

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:

«РФА у експертизі середньовічних предметів нумізматики»

Виконав: здобувач вищої освіти
ІІ курсу, групи ІА-24Мз
ОНП «Історія матеріальної культури та
експертиза об'єктів історичної спадщини»
спеціальності 032 «Історія та археологія»
_____ ШАТАЙЛО Микола Володимирович
« _____ » _____ 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 ДОСЛІДЖЕННЯ СЕРЕДНЬОВІЧНИХ НУМІЗМАТИЧНИХ ПРЕДМЕТІВ	15
1.1 Історіографія проблеми використання РФА у експертизі середньовічних предметів нумізматики	15
1.2. Джерельна база дослідження	30
1.3. Методологічні засади застосування природничо-наукових методів у нумізматиці	41
РОЗДІЛ 2. РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНИЙ АНАЛІЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКСПЕРТИЗИ	53
2.1. Фізичні основи рентгенофлуоресцентного аналізу	53
2.2. Види РФА та особливості їх застосування	62
2.3. Методика підготовки та проведення РФА нумізматичних предметів	71
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РФА У ЕКСПЕРТИЗІ СЕРЕДНЬОВІЧНИХ ПРЕДМЕТІВ НУМІЗМАТИКИ	77
3.1. РФА у виявленні фальсифікацій та реставраційних втручань	77
3.2. РФА для реконструкції технологій карбування та джерел металу	83
3.3. Перспективи комплексного археометричного дослідження нумізматичних пам'яток	90
ВИСНОВКИ	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	103
ДОДАТКИ	112

ВСТУП

Актуальність теми Середньовічні предмети нумізматики є важливим джерелом для вивчення політичної історії, економічних процесів, торговельних зв'язків, монетної справи, технологій металургійного виробництва та матеріальної культури минулого. Монети, грошові зливки, заготовки, штемпелі та інші нумізматичні пам'ятки містять не лише інформацію про емітента, номінал, іконографію чи легенду, а й важливі відомості про склад металу, технологію виготовлення, джерела сировини, умови обігу, зношення, фальсифікації та реставраційні втручання. Саме тому сучасне дослідження нумізматичних предметів потребує поєднання традиційних історико-нумізматичних методів із природничо-науковими підходами.

Особливої актуальності набуває застосування рентгенофлуоресцентного аналізу, який дозволяє неруйнівним способом визначати елементний склад металевих предметів. Для експертизи середньовічних нумізматичних пам'яток РФА має важливе значення, оскільки дає змогу виявляти невідповідність між зовнішніми ознаками монети та її фактичним складом, встановлювати наявність посріблення, золочення, білонних сплавів, мідної основи під благородним покриттям, сучасних домішок, слідів реставрації або фальсифікації. Крім того, результати РФА можуть використовуватися для реконструкції технологій карбування, аналізу якості монетного металу, виявлення виробничих партій і попереднього визначення можливих джерел сировини. У цих умовах РФА стає одним із ключових інструментів сучасної археометричної нумізматики, який дозволяє підвищити наукову обґрунтованість експертних висновків.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у комплексному дослідженні можливостей застосування рентгенофлуоресцентного аналізу в експертизі середньовічних предметів нумізматики, зокрема для виявлення фальсифікацій, реставраційних втручань, реконструкції технологій карбування та визначення потенційних джерел металу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. проаналізувати історіографію проблеми використання РФА у дослідженні та експертизі середньовічних нумізматичних предметів;
2. охарактеризувати джерельну базу дослідження;
3. визначити методологічні засади застосування природничо-наукових методів у нумізматиці;
4. розкрити фізичні основи рентгенофлуоресцентного аналізу;
5. охарактеризувати основні види РФА та особливості їх застосування;
6. визначити методику підготовки та проведення РФА нумізматичних предметів;
7. показати можливості РФА у виявленні фальсифікацій і реставраційних втручань;
8. з'ясувати значення РФА для реконструкції технологій карбування та джерел металу;
9. окреслити перспективи комплексного археометричного дослідження нумізматичних пам'яток.

