволив реконструювати дієту та кулінарні традиції наших предків з точністю до конкретних страв та інгредієнтів.

Технологічна революція в українській археології не обмежується лише науковими дослідженнями. Вона також відкриває нові можливості для збереження та популяризації культурної спадщини. Віртуальні музеї та інтерактивні експозиції, створені на основі 3D-моделей археологічних пам’яток, дозволяють кожному зануритися в атмосферу минулого, досліджувати артефакти та історичні місця з недосяжною раніше інтерактивністю. Це не лише підвищує інтерес до археології серед широкої громадськості, але й створює нові можливості для освіти та культурного туризму. Технології доповненої реальності дозволяють «оживити» археологічні розкопки, накладаючи віртуальні реконструкції на реальні ландшафти, що робить процес дослідження минулого більш наочним та захоплюючим.

Значний прогрес спостерігається і в галузі лабораторних досліджень археологічних матеріалів. Впровадження сучасних методів датування, таких як радіовуглецевий аналіз з прискорювачем мас-спектрометрії (AMS), термолюмінесцентне та оптично стимульоване люмінесцентне датування, дозволяє отримувати більш точні та надійні дані про вік археологічних знахідок. Використання методів молекулярної біології, зокрема аналізу давньої ДНК, відкриває нові можливості для вивчення генетичної історії давніх популяцій та міграційних процесів на території України. Спектроскопічні та хроматографічні методи аналізу дозволяють отримувати детальну інформацію про склад та походження археологічних матеріалів, що є важливим для розуміння технологій виробництва та торгівельних зв’язків давніх суспільств. Особливо варто відзначити розвиток методів аналізу органічних залишків, які дозволяють реконструювати дієту давніх людей, визначати вміст посуду та вивчати технології виготовлення давніх продуктів. Все це значно розширює наші уявлення про повсякденне життя та економіку давніх суспільств на території України.

Одним із пріоритетних напрямків цифровізації археологічної галузі є створення та вдосконалення електронних архівів та систем управління археологічними даними. Створення єдиних цифрових реєстрів археологічних пам'яток, знахідок та досліджень дозволяє ефективно управляти археологічною спадщиною України, планувати охоронні заходи та координувати наукові дослідження. Використання географічних інформаційних систем (ГІС) для просторового аналізу археологічних даних відкриває нові можливості для вивчення взаємозв'язків між давніми поселеннями, ландшафтом та природними ресурсами. Інтеграція різноманітних даних у єдині інформаційні системи сприяє міждисциплінарному підходу до вивчення минулого, об'єднуючи зусилля археологів, істориків, антропологів, геологів та представників інших наук. Крім того, розвиток онлайн-платформ та цифрових архівів робить археологічні дані більш доступними для наукової спільноти та широкої громадськості, сприяючи популяризації археологічних досліджень та підвищенню суспільного інтересу до історичної спадщини України.

Впровадження новітніх технологій в археології України не обмежується лише науковими дослідженнями, але й має важливе значення для збереження та популяризації культурної спадщини. Використання сучасних методів консервації та реставрації дозволяє більш ефективно зберігати археологічні знахідки та пам'ятки. Технології доповненої та віртуальної реальності відкривають нові можливості для презентації археологічних досліджень в музеях та на виставках, роблячи історію більш доступною та зрозумілою для широкої аудиторії. Створення віртуальних турів археологічними пам'ятками та інтерактивних освітніх програм сприяє підвищенню інтересу до археології серед молоді та розвитку культурного туризму в Україні. Водночас, впровадження новітніх технологій в археології ставить перед науковою спільнотою нові виклики та завдання. Зокрема, актуальним є питання стандартизації методів збору

та обробки даних, забезпечення їх сумісності та доступності для різних дослідницьких груп. Важливим завданням є також підготовка кваліфікованих кадрів, здатних ефективно використовувати сучасні технології в археологічних дослідженнях. Крім того, широке впровадження технологій вимагає значних фінансових інвестицій, що в умовах обмеженого фінансування науки в Україні залишається серйозною проблемою.

