

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет
Економічний факультет
Кафедра історії, археології, інформаційної та архівної справи

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри ІАІАС
 доктор історичних наук, професор
 _____ Василь ОРЛИК
 «_____» _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Цифрові інструменти в ідентифікації та експертизі
 нумізматичних пам'яток»**

Виконав: здобувач вищої освіти
 II курсу, групи ІА-24М
 ОНП «Історія матеріальної культури та
 експертиза об'єктів історичної спадщини»
 спеціальності 032 «Історія та археологія»
 _____ КОЛЕСНІЧЕНКО Марія Володимирівна
 «_____» _____ 2026 р.
 Керівник роботи: д. і. н., професор
 _____ Василь ОРЛИК
 «_____» _____ 2026 р.
 Рецензент:
 Доктор історичних наук, професор,
 заслужений працівник освіти України,
 професор кафедри історії та права,
 проректор з гуманітарно-виховних питань
 Черкаського державного
 технологічного університету
 _____ Валентин ЛАЗУРЕНКО

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ЕКСПЕРТИЗИ НУМІЗМАТИЧНИХ ПАМ'ЯТОК	13
1.1. Історіографія і джерельна база дослідження проблеми	13
1.2. Методологія застосування цифрових інструментів в експертизі нумізматичних пам'яток	20
1.3. Традиційні методи ідентифікації та експертизи монет	25
РОЗДІЛ 2. ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В НУМІЗМАТИЦІ	30
2.1. Цифрові бази даних та інформаційні системи	30
2.2. Комп'ютерний зір та штучний інтелект у розпізнаванні монет	36
2.3. 3D-сканування та цифрова реконструкція	40
2.4. Геоінформаційні системи (GIS) у дослідженні монетних знахідок	47
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ В ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ЕКСПЕРТИЗИ МОНЕТ	53
3.1. Алгоритм цифрової ідентифікації монет	53
3.2. Аналіз точності цифрових методів	59
3.3. Виявлення підробок та «демонетизованих» монет	64
3.4. Перспективи розвитку цифрових технологій у нумізматиці	69
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ	80
ДОДАТКИ	88

ВСТУП

Актуальність теми полягає в тому, що сучасна нумізматика змінюється не лише через появу нових знахідок, а й через нові способи роботи з монетним матеріалом. Традиційні методи, зокрема візуальний огляд, аналіз легенд, зображень, ваги, металу та штемпелів, і далі залишаються основою експертизи. Водночас до них дедалі активніше додаються цифрові інструменти: електронні каталоги, бази даних, комп'ютерний зір, штучний інтелект, 3D-сканування та GIS-картографування. На нашу думку, їхня головна цінність полягає не в заміні нумізмата, а в можливості швидше знаходити аналоги, перевіряти атрибуцію й працювати з великими масивами матеріалу.

Особливої ваги ця тема набуває через активний перехід нумізматичного матеріалу в цифрове середовище. Кількість електронних каталогів і відкритих колекцій постійно зростає, однак якість цифрових записів, фотографій та описів може суттєво відрізнятись. Через це цифрові ресурси потребують такої самої критичної оцінки, як і традиційні джерела.

Не менш важливим є і питання автентичності монет. Зростання кількості якісних фальсифікатів показує, що звичайного візуального огляду часто вже недостатньо. Саме тому сьогодні найбільш перспективним видається поєднання традиційної нумізматичної експертизи з цифровими методами аналізу.

Метою кваліфікаційної роботи полягає у визначенні можливостей цифрових інструментів у процесі ідентифікації та експертизи нумізматичних пам'яток, а також у дослідженні особливостей їх поєднання з традиційними методами нумізматичного аналізу.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

1. розкрити історіографію та джерельну базу дослідження проблеми цифровізації нумізматичних студій;
2. охарактеризувати методологічні засади застосування цифрових інструментів в експертизі нумізматичних пам'яток;
3. проаналізувати традиційні методи ідентифікації та експертизи монет як основу сучасних цифрових підходів;

4. дослідити можливості цифрових баз даних та інформаційних систем у нумізматиці;
5. визначити роль комп'ютерного зору та штучного інтелекту у розпізнаванні й класифікації монет;
6. розглянути значення 3D-сканування та цифрової реконструкції для документування, аналізу й експертизи монет;
7. охарактеризувати застосування GIS-технологій у дослідженні монетних знахідок і просторових закономірностей монетного обігу;
8. запропонувати узагальнений алгоритм цифрової ідентифікації монет;
9. проаналізувати критерії точності цифрових методів та чинники, що впливають на їхню надійність;
10. визначити можливості цифрових інструментів у виявленні підробок і дослідженні «демонетизованих» монет;
11. окреслити перспективи розвитку цифрових технологій у нумізматиці.

Об'єктом дослідження є процес ідентифікації та експертизи нумізматичних пам'яток.

Предметом дослідження є цифрові інструменти та методи, що використовуються в сучасній нумізматичній експертизі.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження. Історико-порівняльний метод застосовано для зіставлення традиційних і цифрових підходів у нумізматиці. Джерелознавчий метод використано для аналізу наукових праць, каталогів, електронних баз даних та цифрових ресурсів. Метод аналізу та синтезу дозволив узагальнити інформацію про сучасні цифрові технології в нумізматичних дослідженнях. Системний підхід застосовано для розгляду цифрової експертизи як комплексного процесу, що поєднує традиційні та новітні методи. Також використано елементи GIS-аналізу, методи цифрової візуалізації та порівняння зображень.

Наукова новизна роботи полягає у спробі комплексно дослідити можливості цифрових інструментів у процесі ідентифікації та експертизи

нумізматичних пам'яток, а також визначити особливості їх поєднання з традиційними методами нумізматичного аналізу.

Практичне значення кваліфікаційної роботи в можливості використання її результатів у наукових дослідженнях, музейній практиці, під час атрибуції та експертизи монет, а також у навчальному процесі при викладанні дисциплін, пов'язаних із нумізматиною, археологією та цифровою гуманітаристикою.

Методологічну основу дослідження ґрунтується на принципах історизму, наукової об'єктивності, комплексності та критичного аналізу джерел із поєднанням традиційних нумізматичних підходів і сучасних цифрових методів дослідження.

Структура кваліфікаційної роботи відповідає її меті та поставленим завданням. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку джерел та літератури, додатків. Обсяг основного тексту – 5 стор., 1 таблицю., список використаних джерел та літератури складає 86 найменувань, 4 додатки.

У першому розділі розглянуто історіографію, джерельну базу та методологічні засади застосування цифрових інструментів у нумізматиці.

У другому розділі проаналізовано сучасні цифрові технології, що використовуються для ідентифікації та експертизи монет, зокрема цифрові бази даних, комп'ютерний зір, штучний інтелект, 3D-сканування та GIS-технології.

У третьому розділі досліджено практичні аспекти цифрової експертизи, запропоновано алгоритм цифрової ідентифікації монет, а також розглянуто можливості цифрових методів у виявленні підробок і дослідженні демонетизованих монет.

У висновках узагальнено результати дослідження, сформульовано основні положення щодо ролі цифрових інструментів у сучасній нумізматичній експертизі та визначено перспективи подальшого розвитку цифрової нумізматики.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ЕКСПЕРТИЗИ НУМІЗМАТИЧНИХ ПАМ'ЯТОК

1.1. Історіографія і джерельна база дослідження проблеми

Проблема використання цифрових інструментів у нумізматиці не виникла лише всередині самої нумізматичної науки. Вона сформувалася на перетині кількох напрямів: класичної нумізматики, історичного джерелознавства, цифрової гуманітаристики, археології, музеєзнавства, комп'ютерного аналізу зображень, GIS-технологій, 3D-моделювання та археометрії. Це пов'язано з природою самої монети. Монета є не тільки грошовим знаком. Вона має матеріал, вагу, зображення, напис, край, сліди обігу, технологію виготовлення, стан поверхні, місце знахідки й історію збереження. Тому її цифрове дослідження не може зводитися лише до фотографування або внесення предмета до електронного каталогу.

На нашу думку, історіографію цієї теми доцільно розглядати не як простий перелік авторів, а як кілька дослідницьких блоків. Перший стосується загальної цифровізації науки й роботи з інформацією. Другий пов'язаний із цифровою гуманітаристикою та історичною інформатикою. Третій охоплює GIS, цифрову археологію й просторовий аналіз. Четвертий блок становлять праці з комп'ютерного зору, штучного інтелекту та машинного навчання. Окремо слід виділити дослідження 3D-моделювання, музейної цифровізації, археометрії та власне нумізматичної експертизи. Такий поділ дає змогу краще зрозуміти, чому цифрова нумізMATIKA є міждисциплінарною сферою.

У працях, присвячених цифровізації, важливим є розмежування між простим переведенням інформації в електронну форму й глибшою зміною способів роботи з даними. У цьому контексті корисними є праці В. Ігната, М. Гоббл, М. Рахінгера та інших авторів, які розглядали цифровізацію як процес, що змінює способи зберігання, обробки й використання інформації (Ignat, 2017;

Gobble, 2018a; Gobble, 2018b; Rachinger et al., 2019). Для нумізматики це розмежування має практичний сенс. Оцифрувати монету означає створити її фото або електронний опис. Цифровізувати дослідження означає використати ці дані для пошуку аналогів, перевірки атрибуції, порівняння штемпелів, аналізу металу, картографування знахідок або виявлення підробок.

Матеріали OECD і праці, присвячені цифровій трансформації управління, освіти й інформаційних процесів, допомагають побачити ширший контекст цих змін (OECD, 2019; OECD, 2020; Espina-Romero et al., 2025). Вони не дають безпосередньої нумізматичної методики, але показують важливу зміну: сучасний дослідник дедалі частіше працює не з поодиноким джерелом, а з великими масивами даних, цифровими платформами, пов'язаними записами й інформацією різної якості. Саме тому в нумізматичі важливим стає питання не лише про наявність цифрових ресурсів, а й про їхню повноту, стандарти опису та можливість перевірки.

Українські праці з цифрової економіки, електронної комерції, цифрового суспільства й освіти також створюють потрібне тло для розуміння цих процесів (Плескач, Затонацька, 2007; Дубина, Козлянченко, 2019; Дубина, Дергалюк, 2023; Дмитрієва, 2025; Костецький, Куценко, 2021). Їх не варто прямо переносити в нумізматичну методику, однак вони показують загальну логіку цифрового середовища: якість висновку дедалі більше залежить не тільки від самого предмета, а й від того, як він описаний, сфотографований, пов'язаний з іншими даними і наскільки надійним є його походження.

Ближче до проблематики роботи стоять праці з цифрової гуманітаристики. Р. Розензвейг звертав увагу на те, як цифрове середовище змінює збирання, збереження й інтерпретацію історичних джерел (Rosenzweig, 2003; Cohen, Rosenzweig, 2005; Rosenzweig, 2006). Показовою є його думка про те, що цифрові матеріали мають “більш легке існування” порівняно з традиційними носіями (Rosenzweig, 2003). Для нумізматики це особливо важливо: цифровий запис монети, фотографія, 3D-модель або GIS-координата потребують не лише створення, а й довготривалого збереження. Інакше цифрове

джерело може виявитися менш стійким, ніж друкований каталог або музейна інвентарна картка.

У цифровому середовищі монета існує не тільки як опис у каталозі. Вона може бути пов'язана з фотографією, 3D-моделлю, GIS-координатами, результатами XRF-аналізу, музейним номером, бібліографією й аналогами. М. Таллер розглядав комп'ютерні технології як спосіб нової організації гуманітарного дослідження, а не лише як допоміжний інструмент (Thaller, 1991; Thaller, 2012). Для цифрової нумізматики це принципово: важливо не просто зібрати файли, а організувати їх так, щоб вони працювали як джерельна система.

Для роботи з великими масивами матеріалу методологічно корисною є концепція *distant reading* Ф. Моретті (Moretti, 2005). Хоча вона сформувалася в літературознавстві, її логіку можна застосувати і до нумізматики. Ідеться про перехід від аналізу одного об'єкта до виявлення закономірностей у великих корпусах. Для монет це може означати вивчення не одного екземпляра, а груп знахідок, скарбів, вагових параметрів, штемпельних зв'язків, типів поширення або регіональних концентрацій. У такому разі цифровий інструмент допомагає побачити не лише окрему монету, а ширший історичний процес.

Просторовий вимір теми пов'язаний із GIS-дослідженнями. Я. Грегорі розглядав Historical GIS як інструмент аналізу історичних явищ у просторі (Gregory, Ell, 2007). Влучним є визначення Я. Грегорі та П. Елла, за яким GIS є формою бази даних, де "кожен елемент даних пов'язаний із просторовим місцем" (Gregory, Ell, 2007). Для нумізматики це має пряме значення, бо монетна знахідка може аналізуватися не лише за типом, металом або легендою, а й через просторовий зв'язок з іншими знахідками, скарбами, поселеннями, шляхами або археологічними зонами.

Водночас GIS потребує критики. Точна археологічна координата, приблизна вказівка на район і аукціонний запис без походження не можуть мати однакову вагу. Якщо всі ці дані позначити на карті однаково, виникає ілюзія точності. Тому для цифрової нумізматики важливо не лише наносити знахідки на карту, а й показувати рівень достовірності просторової інформації.

До цього блоку примикає цифрова археологія. Дж. Річардс розглядав цифрові архіви, археологічні бази даних і 3D-моделювання як частину нової археологічної методології (Richards, 1998). Для нумізматики це важливо через питання контексту. Монета зі скарбу, монета з культурного шару, монета з поховання й монета без походження є різними джерелами. Цифрова база не повинна стирати ці відмінності. Навпаки, вона має робити їх видимими через поля походження, тип контексту, рівень точності локалізації та джерело інформації.

Музейний аспект цифровізації розкривають дослідження С. Кендердайн, присвячені цифровим музеям, інтерактивним платформам і візуалізації культурної спадщини (Kenderdine, 2016). Для монетних колекцій це особливо актуально. Монета є малим предметом, який у вітрині часто важко роздивитися. Цифрове збільшення, якісне фото, 3D-модель або інтерактивний перегляд дозволяють побачити рельєф, легенду, край, отвори, пошкодження й сліди використання. Проте музейна цифровізація не повинна зводитися до красивого зображення. Вона має зберігати інформацію про походження, атрибуцію, стан предмета й рівень достовірності опису.

Окремий історіографічний блок становлять праці з комп'ютерного зору та штучного інтелекту. Я. Лекун, Дж. Гінтон та Й. Бенжіо показали значення глибинного навчання для аналізу зображень (LeCun, Bengio, Hinton, 2015). Сутність цього підходу вони визначали як здатність моделей “навчатися представлень даних із кількома рівнями абстракції” (LeCun, Bengio, Hinton, 2015). У нумізматиці це важливо тому, що монета розпізнається не за однією ознакою, а через поєднання портрета, легенди, рельєфу, символів, краю, стану поверхні й інших деталей.

Водночас, на наше переконання, такі методи мають сенс лише тоді, коли спираються на якісні навчальні корпуси. Якщо в базі є помилки атрибуції, погані фото або неповні описи, алгоритм не виправить ці недоліки, а відтворить їх у нових результатах. Тому комп'ютерний зір у нумізматиці слід розглядати не як

заміну експерта, а як інструмент, який допомагає швидше працювати з великими масивами зображень і відбирати матеріал для подальшої перевірки.

Прикладне використання таких підходів показують праці Н. Капече та його колег, які досліджували розпізнавання монет для мобільних пристроїв із застосуванням глибинного навчання (Caprese, Erra, Hervás, 2016). В українському дослідницькому полі важливими є праці О. Улічева, О. Дрієєва та М. Федоренка, присвячені автоматизації аналізу монетних зображень і штемпельних зв'язків (Ulichev, Drieiev, Fedorenko, 2025). Такі дослідження показують, що комп'ютерний зір може використовуватися не лише для швидкого “впізнавання” монети, а й для складніших завдань: пошуку повторюваних деталей, групування штемпельних ознак, роботи з пошкодженими або частково стертими екземплярами.

Археометричний напрям також має важливе значення для теми. XRF, ізотопні дослідження, металографія та інші методи аналізу матеріалу дозволяють перейти від зовнішнього опису монети до вивчення її складу й технології виготовлення. Праці Кахідзе, Іашвілі та Вікерса щодо срібних монет чорноморських міст показали, що склад металу може бути важливим для реконструкції джерел сировини, технологічних традицій і торговельних зв'язків (Kakhidze, Iashvili, Vickers, 2001). Для експертизи це принципово: зовні предмет може відповідати певному типу, але склад металу здатен поставити під сумнів його автентичність або датування.

Власне нумізматична історіографія залишається основою всіх цифрових підходів. Саме класична нумізматика виробила методи атрибуції: визначення емітента, датування, монетного двору, номіналу, легенди, іконографії, ваги, металу й штемпельних зв'язків. Цифрові алгоритми не створюють ці ознаки заново. Вони лише працюють із тим, що вже напрацьовано нумізматичною наукою. Алгоритм може порівняти тисячі зображень, але він усе одно шукає портрет, легенду, символ, монограму, край, рельєф, штемпельний дефект або іншу ознаку, яку спершу навчився бачити фахівець.

В українській історіографії особливе значення мають праці, присвячені монетним знахідкам на території України, їхній типології, поширенню, скарбам і ролі в історичних процесах. Зокрема, у дослідженнях В. Орлика монети розглядаються не лише як платіжні засоби, а як джерела для вивчення економічних, політичних і культурних контактів (Орлик, 2022). Для цифрової нумізматики такі праці важливі тим, що створюють змістову основу для подальшого картографування, зіставлення знахідок, аналізу ареалів і перевірки походження окремих предметів.

Окремий напрям становлять дослідження вторинного використання монет. Ідеться про випадки, коли монети втрачали первісну грошову функцію і ставали прикрасами, підвісками, амулетами або елементами костюма. Для цієї роботи це має пряме значення, адже цифрові інструменти можуть допомагати не лише в атрибуції, а й у фіксації отворів, слідів носіння, пайки, обрізання краю, деформацій або залишків оправки. Проте сама наявність отвору ще не пояснює функцію предмета. Потрібні контекст, стан країв, сліди зношення й порівняння з іншими матеріалами.

Джерельна база дослідження є так само неоднорідною, як і його історіографія. Її основу становлять самі нумізматичні предмети: автентичні монети, давні наслідування, підробки, монети зі слідами реставрації, пошкоджені екземпляри й демонетизовані предмети. Другою групою є друковані каталоги, корпуси монет, музейні описи, археологічні публікації та спеціальні дослідження. Третю групу становлять цифрові ресурси: електронні каталоги, музейні бази, OCRE, CHRE, Nomisma.org, FLAME, CoinSampo, Numista та інші інформаційні системи.

Ці ресурси мають різну природу і різний рівень надійності. Nomisma.org важливий як система стабільних ідентифікаторів для нумізматичних понять. OCRE дає матеріал для роботи з римським імператорським карбуванням. CHRE орієнтований на скарби й дозволяє працювати з великими масивами монетних комплексів. FLAME поєднує монетні дані з просторовим аналізом. CoinSampo демонструє можливості пов'язаних відкритих даних. Numista має великий обсяг

матеріалу, але через відкритий характер потребує уважної перевірки. Тому цифрові бази, на нашу думку, потрібно використовувати не як готову істину, а як джерела, що також потребують критики.

До джерельної бази входять і візуальні матеріали: фотографії, скани, 3D-моделі, RTI-зображення, фотограмметричні реконструкції. Вони потрібні для порівняння рельєфу, легенд, краю, пошкоджень, слідів свердління, лиття або механічного втручання. Окрему групу становлять GIS-дані, тобто координати або просторові прив'язки знахідок. Їхня цінність залежить від точності: археологічно зафіксована координата, приблизний населений пункт і повідомлення “з території України” не можуть використовуватися однаково.