Об'єкт дослідження – середньовічні предмети нумізматики як історико-культурні, матеріальні та технологічні джерела.

Предмет дослідження – можливості, методика та практичне значення застосування рентгенофлуоресцентного аналізу в експертизі середньовічних нумізматичних предметів.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс загальнонаукових, спеціально-історичних, нумізматичних і природничо-наукових методів. Загальнонаукові методи аналізу, синтезу, порівняння, узагальнення та систематизації застосовано для опрацювання історіографії, джерельної бази та теоретико-методологічних положень дослідження. Історичний метод дав змогу розглядати монетне виробництво та технології карбування у конкретному хронологічному й історичному контексті. Принцип історизму використано для пояснення змін у складі монетного металу, технологіях виготовлення та практиках фальшивомонетництва.

Серед спеціальних нумізматичних методів застосовано типологічний, метрологічний, поштемпельний і топографічний аналіз. Типологічний метод дозволяє визначати належність монети до певного емітента, номіналу, хронологічного періоду чи монетного двору. Метрологічний аналіз використовується для вивчення ваги, діаметра, товщини та інших фізичних параметрів предмета. Поштемпельний аналіз дає можливість простежити зв'язки між окремими екземплярами та реконструювати виробничі серії. Топографічний підхід використовується для врахування місць знахідок і поширення певних монетних типів.

Особливе місце у роботі посідає рентгенофлуоресцентний аналіз як природничо-науковий метод визначення елементного складу металевих предметів. Його результати розглядаються у поєднанні з традиційними нумізматичними методами, оскільки РФА характеризує переважно поверхневий шар предмета і потребує критичної інтерпретації з урахуванням корозії, патини, очищення, реставраційних втручань та неоднорідності сплаву.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному розгляді РФА не лише як технічного способу визначення складу металу, а як важливого інструмента нумізматичної експертизи. У роботі узагальнено можливості застосування РФА для виявлення фальсифікацій, посріблення, золочення, білонних сплавів, сучасних домішок і реставраційних втручань. Окрему увагу приділено значенню РФА для реконструкції технологій карбування, аналізу джерел металу, дослідження виробничих партій та перспектив створення комплексних археометричних баз даних нумізматичних пам'яток.

Наукова новизна також полягає у поєднанні традиційного нумізматичного підходу з археометричною методикою. У роботі підкреслено, що РФА не може бути самодостатнім методом експертизи, однак у поєднанні з типологічним, метрологічним, поштемпельним, мікроскопічним і топографічним аналізом він суттєво підвищує достовірність наукових висновків.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання її результатів під час експертизи середньовічних нумізматичних предметів у

музейній, археологічній, колекційній та науково-дослідній практиці. Основні положення роботи можуть бути корисними для встановлення автентичності монет, виявлення фальсифікатів, аналізу реставраційних втручань, уточнення атрибуції, дослідження складу монетного металу та реконструкції технологій карбування.

Матеріали роботи можуть бути використані у навчальному процесі під час викладання курсів з нумізматики, археології, спеціальних історичних дисциплін, археометрії та експертизи історико-культурних пам'яток. Крім того, запропоновані підходи можуть бути застосовані під час створення електронних баз даних результатів РФА-досліджень нумізматичних предметів.

Методологічна основа роботи ґрунтується на принципах об'єктивності, історизму, системності, розвитку та багатовимірності. Принцип об'єктивності передбачає неупереджене вивчення нумізматичних предметів на основі сукупності перевірюваних ознак. Принцип історизму орієнтує на розгляд монетного виробництва у контексті конкретної доби, рівня розвитку технологій, доступності сировини та особливостей монетної політики. Принцип системності дозволяє аналізувати монету як частину ширшої системи виробництва, обігу, використання та збереження. Принцип розвитку дає змогу простежити зміни у складі монетного металу, технологіях карбування та експертних підходах. Принцип багатовимірності забезпечує комплексний аналіз монети як історичного, матеріального, технологічного та економічного джерела.