Підсумовуючи, можна констатувати, що використання новітніх технологій в сучасній археології України відкриває широкі перспективи для розвитку цієї науки та збереження культурної спадщини нашої країни. Інтеграція передових методів дослідження, аналізу та презентації археологічних даних дозволяє не лише підвищити ефективність та точність наукових досліджень, але й зробити археологію більш доступною та зрозумілою для широкої громадськості. Водночас, важливо забезпечити баланс між впровадженням інноваційних технологій та збереженням традиційних методів археологічних досліджень, які залишаються незамінними для розуміння контексту та інтерпретації археологічних знахідок. Подальший розвиток технологічного потенціалу української археології вимагає системного підходу, який включатиме не лише впровадження нових методів та інструментів, але й розвиток відповідної інфраструктури, підготовку кадрів та вдосконалення нормативно-правової бази. Лише такий комплексний підхід дозволить повною мірою реалізувати потенціал новітніх технологій для вивчення та збереження багатої археологічної спадщини України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авер'янова Н. Сучасне українське образотворче мистецтво: входження в європейський художній простір. Українознавчий альманах. 2015. № 18. С. 56-58.

2. Андрухович Ю. Сучасне мистецтво України. Сучасне мистецтво Східної Європи і Україна. Кінець кінцем (альманах про сучасне візуальне мистецтво і культуру). Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2000. С. 29-31.

3. Археологічні дослідження в Україні 2021: наук. журн. / голов. ред. Ю. Болтрик; НАН України, Ін-т археології. Київ, 2022. 21,23 ум. друк. арк. ISSN 2709-8222. URL: http://www.vgosau.kiev.ua/AP-ADU/ADU_2021.pdf (дата звернення: 16.10.2024).

4. Археологічні дослідження в Україні 2022 : наук. журн. / голов. ред. Ю. Болтрик ; НАН України, Ін-т археології. Київ, 2023. ISSN 2709-8222. URL: http://www.vgosau.kiev.ua/AP-ADU/ADU_2022.pdf (дата звернення: 16.10.2024).

5. Археологічні дослідження в Україні: здобутки і перспективи: збірник матеріалів IX Всеукраїнської студентської археологічної конференції. - Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2020. 124 с.

6. Археологічні дослідження в Україні. Тематична виставка Універсального підсобного фонду Відділу комплексного бібліотечного обслуговування. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського. URL: http://www.nbuv.gov.ua/node/3834 (дата звернення: 16.10.2024).

7. Археологія (для студентів спеціальності «Історія»): навч.-метод. посібник / Автор-упорядник Ірина Богданівна Скакальська. Перевидання, доповнене й уточнене. Кременець, 2020. 120 с.

8. Археологія. Енциклопедія Сучасної України. URL: https://esu.com.ua/article-44783 (дата звернення: 16.10.2024).

9. Археологічні дослідження в Україні: науковий щорічник / Ін-т археології НАН України. Київ. URL: http://www.vgosau.kiev.ua/biblioteka/avu-adu (дата звернення: 16.10.2024).

10. Археологія. Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Археологія (дата звернення: 16.10.2024).

11. Археологія як наука. УАісторія: веб-сайт. URL: https://uaistoria.com/археологія-як-наука/ (дата звернення: 16.10.2024)

12. Археологія: Комплекс навчально-методичного забезпечення для студентів історичного факультету / Укладач доц. Гавриш П. Я. - Полтава, 2011. 40 с.

13. Археологія: від джерел до реконструкцій / редкол.: Отрощенко В. В та ін. Київ: «Археологія і давня історія України», 2011. Вип. 5. 250 с.

14. Бистрякова В., Осадча А., Пільгук О. Інновації та технології в сучасному мистецтві. Вісник Львівської національної академії мистецтв. 2017. Вип. 32. С. 189-199.

15. Бреяк О.В., Трачук О.В. Золотий вінок Київщини. Від Трипільської культури до сучасності (Відпочивайте в селах Київщини): Путівник-довідник. К., 2003. С. 156-164.