Варто враховувати і матеріали з приватних колекцій, аукціонів та інтернет-повідомлень. Вони можуть містити важливі або рідкісні екземпляри, але часто мають слабе походження. Такі матеріали можуть бути корисними для типології, пошуку аналогів, виявлення підробок або штемпельних зв'язків. Проте їх не варто без застережень використовувати для реконструкції монетного обігу чи GIS-картографування. Цифрова доступність предмета ще не означає його повної джерельної надійності.

У цьому контексті доречно повернутися до ще однієї думки Р. Розензвейга: проблеми цифрового збереження не є лише технічними, вони мають соціальний, культурний, економічний, політичний і правовий виміри (Rosenzweig, 2003). Для цифрової нумізматики це означає, що питання електронних баз, 3D-моделей, фотоархівів і GIS-даних пов'язане не тільки з програмним забезпеченням, а й з відповідальністю установ, стандартами опису, авторськими правами, доступом до даних і політикою довготривалого збереження.

Отже, історіографія проблеми показує, що цифрова нумізматика формується на перетині кількох напрямів. Вона спирається на класичну нумізматику, цифрову гуманітаристику, історичну інформатику, GIS, комп'ютерний зір, 3D-моделювання, археометрію та музейну справу. На наше переконання, головна перспектива цього напрямку полягає не в заміні традиційної

експертизи, а в тому, щоб зробити роботу з монетами більш перевірюваною, прозорою й багаторівневою. Саме тому джерельну базу цифрової нумізматики потрібно розглядати критично: важливим є не лише наявність цифрового запису, а і його якість, походження, повнота опису та можливість перевірки.

1.2. Методологія застосування цифрових інструментів в експертизі нумізматичних пам'яток

Методологія цієї роботи виходить із того, що монета не є простим об'єктом для опису. У ній одночасно поєднуються матеріал, форма, вага, зображення, напис, технологія виготовлення, сліди обігу, пошкодження, місце знахідки й історія збереження. Саме тому цифрова експертиза монет не може будуватися лише на одному прийомі, наприклад на порівнянні фотографій або пошуку аналогів у базі даних. Вона потребує поєднання класичних нумізматичних методів із цифровими, археометричними та просторовими підходами.

У роботі використано загальнонаукові, спеціально-історичні, нумізматичні та цифрові методи. Такий набір зумовлений самою темою. Ідентифікація монети починається з простих питань: що це за тип, де і коли її виготовлено, з якого металу, яким способом, чи відповідає вона відомим аналогам. Проте далі виникають складніші завдання: чи не є предмет підделкою, чи не має він слідів реставрації, чи відповідає заявлене місце знахідки реальному ареалу поширення цього типу, чи могла монета використовуватися вдруге як прикраса або амулет.

Загальнонаукові методи застосовувалися насамперед для впорядкування матеріалу. Аналіз дав змогу розділити проблему на окремі складові: традиційну атрибуцію, цифрові бази, комп'ютерний зір, 3D-сканування, GIS, XRF-аналіз і Big Data. Синтез був потрібний уже на наступному етапі, коли ці складові розглядалися разом. Наприклад, сама фотографія монети ще не дає повної

відповіді про її походження. Але якщо її зіставити з вагою, діаметром, складом металу, штемпельними аналогами та місцем знахідки, висновок стає значно надійнішим.

Класифікація й систематизація використовувалися для групування цифрових інструментів за їхнім призначенням. Одні з них потрібні для збереження й пошуку інформації, як електронні каталоги та бази даних. Інші працюють із візуальними ознаками, як комп'ютерний зір і нейронні мережі. Окрему групу становлять методи просторового аналізу, зокрема GIS. Ще один блок пов'язаний із матеріальною стороною предмета: XRF, археометричні дані, 3D-моделі, фіксація мікрорельєфу та слідів втручання.

Серед спеціально-історичних методів важливе місце займає історико-порівняльний метод. Він використаний для зіставлення традиційної нумізматичної експертизи з цифровими підходами. У класичній практиці дослідник порівнював монету з каталогом, музейним зразком або публікацією. У цифровому середовищі логіка залишається подібною, але масштаб інший: порівняння може охоплювати тисячі зображень, кілька баз даних, GIS-карту знахідок і цифрові описи різних колекцій.

Історико-генетичний метод допомагає простежити, як змінювалися способи роботи з нумізматичним матеріалом. Спочатку основними інструментами були друкований каталог, музейна картотека, ваги, штангенциркуль і досвід фахівця. Згодом до них додалися електронні каталоги, фотобази, онлайн-корпуси, цифрові карти, автоматизований пошук зображень і 3D-моделі. Це не означає, що старі методи зникли. Навпаки, цифрові засоби працюють на тих самих атрибутивних ознаках, які виробила класична нумізматика.

Джерелознавчий метод потрібний для критичної оцінки цифрових ресурсів. Не кожен запис у базі даних має однакову наукову цінність. Музейний екземпляр із перевіреною атрибуцією і документованим походженням відрізняється від монети з аукціонного опису або приватної колекції без точного місця знахідки. Тому в роботі враховується не тільки наявність цифрового запису,

а й походження інформації, якість зображення, повнота метаданих, рівень фахової перевірки й можливість зіставити цей предмет з іншими джерелами.

Основу експертизи становлять нумізматичні методи. Атрибутивний метод використовується для визначення типу монети, емітента, хронології, монетного двору, номіналу й історичного контексту. Типологічний метод дає змогу групувати монети за спільними ознаками: зображенням, легендою, металом, формою, технологією виготовлення й ваговими параметрами. Метрологічний аналіз важливий для перевірки ваги, діаметра й товщини, особливо тоді, коли монета має зношення, обрізаний край або підозріле відхилення від стандарту.

Епіграфічний та іконографічний аналізи застосовуються під час роботи з легендами, монограмами, портретами, символами й міськими знаками. Для античних монет це особливо важливо, бо написи часто стерті або збережені фрагментарно. Наприклад, навіть частина легенди, форма літери, залишок монограми чи характер зображення можуть допомогти віднести монету до певного центру карбування. У таких випадках цифрове збільшення, обробка контрасту або порівняння з фотобазою не замінюють епіграфічного аналізу, але роблять його зручнішим.

Технологічний і штемпельний аналізи мають окреме значення. Вони потрібні для з'ясування того, як була виготовлена монета: литтям, ударним карбуванням, наслідуванням або сучасним копіюванням. Штемпельний аналіз дозволяє встановити зв'язки між екземплярами, карбованими одним інструментом. У цифровому середовищі цей метод отримує нові можливості, бо комп'ютерний зір може швидко порівнювати дрібні деталі рельєфу, мікродефекти, розташування літер і повторювані ознаки на аверсі чи реверсі.

Комп'ютерний зір у цій роботі розглядається як інструмент роботи із зображенням монети. Він може виділяти контури, знаходити ключові точки, порівнювати композицію аверсу й реверсу, фіксувати пошкодження, отвори, сліди обрізання або свердління. Для монет Північного Причорномор'я це може бути корисно, наприклад, під час аналізу ольвійських бронзових монет, пантікапейських типів із сатиrom і грифоном або херсонеських випусків із

міською символікою. Але результат такого аналізу має сприйматися як підказка, а не як готовий висновок.

У роботі враховано різницю між класичними алгоритмами комп'ютерного зору та моделями штучного інтелекту. SIFT, SURF та ORB працюють із ключовими точками зображення. Вони корисні тоді, коли потрібно знайти збіги між двома монетами або перевірити схожість окремих деталей. Нейронні мережі працюють інакше. Вони аналізують ширшу сукупність ознак: портрет, рельєф, літери, символи, пропорції, край монети, сліди зношення. Тому вони можуть бути корисними для пошкоджених або частково стертих екземплярів.

Окремо використовується поняття OCR, тобто автоматичного розпізнавання тексту. Для нумізматики цей інструмент має обмежене, але важливе значення. Монетні легенди часто розміщені по колу, мають скорочення, нестандартні літери, втрати або деформації. Через це звичайне розпізнавання тексту не завжди працює коректно. Проте OCR може допомогти на попередньому етапі, особливо якщо його поєднати з ручною перевіркою, епіграфічним аналізом і порівнянням із каталогами.

Археометричний блок представлений насамперед XRF-аналізом. Цей метод дозволяє визначити елементний склад поверхневого шару металу без пошкодження предмета. Для експертизи це важливо, бо склад сплаву може вказувати на технологічну традицію, монетний двір, можливу реставрацію або сучасне походження предмета. Якщо, наприклад, монета стилістично наслідує античний тип, але її сплав має нетипові домішки, такий екземпляр потребує додаткової перевірки.

Водночас XRF не можна використовувати ізольовано. Метод аналізує переважно поверхню, а вона могла змінитися через корозію, очищення, патинування, реставрацію або контакт із ґрунтом. Тому результати XRF потрібно зіставляти з візуальним оглядом, метрологією, технологічними ознаками, штемпельним аналізом і контекстом знахідки. Саме поєднання кількох незалежних ознак робить висновок переконливішим.

3D-сканування та фотограмметрія застосовуються тоді, коли звичайної фотографії недостатньо. Тривимірна модель фіксує не тільки зображення, а й глибину рельєфу, форму краю, сліди зношення, мікропошкодження, отвори, свердління, обрізання або механічну доробку. Для демонетизованих монет це особливо суттєво. За 3D-моделлю можна краще зрозуміти, чи отвір був зроблений у давнину, чи має він сліди тривалого носіння, чи є навколо нього деформації, пов'язані з використанням монети як підвіски.

GIS-технології потрібні для аналізу просторового контексту. Монета в GIS перестає бути лише об'єктом опису й стає точкою на карті. Її можна зіставити з ареалом поширення певного типу, торговельними шляхами, річковими системами, античними центрами, зонами скарбів або місцями випадкових знахідок. Для античних монет Північного Причорномор'я такий підхід особливо важливий, бо багато екземплярів виходили за межі полісів і потрапляли до степової та лісостепової зон.

Статистичний аналіз використовується тоді, коли дослідник працює не з одним предметом, а з вибіркою. За його допомогою можна порівнювати вагові стандарти, діаметри, частоту типів, поширення певних іконографічних мотивів, концентрацію знахідок або кількість монет зі слідами вторинного використання. У темі демонетизованих монет статистика може показати, які типи частіше перфоровалися, де трапляються монети з отворами, чи пов'язані вони з певними регіонами або археологічними контекстами.

Узагальнено методику цифрової експертизи можна подати як послідовність кількох дій. Спершу фіксується сам предмет: фото, розміри, вага, стан поверхні, а за можливості 3D-модель і склад металу. Далі здійснюється первинна атрибуція за традиційними ознаками. Після цього монета зіставляється з цифровими каталогами, фото базами й аналогами. Наступний етап - перевірка проблемних місць: підозрілий рельєф, нетипова вага, дивний склад сплаву, невідповідний ареал знахідки, отвори або сліди переробки. Лише після цього можна формувати експертний висновок.

Для цієї роботи принциповим є те, що цифровий метод не розглядається як самодостатній. Комп'ютерний зір може знайти схожість, але не пояснить історичний контекст. GIS покаже просторову аномалію, але не доведе автоматично підробку. XRF дасть склад металу, але не завжди пояснить технологію виготовлення. 3D-модель покаже мікрорельєф, але потребуватиме нумізматичної інтерпретації. Тому найнадійніший результат дає не окремий інструмент, а їхнє поєднання з фаховою оцінкою дослідника.

1.3 Традиційні методи ідентифікації та експертизи монет

Традиційна нумізматична експертиза сформувалася задовго до появи цифрових каталогів, 3D-моделей і алгоритмів розпізнавання зображень. Її основою були уважний огляд монети, порівняння з відомими типами, вимірювання ваги й діаметра, аналіз легенди, іконографії, металу та техніки виготовлення. Саме ці прийоми й сьогодні залишаються першим рівнем роботи з будь-яким нумізматичним предметом. Навіть найсучасніша цифрова система фактично спирається на ті самі ознаки, які раніше фіксував фахівець вручну: тип, зображення, напис, номінал, метал, край, штемпель, стан поверхні та контекст знахідки (Grierson, 1975).

Монета в нумізматиці ніколи не розглядається лише як шматок металу або платіжний засіб. Вона є історичним джерелом, у якому поєднуються економічна, політична, технологічна й символічна інформація. Через зображення правителя, міську емблему, ім'я емітента, божество, тварину, зброю або монограму монета передавала певне повідомлення. Для античного світу це особливо характерно. Монети Ольвії, Пантікапея чи Херсонеса могли одночасно бути засобом обігу, знаком політичної автономії, носієм релігійних образів і способом репрезентації міської ідентичності (Howgego, 1995; Burnett, 1987).

Першим етапом залишається атрибуція. Дослідник має встановити, до якого часу, регіону, монетного двору, правителя або міста належить монета. Для

цього він зіставляє кілька ознак: форму, вагу, діаметр, метал, легенду, зображення, монограми, стиль виконання, технологію виготовлення та ступінь зношення. Жодна з цих ознак окремо не є достатньою. Наприклад, зображення може вказувати на певний тип, але вага або метал здатні поставити таку атрибуцію під сумнів. Тому надійний висновок виникає лише після зіставлення кількох параметрів (Grierson, 1975; Burnett, 1987).

Візуальний огляд є найпростішим, але не другорядним етапом експертизи. Саме він часто показує, у якому напрямі потрібно рухатися далі. Дослідник звертає увагу на рельєф, пошкодження, тріщини, сліди обрізання або свердління, корозію, патину, край монети, стан аверсу й реверсу. На цьому етапі можна побачити ознаки, які не завжди фіксуються в каталозі: підозріло рівну поверхню, сліди лиття, механічну доробку, штучне старіння або отвір для підвішування (Reese, 1988; Seaby, 1980).

Іконографічний аналіз стосується зображень на монеті. Це можуть бути портрети правителів, голови богів, тварини, міфологічні персонажі, зброя, рослини, архітектурні деталі або міські символи. Для античних монет Північного Причорномор'я такі образи мають особливе значення. Дельфін на ольвійських монетах може бути пов'язаний із морем і культом Аполлона Дельфінія. Грифон на боспорських монетах відсилає до уявлень про силу, охорону багатства й царський престиж. Образ богині Діви на херсонеських випусках пов'язаний із міським культом і локальною ідентичністю. Тому іконографія допомагає не лише визначити тип монети, а й зрозуміти культурне середовище, у якому вона виникла (Howgego, 1995).

Епіграфічний аналіз зосереджується на легендах, монограмах, скороченнях і написах. На монетах вони можуть містити назву міста, ім'я правителя, титул, ім'я магістрата, рік карбування або позначення номіналу. У практиці роботи з античними й середньовічними монетами це один із найскладніших етапів. Написи часто стерті, розміщені по колу, деформовані ударом штемпеля або збережені лише частково. Іноді для атрибуції достатньо

однієї літери чи фрагмента монограми, якщо вони збігаються з відомими аналогами (Grierson, 1975; Howgego, 1995).

Типологічний аналіз дозволяє впорядкувати монетний матеріал за спільними ознаками. До уваги беруться метал, форма, номінал, зображення, легенда, композиція, технологія виготовлення та хронологія. Для античної нумізматики це особливо важливо, бо значна частина монет не має прямого датування. Якщо дата на монеті відсутня, її місце в часі встановлюють через порівняння з іншими типами, змінами іконографії, ваговими параметрами та послідовністю емісій (Sear, 1978).

Порівняльний метод тісно пов'язаний із типологічним. Досліджуваний екземпляр зіставляють із монетами, описаними в каталогах, музейних зібраннях, корпусах, аукціонних публікаціях або наукових статтях. У минулому така робота потребувала тривалого перегляду друкованих видань. Тепер частина аналогів доступна онлайн, але логіка методу залишилася тією самою. Потрібно знайти не просто схожу монету, а справді релевантний аналог: з близьким типом, легендою, вагою, металом, штемпельними ознаками й хронологією (Sear, 1978; Ravel, 1948).

Метрологічний аналіз дає змогу працювати з кількісними параметрами монети. Передусім ідеться про вагу, діаметр, товщину, форму заготовки та співвідношення цих показників із відомими стандартами. Якщо монета помітно легша за очікуваний номінал, це може бути наслідком зношення, обрізання, корозії, технологічної помилки або свідомого погіршення стандарту. У випадку срібних монет зменшення ваги іноді пов'язують із фінансовими труднощами, девальвацією чи кризою монетного обігу (Kroll, 2008).

Технологічний аналіз допомагає встановити, як саме була виготовлена монета. Для давніх монет важливо розрізняти литі й карбовані екземпляри. Литі монети мають одні ознаки поверхні, карбовані - інші. Для ударного карбування характерні деформація металу, сліди тиску штемпеля, нерівномірність рельєфу, тріщини заготовки, зміщення аверсу й реверсу. Для литих копій або сучасних фальсифікатів можуть бути характерні пори, згладжені деталі, неприродно рівна поверхня чи повторювані дефекти (Metcalf, Oddy, 1980).

Штемпельний аналіз є одним із найважливіших методів класичної нумізматики. Його суть полягає у встановленні монет, карбованих одним і тим самим штемпелем. На робочій поверхні штемпеля були вирізані зображення, написи й символи, які переносилися на монету під час удару. Якщо на кількох монетах збігаються дрібні деталі рельєфу, форма літер, мікродефекти або розташування елементів, це може свідчити про спільний штемпель.

Для античної нумізматики штемпельний аналіз має особливу вагу. Багато емісій не мають точних дат, тому послідовність використання штемпелів допомагає уточнювати хронологію. Крім того, штемпельні зв'язки дають матеріал для реконструкції роботи монетного двору: кількості штемпелів, інтенсивності карбування, тривалості випуску, зв'язків між серіями. У випадку підробок цей метод також корисний. Якщо монета демонструє дивне поєднання аверсу й реверсу або не відповідає відомим штемпельним зв'язкам, це є підставою для додаткової перевірки (Швець, 2023; Carter, 1983).

Окремо аналізується патина та корозія. Природна патина формується внаслідок тривалого перебування металу в ґрунті або під дією атмосферного середовища. Її колір, щільність, розташування й структура можуть багато сказати про історію предмета. Штучна патина часто виглядає надто рівномірною або, навпаки, неприродно контрастною. Для матеріалів антикварного ринку це питання дуже важливе, адже імітація старіння є одним із поширених способів зробити підробку переконливішою (Seaby, 1980).

Контекстуальний метод передбачає аналіз монети не окремо, а в межах конкретної ситуації знахідки. Монета зі скарбу, монета з поховання, монета з культурного шару поселення й випадкова знахідка з приватного повідомлення мають різну джерельну цінність. Археологічний контекст допомагає уточнити датування, функцію предмета та характер його використання (Орлик, 2022).

Для демонетизованих монет контекст особливо важливий. Якщо монета має отвір, але знайдена без археологічного супроводу, її важко однозначно трактувати як прикрасу. Інша ситуація, коли такий екземпляр походить із поховання, лежить біля грудей, пояса або в зоні прикрас. Тоді отвір, сліди

носіння, потертість країв і положення в комплексі можуть свідчити про використання монети як підвіски, амулета або елемента костюма.

Дослідження монетних скарбів становить окремий напрям традиційної нумізматики. Скарб не можна розглядати лише як набір монет. Його склад, молодша монета, співвідношення номіналів, географія емісій і місце виявлення дають інформацію про монетний обіг, накопичення багатства, кризові явища, торгівлю та політичну ситуацію. Наприкінці XIX і на початку XX ст. поступово утвердилося розуміння, що цілісний скарб має більшу історичну цінність, ніж окрема монета без походження (Потильчак, 2023).