Структура та зміст кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків і списку використаних джерел.

У першому розділі «Теоретико-методологічні основи дослідження середньовічних нумізматичних предметів» розглянуто історіографію проблеми використання РФА у експертизі середньовічних предметів нумізматики, охарактеризовано джерельну базу дослідження та визначено методологічні засади застосування природничо-наукових методів у нумізматиці.

У другому розділі «Рентгенофлуоресцентний аналіз як інструмент експертизи» розкрито фізичні основи РФА, охарактеризовано його основні види

та особливості застосування, а також описано методику підготовки й проведення РФА нумізматичних предметів.

У третьому розділі «Практичне застосування РФА у експертизі середньовічних предметів нумізматики» проаналізовано можливості РФА у виявленні фальсифікацій та реставраційних втручань, показано його значення для реконструкції технологій карбування й джерел металу, а також окреслено перспективи комплексного археометричного дослідження нумізматичних пам'яток.

У висновках узагальнено основні результати дослідження та визначено значення РФА для сучасної експертизи середньовічних предметів нумізматики.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕРЕДНЬОВІЧНИХ НУМІЗМАТИЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

1.1 Історіографія проблеми використання РФА у експертизі середньовічних предметів нумізматики.

Вивчення рентгенофлуоресцентного аналізу у експертизі середньовічних предметів нумізматики потребує звернення до широкого кола наукових праць, які охоплюють як власне нумізматичні дослідження, так і студії з історії грошового обігу, археології, джерелознавства, мистецтвознавства, матеріалознавства, археометрії та експертної діяльності у сфері історико-культурної спадщини. Така міждисциплінарність зумовлена самою природою нумізматичного предмета, адже монета або інший предмет нумізматики є одночасно історичним джерелом, речовою пам'яткою, матеріальним об'єктом, продуктом певної технології виробництва, засобом грошового обігу, а в окремих випадках також об'єктом фальсифікації, імітації, переробки або вторинного використання.

З огляду на предмет нашого дослідження, доцільно поділити весь корпус наукових праць, дотичних до теми рентгенофлуоресцентного аналізу у експертизі середньовічних предметів нумізматики, на три основні групи. До першої групи належать праці, присвячені східноєвропейській середньовічній нумізматиці, тобто дослідженню монет, монетно-вагових зливків та інших форм грошового обігу, які були поширені на території України у добу середньовіччя. До другої групи слід віднести корпус досліджень, присвячених проблемам експертизи середньовічних пам'яток нумізматики, зокрема питанням визначення автентичності, технології виготовлення, матеріального складу, ознак природного старіння та можливостей застосування неруйнівних методів аналізу. Третю групу становлять праці, присвячені середньовічним фальсифікатам монет, практикам фальшивомонетництва, виявленню підробок, а також проблемі розмежування офіційного карбування, неофіційних наслідувань, кустарних підробок і санкціонованих владою емісій сумнівної якості.

Перший напрям історіографії, пов'язаний із вивченням середньовічної нумізматики, має тривалу традицію. Цікавість до дослідження середньовічних монетних знахідок на українських землях виникла ще у XIX ст. Одним із важливих етапів становлення цього напрямку були праці Володимира Антоновича, який детально досліджував монетні знахідки на території Київської та Волинської губерній, укладаючи відповідні топографії. Саме топографічний підхід, що передбачав фіксацію місць виявлення монет, скарбів і поодиноких знахідок, на ранньому етапі став одним із базових методів нумізматичного дослідження. Він дозволяв не лише описувати окремі пам'ятки, але й простежувати ареали поширення певних монетних типів, напрями торговельних зв'язків, особливості регіонального грошового обігу та інтенсивність економічних контактів.