16. Бровендер Ю. М. Силабус курсу: Сучасні проблеми археології України: для здобувачів вищої освіти ступеня магістр спеціальності 032 Історія та археологія. URL: http://moodle2.snu.edu.ua/pluginfile.php/20254pdf (дата звернення: 16.10.2024).

17. Вечерський В.В. Пам’ятки містобудування й архітектури України та перспективи їх використання як туристичних об’єктів. Туристично-краєзнавчі дослідження. К., 1998. Ч. 1. Вип. 1. С. 65.

18. Вивчення археології за кордоном. Освіта: веб-портал. URL: https://osvita.in.net/abroad/239 (дата звернення: 16.10.2024)

19. Веремейчик О. М. Робоча програма навчальної дисципліни «Археологія України та методика польових археологічних досліджень» : освітня програма 032 Історія та археологія. Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, Навчально-науковий інститут історії та соціогуманітарних дисциплін імені О. М. Лазаревського, Кафедра історії України, археології та краєзнавства. Чернігів, 2020. URL: https://inst-hist.chnpu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/03/arheologiya-ukrayiny-ta-mpad.pdf (дата звернення: 16.10.2024).

20. Гладилін В.М. До питання про вік наскельних рисунків Кам'яної Могили Археологія. Наукова думка. 1964. Вип. 16. С. 82-88.

21. Гладкіх М.І. Пізньопалеолітичні житла, методи їх консервації та експонування. Археологія. № 6. 1972. С. 106-107.

22. Горохівський П.І. Методика викладання історичних дисциплін у вищій школі: Курс лекцій: Навчальний посібник для магістрантів денної та заочної форми навчання. Умань: ПП Жовтий О., 2012. 256 с.

23. Горохівський П.І. Роль і місце курсу «Археологія України» у системі підготовки вчителя сільської загальноосвітньої школи. Наук. часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія 6. Історичні науки, 2008. С. 267-270.

24. Дробишева О. А., Шевцова Є. С. Курсова робота з історії: методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійними програмами «Історія, правознавство» спеціальності 014.3 Середня освіта (Історія) та «Історія» спеціальності 032 Історія та археологія / Ольга Дробишева, Євгенія Шевцова ; ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». Полтава: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2024. 82 с.

25. Золотий вінок Київщини: Путівник. К., 2004.

26. Залізняк Л. Українська археологія: стан і перспективи. «Зараз в Інституті археології втричі більше експедицій, ніж було в радянські часи», -

доктор історичних наук, професор Леонід ЗАЛІЗНЯК. День. 2023. 21 лютого. URL: https://day.kyiv.ua/article/cuspilstvo/ukrayinska-arkheolohiya-stan-i-perspektyvy (дата звернення: 16.10.2024).

27. Історія та археологія. Краєзнавчо-туристична робота: освітньо-професійна програма першого рівня вищої освіти (бакалавр): спец. 032 Історія та археологія. Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини. Умань: УДПУ, 2017. С.56-60.

28. Історія архітектури: від минулого до сьогодення. ENCOM. URL: https://encom-iss.com.ua/pro-kompaniiu/publikatsii/73-tekhnologiji-ta-tendentsiji-u-proektuvanni-budivel

29. Кафедра археології, етнології та всесвітньої історії. Одеський національний університет імені І. І. Мечникова : веб-сайт. Дата оновлення: 30.09.2024. URL: https://onu.edu.ua/uk/structure/faculty/hist/kafedry-ta-inshi-strukturni-pidrozdily/kafedra-arkheolohii-etnolohii-ta-vsesvitnoi-istorii (дата звернення: 16.10.2024)

30. Котляр Ю.В. Курсові та дипломні роботи: методичні рекомендації для студентів спеціальності «Історія та археологія». Миколаїв: Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2016. 52 с.

31. Климов А. О., Семистяга В. Ф., Божко Г. І., Гогохія Н. Т. Історія України : навч.-метод. посіб. для студ. неіст. спец. пед. ун-ту (денна форма навчання). Луганськ : Альма-матер, 2005. 94 с.

32. Калугін О.В. Розвиток та викладання археології у Харківському університеті в контексті еволюції радянської археологічної думки (друга половина 40-х - середина 60-х років XX ст.). 2017.