Причини приховування скарбів могли бути різними: війна, загроза нападу, міграції, смерть власника, економічна нестабільність, політичні потрясіння або бажання накопичити металеву вартість. Тому скарб фіксує не лише грошовий обіг, а й певну історичну ситуацію. У цифрову добу традиційне вивчення скарбів отримує нові можливості через GIS-картографування, статистику та бази даних, але первинна логіка аналізу залишається класичною.

Традиційні методи не протистоять цифровим технологіям. Навпаки, цифрові системи використовують саме ті ознаки, які виробила класична нумізматика. Комп'ютерний зір працює із зображенням, але шукає знайомі для нумізмата речі: контур портрета, форму літер, розташування символів, край, пошкодження, штемпельні збіги. Нейронна мережа може швидко переглянути тисячі зображень, але її результат має бути перевірений через типологію, метрологію, епіграфіку, технологію виготовлення й контекст (Ulichev, 2025).

Отже, традиційна ідентифікація та експертиза залишаються основою роботи з монетами. Візуальний огляд, атрибуція, типологія, іконографія, епіграфіка, метрологія, технологічний і штемпельний аналізи, вивчення патини, контексту та скарбів формують той рівень знання, без якого цифрові інструменти не мають надійної опори. Саме на цій основі можна переходити до комп'ютерного зору, 3D-моделей, GIS, XRF-аналізу та автоматизованого порівняння великих корпусів монетного матеріалу.

РОЗДІЛ 2

ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В НУМІЗМАТИЦІ

2.1. Цифрові бази даних та інформаційні системи

Практична робота з монетою часто починається з простого питання: чи має цей екземпляр надійний аналог? Якщо монета добре збережена, з читабельною легендою і виразним зображенням, дослідник може досить швидко звірити її з каталогом. Складніше тоді, коли напис стертий, рельєф пошкоджений, край обрізаний, а походження предмета відоме лише приблизно. Саме в таких випадках електронні бази даних стають особливо корисними. Вони не замінюють експерта, але допомагають швидше звужити коло пошуку.

У цифровому каталозі дослідник шукає не просто “таку саму монету”. Його цікавить сукупність ознак: портрет, символ на реверсі, залишки легенди, форма літер, метал, вага, діаметр, монетний двір, датування, місце знахідки або належність до певного скарбу. Наприклад, для пошкодженої бронзової монети Пантікапея вирішальним може бути не напис, а поєднання голови сатира, грифона, характеру рельєфу та вагових параметрів. Для ольвійського “борисфена” важливими будуть голова Борисфена, лук у гориті, сокира, вага, стан краю і місце виявлення.

Раніше така перевірка вимагала тривалого перегляду друкованих каталогів, музейних описів і окремих публікацій. Сьогодні значна частина цієї роботи перенесена в цифрове середовище. Електронна база дозволяє швидко відсіяти невідповідні варіанти: не той метал, не той номінал, не та хронологія, не той монетний двір або не та іконографія. Проте швидкість пошуку не гарантує правильного результату. Помилка в описі, погана фотографія або неперевірене походження монети можуть так само ввести дослідника в оману, як і неточний друкований каталог.

Сучасна нумізматична база зазвичай містить кілька типів інформації. Це фотографії аверсу й реверсу, вага, діаметр, метал, датування, легенда, опис зображення, бібліографія, місце зберігання, інвентарний номер, інколи місце

знахідки або зв'язок із конкретним скарбом. У найкращому випадку ці дані можна поєднати між собою. Тоді монета постає не як ізольована картинка, а як запис із власною історією: де її виготовили, де вона зберігається, з якими аналогами пов'язана і в якому контексті була знайдена.

Особливе місце серед таких ресурсів займає Nomisma.org. Його не варто сприймати як звичайний каталог монет. Це радше система стабільних цифрових позначень для нумізматичних понять: правителів, монетних дворів, номіналів, металів, географічних назв, історичних періодів. Практична користь цього ресурсу полягає в тому, що він допомагає “зшивати” різні бази між собою. Якщо один і той самий монетний двір або правитель у різних каталогах записаний по-різному, стабільний цифровий ідентифікатор дозволяє уникнути плутанини (Nomisma.org, 2026; Gruber, 2018; Pyzyk, 2025).

Для дослідника це має не лише технічне значення. Наприклад, монета може бути представлена в музейному каталозі, згадана в археологічній публікації, пов'язана з певним регіоном на GIS-карті й описана в цифровій базі. Якщо ці записи пов'язані через спільні ідентифікатори, дослідник отримує не розрізнені фрагменти, а єдине інформаційне поле. Саме на цьому принципі поступово формується цифрова нумізматична інфраструктура.

Іншу функцію виконує Online Coins of the Roman Empire. Цей ресурс орієнтований на римське імператорське карбування від Августа до Зенона. Для кожного типу подаються легенди, опис аверсу й реверсу, датування, монетний двір, бібліографія та зображення фізичних екземплярів (Online Coins of the Roman Empire, 2026). Для практичної атрибуції це зручно тоді, коли монета збережена частково. Дослідник може порівнювати не лише повний напис, а й окремі елементи: портрет, розташування символів, залишок титулатури, композицію реверсу.

Масштаб OCRE показує, наскільки далеко зайшла цифрова каталогізація. Ресурс охоплює понад 43 тис. типів монет і має зв'язки з понад 100 тис. фізичних екземплярів (Online Coins of the Roman Empire, 2026). Це важливо не лише для римської нумізматики. Такий приклад показує, як може працювати великий

цифровий корпус: тип монети пов'язується з конкретними музейними зразками, бібліографією, зображеннями та зовнішніми ресурсами. Для інших періодів і регіонів, зокрема для античного Північного Причорномор'я, подібна модель також є перспективною.

Coin Hoards of the Roman Empire працює інакше. Тут у центрі уваги не окрема монета, а скарб. База фіксує місце виявлення, склад комплексу, хронологію, археологічний контекст, історію дослідження та зв'язок із монетним обігом (Coin Hoards of the Roman Empire, 2026). Це важливо, бо скарб має іншу джерельну природу, ніж одинична знахідка. Він може відображати накопичення, кризу, небезпеку, військову ситуацію, зміну ринку або особливості регіонального обігу.

Масштаб CHRE добре показує, що сучасна нумізматики вже працює з великими масивами даних. У базі зафіксовано 7 629 305 монет у 18 813 скарбах (Coin Hoards of the Roman Empire, 2026). Такий матеріал неможливо повноцінно опрацювати лише ручним способом. Він потребує статистичних інструментів, картографування, хронологічних фільтрів і порівняння регіонів. Через такі дані можна вивчати не один окремий скарб, а цілі зони концентрації, періоди масового приховування або зміну складу грошових комплексів у часі.

До близьких за логікою проєктів належить FLAME Project, створений при Принстонському університеті. Він працює з монетами пізньої античності та раннього середньовіччя, поєднуючи дані про знахідки, монетні двори, археологічний контекст і GIS-візуалізацію (FLAME Project, 2026; Pyzyk, 2021). Станом на 2021 р. у межах проєкту було оцифровано й візуалізовано понад 700 тис. монет із Західної Афро-Євразії за період приблизно 325-750 рр. Тут монета розглядається не як окремий опис, а як частина руху грошей у просторі й часі.

Для теми цієї роботи FLAME цікавий передусім методично. Подібний принцип можна застосовувати і до античних монет Північного Причорномор'я. Наприклад, знахідки ольвійських монет можна зіставляти з Дніпром, Південним Бугом, Тясмином, зонами лісостепу, місцями скарбів і ареалами контактів із місцевим населенням. У такому разі база даних перестане бути лише переліком

предметів. Вона стає інструментом для реконструкції маршрутів, обмінів і регіональних зв'язків.

Окремо слід згадати Numista. На відміну від академічних корпусів, цей ресурс поєднує каталог, відкриту енциклопедію і спільноту колекціонерів (Numista, 2026). Його сильний бік - великий обсяг матеріалу й доступність. Через Numista можна швидко знайти базову інформацію про монету, переглянути фотографії, технічні характеристики, варіанти збереження або ринкові орієнтири. Але саме відкритий характер ресурсу вимагає обережності. Для попереднього пошуку він корисний, однак для наукової атрибуції дані потрібно перевіряти за каталогами, музейними колекціями та фаховими публікаціями.

Для античної нумізматики Північного Причорномор'я особливо потрібні регіональні електронні ресурси. Загальні бази дають широкий контекст, але не завжди добре передають місцеву специфіку. Ольвійські “дельфінчики”, литі оболі, “борисфени”, боспорські бронзи, херсонеські випуски з богинею Дівою або монети Тіри потребують уважного зіставлення з локальними каталогами й публікаціями. Тут важливими є не лише тип і дата, а й особливості поширення, зв'язок із конкретними регіонами та стан збереження.

Музейні електронні колекції становлять ще одну важливу групу джерел. Їхня перевага полягає в тому, що монета часто має інвентарний номер, опис, історію надходження й перевірену атрибуцію. Для дослідника це надійніший матеріал, ніж випадкове зображення з мережі. Якщо музей подає якісні фото аверсу й реверсу, вагу, діаметр і бібліографію, такий запис може бути повноцінним аналогом для порівняння. Особливо цінними є колекції, де додано 3D-моделі або збільшені зображення деталей (Orna, Pettitt, 1998; Economou, 2015).

Водночас музейний цифровий запис теж не завжди ідеальний. Частина монет потрапила до зібрань давно, без точного місця знахідки. Іноді є тільки загальна вказівка на регіон або стару колекцію. Тому навіть музейна база потребує джерелознавчої оцінки. Для типології та порівняння такий матеріал

може бути дуже корисним. Але для реконструкції топографії обігу або GIS-картографування його потрібно використовувати обережніше.

Цифрові бази дедалі частіше стають джерелом навчальних вибірок для алгоритмів комп'ютерного зору. Якщо система має тисячі зображень монет із правильною атрибуцією, вона може навчатися розпізнавати типи, портрети, легенди, символи або штемпельні збіги (Ulichev, 2025). Проте тут є важлива умова: навчальна вибірка має бути якісною. Якщо в базі є помилкові атрибуції, погані фото, різні масштаби, надмірна ретуш або неточні метадані, алгоритм не усуне ці проблеми, а лише відтворить їх у нових результатах.

Тому для цифрової експертизи важлива не тільки кількість даних. Не менш важливі походження запису, якість зображення, сталість термінології, повнота опису й можливість перевірити інформацію за іншими джерелами. Наприклад, монета з аукціону може мати дуже якісну фотографію й точне визначення типу, але без надійного місця знахідки вона мало придатна для аналізу просторового обігу. Натомість монета з археологічного комплексу може бути гірше збережена, але мати набагато вищу джерельну цінність.

Сучасні цифрові платформи поступово рухаються до поєднання різних типів даних. До опису монети додаються фото, вага, діаметр, метал, координати знахідки, 3D-модель, результати XRF-аналізу, бібліографія та посилання на аналоги. Така модель найбільше відповідає природі нумізматичного предмета. Монета є не тільки зображенням і не тільки металом. Вона має матеріальну, візуальну, текстову, просторову та історичну складові.

Це особливо важливо для експертизи сумнівних предметів. Якщо монета візуально схожа на відомий тип, але має нетипову вагу, дивний склад сплаву, неприродно рівну поверхню або походить із регіону, де такі знахідки не фіксувалися, цифрова база допомагає швидко виявити цю невідповідність. Проте остаточний висновок усе одно потребує зіставлення кількох джерел: каталогу, аналогів, результатів огляду, метрології, археометрії та контексту.

Масштаб цифрової нумізматики добре видно на прикладі міжнародних ресурсів, які вже працюють із десятками тисяч типів, сотнями тисяч або

мільйонами екземплярів, GIS-даними та пов'язаними відкритими даними (див. табл. 2.1).

Таблиця 1.1

**Приклади цифрових нумізматичних ресурсів GIS-картографування і
масштаби їхніх даних**

Ресурс	Масштаб даних	Дослідницьке значення
Coin Hoards of the Roman Empire	7 629 305 монет у 18 813 скарбах	Аналіз скарбів, монетного обігу, GIS-картографування, Big Data
Online Coins of the Roman Empire	Понад 43 тис. типів монет і понад 100 тис. фізичних екземплярів	Атрибуція римського імператорського карбування, порівняння типів і музейних зразків
FLAME Project	Понад 700 тис. монет, оцифрованих і візуалізованих станом на 2021 р.	Аналіз циркуляції монет у Західній Афро-Євразії в 325–750 рр.
CoinSampo	Понад 18 тис. знахідок і близько 620 тис. RDF-триплетів	Приклад пов'язаних відкритих даних, семантичного пошуку та GIS-аналізу
Antike Fundmünzen in Europa	4 інсталяції: Франкфурт, Гайдельберг, Варшава, Будапешт	Приклад міжнародної інфраструктури для обліку монетних знахідок

Наведені приклади показують, що цифрові ресурси вже працюють не з десятками чи сотнями записів, а з великими корпусами матеріалу. Для нумізматики це змінює масштаб дослідження. Можна аналізувати не лише одну монету, а тисячі типів, сотні тисяч екземплярів, скарби, регіони, хронологічні зрізи й маршрути поширення. Водночас великий обсяг даних не скасовує джерельної критики. Навпаки, що більша база, то важливішими стають стандарти опису, перевірка атрибуції та розуміння походження кожного запису.

Отже, цифрові бази даних та інформаційні системи є важливою частиною сучасної нумізматичної роботи. Вони допомагають шукати аналоги, перевіряти атрибуцію, зіставляти монети з музейними зразками, аналізувати скарби, працювати з GIS-даними й готувати матеріал для комп'ютерного розпізнавання. Але їх потрібно використовувати критично. Для дослідника важливо знати не лише те, що монета є в базі, а й хто її описав, звідки взято інформацію, чи є якісне зображення, чи відоме місце знахідки, чи перевірена атрибуція і чи можна зіставити цей запис з іншими джерелами.

2.2. Комп'ютерний зір та штучний інтелект у розпізнаванні монет

Комп'ютерний зір, або Computer Vision, є напрямом штучного інтелекту, що працює з автоматизованим аналізом зображень. У загальному розумінні його завдання полягає в тому, щоб навчити комп'ютер розпізнавати об'єкти, їхню форму, контури, текстури, просторові співвідношення та повторювані візуальні ознаки. У нумізматиці це може використовуватися для визначення типу монети, номіналу, емітента, монетного двору, історичного періоду, правителя, штемпельних зв'язків або слідів пізнішого втручання. Основні принципи комп'ютерного зору докладно розглянуті у працях Р. Селіські, де показано поєднання класичних алгоритмів виділення ознак із моделями машинного та глибинного навчання (Szeliski, 2022).

Для нумізматики монета є складним візуальним об'єктом. На її поверхні можуть бути рельєфні зображення, легенди, монограми, символи, сліди зношення, корозії, удару штемпеля, механічних пошкоджень або пізніших втручань. Тому цифрова система має працювати не тільки з загальною формою предмета, а й з дрібними деталями. Саме вони часто є вирішальними для атрибуції. Через це комп'ютерний зір у нумізматиці потрібний не лише для розпізнавання монети як об'єкта, а й для аналізу композиції аверсу й реверсу, форми літер, стилістики портретів, розташування символів, рельєфу та мікропошкоджень.

Поширення комп'ютерного зору в нумізматиці стало можливим завдяки розвитку цифрових баз і накопиченню великих масивів зображень монет. Nomisma.org, Online Coins of the Roman Empire, Coin Hoards of the Roman Empire, Numista та інші електронні каталоги створили основу для автоматизованого пошуку аналогій і навчання алгоритмів машинного навчання. Їхня цінність полягає не лише у фотографіях. Такі ресурси містять і метадані: датування, монетний двір, номінал, матеріал, легенди, типологічний опис і бібліографію. Поєднання зображення з описом робить ці бази придатними для цифрової

класифікації та експертного порівняння (Nomisma.org, 2026; Online Coins of the Roman Empire, 2026; Numista, 2026).

На ранніх етапах цифрового розпізнавання монет використовувалися класичні алгоритми обробки зображень. Одним із найвідоміших став SIFT, або Scale-Invariant Feature Transform, запропонований Д. Лоу. Цей метод виділяє на зображенні характерні ключові точки, які залишаються відносно стабільними за зміни масштабу, повороту, освітлення або часткової деформації зображення. У випадку монет такими точками можуть бути контури літер, елементи портретів, деталі головного убору, лінії тваринних зображень, монограми або фрагменти орнаменту. Саме тому SIFT придатний для порівняння монет із різним станом збереження (Lowe, 2004).

Поряд із SIFT у цифровій нумізматиці можуть використовуватися SURF та ORB. Вони шукають ключові точки й створюють дескриптори, за якими одне зображення можна зіставити з іншим. Наприклад, якщо на монеті частково стерта легенда, алгоритм може порівняти збережені фрагменти літер із зображеннями в базі даних. Якщо реверс пошкоджений, але аверс зберігся краще, пошук можна вести за деталями портрета чи символіки. Перевага таких методів у тому, що вони швидко переглядають велику кількість можливих збігів і дають досліднику короткий перелік імовірних аналогій.

Окреме значення комп'ютерний зір має для штемпельного аналізу. У традиційній нумізматиці встановлення того, що дві або більше монет були викарбувані одним штемпелем, потребувало тривалого ручного порівняння. Цифрові методи частково спрощують цю роботу. Алгоритм може зіставляти контури, мікродефекти, розміщення елементів композиції, форму окремих літер і дрібні особливості рельєфу. У цьому контексті важливою є праця О. Швець, присвячена сучасному стану штемпельного аналізу та перспективам його цифровізації. Авторка підкреслює, що цифрові технології не змінюють сутності методу, але роблять його продуктивнішим і придатним для роботи з великими корпусами монетних зображень (Швець, 2023).

Значні зміни пов'язані з машинним і глибинним навчанням. Якщо класичні алгоритми працюють із наперед визначеними ознаками, то нейронні мережі здатні самостійно виявляти закономірності у великих масивах даних. Особливу роль відіграють згорткові нейронні мережі, або Convolutional Neural Networks. Вони добре зарекомендували себе в розпізнаванні зображень, оскільки можуть працювати з візуальними патернами різного рівня: від простих контурів до складних композиційних структур (LeCun, Bengio, Hinton, 2015).

У нумізматиці CNN можуть використовуватися для класифікації монет за державою, емітентом, типом, номіналом, монетним двором або часовим періодом. Система аналізує не одну ознаку, а їхню сукупність: форму портрета, характер рельєфу, розташування написів, структуру поля, пропорції зображення, особливості краю. Це особливо корисно тоді, коли легенди стерті, а основними підказками залишаються іконографія та стилістика виконання.

Прикладом практичного використання глибинного навчання є дослідження Н. Капече, У. Ерри та А. В. Чиліберто, присвячене системі розпізнавання монет для мобільних пристроїв. Автори запропонували архітектуру, у якій користувач отримує результат через мобільний інтерфейс, а обробка зображення здійснюється за допомогою нейронної мережі (Caprese, Erra, Ciliberto, 2016). Це показує, що розпізнавання монет поступово виходить за межі лабораторного експерименту й може використовуватися в музейній, колекційній та експертній практиці.

Для української цифрової нумізматики важливими є дослідження Н. Пасічник і Р. Ріжняка, а також О. Улічева, О. Дрієєва та М. Федоренка. Н. Пасічник і Р. Ріжняк розглядають цифрове розпізнавання як процес, що охоплює отримання зображення, попередню обробку, сегментацію, виділення ознак, порівняння з еталонними даними та класифікацію (Pasichnyk, Rizhniak, 2024). У статті О. Улічева, О. Дрієєва та М. Федоренка йдеться вже не лише про класифікацію монет, а й про автоматизацію відновлення послідовності зміни монетних штемпелів за цифровими зображеннями. Це переводить комп'ютерний

зір від простого розпізнавання до складніших експертних завдань, пов'язаних із реконструкцією роботи монетного двору (Ulichev, Drieiev, Fedorenko, 2025).