У радянський період дослідження середньовічної нумізматики значною мірою були зосереджені на складанні топографій знахідок середньовічних монет різних емітентів та на підготовці узагальнювальних праць з історії грошового обігу. Для цього періоду характерним було прагнення до систематизації матеріалу, введення до наукового обігу нових скарбів і монетних комплексів, а також вивчення грошового обігу у зв'язку з соціально-економічною історією. Водночас методологічна база досліджень залишалася переважно традиційною: основна увага приділялася типології, метрології, хронології, іконографії, легендам, топографії знахідок і порівняльному аналізу монетних типів. Природничо-наукові методи, зокрема методи визначення хімічного складу металу, не були настільки поширеними, як у сучасній нумізматиці.

Із здобуттям Україною незалежності інтерес до історії українських земель, їхнього економічного розвитку, торговельних контактів і монетного обігу суттєво зріс. Це сприяло активізації нумізматичних досліджень, появі нових публікацій, розширенню джерельної бази, введенню до наукового обігу матеріалів приватних і музейних колекцій, а також археологічних знахідок. За останні десятиліття українська середньовічна нумізматыка збагатилася значною

кількістю праць, що зумовлює необхідність переосмислення досягнень вітчизняної науки та визначення її основних тематичних напрямів.

Особливе значення для аналізу сучасного стану української середньовічної нумізматики має міжнародна наукова конференція «Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки», започаткована Центральноукраїнським національним технічним університетом та Інститутом історії України НАН України у 2011 р. З 2013 р. до організаторів конференції долучився Університет Григорія Сковороди в Переяславі. Ця конференція стала важливим майданчиком для апробації результатів досліджень, обговорення актуальних проблем нумізматики, історії грошового обігу, боністики, сфрагістики, фалеристики, медальєрики та інших спеціальних історичних дисциплін. Для нашого дослідження матеріали цієї конференції є особливо важливими, оскільки вони дозволяють простежити, які саме напрями середньовічної нумізматики були найбільш репрезентовані в українській науці протягом 2011–2020 рр.

На першій конференції «Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки», матеріали якої були опубліковані у спеціальному випуску наукового збірника Інституту історії України НАН України «Спеціальні історичні дисципліни», середньовічна нумізматыка була представлена чотирма темами українських дослідників. Зокрема, було розглянуто питання започаткування монетного карбування в державах хрестоносців на прикладі Едеського графства (Орлик, 2011), проблему інтерпретації епітета «Ал-Джедід» на джучидських монетах (Хромов, 2011), наслідування монет Червоної Русі з Середнього Подніпров'я (Хромова, 2011), а також фальшиві монети у Кримському ханстві другої половини XV–XVI ст. (Бойко-Гагарін, 2011). Уже ця перша добірка тем засвідчила широту проблематики середньовічної нумізматики: від хрестоносного карбування та джучидської нумізматики до локальних наслідувань і фальшивомонетництва.

Матеріали другої міжнародної конференції, що відбулася 2013 р., були опубліковані в окремому випуску збірника «Наукові записки з української

історії» ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди». На цій конференції середньовічна нумізматика була представлена вже одинадцятьма темами українських дослідників. Серед них варто відзначити працю про актуальні напрями та організаційні засади сучасних досліджень середньовічної нумізматики в Україні (Коцур, 2013), дослідження наслідувань європейським денаріям VIII–X ст. як об'єкта нумізматичного аналізу (Кулешов, 2013), студію про мідні східні монети другої половини XI – першої третини XIII ст. на території Київського князівства у контексті проблеми «безмонетного періоду» в Русі (Хромов, 2013), а також дослідження монет держави Тевтонського ордену в Пруссії у складі грошових та грошово-товарних скарбів, знайдених на території України (Орлик, 2013).