33. Кепін Д.В. Зарубіжний досвід популяризації пам’яток первісної археології та його використання для потреб туризму в Україні. Туристично-краєзнавчі дослідження. К., 1999. Вип. 2. С. 548-549.

34. Ласінська М.Ю. Історіографія археології: навчально-методичний комплекс: для спец. 014 Середня освіта (Історія).

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського. Миколаїв: МНУ, 2019. 156 с.

35. Ласінська М.Ю. Історіографія археології : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Миколаїв: МНУ імені В.О.Сухомлинського, 2019. 292 с.

36. Ліщина К.Ю. 3D моделювання предметів мистецтва як метод вивчення історії від первісної доби до козацького часу: дипломна робота бакалавра: 032 Історія та археологія. Одеса: ОНУ імені І.І. Мечникова, 2020. 123 с.

37. Лук'янець Н.М. Сучасні інформаційні технології як складова музейного менеджменту. 2020. 56 с.

38. Маркевич О.В. Проблема методу в сучасній археології: пошук, впровадження, результати. SCIENTIA: зб. наук. пр. Гельсінкі, 2024. С. 479-481.

39. «Ми довели, що суспільство цікавиться історією та археологією» - Павло Боровець. Imena.UA. 2016. 23 лютого.

40. Михайлов Б.Д. Петрогліфи Кам'яної Могили: Семантика. Хронологія. Інтерпретація: монографія. Запоріжжя: Дике поле, 1999. 296 с.

41. Міронова Т. Інноваційна діяльність у сучасній образотворчості: новітні технології. Мистецтвознавство України. 2019. Вип. 15. С. 185-933.

42. Мистецтво незалежної України: навч. посібник / Л.В. Анучина [та ін.]; ред. Л.В. Анучина. 234 с.

43. Нові перспективи українського сучасного мистецтва. Art Ukraine: он-лайн версія журналу. URL: https://molfar.com/blog/perspektyvy-ukrainskogo-mystectva-dumky-ekspertiv-v-konteksti-doslidzhennya-molfar-i-s (дата звернення: 16.10.2024).

44. Оленковський М. Археологічні пам'ятки у туристичній інфраструктурі Болгарії. URL: https://www.academia.edu/3719417D (дата звернення: 16.10.2024).

45. Ольговський С.Я. Історія дослідження Борисфеніди та хронологічні етапи її існування. Давньогрецькі міста-колонії Північного Причорномор'я: навчальний посібник. К.: КНУКіМ, 2007. С. 17-20.

46. Ольговський С.Я. Планування та забудова о.Березань Давньогрецькі міста-колонії Північного Причорномор'я: навчальний посібник. К.: КНУКіМ, 2007. С. 20-23.

47. Олійник І. Бачити землю: як і для чого на Дунаєвеччині проводять масштабні археологічні дослідження. Ye.ua. 2020. 27 травня. URL: https://ye.ua/istiriya/49237_Bachiti_zemlyi__yak_i_dlya_chogo_na_Dunayevechchini_provodyat_masshtabni_arheologichni_doslidzhennya.html (дата звернення: 16.10.2024).

48. Основні проблеми збереження археологічної спадщини в Україні: до питання руйнування археологічних об'єктів та діяльності «чорних археологів» (оглядова довідка за матеріалами преси та інтернету за 2018-2020 рік) / Міністерство культури та інформаційної політики України, Національна бібліотека України імені Ярослава Мудрого, Інформаційний центр з питань культури та мистецтва. Київ, 2020. URL: https://nlu.org.ua/storage/files/Infocentr/Tematich_ogliadi/2020/archeology.pdf (дата звернення: 16.10.2024).

49. Пивоваров С.В. Розвиток археологічної науки в Чернівецькому університеті (друга половина XIX ст. - 2004 р.). VITA ANTIQUA Збірка наукових статей. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2009. № 7-8, с. 34-38.

50. Подобєд О. Трипільська археологічна культура. Історія України, 2019, № 23, С. 16-20.