Окремо слід згадати OCR-технології, тобто Optical Character Recognition, які використовуються для автоматичного розпізнавання написів. У нумізматиці OCR може застосовуватися для аналізу легенд, монограм, скорочень, числових позначень і титулатури. Класичним прикладом є Tesseract OCR, архітектуру якого описав Р. Сміт (Smith, 2007). Хоча OCR-системи створювалися насамперед для друкованого або рукописного тексту, їхні принципи можна адаптувати до нумізматичного матеріалу, особливо разом із нейронними мережами та ручною перевіркою.

Разом із тим OCR на монетах має очевидні обмеження. Легенди часто розташовані по колу, частково стерті або деформовані. На античних і середньовічних монетах літери можуть мати нестандартну форму, скорочення чи стилізацію. До цього додається рельєфна поверхня, яка створює тіні, спотворення й нерівномірне освітлення. Тому OCR у нумізматиці краще розглядати не як самостійний інструмент, а як частину ширшої системи, де текстовий аналіз поєднується з іконографією, формою й метрологічними характеристиками.

Окремий напрям пов'язаний із використанням штучного інтелекту для виявлення підробок. Традиційна експертиза фальсифікатів значною мірою залежить від досвіду фахівця, який оцінює рельєф, поверхню, патину, сліди лиття, структуру краю та відповідність штемпельних ознак відомим автентичним монетам. Алгоритми комп'ютерного зору можуть автоматично шукати мікрорельєфні аномалії, повторювані дефекти, нетипову гладкість поверхні, ознаки копіювання або невідповідність окремих деталей. Проте цифровий результат не є остаточним висновком. Його варто сприймати як сигнал для подальшої перевірки традиційними та археометричними методами.

Перспективним є поєднання комп'ютерного зору з 3D-моделюванням. Двовимірна фотографія фіксує площинне зображення, тоді як 3D-модель дає інформацію про глибину рельєфу, висоту виступів, характер зношення, механічні пошкодження, сліди свердління, обрізання або доробки. Для експертизи це має

практичне значення, бо деякі ознаки підробки чи вторинного використання майже непомітні на звичайній фотографії, але краще фіксуються в тривимірній моделі. Тому подальший розвиток цифрової експертизи, ймовірно, буде пов'язаний із поєднанням 2D-зображень, 3D-даних, XRF-аналізу, GIS-контексту та алгоритмів штучного інтелекту.

Попри переваги, використання штучного інтелекту в нумізматиці має обмеження. Одна з головних проблем полягає в неоднорідності цифрових зображень. Фотографії монет можуть відрізнятися освітленням, фоном, масштабом, кутом зйомки, різкістю та кольоровим балансом. Це ускладнює навчання алгоритмів і може призводити до помилкової класифікації. Інша проблема пов'язана з браком якісно розмічених навчальних вибірок. Для ефективної роботи нейронної мережі потрібні великі масиви зображень, де кожна монета має надійно визначений тип, датування, монетний двір і стан збереження.

Є й проблема інтерпретації результатів. Штучний інтелект може запропонувати найбільш імовірний варіант атрибуції, але не завжди пояснює, чому обрано саме його. Для гуманітарних наук це суттєво, бо дослідник повинен мати змогу перевірити логіку висновку. Тому в нумізматиці важлива не тільки точність алгоритму, а й прозорість його роботи: можливість бачити знайдені збіги, переглядати альтернативні варіанти та поєднувати цифровий результат із традиційною експертною оцінкою.

2.3. 3D-сканування та цифрова реконструкція

Звичайна фотографія не завжди передає те, що важливо для нумізматичної експертизи. Вона добре фіксує загальний вигляд монети, композицію аверсу й реверсу, частину легенди, колір поверхні та стан збереження. Але фотографія залишається площинним зображенням. Вона не завжди показує глибину рельєфу, висоту деталей, характер зношення, мікропошкодження, особливості краю або сліди механічного втручання. Саме тому 3D-сканування поступово входить у

практику нумізматичних досліджень. Воно потрібне не для красивої візуалізації самої по собі, а для точнішої фіксації тих ознак, які складно побачити на звичайному фото: слідів лиття, свердління, обрізання, удару штемпеля, деформації заготовки, тріщин або пізнішої доробки поверхні (Remondino, 2011; Швець, 2025).

Для монет це особливо актуально через їхній невеликий розмір і складний рельєф. Навіть добре збережений екземпляр може мати нерівну поверхню, ділянки корозії, потертості, сліди подвійного удару або незначні деформації, які мають значення для атрибуції. У випадку античних монет Північного Причорномор'я це може стосуватися, наприклад, ольвійських бронзових емісій, пантікапейських монет із головою сатира та грифоном, херсонеських випусків із богинею Дівою або дрібних монет із частково стертими легендами. На фотографії така монета іноді виглядає як просто зношений предмет. У тривимірній моделі можна окремо розглянути глибину рельєфу, край, сліди натиску, отвір, подряпини та ділянки, де поверхня поводить себе нетипово.

Основними способами створення 3D-моделей монет є лазерне сканування, сканування структурованим світлом, фотограмметрія та мікропрофілометрія. Лазерне сканування працює через зчитування геометрії поверхні променем, після чого формується хмара точок і цифрова модель предмета. Такий метод корисний тоді, коли потрібно зафіксувати дрібні особливості рельєфу або порівняти кілька екземплярів за мікроструктурою поверхні. Сканування структурованим світлом ґрунтується на іншому принципі: на монету проєктується світловий шаблон, а камера фіксує його викривлення на рельєфі. За цими викривленнями програма відтворює форму предмета. Обидва методи мають перевагу безконтактності, що важливо для музейних предметів, рідкісних монет і крихких екземплярів із корозованою поверхнею (Beraldin, 2004; Guidi, Russo, 2010).

Фотограмметрія є доступнішим способом. Для неї потрібна серія фотографій, зроблених із різних ракурсів, після чого програма знаходить спільні точки на знімках і відтворює просторову форму предмета. У музейній і

навчальній практиці цей метод привабливий тим, що не завжди потребує дорогого обладнання. Проте з монетами він не такий простий, як може здатися. Малий розмір предмета, блискуча або темна патинована поверхня, слабкий рельєф і дрібні літери створюють труднощі. Якщо освітлення нерівномірне, програма може сприйняти тінь як рельєф. Якщо фото зроблені під недостатньою кількістю кутів, модель буде придатною для демонстрації, але не для експертизи. Тому фотограмметрія в нумізматиці потребує акуратної зйомки, стабільного масштабу, контрольованого світла й перевірки результату вручну (Doneus, 2011; Morris, 2022).

Окремо варто згадати методи, які не завжди є повноцінним 3D-скануванням, але істотно розширюють можливості роботи з поверхнею монети. До них належить Reflectance Transformation Imaging, або RTI. Його суть полягає в тому, що предмет фотографують багато разів із незмінного положення камери, але з різними напрямками освітлення. Після цього програма дозволяє змінювати світло вже у цифровому середовищі. Для нумізматики це корисно тоді, коли рельєф низький, легенда стерта, а окремі літери або контури зображення видно лише під певним кутом. На звичайній фотографії така деталь може зникати, тоді як RTI дозволяє “погратися” світлом і краще побачити слабкий напис, лінію портрета, залишок монограми або слід механічної доробки (Malzbender, Gelb, Wolters, 2001; Earl et al., 2010).

Для пошкоджених монет RTI може бути навіть практичнішим за складне 3D-сканування. Наприклад, якщо на бронзовій монеті збереглася лише частина легенди, зміна напрямку освітлення допомагає відділити справжній рельєф від тіні, корозії або подряпини. Це важливо і для підробок: штучно створена патина, дрібні сліди обробки, згладжені контури або залишки ливарних дефектів іноді краще виявляються саме при змінному освітленні. Тому RTI можна розглядати як проміжний інструмент між класичною фотографією та тривимірною моделлю. Він не дає повної геометрії предмета, але значно покращує читання поверхні.

Ще один перспективний напрям пов'язаний із побудовою цифрових карт висот. Якщо 3D-модель достатньо точна, її можна використовувати не лише для

огляду, а й для вимірювання рельєфу. У такому разі дослідник бачить, які ділянки монети виступають вище, де рельєф згладжений, де є западини, тріщини, сліди свердління або механічного втручання. Для карбованих монет це допомагає аналізувати силу удару штемпеля, нерівномірність тиску, зміщення заготовки та зношення окремих елементів. Для литих копій такі карти можуть показати неприродно рівну поверхню або повторювані заглиблення, які не характерні для ударного карбування.

Особливо корисними є карти відхилень, коли дві 3D-моделі накладаються одна на одну і порівнюються за рельєфом. Якщо кілька монет мають однакові мікродфекти, однакову глибину пошкоджень або повторювані нерівності поверхні, це може бути ознакою копіювання з одного зразка. У традиційному візуальному аналізі такі збіги помітити складно, особливо якщо монети мають різну патину або різний стан збереження. Цифрове порівняння дозволяє побачити не лише загальну схожість, а й дрібні повтори, які можуть бути важливими для виявлення серійних фальсифікатів.

Серійне порівняння 3D-моделей може бути корисним і для штемпельного аналізу. У класичній практиці дослідник порівнює зображення, літери, символи й дефекти штемпеля. Тривимірна модель додає до цього ще один вимір: глибину рельєфу, форму виступів, профіль ліній, характер зношення штемпеля. Якщо монети карбувалися одним штемпелем, між ними можуть збігатися не лише контури зображення, а й дрібні особливості рельєфу. Водночас треба враховувати, що кожен удар міг давати певні відмінності через силу натиску, положення заготовки або стан металу. Тому 3D-порівняння не скасовує ручного штемпельного аналізу, а лише додає до нього точніший інструмент перевірки.

Одна з найважливіших функцій 3D-сканування полягає у фіксації стану монети на певний момент часу. Це має значення для музейного обліку, реставрації та наукового порівняння. Монета може змінюватися: поверхня темніє, з'являються нові ділянки корозії, предмет очищують, консервують або переміщують між фондами і виставками. Якісна 3D-модель зберігає не тільки зовнішній вигляд, а й геометрію поверхні. У майбутньому її можна буде

порівняти з новою моделлю й побачити, чи змінився стан предмета. Для рідкісних екземплярів це особливо важливо, бо фізичний контакт із монетою бажано мінімізувати.

У музейному середовищі 3D-модель має ще одну функцію - освітню та демонстраційну. Монету важко показати широкій аудиторії у звичайній вітрині. Вона мала, часто темна, а частина деталей помітна лише під певним кутом. Цифрова модель дозволяє обертати предмет, збільшувати рельєф, розглядати аверс, реверс і край, не торкаючись оригіналу. Проте для наукової роботи важливіше інше: така модель може бути джерелом вимірюваних даних. За нею можна аналізувати висоту рельєфу, деформації, розташування пошкоджень і технологічні сліди, які не завжди потрапляють до звичайного опису (Orna, Pettitt, 1998; Economou, 2015).

Особливо корисним 3D-аналіз є під час дослідження технології виготовлення монети. Для карбованих екземплярів важливо бачити сліди удару штемпеля, зміщення зображення, нерівномірність тиску, тріщини заготовки, деформацію металу біля краю. Для литих монет або литих копій важливими є інші ознаки: пористість, згладженість деталей, неприродна рівність поверхні, сліди ливарного шва або дрібні дефекти, що повторюються на кількох предметах. У цьому сенсі 3D-модель допомагає не просто описати монету, а побачити сам процес її виготовлення. Вона показує, де метал був стиснений, де рельєф ослаблений, де край змінений, а де поверхня виглядає нехарактерно для ударного карбування (Oddy, 1980; Швець, 2025).

Для виявлення підробок це має практичне значення. Сучасна копія може виглядати переконливо на фотографії, особливо якщо її поверхню штучно зістарили або вкрили патиною. Але в тривимірній моделі іноді видно те, що важко помітити на фото: однакову глибину деталей, неприродну гладкість поля, відсутність характерної деформації металу, мікропори, сліди механічної доробки або повторювані дефекти копіювання. Якщо підробка зроблена з оригіналу через форму, вона може переносити не лише зображення, а й чужі пошкодження. Для

ока це може виглядати як “стара поверхня”, але 3D-порівняння кількох екземплярів здатне показати повторюваність цих дефектів.

Окремий блок становлять демонетизовані монети. Для них 3D-сканування може бути навіть важливішим, ніж для звичайної атрибуції. Якщо монета має отвір, потрібно зрозуміти, як він був зроблений: пробитий, просвердлений, розширений пізніше чи зношений унаслідок тривалого носіння. Навколо отвору можуть бути мікротріщини, заглажені краї, сліди тертя шнура або металевого кільця. На фотографії ці ознаки іноді зливаються з корозією або тінню. У 3D-моделі можна окремо оцінити профіль отвору, його краї, нахил, глибину й зв’язок із рельєфом монети.

Це саме стосується обрізання країв, згинання, пайки або вмонтування монети в інший предмет. Якщо монета використовувалася як підвіска, прикраса чи амулет, сліди такого використання не завжди очевидні. Потертість може концентруватися біля отвору або на певній частині краю. Деформація може відповідати не випадковому пошкодженню, а тривалому носінню. Сліди пайки можуть указувати на включення монети до ювелірного виробу. Для таких випадків 3D-модель допомагає розмежувати давнє вторинне використання, пізніші реставраційні втручання й сучасні пошкодження (Orlyk, 2022).

Цифрова реконструкція має інший характер. Вона застосовується тоді, коли монета пошкоджена, фрагментована або має втрати рельєфу. За допомогою програмного моделювання можна припустити первісну форму краю, відновити частину легенди, зіставити пошкоджений фрагмент із краще збереженим аналогом або перевірити кілька варіантів атрибуції. Проте таку реконструкцію потрібно трактувати обережно. Вона не є “відновленою реальністю”, а лише дослідницькою гіпотезою. Якщо фрагмент легенди реконструйовано за аналогом, у тексті роботи слід прямо зазначати, що це реконструкція, а не збережена ознака самого предмета.

У 2025 р. О. Швець, О. Бондаренко та В. Коцур спеціально розглянули 3D-технології в нумізматичних студіях. Автори показали, що тривимірні моделі можуть використовуватися не тільки для візуалізації, а й для експертизи,

порівняльного аналізу, дослідження поверхні та інтеграції нумізматичних даних у цифрові платформи (Shvets, Bondarenko, Kotsur, 2025). Це важливий акцент, бо 3D-модель у такому підході перестає бути додатковою ілюстрацією. Вона стає частиною джерельної бази, поряд із фотографією, описом, вагою, діаметром, складом металу та інформацією про походження монети.

Найкращий результат 3D-сканування дає не окремо, а в поєднанні з іншими методами. Наприклад, комп'ютерний зір може знайти візуально подібні екземпляри, XRF-аналіз показує склад металу, GIS допомагає перевірити просторовий контекст, а 3D-модель фіксує мікрорельєф і сліди технологічного або механічного втручання. Якщо всі ці дані узгоджуються між собою, експертний висновок стає надійнішим. Якщо ж один із рівнів дає суперечливий результат, предмет потребує додаткової перевірки. Наприклад, монета може виглядати як автентична за типом, але мати нетипову геометрію рельєфу, підозрілий склад сплаву або незвичне походження.

Попри переваги, 3D-сканування має обмеження. Професійне обладнання коштує дорого, а якісні моделі потребують досвіду оператора, правильно організованого освітлення, стабільного масштабу та спеціального програмного забезпечення. Великі обсяги цифрових файлів ускладнюють зберігання й обмін даними. Є й проблема стандартів: різні установи можуть створювати моделі в різній роздільній здатності, з різними форматами, різними правилами опису й архівування. Через це інтеграція 3D-моделей у міжнародні цифрові системи поки залишається складною (Pyzyk, 2025).

Отже, 3D-сканування та цифрова реконструкція розширюють можливості нумізматичної експертизи там, де звичайна фотографія вже не дає достатньо інформації. Вони корисні для фіксації рельєфу, краю, отворів, слідів зношення, лиття, свердління, механічної доробки, реставрації та вторинного використання монети. Але ці методи потребують обережного застосування. 3D-модель не замінює атрибуцію, контекст і фаховий огляд. Вона додає ще один рівень перевірки, який особливо важливий для підробок, пошкоджених екземплярів і демонетизованих монет.

2.4. Геоінформаційні системи (GIS) у дослідженні монетних знахідок

Монетна знахідка має не лише тип, вагу, метал і зображення. Вона має ще й місце. Саме просторовий контекст часто допомагає зрозуміти, як монета потрапила до певної території, чи була вона частиною регулярного обігу, скарбу, випадкової втрати, поховального комплексу або пізнішого переміщення. Якщо розглядати монету тільки як окремий предмет у каталозі, цей рівень інформації легко втрачається. GIS-технології дають змогу повернути монетні знахідки на карту й аналізувати їх не ізольовано, а в системі просторових зв'язків (Gregory, Ell, 2007; Conolly, Lake, 2006).

У традиційній нумізматиці місце знахідки завжди мало значення. Дослідники фіксували населені пункти, райони, археологічні пам'ятки, обставини виявлення скарбів або окремих монет. Проте паперові карти, списки й табличні каталоги не завжди дозволяли побачити загальну картину. Геоінформаційні системи працюють інакше: кожна знахідка може бути нанесена на карту й пов'язана з датуванням, типом монети, металом, номіналом, емітентом, археологічним контекстом, бібліографією або рівнем достовірності локалізації. У результаті дослідник бачить не просто перелік знахідок, а просторову модель їх поширення.

Для території України такий підхід має особливе значення. Монетні знахідки різних епох розподілені дуже нерівномірно. Одні регіони добре представлені завдяки археологічним розкопкам, музейним колекціям і регулярним публікаціям. Інші залишаються слабше помітними в науковому обігу, хоча це не завжди означає реальну відсутність матеріалу. GIS дозволяє не тільки показати на карті вже відомі знахідки, а й побачити, де джерельна база є щільнішою, а де вона фрагментарна або залежить від випадкових повідомлень.

Практична користь GIS полягає в тому, що монету можна зіставити з її оточенням. Наприклад, окрема знахідка середньовічної або ранньомодерної монети сама по собі може бути лише одиничним фактом. Але якщо поруч фіксуються інші знахідки того самого часу, проходили торговельні шляхи,

існували укріплення, ярмаркові центри, переправи, монастирі або адміністративні осередки, така монета набуває ширшого значення. Вона стає частиною просторової картини економічних, політичних і соціальних зв'язків.

GIS особливо корисний під час роботи зі скарбами. Скарб фіксує не лише набір монет, а певну історичну ситуацію. Його могли приховати через небезпеку, війну, політичну нестабільність, міграцію, смерть власника або прагнення зберегти накопичене багатство. Якщо нанести скарби на карту, можна побачити райони їх концентрації, порівняти хронологію приховування, склад комплексів і зв'язок із важливими шляхами, кордонами, містами чи зонами конфліктів. У такому разі GIS допомагає працювати не з одним скарбом, а з цілим масивом матеріалу (Lockyear, 2000; Štajer, 2020; Потильчак, 2023).

Важливо, що GIS дозволяє поєднувати різні шари інформації. На одну карту можна накласти монетні знахідки, археологічні пам'ятки, старі дороги, річки, адміністративні межі, місця скарбів, центри торгівлі, укріплення або райони активних розкопок. Це змінює характер запитань. Дослідник може з'ясовувати, чи тяжіють знахідки певного періоду до річкових долин, чи є зв'язок між скарбами і воєнними подіями, чи збігаються зони поширення монет із відомими торговельними напрямками, чи відрізняється просторовий розподіл срібних, мідних і білонних монет.

Окремо слід враховувати масштаб локалізації. Для GIS велике значення має те, наскільки точно відоме місце знахідки. Одна ситуація, коли монета зафіксована в межах археологічного об'єкта з точними координатами. Інша - коли відомий лише населений пункт або район. Ще складніша ситуація виникає тоді, коли в описі зазначено тільки область, історичний регіон або загальне формулювання на зразок "Україна". Усі ці записи можуть бути корисними, але їх не можна використовувати однаково. Точна координата придатна для мікрорегіонального аналізу, приблизна локалізація - лише для загальної карти поширення, а неперевірене походження краще позначати окремо.

Саме тому під час створення GIS-бази доцільно вводити рівні достовірності локалізації. Наприклад, перший рівень - точні координати

археологічної знахідки; другий - точна прив'язка до пам'ятки або населеного пункту; третій - район чи громада; четвертий - область або великий історико-географічний регіон; п'ятий - неперевірене або умовне походження. Така градація допомагає уникнути хибної точності. Карта з однаковими позначками для всіх знахідок може виглядати переконливо, але вона приховує різну якість джерел (Breier, 2011; Pyzyk, 2025).

Одним із прийомів GIS-аналізу є побудова карт щільності. Вони показують не лише окремі точки, а ділянки найбільшої концентрації знахідок. Це корисно тоді, коли матеріалу багато і проста карта стає перевантаженою. Карта щільності може показати активні зони монетного обігу, райони накопичення скарбів, території з підвищеною кількістю випадкових знахідок або, навпаки, зони, де матеріал майже не фіксується. Проте такі карти потребують обережного тлумачення. Висока концентрація точок може бути наслідком не лише історичних процесів, а й сучасної активності дослідників, пошукачів або публікаторів (Conolly, Lake, 2006; Micle, Torok-Oance, 2009).

Це одна з головних проблем GIS у нумізматиці. Карта виглядає переконливо, але вона залежить від якості вихідних даних. Якщо координати неточні, місце знахідки вказане приблизно або матеріал походить із приватної колекції без документованого походження, така точка не має тієї самої ваги, що й археологічно зафіксована знахідка. Тому для GIS важливо розрізняти рівні достовірності: точна археологічна локалізація, населений пункт, район, область, умовне походження або невідоме місце виявлення.

Особливо обережно треба працювати з матеріалами аукціонів, приватних колекцій та інтернет-повідомлень. Вони можуть містити цінні екземпляри, але часто мають слабку прив'язку до місця знахідки. Формулювання на зразок “Україна”, “Центральна Україна”, “Подніпров'я”, “зі старої колекції” або “знайдено поблизу села” не завжди достатні для наукового картографування. Такі матеріали можна використовувати для типології, іконографії чи попереднього огляду, але їх не варто без застережень залучати до реконструкції монетного обігу.

Водночас повністю відкидати такі повідомлення також не варто. У сучасній нумізматиці частина нових даних справді з'являється через приватні зібрання, аукціонні каталоги, електронні майданчики й випадкові публікації. Проблема полягає не в самому факті їх існування, а в способі використання. Якщо монета не має надійного походження, вона може бути корисною для вивчення типу, варіанта легенди, штемпельної особливості або рідкісного зображення. Але для побудови карти обігу її потрібно або не враховувати, або позначати як матеріал із низьким рівнем просторової достовірності (Pyzyk, 2025).

GIS може бути корисним і для перевірки походження монети. Якщо певний тип або група монет добре відомі в одному регіоні, а окремий екземпляр нібито походить із території, де подібні знахідки не фіксувалися, це не означає автоматично, що предмет підроблений або дані про нього неправдиві. Але така ситуація потребує додаткової перевірки. Варто зіставити атрибуцію, метал, вагу, стан збереження, історію надходження предмета, можливі шляхи переміщення та наявність аналогічних знахідок.

Для експертизи це має практичне значення. Просторова аномалія не є доказом сама по собі, але вона може бути сигналом. Наприклад, якщо монета має типовий вигляд, але її заявлене походження не узгоджується з відомим ареалом аналогів, потрібно перевірити не лише карту. Потрібно з'ясувати, чи не могла монета потрапити на цю територію внаслідок давнього обігу, пізнішого колекціонування, переміщення ґрунту, втрати в новий час або помилки в описі. GIS у такій ситуації не дає готової відповіді, а допомагає поставити правильне запитання (Breier, 2011; Vicari Sottosanti, Danese, Masini, 2025).

Окремий напрям становить картографування демонетизованих монет. Якщо монети з отворами, слідами підвішування, обрізанням країв або механічною переробкою трапляються не поодинокі, а групами, це може вказувати на певні практики вторинного використання. Такі предмети могли бути прикрасами, амулетами, елементами костюма або престижними речами. GIS у цьому випадку допомагає побачити, чи пов'язані такі знахідки з окремими

регіонами, поховальними комплексами, поселеннями або певними культурними середовищами.

Тут важливо аналізувати не лише сам факт наявності отвору чи пошкодження, а й просторову повторюваність таких ознак. Якщо перфоровані монети трапляються випадково й без контексту, говорити про сталу практику важко. Якщо ж вони походять із подібних комплексів, мають близьке розташування отворів або демонструють схожі сліди носіння, тоді виникає підстава для ширшої інтерпретації. У такому разі GIS поєднується з візуальним аналізом, 3D-фіксацією та контекстуальним підходом (Orlyk, 2022; Shvets, Bondarenko, Kotsur, 2025).

GIS також допомагає працювати з хронологією. Монетні знахідки можна аналізувати не лише у просторі, а й у часі. Для цього використовують хронологічні шари: наприклад, окремо наносять матеріал певного століття, періоду правління, грошової реформи або етапу обігу. Такий підхід дозволяє побачити, як змінювалася інтенсивність знахідок, які регіони ставали активнішими, де з'являлися нові типи монет, а де старі емісії продовжували використовуватися довше. Це особливо корисно для дослідження перехідних періодів, коли грошовий обіг не змінювався одномоментно.

Ще один напрям - порівняння монетних знахідок з іншими категоріями археологічного матеріалу. Монети рідко існують у культурному шарі самі по собі. Поруч можуть бути кераміка, прикраси, зброя, торговельні пломби, імпорتنі речі, залишки споруд або поховальний інвентар. Якщо ці дані також нанесені на карту, дослідник може порівнювати різні типи матеріалу. Наприклад, чи збігаються монетні знахідки з районами інтенсивної торгівлі, чи пов'язані скарби з укріпленими пунктами, чи трапляються монети в тих самих зонах, що й інші імпорتنі предмети (Conolly, Lake, 2006; Gregory, Ell, 2007).

У навчальній і музейній практиці GIS має ще одну перевагу. Карта робить нумізматичний матеріал зрозумілішим для аудиторії. Студенту або відвідувачу музею легше сприймати не перелік із десятків знахідок, а карту, де видно регіони, маршрути, скупчення й відстані. Проте така візуалізація не повинна спрощувати

зміст. Якщо карта використовується в освітньому або музейному проєкті, бажано показувати не лише точки, а й пояснювати рівень достовірності, джерела даних і межі інтерпретації.

У перспективі GIS дедалі частіше поєднуватиметься з іншими цифровими методами. Комп'ютерний зір може допомогти визначити тип монети за зображенням, XRF-аналіз - перевірити склад металу, 3D-модель - зафіксувати отвори, рельєф і пошкодження, а GIS - показати просторовий контекст. Якщо ці дані зібрані разом, дослідник отримує не просто опис предмета, а багаторівневу картину: що це за монета, з чого вона виготовлена, де знайдена, з якими аналогами пов'язана і чи відповідає її походження відомому ареалу подібних знахідок (Rehren, Pernicka, 2008; Oksanen et al., 2022; Pyzyk, 2025).

З технічного боку важливим є питання стандартизації даних. Для кожної знахідки бажано фіксувати мінімальний набір відомостей: тип монети, датування, метал, вагу, діаметр, місце знахідки, рівень точності координат, джерело інформації, бібліографію, стан збереження й примітки щодо контексту. Якщо різні дослідники або установи описують матеріал по-різному, об'єднати такі дані в одну GIS-систему складно. Тому майбутній розвиток просторової нумізматики залежить не тільки від програмного забезпечення, а й від дисципліни опису (Oksanen et al., 2022; Pyzyk, 2025).

Отже, GIS-технології змінюють масштаб нумізматичного дослідження. Вони дозволяють перейти від опису окремих монет до аналізу просторових масивів: скарбів, випадкових знахідок, археологічних комплексів, регіональних груп і маршрутів поширення. Водночас GIS не робить висновки автоматично. Якість карти залежить від точності координат, достовірності джерела, повноти опису й критичного ставлення до матеріалу. Без цього навіть добре оформлена цифрова карта може створити лише ілюзію точності.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ В ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ЕКСПЕРТИЗІ МОНЕТ

3.1. Алгоритм цифрової ідентифікації монет

Цифрова ідентифікація монети починається не з алгоритму, а з самого предмета. Дослідник має справу з конкретною монетою: цілою або пошкодженою, добре збереженою або стертою, з читабельною легендою або майже без напису, з відомим походженням або без нього. Саме стан предмета визначає, які цифрові інструменти будуть корисними. Для однієї монети достатньо якісної фотографії та порівняння з каталогом. Для іншої потрібні 3D-модель, XRF-аналіз, пошук штемпельних аналогів і перевірка просторового контексту.

Перший крок полягає у фіксації монети. Йдеться не лише про фотографування аверсу й реверсу. Потрібно зафіксувати вагу, діаметр, товщину, метал, стан краю, наявність отворів, тріщин, корозії, слідів очищення, реставрації або механічного втручання. Якщо предмет походить із музею, археологічного комплексу, приватної колекції чи аукціону, це також треба зазначити. Без таких відомостей цифрове зображення залишається лише картинкою, а не повноцінним джерелом для експертизи.

На цьому етапі фактично формується цифровий паспорт монети. У ньому бажано зазначати не тільки основні параметри, а й умови фіксації: дату зйомки, тип камери або сканера, роздільну здатність зображення, масштаб, освітлення, формат файлу, наявність оригінального та обробленого знімка. Для музейної або експертної практики це важливо, бо через кілька років дослідник має розуміти, за яких умов було створено цифровий образ предмета. Інакше складно перевірити, чи певна ознака справді належить монеті, чи виникла через тінь, різкість, відблиск або цифрову обробку.

Якість зображення має вирішальне значення. Монета повинна бути сфотографована без сильних тіней, відблисків і перекосів. Бажано зберігати однаковий масштаб, нейтральний фон і контрольоване освітлення. Якщо фотографія зроблена під гострим кутом або з надмірною обробкою, алгоритм може сприйняти тінь як рельєф, подряпину як літеру, а відблиск як деталь зображення. Тому цифрова ідентифікація фактично починається ще до запуску програми, на етапі правильної фіксації предмета (Szeliski, 2022).

Після цього виконується попередня обробка зображення. Зазвичай вона включає обрізання фону, вирівнювання масштабу, корекцію контрасту, виділення контуру монети та розділення аверсу й реверсу. На цьому етапі важливо не “покрасити” монету надмірно. Надмірна цифрова обробка може змінити вигляд поверхні, згладити дрібні пошкодження або, навпаки, зробити випадкові подряпини схожими на важливі ознаки. Тому оброблене зображення бажано зберігати разом з оригінальним файлом.

Окремо потрібно враховувати орієнтацію монети. Для людини повернути зображення подумки неважко, але для алгоритму це може бути проблемою. Аверс і реверс мають бути правильно зорієнтовані, а масштаб обох сторін бажано привести до однакового вигляду. Якщо одна сторона монети сфотографована ближче, а інша далі, система може помилково оцінити пропорції рельєфу або розташування деталей. Тому перед автоматичним аналізом варто провести технічну нормалізацію зображень, але без втручання в самі ознаки предмета.

Далі починається власне пошук ознак. У традиційній атрибуції дослідник дивиться на тип зображення, легенду, монограму, символи, вагу, метал і стиль виконання. У цифровій ідентифікації логіка залишається подібною, але частина роботи може виконуватися автоматизовано. Програма виділяє контури, ключові точки, фрагменти літер, зони рельєфу, форму портрета, символи на реверсі або особливості краю. Класичні алгоритми на зразок SIFT, SURF чи ORB працюють саме з такими стабільними візуальними точками, які можна порівнювати між різними зображеннями (Lowe, 2004).

Цей етап особливо корисний для монет із частковими втратами. Якщо легенда збереглася не повністю, алгоритм може орієнтуватися на залишки літер, форму портрета, контур символу чи розташування композиційних елементів. Якщо реверс пошкоджений, більшу вагу може отримати аверс. Якщо монета має добрий рельєф, але погано читається напис, доцільно поєднати візуальне порівняння з епіграфічною перевіркою. У таких випадках цифровий інструмент не дає остаточної відповіді, а лише скорочує кількість можливих варіантів.

Наступний крок – зіставлення з цифровими каталогами та базами даних. Досліджуваний екземпляр порівнюється з описами й зображеннями в електронних ресурсах, музейних колекціях, корпусах монет, аукціонних архівах або спеціалізованих базах. Тут важливо шукати не просто зовнішню подібність. Потрібно перевірити, чи збігаються тип, метал, вага, діаметр, легенда, датування, монетний двір і загальна стилістика. Якщо монета візуально подібна до певного типу, але має нетипову вагу або інший метал, така атрибуція потребує додаткової перевірки.

На цьому етапі корисно працювати не з одним знайденим аналогом, а з групою можливих відповідників. Один збіг може бути випадковим або неповним. Якщо ж кілька незалежних джерел показують близький тип, подібну легенду, вагові параметри й хронологію, атрибуція стає переконливішою. Водночас не слід автоматично відкидати рідкісний або нестандартний екземпляр лише тому, що він погано представлений у цифрових базах. Відсутність аналога в онлайн-каталозі ще не означає, що монета є підробкою або помилково визначена. Це може свідчити і про неповноту самої бази.

На цьому етапі можуть використовуватися і моделі машинного навчання. Нейронна мережа здатна швидко переглянути великий масив зображень і запропонувати кілька найближчих варіантів. Для первинного пошуку це зручно, особливо коли дослідник працює з погано збереженим або маловідомим екземпляром. Проте результат моделі має бути поданий як імовірність, а не як готовий висновок. Якщо система пропонує три або п'ять можливих атрибуцій, завдання дослідника полягає в тому, щоб перевірити кожен з них за

нумізматичними критеріями (LeCun, Bengio, Hinton, 2015; Goodfellow, Bengio, Courville, 2016).

Важливо також фіксувати негативний результат пошуку. Якщо система не знайшла близьких аналогів, це теж інформація. Причиною може бути погана якість фото, сильне зношення, нетиповий ракурс, рідкісний тип, помилка в базі або сумнівний характер самого предмета. Тому “не знайдено” не слід тлумачити однозначно. У дослідницькій картці варто зазначити, у яких базах проводився пошук, за якими ознаками, які варіанти були відхилені й чому.

Окремо слід враховувати легенди й написи. OCR може допомогти розпізнати окремі літери або фрагменти напису, але монетний текст значно складніший за звичайний друкований. Легенда може бути розташована по колу, частково стерта, деформована ударом штемпеля або перекрита корозією. Тому автоматичне розпізнавання написів у нумізматиці доцільно використовувати тільки як допоміжний інструмент. Остаточне читання легенди має перевірятися вручну, із залученням каталогів, аналогів і епіграфічного аналізу (Smith, 2007).

Метрологічна перевірка є обов’язковою частиною цифрової ідентифікації. Вага, діаметр і товщина часто допомагають відсікти помилкові варіанти. Наприклад, якщо зображення нагадує певний номінал, але вага істотно не відповідає очікуваному стандарту, потрібно з’ясувати причину. Це може бути зношення, обрізання краю, корозія, давня фальсифікація, сучасна підробка або помилка у визначенні. Саме тому цифровий пошук за зображенням не можна відривати від фізичних параметрів предмета.

Метрологічні дані бажано порівнювати не з одним “ідеальним” показником, а з діапазоном значень. Давні й середньовічні монети не завжди мають однакову вагу навіть у межах одного типу. На неї могли впливати зношення, якість заготовки, обрізання, корозія, очищення або особливості карбування. Тому невелике відхилення не є автоматичною ознакою підробки. Натомість різке й незрозуміле відхилення потребує додаткового аналізу, особливо якщо воно поєднується з нетиповим металом, дивною поверхнею або сумнівним походженням.

Матеріал монети також має значення. Якщо є можливість провести XRF-аналіз, його результати варто включати до загальної процедури. Склад металу може підтвердити атрибуцію або, навпаки, поставити її під сумнів. Наприклад, предмет може виглядати як давня монета, але містити домішки, нехарактерні для відповідного часу або технологічної традиції. Водночас XRF аналізує переважно поверхневий шар, тому його результати слід зіставляти з візуальним оглядом, станом поверхні, слідами очищення та можливими реставраційними втручаннями (Rehren, Pernicka, 2008).

Ще один рівень перевірки пов'язаний із просторовим контекстом. Якщо відоме місце знахідки, його можна зіставити з ареалом поширення аналогічних монет. GIS у цьому випадку допомагає зрозуміти, чи є такий тип звичним для певної території, чи він трапляється там рідко, чи походження предмета виглядає проблемним. Просторова невідповідність не доводить підробку, але вона є сигналом для додаткової перевірки. Особливо це стосується монет із приватних колекцій або аукціонних описів, де походження часто вказане приблизно.

Для підозрілих або проблемних екземплярів до алгоритму варто включати перевірку поверхні. Тут корисними можуть бути 3D-сканування, RTI або збільшені цифрові зображення. Вони допомагають побачити те, що не завжди видно на звичайному фото: мікропори, згладжений рельєф, повторювані дефекти, сліди лиття, механічну доробку, профіль отвору або зміну краю. Якщо монета має ознаки вторинного використання, 3D-модель може показати, чи отвір був пробитий, просвердлений, зношений під час носіння або зроблений уже пізніше.

На практиці зручно розрізняти кілька рівнів надійності цифрової ідентифікації. Перший рівень - попередня атрибуція, коли монета лише зіставлена з найближчими аналогами за зображенням. Другий - робоча атрибуція, коли враховано також вагу, діаметр, метал і легенду. Третій - підтверджена атрибуція, коли результат узгоджується з кількома незалежними ознаками: типом, метрологією, каталогами, штемпельними аналогами, складом металу та походженням. Окремо слід виділяти проблемні випадки, де цифрові й традиційні дані суперечать одне одному.

Таке розмежування корисне для експертної практики. Воно дозволяє не подавати всі результати з однаковим рівнем упевненості. Наприклад, монета може бути “ймовірно визначена” за зображенням, але потребувати перевірки металу. Інша може мати добрий збіг із каталогом, але проблемне походження. Ще інша може відповідати типу й вазі, але мати підозрілу поверхню. У таких випадках цифрова ідентифікація має не приховувати сумніви, а чітко показувати, на чому вони ґрунтуються.

Узагальнено алгоритм цифрової ідентифікації можна подати як послідовність пов’язаних дій. Спершу фіксується предмет і створюється якісне цифрове зображення. Потім проводиться попередня обробка файлу, виділяються основні ознаки, здійснюється пошук аналогів у базах, перевіряються легенда, тип, вага, метал, технологія виготовлення й контекст. Якщо виникають суперечності, залучаються додаткові методи: штемпельний аналіз, XRF, 3D-модель або GIS-перевірка.

Важливо, що цей алгоритм не є механічною інструкцією, однаковою для всіх монет. Добре збережений музейний екземпляр із надійною атрибуцією потребує одного рівня перевірки. Предмет із приватної колекції, стертою легендою, підозрілою патиною або невідомим походженням потребує значно глибшої експертизи. Саме тому цифрова ідентифікація має бути гнучкою. Її логіка залежить від стану монети, якості даних і завдання дослідження.