51. Поливода Д., Оніпко Т.В. Інноваційні технології в діяльності музейних закладів: закордонний та вітчизняний досвід. Полтава: ПУЕТ, 2021.

52. Попович С.І. Туристично-екскурсійні ресурси України: вступ до проблеми Туристичні ресурси України. К., 1996. С. 13.

53. Проект «Функціонування археологічної пам'ятки в сучасному соціокультурному середовищі». Інститут археології Національної академії наук України. URL: ttps://iananu.org.ua/struktura-ia/naukovi-viddili/viddil-davnoruskoji-ta-serednovichnoji-arkheologiji/doslidnitski-programi/proekt-funktsionuvannya- (дата звернення: 16.10.2024).

54. Пруденко Я. Класичні види мистецтва в епоху новітніх технологій. Живопис. Art Ukraine: онлайн версія журналу. URL: ttps://iananu.org.ua/struktura-ia/naukovi-viddili/viddil-davnoruskoji-ta-serednovichnoji-arkheologiji/doslidnitski-programi/proekt-funktsionuvannya- (дата звернення: 16.10.2024).

55. Пустовалов С.Ж. Про деякі особливості викладання дисциплін археологічного напрямку у ВНЗ. МАҐІСТЕРІУМ. 2009. Випуск 34. Культурологія, С. 59-62.

56. Сапожніков І.В., Слюсар Ю.О., Шувалов Р.О. Типологія кам'яних намогильних хрестів Південно-Західної України. Старожитності Причорномор'я. Одеса, 1995. Вип. 2. С. 16-47.

57. Сучасна археологія: зберегти «минуле» у майбутньому. УНІАН. 2015. 13 серпня. URL: https://www.unian.ua/society/1111079-suchasna-arheologiya-zberegti-minule-u-maybutnomu.html (дата звернення: 16.10.2024).

58. Сучасні технології приходять в підводну археологію. Батискаф. URL: https://batiskaf.ua/uk/blog/1208_suchasni-tekhnologiyi-prikhodyat-v-pidvodnu-arkheologiyu.html (дата звернення: 16.10.2024).

59. Скакальська І. Археологія. Навч.-метод. посібник. Київ: КНТ, 2018. 136 с.

60. Скакальська І.Б. Інноваційні підходи до викладання археології у вищій школі. Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Історія та археологія. 2023. С.36-40.

61. Структура археологічного дослідження. URL: http://www.vgosau.kiev.ua/2016-05-13-14-43-05/818

62. Сучасні цифрові технології можуть зберегти та популяризувати археологічну спадщину: у чому рішення. Рубрика. 2023. 31 жовт.

63. Титова О.М. Пам’ятки археології як об’єкти організованого туризму. Всеукр. наук.-практ. конф. «Туризм і завдання національно-культурного відродження України». К.; Черкаси; 1992. 237 с.

64. Трачук О.В. Туризм та історико-культурна спадщина України. Ржищівський археодром - 2: Дослідження, конф. та експериментальні студії 2002-2004 рр. К., 2004. С. 203-204.

65. Туризм і охорона культурної спадщини: український та польський досвід. К., 2003. 235 с.

66. Україна: хронологія розвитку. НАН України. Інститут археології. В 6 т. Том 1. К.: КВІЦ, 2007. 544 с.

67. Українська археологія: здобутки, сучасний стан та перспективи: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (7-8 лютого 2020 р., м. Суми). Суми: ФОП Цьома С.П., 2019. 200 с.

68. Черченко О. Світові та українські музеї в умовах інформаційно-комп’ютерного суспільства. URL: dspace.nbuv.gov.ua/.../08-cherchenko.pdf?...1.

69. Черченко О., Бродська С. Формування нової музейної політики як складової частини національної політики України у сфері культури: теоретико-методологічний аспект. Культурологія. 2018. Вип. 2. С. 125-131.

70. Чи є майбутнє в археології України? Законодавство, скарбошукачі та байдужа держава // Олег Осаульчук. YouTube. URL: https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=utWJ4uWZpWI (дата звернення: 16.10.2024).