Фінальним результатом має бути не просто назва типу, а аргументована експертна картка. У ній бажано подати зображення, опис аверсу й реверсу, метрологічні дані, матеріал, імовірне датування, аналогії, використані бази, рівень упевненості, можливі сумніви та рекомендації щодо додаткової перевірки. Якщо монета має сліди втручання, отвір, обрізаний край, підозрілу патину або нетиповий склад металу, це потрібно фіксувати окремо. Така картка робить цифровий результат прозорим і придатним для подальшої перевірки.

Підсумковий висновок формується не за одним показником, а за сукупністю ознак. Якщо зображення, легенда, вага, метал, стиль, штемпельні аналогії й просторовий контекст узгоджуються між собою, атрибуція є

переконливішою. Якщо хоча б один із цих елементів різко суперечить іншим, монету потрібно перевіряти повторно. У цьому полягає головний сенс цифрового алгоритму: він не замінює фахівця, а допомагає послідовно зібрати, зіставити й перевірити різні типи інформації про предмет.

Отже, цифрова ідентифікація монет є не просто автоматичним розпізнаванням зображення. Це багаторівнева процедура, у якій поєднуються фотографування, обробка зображення, пошук ознак, порівняння з базами, машинне навчання, OCR, метрологія, аналіз металу, GIS і традиційна нумізматична експертиза. Найкращий результат вона дає тоді, коли цифрові інструменти використовуються критично, а кожен автоматичний результат проходить фахову перевірку.

3.2. Аналіз точності цифрових методів

Точність цифрових методів у нумізматиці не варто зводити лише до питання, чи правильно програма “впізнала” монету. Для експерта важливіше інше: чи можна довіряти такому результату, на яких ознаках він ґрунтується і чи не суперечить він самому предмету. Монета може бути правильно віднесена до загальної групи, але помилково визначена за номіналом, датуванням, монетним двором або варіантом легенди. Іноді система добре знаходить зовнішню подібність, але не враховує вагу, метал, стан краю, сліди втручання або сумнівне походження.

Перша причина помилок пов’язана з фотографією. Один і той самий екземпляр може виглядати по-різному залежно від освітлення, кута зйомки, різкості, фону й цифрової обробки. Тінь біля краю іноді схожа на пошкодження. Відблиск може перекривати частину легенди. Надмірний контраст робить подряпину схожою на літеру або елемент рельєфу. Тому якість цифрового висновку починається ще до роботи алгоритму, на етапі фіксації монети (Szeliski, 2022).

Показовою є ситуація з монетами темної патини або нерівномірної корозії. На фото така поверхня може виглядати як суцільне затемнення, хоча під різним освітленням на ній читаються окремі літери, контури зображення або сліди рельєфу. Алгоритм, який працює лише з одним знімком, може не побачити цих деталей або, навпаки, прийняти пляму корозії за частину композиції. Через це для складних екземплярів бажано робити кілька фотографій при різному освітленні, а результат автоматичного розпізнавання перевіряти за оригіналом або якісним збільшеним зображенням.

Друга проблема полягає в тому, що цифровий метод залежить від матеріалу, з яким його порівнюють. Якщо в базі переважають добре збережені монети, система може гірше працювати зі стертими, корозованими або фрагментованими екземплярами. Якщо певний тип представлений лише кількома зображеннями, він буде розпізнаватися менш упевнено. Якщо ж у навчальній вибірці є помилково атрибутовані монети, алгоритм може повторити цю помилку вже в новому результаті. Отже, велика кількість даних сама по собі ще не гарантує якості (Goodfellow, Bengio, Courville, 2016; LeCun, Bengio, Hinton, 2015).

У машинному навчанні для оцінювання результатів часто використовують *accuracy*, *precision*, *recall* та *F1-score*. Вони корисні, бо дозволяють побачити не лише кількість правильних відповідей, а й характер помилок. Проте в нумізматиці ці показники не можна сприймати механічно. Висока загальна точність може приховувати слабку роботу з рідкісними типами, підробками або сильно пошкодженими монетами. Саме такі екземпляри часто і є найважливішими для експерта (Sokolova, Lapalme, 2009).

Наприклад, система може добре працювати з поширеними монетами, які мають багато зображень у базах, але помилятися на рідкісних або локальних варіантах. У загальній статистиці результат буде виглядати достатньо високим, бо більшість масового матеріалу визначено правильно. Але для дослідника одна помилка в рідкісному екземплярі може бути суттєвішою, ніж десятки правильних визначень типових монет. Тому точність варто перевіряти не лише загалом, а й за

окремими групами: добре збережені монети, стерті екземпляри, монети з отворами, підробки, наслідування, фрагменти та предмети з неповним походженням.

Особливо обережно потрібно оцінювати результати під час виявлення підробок. Тут небезпечні дві ситуації. Перша - коли фальсифікат система сприймає як автентичну монету. Друга - коли справжній предмет позначається як підозрілий через корозію, очищення, слабке фото або незвичний стан поверхні. Лита копія зі штучною патиною може виглядати переконливо на зображенні. Водночас автентична монета після агресивного очищення може мати неприродно рівну поверхню й викликати сумнів. Тому цифровий сигнал про підробку має перевірятися через візуальний огляд, метрологію, склад металу, штемпельні аналогії та походження предмета.

У таких випадках важливо з'ясувати, що саме система вважає підозрілим. Якщо вона реагує на повторювані мікродефекти, неприродно рівне поле, сліди лиття або однакові пошкодження на кількох екземплярах, це справді може мати експертне значення. Якщо ж підозра виникла через погане освітлення, тінь, сильну корозію або обрізаний край, такий результат не можна приймати без додаткової перевірки. Тому цифрове виявлення підробок має працювати не як остаточний висновок, а як система попереднього відбору проблемних предметів.

Подібна ситуація виникає з демонетизованими монетами. Алгоритм може зафіксувати отвір, порушення краю, слід обрізання чи деформацію. Але він не пояснить, коли й навіщо це було зроблено. Отвір міг з'явитися внаслідок давнього носіння, пізнішого використання, реставрації або сучасного пошкодження. Тому точне розпізнавання ознаки ще не означає правильної історичної інтерпретації. Для висновку потрібні контекст, характер зношення, форма отвору, стан краю й порівняння з іншими подібними предметами.

Окрему увагу слід звертати на рідкісні або нетипові монети. Алгоритм краще працює з тим, що часто трапляється в базі. Масові типи він може розпізнавати досить упевнено, а рідкісні варіанти, наслідування, локальні випуски або погано опубліковані екземпляри залишаються проблемними. Якщо

система не знаходить аналога, це не завжди означає, що монета підроблена або неправильно визначена. Можливо, відповідного матеріалу просто немає в цифровій базі.

Є й інша крайність: алгоритм може надто швидко “підтягнути” досліджувану монету до найближчого відомого типу. Для автоматичної системи краще дати найбільш імовірну відповідь, ніж залишити об’єкт невизначеним. Але в нумізматиці невизначеність іноді є чеснішим результатом. Якщо збереглася лише частина легенди, а реверс пошкоджений, варто писати не “монета точно належить до такого типу”, а “можлива атрибуція потребує перевірки”. Цифровий інструмент має допомагати звужити пошук, а не створювати хибну впевненість.

Тому цифровий результат бажано подавати не як остаточну відповідь, а як рівень упевненості. Попередній рівень означає, що знайдено лише візуальну подібність. Імовірний рівень можливий тоді, коли збігаються зображення, метал, вага й основні параметри. Підтверджений рівень передбачає, що результат узгоджується з каталогами, аналогами, легендою, метрологією, складом металу, штемпельними ознаками та походженням. Такий підхід краще відповідає реальній експертній практиці, ніж проста відповідь “правильно” або “неправильно”.

Важливо фіксувати і помилки. Якщо система постійно плутає певні типи, це потрібно зазначати. Якщо вона погано працює з темною патиною, стертими легендами або монетами з отворами, такі випадки слід винести окремо. Помилка в цьому разі є не тільки недоліком, а й показником меж методу. Вона показує, де цифровий інструмент може бути корисним, а де без фахової перевірки його результат небезпечний.

Для наукової роботи важливо також, щоб цифровий висновок був пояснюваним. Недостатньо отримати назву типу або відсоток збігу. Дослідник має бачити, на що саме спиралася система: на портрет, легенду, символ, край, рельєф чи випадкову подряпину. Якщо алгоритм орієнтувався на справді важливі ознаки, його результат можна брати до уваги. Якщо ж головну роль відіграла тінь,

пляма корозії або дефект фотографії, висновок потрібно відхилити або перевірити повторно.

Для цього корисними можуть бути візуальні пояснення результату. Наприклад, система може підсвічувати ті ділянки зображення, які найбільше вплинули на розпізнавання. Якщо вона виділяє легенду, портрет, монограму або характерний символ, це допомагає зрозуміти логіку пошуку. Якщо ж увага припадає на край з тінню, випадкову пляму чи подряпину, результат потребує сумніву. Така перевірка особливо важлива в експертизі, де помилка може вплинути на атрибуцію, музейний опис або висновок щодо автентичності.

Точність цифрового методу бажано перевіряти на контрольних вибірках. До них мають входити не лише добре збережені монети, а й проблемні екземпляри: стерті, корозовані, фрагментовані, з отворами, зі слідами очищення, з темною патиною, з частково втраченою легендою. Якщо система тестується тільки на “зручних” зображеннях, вона може показати добрий результат, але в реальній роботі помилятися значно частіше. Контрольна вибірка має бути схожою на той матеріал, з яким справді працює експерт.

Для експертизи підрбок така вибірка повинна включати різні групи предметів: автентичні монети, литі копії, механічні копії, фантазійні екземпляри, предмети зі штучною патиною, перероблені автентичні монети й сучасні імітації. Якщо алгоритм навчити лише на грубих фальсифікатах, він може не впоратися з якісними копіями. Якщо ж у вибірці немає автентичних, але корозованих або очищених монет, система може помилково вважати їх підозрілими. Тому склад тестового матеріалу має відповідати реальним експертним завданням.

Окремо слід розрізняти навчальну, музейну й експертну точність. Для навчальної мети іноді достатньо, щоб система правильно визначила загальну групу монети або приблизну епоху. Для музейного каталогу потрібна точніша атрибуція, стабільна термінологія, якісне зображення й можливість перевірити джерело. Для експертного висновку вимоги ще вищі: потрібно враховувати автентичність, походження, метал, технологію виготовлення, стан поверхні,

сліді втручання й рівень невизначеності. Один і той самий цифровий інструмент може бути достатнім для навчання, але недостатнім для експертизи.

Отже, точність цифрових методів залежить не лише від самого алгоритму. На неї впливають якість фотографії, повнота бази, правильність атрибуції навчальних даних, стан збереження монети, наявність корозії, патини, отворів, реставраційних слідів і рівень подібності між типами. Статистичні показники корисні, але в нумізматичній експертизі вони мають працювати разом із традиційними критеріями: типом, легендою, вагою, металом, технологією виготовлення, контекстом і походженням предмета.

3.3. Виявлення підробок та «демонетизованих» монет

Виявлення підробок і дослідження демонетизованих монет належать до тих напрямів нумізматичної експертизи, де одного методу зазвичай недостатньо. У першому випадку дослідник має з'ясувати, чи є предмет автентичною монетою, давньою імітацією, сучасною копією або переробленим екземпляром. У другому випадку питання інше: чи справді монета втратила свою грошову функцію і була використана повторно як прикраса, підвіска, амулет, елемент костюма або культовий предмет. Обидві ситуації різні за змістом, але в експертній практиці вони часто перетинаються. І там, і там увага зосереджується не лише на типі монети, а й на поверхні, краї, отворах, слідах зношення, металі, пізніших втручаннях і походженні предмета.

Проблема підробок у нумізматиці давня. Фальшування монет виникло майже одночасно з самим монетним обігом, адже монета завжди поєднувала матеріальну, економічну й символічну цінність. Для різних епох відомі як повноцінні офіційні випуски, так і давні імітації, субератні екземпляри, наслідування, фальшиві монети для обігу та пізніші колекційні підробки. Тому під час експертизи важливо не поспішати з висновком. Не кожна нетипова монета є сучасним фальсифікатом. Частина предметів може належати до давніх

наслідувань, локальних варіантів або монет із незвичною історією побутування (Howgego, 1995; Oddy, 1980).

Перший рівень перевірки залишається візуальним. Дослідник оглядає рельєф, поле монети, край, тріщини, патину, корозію, форму літер, пропорції зображення, глибину деталей і загальну стилістику. Литі копії часто мають м'які контури, дрібні пори, згладжені лінії, нечіткі переходи між рельєфом і полем. Для карбованої монети, навпаки, характерні сліди тиску, певна пластичність металу, деформація заготовки, іноді тріщини або зміщення удару. Звичайно, ці ознаки не завжди однозначні. Сильно зношена або очищена автентична монета також може виглядати підозріло, а якісна підробка іноді дуже добре імітує давню поверхню.

Саме тому цифрові інструменти варто використовувати як додатковий рівень перевірки. Комп'ютерний зір може швидко порівняти досліджувану монету з великою кількістю зображень і показати найближчі аналоги. Це корисно, коли потрібно перевірити, чи відповідає предмет відомому типу, чи не повторює він підозріло точно інший екземпляр, чи не має нетипових елементів у композиції. Але сам збіг із відомою монетою ще нічого не доводить. Для підробки, виготовленої з оригіналу, якраз характерною може бути надто точна схожість із конкретним зразком, включно з його випадковими пошкодженнями.

У таких випадках важливо шукати не лише подібність, а й повторювані дефекти. Якщо кілька монет мають однакові подряпини, однакові заглиблення, однакові пошкодження краю або однакові "випадкові" нерівності поверхні, це може свідчити про копіювання. У справжніх карбованих монетах, навіть виготовлених одним штемпелем, кожен удар залишає певні індивідуальні особливості: інший тиск, незначне зміщення, різний стан заготовки, різне зношення. Серійна повторюваність дрібних пошкоджень має насторожувати.

3D-сканування тут дає додаткову перевагу. На звичайній фотографії копія може виглядати переконливо, особливо якщо її поверхню штучно зістарили. У тривимірній моделі легше побачити глибину рельєфу, профіль краю, мікропори, згладжені ділянки, сліди лиття або механічної доробки. Якщо монета була виготовлена через форму, частина дрібних особливостей оригіналу може

відтворитися занадто рівномірно. Для ока це іноді виглядає як природна старість, але цифрове порівняння рельєфу може показати неприродну повторюваність.

Окрему роль відіграє аналіз металу. XRF дозволяє визначити елементний склад поверхні без пошкодження предмета. Для експертизи це корисно тоді, коли зовнішній вигляд монети відповідає певному типу, але склад сплаву викликає сумнів. Наприклад, нетипові домішки, сучасні технологічні сліди або невідповідне співвідношення металів можуть поставити під питання автентичність предмета. Проте XRF не є абсолютним доказом. Метод аналізує переважно поверхневий шар, а він міг змінитися через корозію, очищення, реставрацію, патинування або контакт із ґрунтом. Тому дані складу металу потрібно зіставляти з типологією, метрологією, поверхнею та історією походження (Rehren, Pernicka, 2008).

Під час перевірки підробок важливо враховувати й метрологічні параметри. Вага, діаметр і товщина можуть підтвердити атрибуцію або, навпаки, поставити її під сумнів. Якщо монета має правильне зображення, але значно відхиляється від відомих вагових меж, потрібно шукати пояснення. Це може бути сильне зношення, обрізання краю, корозія, давня фальсифікація або сучасне виготовлення. Невелике відхилення саме по собі не є доказом підробки, але різка невідповідність у поєднанні з підозрілою поверхнею чи дивним металом потребує окремої перевірки.

Не менш важливим є походження предмета. Монета з археологічного контексту, музейної колекції або добре документованого скарбу має інший рівень джерельної надійності, ніж екземпляр без походження. Аукціонні описи, приватні зібрання й випадкові повідомлення можуть містити цінні предмети, але для експертизи вони потребують обережності. Якщо невідомо, де і коли монета була знайдена, важче перевірити її зв'язок із реальним обігом, скарбом або регіональною групою. GIS у такій ситуації може допомогти лише тоді, коли є хоча б приблизна й надійна локалізація.

Дослідження демонетизованих монет має іншу логіку. Тут експерт не обмежується питанням “справжня чи ні”. Його цікавить подальше життя монети

після втрати грошової функції. Предмет міг бути перфорований, обрізаний, зігнутий, припаяний до іншої основи, вставлений в оправу або використаний як підвіска. У таких випадках монета перестає бути тільки засобом платежу. Вона стає річчю з новим значенням: прикрасою, знаком статусу, оберегом, пам'ятним предметом або частиною костюма.

Найпомітнішою ознакою вторинного використання є отвір. Але сам факт отвору ще не пояснює функцію монети. Важливо дивитися, де саме він розташований, як зроблений, чи має сліди зношення і чи пов'язаний з орієнтацією зображення. Якщо отвір розміщено так, щоб під час підвішування портрет або символ залишався у правильному положенні, це може свідчити про свідоме використання монети як підвіски. Якщо краї отвору заглажені, а навколо видно сліди тертя, можна припускати тривале носіння. Якщо ж отвір різкий, без слідів зношення, його походження треба перевіряти обережніше.

3D-модель у таких випадках особливо корисна. Вона дозволяє побачити профіль отвору, нахил свердління, мікротріщини, деформацію рельєфу навколо отвору й характер зношення країв. На звичайному фото ці деталі часто губляться через тінь або корозію. Якщо монета була носима тривалий час, зношення може концентруватися саме в зоні отвору або на тій частині краю, яка контактувала зі шнуром, кільцем чи тканиною. Такі спостереження допомагають відрізнити давнє використання від пізнішого пошкодження.

Крім отворів, важливими є сліди обрізання краю, пайки, згинання, полірування або механічного вирівнювання поверхні. Обрізання могло бути пов'язане з пристосуванням монети до оправу або з вилученням частини металу. Пайка може свідчити про включення монети до прикраси. Згинання або сплюснення іноді виникає випадково, але в окремих випадках може бути наслідком спеціальної переробки. Такі ознаки потрібно аналізувати не окремо, а разом: отвір, край, рельєф, потертість, контекст і положення предмета в комплексі.

Цифрові методи допомагають систематизувати такі ознаки. Комп'ютерний зір може автоматично знаходити отвори, порушення контуру,

деформації краю або ділянки підвищеного зношення. Якщо є великий масив зображень, можна відібрати групу монет із подібними слідами переробки й далі аналізувати їх вручну. Це особливо корисно для музейних колекцій або цифрових каталогів, де сотні предметів неможливо швидко переглянути без попереднього фільтрування.

Проте цифрове виявлення ознаки ще не є історичним поясненням. Алгоритм може знайти отвір, але не скаже, чи був предмет амулетом. Він може зафіксувати обрізаний край, але не визначить самостійно, чи це давня переробка, пошкодження в обігу, реставрація або сучасне втручання. Тому демонетизовані монети потребують поєднання цифрової фіксації з контекстуальним аналізом. Значення має все: місце знахідки, тип комплексу, положення предмета, інші речі поруч, сліди носіння й повторюваність таких ознак у подібних матеріалах (Orlyk, 2022).

GIS може додати до цього просторовий рівень. Якщо монети з отворами або слідами переробки трапляються випадково й без контексту, говорити про сталу практику складно. Якщо ж вони групуються в певних регіонах, типах пам'яток або комплексах, це вже може вказувати на поширену форму вторинного використання. У такому разі карта допомагає не просто показати місця знахідок, а поставити питання про соціальне й культурне середовище, у якому монета набувала нового значення.

Для підробок GIS також може бути корисним, але обережно. Просторова невідповідність не доводить фальсифікацію. Монети могли переміщуватися в давнину, потрапляти до нових регіонів через торгівлю, війни, міграції, скарби або пізніше колекціонування. Але якщо заявлене походження предмета не узгоджується з жодним відомим ареалом аналогів, а сама монета має підозрілу поверхню, нетипову вагу чи дивний склад металу, це посилює потребу в додатковій перевірці.

У підсумку виявлення підробок і дослідження демонетизованих монет потребують не одного “головного” методу, а послідовного зіставлення ознак. Візуальний огляд показує загальний стан предмета. Метрологія перевіряє вагу й

розміри. XRF дає інформацію про склад металу. 3D-модель уточнює рельєф, край, отвори й поверхню. Комп'ютерний зір допомагає знайти аналоги або аномалії. GIS перевіряє просторовий контекст. Але остаточний висновок формується лише тоді, коли ці дані узгоджуються між собою або, навпаки, показують суперечність, яку потрібно пояснити.

Отже, цифрові інструменти істотно розширюють можливості експерта, але не скасовують потреби у фаховій інтерпретації. Для підробок вони допомагають швидше виявляти підозрілі ознаки, повторювані дефекти, нетипову поверхню або невідповідність металу. Для демонетизованих монет вони дають змогу точніше фіксувати отвори, сліди носіння, пайки, обрізання й деформації. Проте значення цих ознак визначається не алгоритмом, а дослідником, який співвідносить цифрові дані з матеріалом, контекстом і історичною логікою використання монети.

3.4. Перспективи розвитку цифрових технологій у нумізматиці

На нашу думку, подальший розвиток цифрової нумізматики найкраще видно не в абстрактних прогнозах, а в тому, як змінюється звичайна робота з монетою. Раніше дослідник насамперед мав сам предмет, каталог, ваги, лупу, іноді музейну картотеку або публікацію з аналогами. Тепер навколо монети поступово формується ширше цифрове середовище. До опису додаються фотографії, 3D-модель, дані про метал, цифрові посилання на аналоги, відомості про походження, карта знахідки, історія публікацій і рівень упевненості в атрибуції. Саме в цьому напрямі, а не в пошуку однієї “універсальної” програми, варто бачити майбутнє цифрових технологій у нумізматиці.

Перший практичний крок стосується самого запису про монету. Багато цифрових каталогів усе ще працюють за скороченою схемою: фото, вага, діаметр, коротка атрибуція. Для первинного ознайомлення цього достатньо, але для експертизи замало. Якщо в записі не зазначено походження предмета, стан краю,

сліди очищення, отвори, реставраційні втручання або джерело атрибуції, інший дослідник не може повноцінно перевірити висновок. На наше переконання, цифровий паспорт монети має показувати не лише “що це за монета”, а й “чому її визначено саме так” і “наскільки надійні ці дані”.

Такий паспорт не обов’язково має бути складним. Його основою можуть бути кілька обов’язкових груп відомостей: опис предмета, метрологія, матеріал, зображення, стан збереження, походження, аналогії, бібліографія, результати додаткових аналізів і примітки щодо сумнівних ознак. Окреме значення має фіксація походження. Археологічна знахідка з точними координатами, музейний предмет зі старого надходження, монета з аукціону й екземпляр без будь-якої локалізації не можуть мати однакову джерельну вагу. У цифровій базі це має бути видно одразу.

Другий напрям пов’язаний із якістю фіксації. Фотографія монети не є нейтральною. Вона залежить від освітлення, масштабу, фону, різкості, кута зйомки й цифрової обробки. Те, що на одному знімку виглядає як пошкодження, на іншому може виявитися тінню. Стерта літера під одним кутом освітлення майже непомітна, а під іншим читається краще. Через це перспективним є не просто накопичення фотографій, а вироблення зрозумілих правил цифрової фіксації: зберігати оригінальні файли, зазначати умови зйомки, робити знімки аверсу, реверсу й за потреби краю монети. Для складних предметів корисними можуть бути зйомка при різному світлі, RTI або 3D-фіксація.

3D-модель також варто розглядати не як ефектну ілюстрацію, а як окремий рівень джерела. Вона може показати профіль отвору, форму краю, сліди свердління, мікропошкодження, різницю між литою і карбованою поверхнею, ознаки реставрації або механічної доробки. Для музейної колекції це ще й спосіб контролю стану предмета. Якщо монету відскановано сьогодні, а через кілька років її стан змінився, дві моделі можна порівняти. Так цифрова технологія працює не лише для атрибуції, а й для збереження колекції (Remondino, 2011; Shvets, Bondarenko, Kotsur, 2025).

Третій напрям стосується штучного інтелекту. Його можливості в нумізматичі справді значні, але вони залежать від якості матеріалу. Якщо алгоритм навчається на випадкових зображеннях із різним освітленням, неповними описами й неперевіреною атрибуцією, він неминуче повторюватиме ці слабкі місця. Тому, як видається, першочерговим завданням є створення якісних навчальних корпусів. До них мають входити не лише добре збережені монети, а й проблемні екземпляри: стерті, корозовані, фрагментовані, з отворами, підозрілою патиною, слідами очищення або невідомим походженням. Саме такі предмети найчастіше й потребують цифрової допомоги (LeCun, Bengio, Hinton, 2015; Goodfellow, Bengio, Courville, 2016).

Водночас повністю автоматична атрибуція навряд чи стане безпечною моделлю для експертизи. Значно кориснішою є система, яка не ухвалює рішення замість дослідника, а пропонує кілька варіантів. Наприклад, вона може показати найближчі аналоги, підсвітити подібні ділянки рельєфу, звернути увагу на нетипову вагу або позначити підозрілу поверхню. Далі вже фахівець перевіряє ці підказки за каталогами, легендою, металом, метрологією та походженням предмета. Такий підхід зменшує ризик сліпої довіри до алгоритму.

Особливо важливою буде пояснюваність цифрового результату. Для нумізмата недостатньо отримати повідомлення про високий відсоток збігу. Потрібно бачити, на чому саме ґрунтується цей збіг. Якщо система порівнює портрет, легенду, монограму або характерний символ, її результат можна розглядати серйозно. Якщо ж вона орієнтується на тінь, пляму корозії або випадкову подряпину, такий висновок не має експертної ваги. Отже, майбутні системи мають не лише розпізнавати, а й пояснювати власний шлях до результату.

Окрема група завдань пов'язана з підробками. Сучасні фальсифікати можуть мати переконливу поверхню, штучну патину, імітоване зношення й доволі точне копіювання відомих типів. У такій ситуації цифрові інструменти мають працювати не як “детектор істини”, а як засіб пошуку підозрілих збігів і невідповідностей. Повторювані мікродефекти, однакові пошкодження на кількох

екземплярах, нетиповий склад металу, дивна геометрія рельєфу або неперевірене походження можуть стати підставою для додаткової перевірки. Корисними були б спеціальні експертні бази серійних фальсифікатів, але доступ до них, на нашу думку, слід організовувати обережно, щоб не допомагати самим підробникам.

Демонетизовані монети також потребують кращої цифрової фіксації. У звичайному каталозі монета з отвором часто описується передусім як певний тип, тоді як сам отвір подається як другорядна деталь. Для дослідження вторинного використання цього недостатньо. У цифровому записі варто окремо фіксувати розташування отвору, форму його країв, сліди носіння, пайку, обрізання, згинання, шліфування, залишки оправки або інші ознаки переробки. Тоді монету можна буде аналізувати не лише як грошовий знак, а і як предмет, що отримав нову функцію.

Контекст у таких випадках особливо важливий. Монета з отвором без походження і монета з отвором, знайдена в археологічному комплексі, мають різну джерельну цінність. У першому випадку можна говорити тільки про факт втручання. У другому з'являється можливість аналізувати положення предмета, його зв'язок з іншими речами, можливе використання як прикраси, амулета або елемента костюма. Тому майбутні цифрові бази мають розрізняти не тільки тип монети, а й тип контексту, в якому вона була зафіксована.

GIS у цьому сенсі також має розвиватися обережніше. Карта сама по собі може створювати враження точності, але не всі точки на ній однаково надійні. Одне значення має знахідка з точними координатами, інше - повідомлення "з території України", ще інше - аукціонний предмет без походження. Тому просторові бази мають показувати рівень достовірності локалізації. Це дозволить уникнути ситуації, коли випадкові або неперевірені дані виглядають так само переконливо, як археологічно зафіксовані знахідки.

Звідси випливає ще одна перспектива - етичне маркування цифрових записів. Аукціонні матеріали, приватні колекції й повідомлення з інтернету не треба автоматично відкидати. Вони можуть бути корисними для типології, пошуку аналогів, виявлення підробок або штемпельних зв'язків. Але їх не можна

без застережень використовувати для реконструкції монетного обігу чи картографування знахідок. У цифровій базі має бути зрозуміло, який запис походить з археологічного контексту, який із музею, який з ринку, а який має невідоме походження.

Великі дані відкривають для нумізматики значні можливості, але лише за умови доброї підготовки масивів. Якщо в базі є дублети, помилкові атрибуції, неперевірені локалізації або записи без походження, статистичний аналіз може дати хибну картину. Тому робота з великими даними має починатися з очищення матеріалу, виявлення повторів, перевірки джерел і фіксації рівня достовірності. Лише після цього можна переходити до аналізу вагових стандартів, скарбів, регіональних відмінностей обігу або поширення окремих груп монет (Mayer-Schönberger, Cukier, 2013; Kitchin, 2014).

Важливою є й проблема дублювання. Одна й та сама монета може з'явитися в старій публікації, музейному каталозі, аукціонному архіві та сучасній цифровій базі. Якщо ці записи не пов'язані між собою, дослідник може помилково сприйняти один предмет як кілька різних екземплярів. Для рідкісних типів це особливо небезпечно. Тому майбутні системи мають не лише накопичувати нові записи, а й пов'язувати між собою повторні згадки одного предмета.

У навчальній практиці цифрові технології можуть зробити нумізматику наочнішою. Студент може працювати з електронною колекцією, картою знахідок, 3D-моделлю, базою аналогів і завданнями з атрибуції. Але ці інструменти не повинні створювати враження, що монету можна визначити одним натисканням кнопки. Навпаки, вони мають навчати критичній роботі: як читати легенду, як перевіряти вагу, як бачити стиль, як оцінювати походження і як не довіряти автоматичному результату без перевірки.

Для музеїв цифрові технології мають подвійне значення. З одного боку, вони допомагають популяризувати колекції: показувати монети у збільшенні, створювати інтерактивні карти, віртуальні виставки, 3D-моделі та освітні матеріали. З іншого боку, вони повинні зберігати наукову точність. Поруч із

цифровим зображенням має бути інформація про походження, датування, матеріал, стан збереження, рівень упевненості в атрибуції та можливі застереження (Economou, 2015; Kenderdine, 2016).

Нарешті, цифрові дані самі потребують збереження. Файл не є вічним тільки тому, що він цифровий. Формати застарівають, сервери змінюються, програмне забезпечення перестає підтримуватися, посилання зникають. Тому цифрова нумізматика потребує політики архівування: резервних копій, стабільних форматів, зрозумілої структури файлів, опису метаданих і відповідальних установ, які забезпечують тривале збереження цифрових ресурсів.

Отже, на наше переконання, перспективи цифрових технологій у нумізматиці впливають із недоліків сучасної практики. Неповні записи потребують цифрового паспорта монети. Різна якість фото - зрозумілих правил фіксації. Помилки алгоритмів - перевірених навчальних корпусів і пояснюваного III. Обмеження 3D-моделей - технічних метаданих і архівів. Слабкі місця GIS - рівнів достовірності локалізації. Проблеми підробок - експертних баз і фіксації повторюваних дефектів. Недостатній опис демонетизованих монет - окремих полів для слідів вторинного використання. У такій логіці цифровізація постає не як самоціль, а як спосіб зробити нумізматичну експертизу точнішою, прозорішою й краще перевірюваною.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі з'ясовано, що цифрова нумізматика формується на перетині кількох наукових напрямів: класичної нумізматики, історичного джерелознавства, цифрової гуманітаристики, історичної інформатики, GIS-досліджень, комп'ютерного зору, 3D-моделювання та археометрії. Аналіз історіографії та джерельної бази дав змогу встановити, що сучасна робота з монетним матеріалом уже не обмежується описом окремого предмета чи пошуком аналогів у друкованих каталогах. Монета дедалі частіше розглядається як комплекс взаємопов'язаних даних: зображення, метрологічних параметрів, 3D-моделі, GIS-координат, результатів аналізу металу, бібліографії, електронного опису та відомостей про походження. Водночас встановлено, що цифрове середовище не усуває потреби у джерельній критиці. Якість фотографій, повнота описів, достовірність походження та спосіб формування цифрових баз безпосередньо впливають на надійність дослідницького результату.

Визначено, що методологія застосування цифрових інструментів в експертизі нумізматичних пам'яток має комплексний характер. Монета не може бути надійно досліджена лише за одним параметром: фотографією, вагою, металом, легендою або місцем знахідки. Переконливий висновок формується тоді, коли разом аналізуються тип, зображення, напис, метрологічні показники, склад металу, технологія виготовлення, стан поверхні, штемпельні особливості та контекст походження. У роботі показано, що цифрові методи не замінюють класичну нумізматичну експертизу, а розширюють її можливості. Комп'ютерний зір пришвидшує порівняння зображень, GIS дозволяє перевірити просторовий контекст, XRF дає інформацію про склад металу, а 3D-модель точніше фіксує рельєф, край, отвори й сліди втручання. Проте жоден із цих інструментів не має самодостатньої доказової сили без фахового тлумачення.

Доведено, що традиційні методи ідентифікації та експертизи монет залишаються основою сучасної нумізматичної роботи. Візуальний огляд, атрибуція, типологічне зіставлення, іконографічний та епіграфічний аналіз,

метрологія, вивчення технології виготовлення, штемпельних зв'язків, патини, корозії, контексту знахідки та складу скарбів створюють базовий рівень знання, без якого цифрова експертиза втрачає наукову опору. Цифрові технології фактично працюють із тими самими ознаками, які раніше фахівець аналізував вручну: зображенням, легендою, стилем, вагою, металом, краєм, рельєфом, пошкодженнями, штемпельними особливостями та походженням предмета. Тому найбільш продуктивним є не протиставлення традиційних і цифрових підходів, а їх поєднання в єдиній системі дослідження монети.

Установлено, що цифрові бази даних та інформаційні системи суттєво розширюють можливості нумізматичного дослідження. Вони дають змогу швидше знаходити аналоги, перевіряти атрибуцію, зіставляти монети з музейними зразками, аналізувати скарби, працювати з GIS-даними та готувати матеріал для комп'ютерного розпізнавання. Водночас такі ресурси не можна сприймати як готову відповідь. Для наукового використання важливо враховувати якість зображень, повноту опису, надійність походження, рівень перевірки атрибуції та можливість зіставлення запису з іншими джерелами. Саме критичне використання цифрових баз робить їх справді корисними для нумізматичної експертизи.

З'ясовано, що комп'ютерний зір і штучний інтелект відкривають нові можливості для роботи з великими масивами монетних зображень. Вони можуть застосовуватися для пошуку аналогів, порівняння аверсу й реверсу, аналізу форми літер, рельєфу, символів, штемпельних ознак і можливих слідів втручання. Особливо корисними ці інструменти є під час роботи з пошкодженими, частково стертими або погано збереженими монетами. Разом із тим цифрове розпізнавання не можна вважати остаточною експертизою. Якість результату залежить від фотографій, навчальних вибірок, правильності атрибуції у базах даних і прозорості роботи алгоритму. Тому комп'ютерний зір доцільно розглядати як інструмент попереднього пошуку й перевірки, а не як заміну фахівця.

Обґрунтовано значення 3D-сканування та цифрової реконструкції для нумізматичної експертизи. Ці технології особливо важливі тоді, коли звичайної фотографії недостатньо для аналізу предмета. Вони дозволяють точніше фіксувати рельєф, край, отвори, мікропошкодження, сліди зношення, лиття, свердління, обрізання, реставрації або вторинного використання монети. Найбільшу цінність 3D-технології мають для пошкоджених, корозованих, підозрілих і демонетизованих екземплярів. Водночас 3D-модель не є самостійним доказом. Вона додає ще один рівень перевірки, але потребує зіставлення з атрибуцією, метрологією, аналізом металу, станом патини, контекстом знахідки та іншими джерелами.

Визначено, що GIS-технології дають змогу розглядати монетну знахідку не лише як окремий предмет, а як частину просторового контексту. За допомогою картографування можна простежити ареали поширення монет, концентрацію скарбів, зв'язок знахідок із поселеннями, шляхами, річковими системами, торговельними центрами та археологічними комплексами. Разом із тим GIS-карта не є готовим доказом. Її наукова цінність залежить від точності координат, походження матеріалу, повноти опису та рівня достовірності локалізації. Особливо обережного використання потребують аукціонні матеріали, приватні колекції та повідомлення без чіткого місця знахідки. Найбільшу користь GIS дає тоді, коли поєднується з традиційною атрибуцією, аналізом скарбів, комп'ютерним зором, 3D-фіксацією та археометрією.

Запропоновано узагальнений алгоритм цифрової ідентифікації монет. Установлено, що цифрова ідентифікація не зводиться до автоматичного розпізнавання зображення. Вона починається з якісної фіксації самого предмета: фотографування, визначення ваги, діаметра, металу, стану поверхні, краю, отворів, слідів втручання та походження. Наступними етапами є обробка зображення, виділення ознак, пошук аналогів, перевірка легенди, типу, метрологічних параметрів, металу, технології виготовлення й просторового контексту. Головна цінність такого алгоритму полягає не у швидкому отриманні відповіді, а у прозорості процедури: дослідник бачить, на яких ознаках

ґрунтується висновок, які джерела були використані, які варіанти відхилені та де залишаються сумніви.

Проаналізовано критерії точності цифрових методів і чинники, що впливають на їхню надійність. Зроблено висновок, що точність цифрової ідентифікації залежить не лише від алгоритму, а й від якості фотографії, освітлення, стану збереження монети, повноти бази аналогів, правильності атрибуції навчальних даних, наявності корозії, патини, отворів, реставраційних слідів або пізніших втручань. Статистичні показники на зразок ассигасу, precision, recall та F1-score є корисними, але для нумізматичної експертизи їх недостатньо. Найнадійнішим є той результат, який узгоджується не лише із зображенням, а й з метрологією, легендою, металом, технологією виготовлення, штемпельними ознаками, контекстом і походженням предмета.

Визначено можливості цифрових інструментів у виявленні підробок і дослідженні демонетизованих монет. Установлено, що в обох випадках важливо працювати не лише з типом монети, а й з її поверхнею, краєм, отворами, слідами зношення, металом, технологією виготовлення, можливими пізнішими втручаннями та походженням. Комп'ютерний зір може допомогти виявити повторювані дефекти або підозрілу схожість між екземплярами, 3D-модель краще показує рельєф, край, отвори й мікропошкодження, XRF дозволяє перевірити склад металу, а GIS допомагає оцінити просторовий контекст. Остаточний висновок щодо підробки або вторинного використання монети має формуватися лише через зіставлення кількох незалежних ознак, а не на підставі одного параметра.