71. Журнал «Археологія». URL: gosau.kiev.ua/-qq

72. «Journal of Archaeological Science». URL: https://shop.elsevier.com/journals/journal-of-archaeological-science/0305-4403

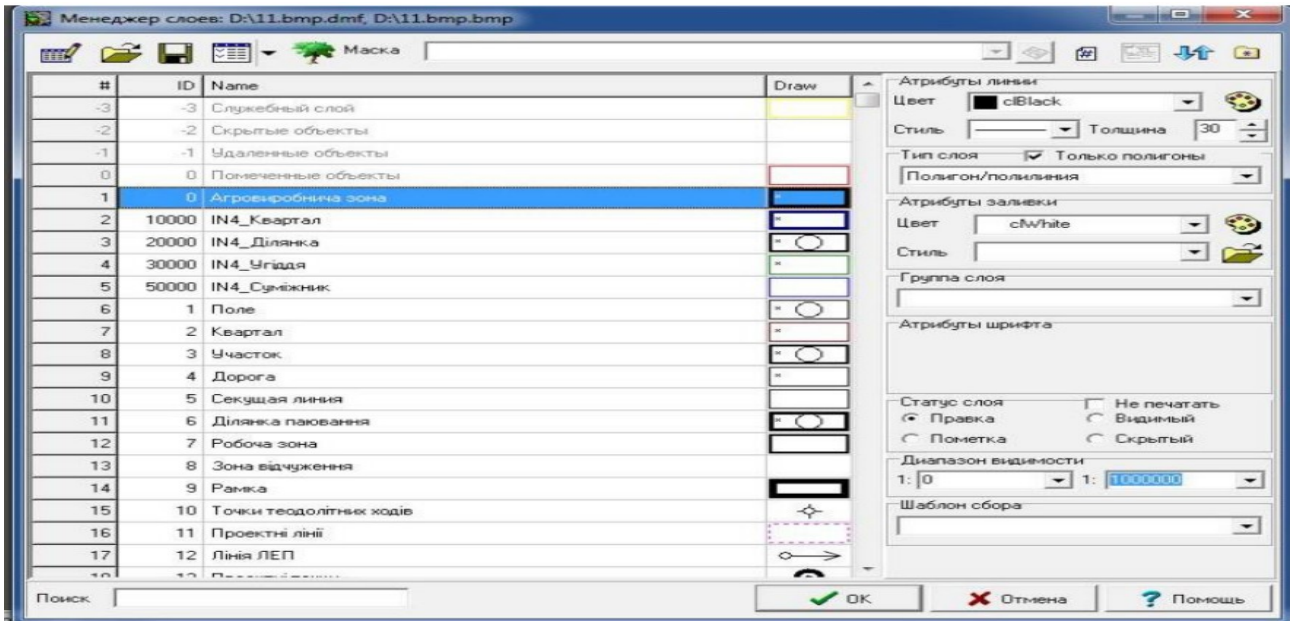
73. Закон України «Про охорону культурної спадщини». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text

74. Науковий архів Інституту археології НАН України. URL: rg.ua/struktura/naukovo-dopomizhni-pidrozdili/naukovij-arkhiv