Окреслено перспективи розвитку цифрових технологій у нумізматиці. Вони впливають не з абстрактного розвитку техніки, а з реальних проблем сучасної практики. Неповні цифрові записи потребують створення цифрового паспорта монети, різна якість фотографій - уніфікованих правил фіксації, помилки алгоритмів - якісних навчальних корпусів, а слабкі місця GIS - позначення рівня достовірності локалізації. Майбутнє цифрової нумізматики пов'язане не з одним універсальним інструментом, а з поєднанням фотографії,

3D-моделі, XRF-аналізу, GIS-даних, цифрових каталогів, комп'ютерного зору та фахової інтерпретації. Саме підвищення якості цифрових даних, повнота опису, фіксація походження предмета, стандарти збереження файлів і критичне ставлення до кожного запису можуть зробити цифрову експертизу точнішою, прозорішою й науково надійнішою.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Bentkowska-Kafel A., MacDonald L. (eds.). Digital Techniques for Documenting and Preserving Cultural Heritage. Kalamazoo; Bradford: Arc Humanities Press, 2017. 301 p.
2. Beraldin J.-A. Integration of Laser Scanning and Close-Range Photogrammetry: The Last Decade and Beyond. ISPRS Archives. 2004. Vol. 35. P. 972–983.
3. Breier M. GIS for Numismatics: Methods of Analyses in the Interpretation of Coin Finds. Mapping Different Geographies / ed. by K. Kriz, W. Cartwright, L. Hurni. Berlin; Heidelberg: Springer, 2010. P. 171–182. DOI: 10.1007/978-3-642-15537-6_11.
4. Burnett A. Coinage in the Roman World. London: Seaby, 1987. 192 p.
5. Capece N., Erra U., Ciliberto A. V. Implementation of a Coin Recognition System for Mobile Devices with глибокого навчання. 2016 12th International Conference on Signal-Image Technology & інтернет-Based Systems (SITIS). Naples, 2016. P. 186–192.
6. Carter G. A Guide to Coin Die Studies. New York: Attic Books, 1983. 214 p.
7. Cohen D. J., Rosenzweig R. Digital History: A Guide to Gathering, Preserving, and Presenting the Past on the Web. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 2005. 316 p.
8. Coin Hoards of the Roman Empire. URL: <https://chre.ashmus.ox.ac.uk/> (дата звернення: 17.05.2026).
9. Coinage / Jewellery. Uses Interactions Symbolisms from Antiquity to the Present: International Conference Proceedings, Ios, 26–28 June 2009. Athens: KERMA, 2017. 352 p.
10. Conolly J., Lake M. Geographical Information Systems in Archaeology. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 338 p.
11. Doneus M. Photogrammetry and Laser Scanning: New Ways of Documenting Archaeological Excavations. Archaeologia Austriaca. 2011. Bd. 95. P. 163–176.
12. Economou M. Museum Collections in the Digital Age. Museum International. 2015. Vol. 67. № 1–4. P. 172–181.

13. Espina-Romero L. et al. Digital Transformation of the State: A Multivariable Model. *Administrative Sciences*. 2025. Vol. 15. № 9. Article 365. DOI: 10.3390/admsci15090365.
14. FLAME Project. URL: <https://coinage.princeton.edu/> (дата звернення: 17.05.2026).
15. Gobble M. M. Digitalization, Digitization, and Innovation. *Research-Technology Management*. 2018. Vol. 61. № 4. P. 56–59. DOI: 10.1080/08956308.2018.1471280.
16. Gobble M. M. Digital Strategy and Digital Transformation. *Research-Technology Management*. 2018. Vol. 61. № 5. P. 66–71. DOI: 10.1080/08956308.2018.1495969.
17. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. глибокого навчання. Cambridge: MIT Press, 2016. 800 p. URL: <http://www.deeplearningbook.org> (дата звернення: 17.05.2026).
18. Graham S., Milligan I., Weingart S. *Exploring Big Historical Data: The Historian's Macroscopic*. London: Imperial College Press, 2015. 304 p.
19. Gregory I. N., Ell P. S. *Historical GIS: Technologies, Methodologies and Scholarship*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 221 p.
20. Grierson P. *Numismatics*. Oxford: Oxford University Press, 1975. 240 p.
21. Gruber E. пов'язані відкриті дані and Hellenistic Numismatics. 2018. URL: <https://zenodo.org/record/1484529> (дата звернення: 17.05.2026).
22. Guidi G., Russo M. Diachronic 3D Reconstruction for Lost Cultural Heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2010. Vol. XXXVIII-5/W16. P. 371–376.
23. Hockey S. *The History of Humanities Computing. A Companion to Digital Humanities* / ed. by S. Schreibman, R. Siemens, J. Unsworth. Oxford: Blackwell Publishing, 2004. P. 3–19.
24. Howgego C. *Ancient History from Coins*. London; New York: Routledge, 1995. 216 p.

25. Ignat V. Digitalization and the Global Technology Trends. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 227. Article 012062. DOI: 10.1088/1757-899X/227/1/012062.
26. Kitchin R. The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures and Their Consequences. London: SAGE Publications, 2014. 240 p.
27. Kroll J. H. The Monetary Use of Weighed Bullion in Archaic Greece. The Monetary Systems of the Greeks and Romans / ed. by W. V. Harris. Oxford: Oxford University Press, 2008. P. 12–37.
28. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. глибокого навчання. Nature. 2015. Vol. 521. P. 436–444. DOI: 10.1038/nature14539.
29. Lockyear K. Multivariate Analysis and Archaeology: Testing the Assumptions. Journal of Archaeological Science. 1999. Vol. 26. № 6. P. 785–796.
30. Lockyear K. Patterns and Process in Late Roman Coin Hoards. Oxford: Archaeopress, 2000. 252 p.
31. Lowe D. G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of комп'ютерний зір. 2004. Vol. 60. № 2. P. 91–110. DOI: 10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94.
32. Mayer-Schönberger V., Cukier K. Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work and Think. London: John Murray, 2013. 242 p.
33. Metcalf D. An Introduction to Greek Numismatics. London: Spink, 2012. 320 p.
34. Micle D., Torok-Oance M. GIS and Remote Sensing Techniques in Archaeology. 2009. URL: <https://arxiv.org/abs/0906.1644> (дата звернення: 17.05.2026).
35. Morris G. Exploring the Problems and Potential of Photogrammetric 3D Modelling of Ancient Coins. Journal of Computer Applications in Archaeology. 2022. Vol. 5. № 1. P. 246–260. DOI: 10.5334/jcaa.99.
36. Nomisma.org. URL: <https://nomisma.org/> (дата звернення: 17.05.2026).
37. Numista. URL: <https://en.numista.com/> (дата звернення: 17.05.2026).
38. OCRE Online Coins of the Roman Empire. URL: <https://numismatics.org/ocre/> (дата звернення: 17.05.2026).

39. OECD. *Going Digital: Shaping Policies, Improving Lives*. Paris: OECD Publishing, 2019. DOI: 10.1787/9789264312012-en.
40. OECD. *The Digitalisation of Science, Technology and Innovation: Key Developments and Policies*. Paris: OECD Publishing, 2020. DOI: 10.1787/b9e4a2c0-en.
41. Oddy W. A. (ed.). *Metallurgy in Numismatics*. Vol. 1. London: Royal Numismatic Society, 1980. 219 p.
42. Oksanen E., Wessman A., Mäkelä E., Hyvönen E., Räsänen J., Thomas S. Digital Humanities Solutions for Pan-European Numismatic and Archaeological Heritage Based on пов'язані відкриті дані. *Proceedings of the Digital Humanities in the Nordic and Baltic Countries Publications*. 2022. Vol. 4. P. 315–325. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3232/paper34.pdf> (дата звернення: 17.05.2026).
43. Orlyk V. Antique Coins of the 6th–1st Centuries BC in Podillia. *The Ukrainian Numismatic Annual*. 2022. № 6. P. 5–45. DOI: 10.31470/2616-6275-2022-6-5-45.
44. Orlyk V. A Grouping of Chance Coin Finds from the Time of Mithridates VI Eupator on the Territory of the Dnipro Right-Bank Forest-Steppe. *Acta Archaeologica Lodziensia*. 2023. Vol. 69. P. 61–70.
45. Orna E., Pettitt C. *Information Management in Museums*. Aldershot: Gower, 1998. 256 p.
46. Pasichnyk N., Rizhniak R. Algorithmic Implementation of the Digital Methods of the Recognition of the Numismatic Objects. *The Ukrainian Numismatic Annual*. 2024. № 8. P. 340–357. DOI: 10.31470/2616-6275-2024-8-340-357.
47. Pyzyk M. пов'язані відкриті дані and Ukrainian Numismatics. *The Ukrainian Numismatic Annual*. 2025. № 9. P. 348–357. DOI: 10.31470/2616-6275-2025-9-348-357.
48. Rachinger M., Rauter R., Müller C., Vorraber W., Schirgi E. Digitalization and Its Influence on Business Model Innovation. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 2019. Vol. 30. № 8. P. 1143–1160. DOI: 10.1108/JMTM-01-2018-0020.
49. Ravel O. *Les poulains de Corinthe*. Paris: Boccard, 1948. 215 p.
50. Reece R. *Roman Coins*. London: British Museum Press, 1988. 96 p.

51. Rehren Th., Pernicka E. Coins, Artefacts and Isotopes, Archaeometallurgy and Archaeometry. *Archaeometry*. 2008. Vol. 50. № 2. P. 232–248. DOI: 10.1111/j.1475-4754.2008.00389.x.
52. Remondino F. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. *Remote Sensing*. 2011. Vol. 3. № 6. P. 1104–1138. DOI: 10.3390/rs3061104.
53. Rosenzweig R. Scarcity or Abundance? Preserving the Past in a Digital Era. *The American Historical Review*. 2003. Vol. 108. № 3. P. 735–762. DOI: 10.1086/529596.
54. Rosenzweig R. Can History Be Open Source? Wikipedia and the Future of the Past. *The Journal of American History*. 2006. Vol. 93. № 1. P. 117–146. DOI: 10.2307/4486062.
55. Schreibman S., Siemens R., Unsworth J. (eds.). *A Companion to Digital Humanities*. Oxford: Blackwell Publishing, 2004. 620 p.
56. Seaby H. *Coin Collecting*. London: Seaby, 1980. 224 p.
57. Sear D. *Greek Coins and Their Values*. London: Seaby, 1978. 512 p.
58. Shvets O., Bondarenko O., Kotsur V. 3D Technologies in Numismatic Research. *The Ukrainian Numismatic Annual*. 2025. № 9. P. 370–383. DOI: 10.31470/2616-6275-2025-9-370-383.
59. Smith R. An Overview of the Tesseract OCR Engine. *Proceedings of the Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007)*. Curitiba, 2007. P. 629–633.
60. Sokolova M., Lapalme G. A Systematic Analysis of Performance Measures for Classification Tasks. *Information Processing & Management*. 2009. Vol. 45. № 4. P. 427–437. DOI: 10.1016/j.ipm.2009.03.002.
61. Szeliski R. *комп'ютерний зір: Algorithms and Applications*. 2nd ed. Cham: Springer, 2022. 925 p.
62. Štajer L. Historical Research Through Coin Hoards. *Journal of Ancient History and Archaeology*. 2018. Vol. 5. № 3. P. 41–50.
63. Terras M. *Digital Images for the Information Professional*. London: Routledge, 2008. 240 p.

64. Thaller M. The Need for a Theory of Historical Computing. *History and Computing II* / ed. by P. Denley, S. Fogelvik, C. Harvey. Manchester; New York: Manchester University Press, 1991. P. 2–11.
65. Thaller M. *History and Computing: An Introduction*. Manchester: Manchester University Press, 1992. 248 p.
66. Thaller M. Controversies around the Digital Humanities: An Agenda. *Historical Social Research*. 2012. Vol. 37. № 3. P. 7–23.
67. Thaller M. Controversies around the Digital Humanities. *Historical Social Research*. 2017. Vol. 42. № 4. P. 7–23.
68. Ulichev O., Drieiev O., Fedorenko M. Information System for the Automation of Restoring the Sequence of Coin Die Changes. *The Ukrainian Numismatic Annual*. 2025. № 9. P. 358–369. DOI: 10.31470/2616-6275-2025-9-358-369.
69. Vicari Sottosanti M., Danese M., Masini N. A GIS Approach for Ancient Numismatics: Spatial Analysis of Antoniniani in Sicily (3rd Century AD). *Heritage*. 2025. Vol. 8. № 6. Article 222. DOI: 10.3390/heritage8060222.
70. Wigg-Wolf D. The пов'язані відкриті дані Revolution in Numismatics. *Journal of Archaeological Numismatics*. 2019. Vol. 9. P. 95–108.
71. Zazoff P. *Die antiken Gemmen*. München: Beck, 1983. 356 p.
72. Zhou Q.-Y., Park J., Koltun V. Open3D: A Modern Library for 3D Data Processing. 2018. URL: <https://arxiv.org/abs/1801.09847> (дата звернення: 17.05.2026).
73. Гармаш Р. В. Системи машинного навчання для прогнозування та класифікації монет: кваліфікаційна робота / Харківський національний університет радіоелектроніки. Харків, 2025. URL: <https://openarchive.nure.ua/bitstreams/96abe80a-e99d-40ca-b878-d62e124f1d88/download> (дата звернення: 17.05.2026).
74. Дмітрієва В. А. Інформаційні технології як імпакт-фактор в економіці України. *Економічний вісник Дніпровського державного технічного університету*. 2025. № 1 (10). С. 16–27. DOI: 10.31319/2709-2879.2025iss1(10).332377pp16-27.

75. Дубина М. В., Дергалюк М. О. Сучасні тенденції цифровізації регіональних економічних систем. *Problems and Prospects of Economics and Management*. 2022. № 4 (32). С. 178–190.
76. Дубина М. В., Дергалюк М. О. Роль цифрової трансформації у забезпеченні розвитку регіональних економічних систем. *Economic Synergy*. 2023. № 1 (7). С. 67–83.
77. Дубина М. В., Козлянченко О. М. Концептуальні аспекти дослідження сутності діджиталізації та її ролі у розвитку сучасного суспільства. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2019. № 3 (19). С. 21–32.
78. Марчук Г. Розпізнавання розмінних монет України різного номіналу з використанням OpenCV. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*. 2020. Т. 31 (70). № 2. С. 121–126.
79. Орлик В. Монети як елемент матеріальної культури населення. *Український нумізматичний щорічник*. 2022. № 6. С. 146–167.
80. Орлик С., Бондаренко О. «Оцифрування» і «цифровізація» в нумізматичі: теоретико-методологічні та джерелознавчі аспекти. *Український нумізматичний щорічник*. 2023. № 7. С. 259–275.
81. Панченко М. Перспективи розвитку цифрових технологій на основі штучного інтелекту. *Моделювання та інформаційні технології*. 2024. № 98. С. 55–67.
82. Плєскач В. Л., Затонацька Т. Г. Електронна комерція: підручник. Київ: Знання, 2007. 535 с.
83. Потильчак О. Скарбознавство як галузь нумізматички. *Український нумізматичний щорічник*. 2023. № 7. С. 221–246. DOI: 10.31470/2616-6275-2023-7-221-246.
84. Черевик О., Лашевська Н. Аналіз застосування штучного інтелекту для обробки даних 3D-сканування. *Сучасні інформаційні технології*. 2024. № 2. С. 44–53.
85. Швець О. Д. Цифровізація нумізматичних досліджень: теоретико-методологічні засади: дис. ... д-ра філософії: 032 «Історія та археологія» /

Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький, 2025. 307 с. URL: https://kntu.kr.ua/file/content/19378/dysertatsiia_shvets-od.pdf (дата звернення: 17.05.2026).

86. Швець О. Штемпельний аналіз: сучасний стан застосування та перспективи цифровізації методу. Український нумізматичний щорічник. 2023. № 7. С. 288–306. DOI: 10.31470/2616-6275-2023-7-288-306.

ДОДАТКИ

Схема алгоритму цифрової ідентифікації монети

Етап	Зміст етапу	Основні інструменти	Очікуваний результат
1. Отримання цифрового зображення	Фотофіксація аверсу, реверсу, гурта, деталей поверхні	Цифрова камера, сканер, мікроскопічна зйомка, 3D-сканер	Якісне зображення монети для подальшого аналізу
2. Попередня обробка	Обрізання фону, вирівнювання масштабу, корекція контрасту, видалення шумів	OpenCV, Photoshop, ImageJ	Підготовлене стандартизоване зображення
3. Виділення ознак	Аналіз рельєфу, легенд, символів, портретів, монограм, краю монети	SIFT, ORB, CNN, OCR	Набір візуальних і текстових ознак
4. Порівняння з базами даних	Пошук аналогів у цифрових каталогах	Nomisma.org, OCRE, Numista, CHRE, FLAME	Попередні варіанти атрибуції
5. Класифікація	Визначення типу, номіналу, монетного двору, правителя, датування	AI, машинне навчання, статистичні моделі	Ймовірна атрибуція монети
6. Перевірка автентичності	Аналіз підробок, складу металу, мікрорельєфу, штемпельних зв'язків	XRF, 3D-сканування, GIS, штемпельний аналіз	Висновок про автентичність або сумнівність
7. Експертна верифікація	Перевірка результатів фахівцем-нумізматом	Традиційні методи експертизи	Остаточний науковий висновок

Схема комплексної цифрової експертизи нумізматичної пам'ятки

Компонент експертизи	Що досліджується	Метод / інструмент	Значення для висновку
Візуальний аналіз	Загальний вигляд, рельєф, легенда, символіка	Фото, збільшення, комп'ютерний зір	Попередня атрибуція
Метрологічний аналіз	Вага, діаметр, товщина	Електронні ваги, штангенциркуль	Визначення номіналу та відповідності стандарту
Штемпельний аналіз	Збіги аверсу й реверсу з іншими монетами	Цифрове порівняння зображень	Встановлення зв'язків
3D-аналіз	Мікрорельєф, пошкодження, сліди лиття	3D-сканування, фотограмметрія	Виявлення підробок і втручань
Археометрія	Склад металу	XRF-аналіз	Перевірка відповідності історичному сплаву
GIS-аналіз	Місце знахідки та ареал поширення	Геоінформаційні системи	Перевірка просторового контексту
AI-аналіз	Автоматичне розпізнавання типу	Нейронні мережі, CNN	Попередня цифрова класифікація
Експертний висновок	Узагальнення всіх результатів	Фахова інтерпретація	Остаточна атрибуція та експертиза

Ознаки підробок і методи їх виявлення

Ознака можливої підробки	Як проявляється	Метод виявлення
Згладжений рельєф	Деталі нечіткі, контури «пливуть»	Візуальний аналіз, 3D-сканування
Мікропори	Дрібні порожнини на поверхні	Мікроскопія, 3D-аналіз
Нетипова вага	Відхилення від стандарту	Метрологічний аналіз
Невідповідний склад металу	Сучасні домішки або нетиповий сплав	XRF-аналіз
Штучна пати́на	Неприродний колір або структура поверхні	Візуальний аналіз, мікроскопія
Повторювані дефекти	Однакові пошкодження на різних копіях	Комп'ютерний зір, порівняння з базами
Невідповідність штемпелів	Нетипове поєднання аверсу й реверсу	Штемпельний аналіз
Сумнівне походження	Знахідка не відповідає ареалу поширення типу	GIS-аналіз

Схема взаємодії цифрових інструментів у нумізматичній експертизі

Рівень аналізу	Інструменти	Результат
Візуальний рівень	Фото, комп'ютерний зір, OCR	Розпізнавання зображень, легенд, символів
Просторовий рівень	GIS, карти знахідок, координати	Аналіз ареалу поширення та контексту
Матеріалознавчий рівень	XRF, спектроскопія	Визначення складу металу
Об'ємний рівень	3D-сканування, фотограмметрія	Аналіз мікрорельєфу та пошкоджень
Інформаційний рівень	Nomisma.org, OCRE, Numista, CHRE	Пошук аналогів і каталогізація
Аналітичний рівень	AI, Big Data, статистичні моделі	Класифікація, прогнозування, виявлення аномалій
Експертний рівень	Фахова оцінка нумізмата	Остаточний висновок