ДОДАТКИ

Додаток А

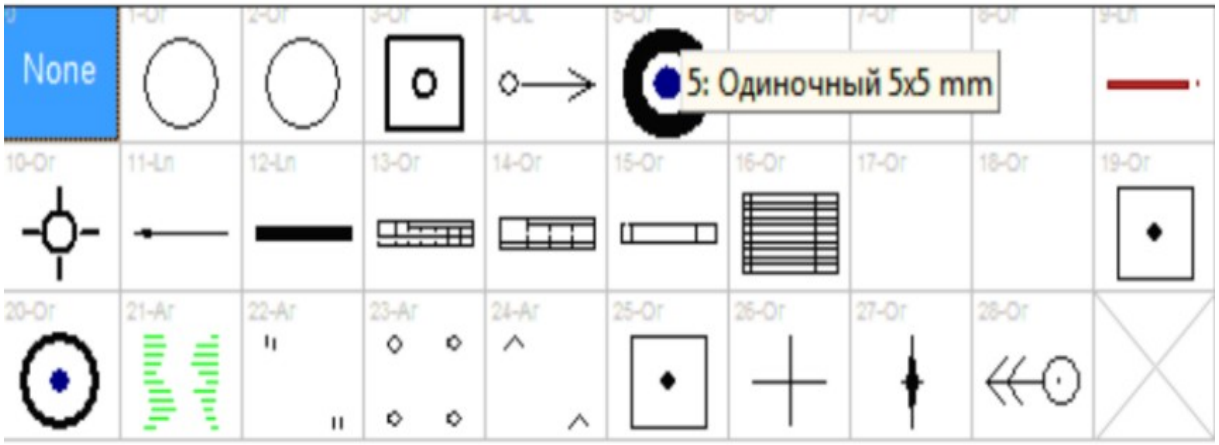
Список шарів у Digitals-необмежену кількість параметрів об'єктів (полів бази даних) з можливістю довільного розміщення на карті у вигляді підписів;



Скрін з програми, встановленої на пристрої автора

Додаток Б

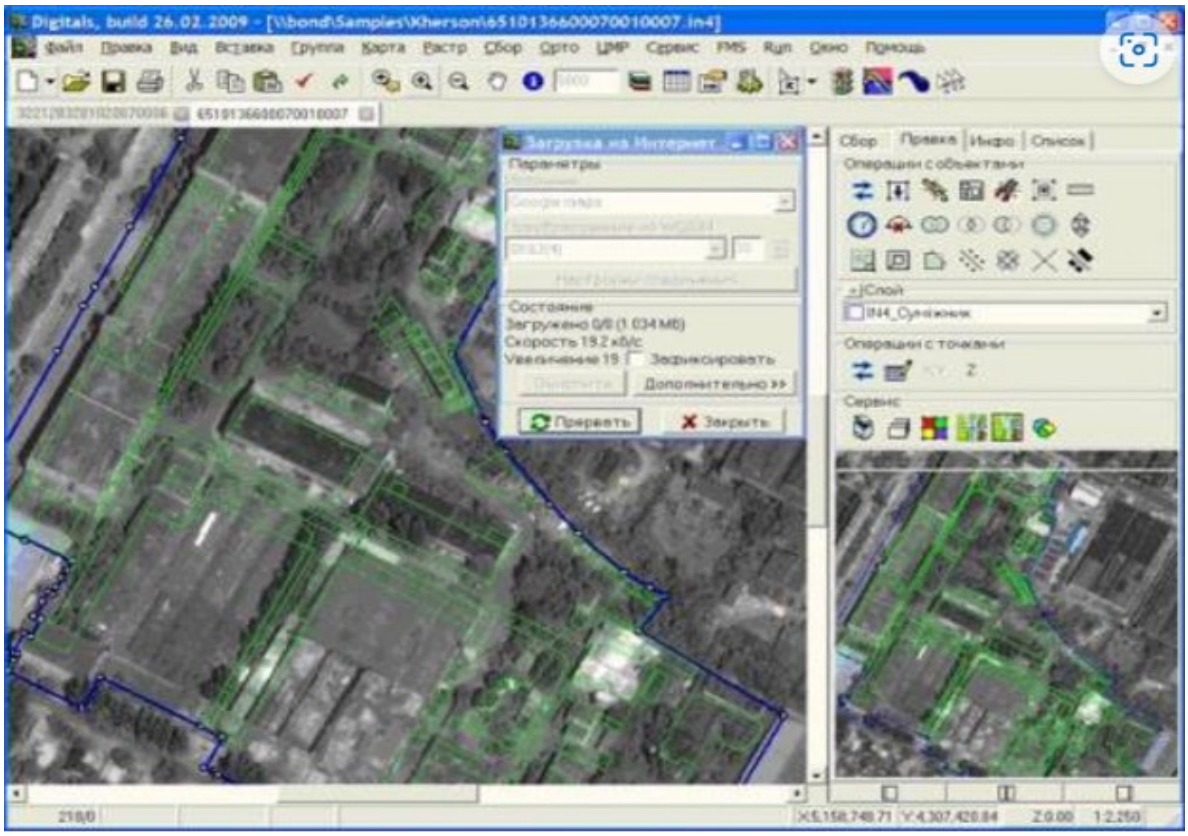
Умовні знаки в Digitals



Скрін з програми, встановленої на пристрої автора

Додаток В

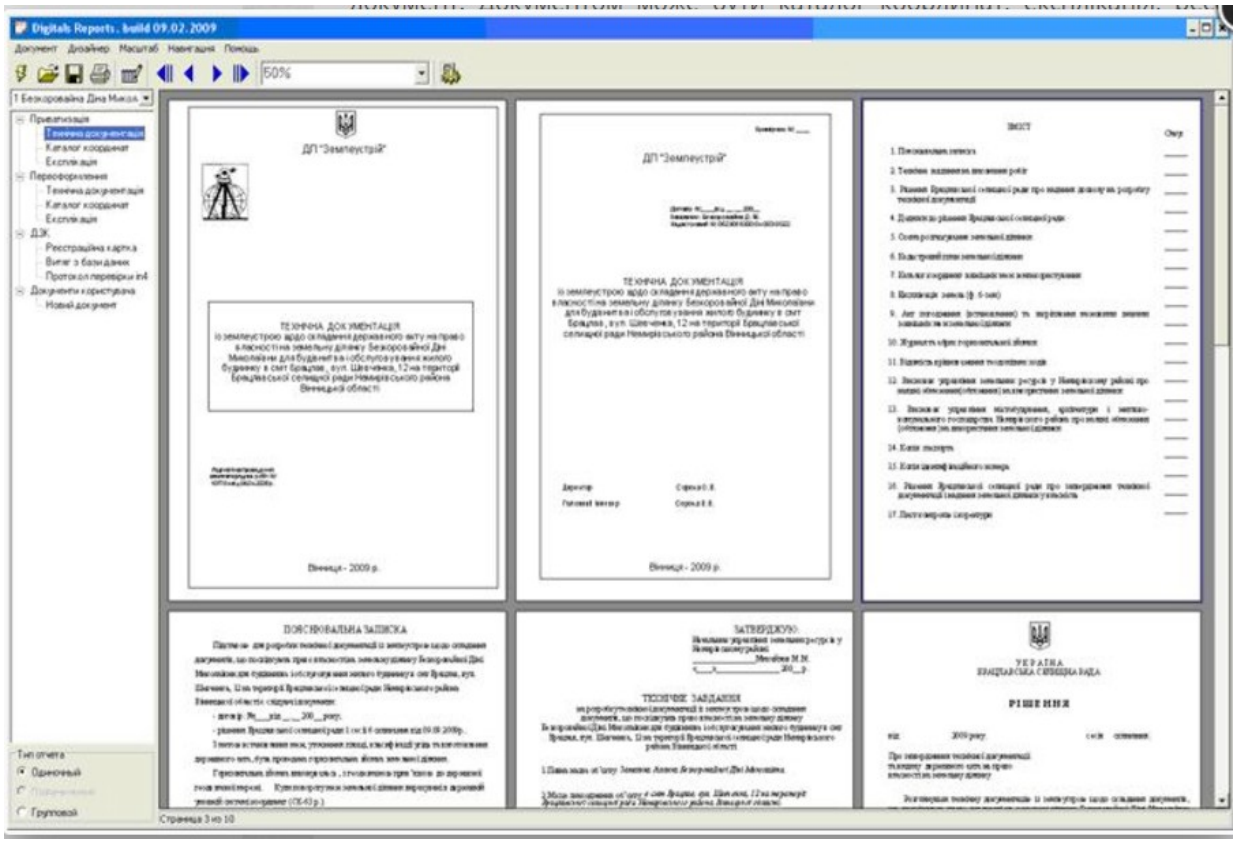
Збирання даних в програмі Digitals



Скрін з програми, встановленої на пристрої автора

Додаток Г

Формування звітів в в Digitals (я переделаю, это как пример)



Скрін з програми, встановленої на пристрої автора