Окреме місце серед матеріалів конференції 2013 р. посіли праці, присвячені давньоруським гривням, археологічним і нумізматичним знахідкам, проблемам атрибуції окремих монетних типів та регіональним особливостям грошового обігу. Зокрема, досліджувалися давньоруські гривні київського типу в нумізматичній збірці НМІУ (Дубіцька, 2013), археологічні та нумізматичні знахідки з давньоруського городища поблизу міста Золотоноша (Прядко, 2013), один платіж кінця XIV ст. (Козубовський, 2013), проблеми атрибуції київського півгроша (Саввов, 2013), басейн р. Тясмин як зона перетину двох монетних систем (Шостопал, 2013), види браків монетного виробництва доби середньовіччя (Бойко-Гагарін, 2013), а також джучидські срібні монети, відкарбовані від імені хана Саїд Ахмада (Зайончковський, 2013). Таким чином, матеріали конференції 2013 р. засвідчили розширення тематики досліджень та поступове формування кількох сталих напрямів української нумізматики-медієвістики.

У матеріалах конференції 2015 р. середньовічна нумізматика була представлена десятьма доповідями українських нумізматів. Тематика цих досліджень охоплювала візантійські монети, фальшиві гістаменони, давньоруські та німецькі денарії, джучидські данги, монети Золотої Орди та Кримського ханства, знахідки монет банату Северин із символікою Тевтонського

ордену, рахункові одиниці Подільської землі та Галицької Русі, а також нумізматичні знахідки XIV–XV ст. з розкопок Михайлівського Золотоверхого Собору. Зокрема, досліджувалися топографія знахідок монет візантійського Херсону в Україні, насамперед у Полтавській області (Шуліка, 2015), скарб фальшивих гістаменонів і платіжних зливків з Городецького району Львівської області (Жарко, 2015), монети від боярина Ратибора (Колибенко & Колибенко, 2015), наслідування німецьких денаріїв XI ст., знайдені на Чернігівщині (Кулешов, 2015), невеликий комплекс джучидських дангів 1370-х років (Булава, 2015), монети Золотої Орди з давньоруського Глухова та його округи (Коваленко, 2015), знахідки монет Золотої Орди та Кримського ханства XIV–XVIII ст. на території Вінничини (Бакалець, 2015), знахідки на Волині монет банату Северин із символікою Тевтонського ордену (Орлик, 2015), рахункові одиниці Подільської землі та Галицької Русі (Погорілець, 2015), а також нумізматичні матеріали з розкопок Михайлівського Золотоверхого Собору (Івакін & Козубовський, 2015).

Матеріали конференції 2015 р. мають важливе значення для нашої теми, оскільки демонструють зростання уваги до монет як матеріальних предметів, що можуть бути досліджені не лише за іконографічними чи епіграфічними ознаками, а й за технологічними характеристиками. Особливо показовими у цьому контексті є праці, присвячені фальшивим гістаменонам, наслідуванням денаріїв, платіжним зливкам і монетним комплексам. Саме такі об'єкти є перспективними для застосування РФА, адже визначення хімічного складу металу може допомогти встановити особливості виробництва, походження сировини, наявність покриття, домішок, слідів амальгамування або інших технологічних прийомів.

На IV міжнародній конференції, що відбулася 2016 р., середньовічна нумізматика також була репрезентована десятьма темами. Досліджувалися знахідки візантійських монет на території Південно-Західної Переяславщини (Тетеря & Прядко, 2016), топографія знахідок монет візантійського Херсона в Україні (Шуліка, 2016), проблема локалізації карбування монети з іменем короля Гарольда, знайденої в Україні (Кулешов, 2016), графіті на давньоруських гривнях

київського типу в колекції НМІУ (Дубіцька, 2016), скарб гривень волинського типу поблизу Луцька (Литвинчук, 2016), походження міста Черкаси у контексті нумізматичних матеріалів (Ластовський, 2016), новознайдені монети Дмитра Корибута Ольгердовича (Хромова, 2016), джучидські данги середини 1410-х рр., відкарбовані у Бек-Базарі (Зайончковський & Шептуха, 2016), східні монети в колекції Одеського історико-краєзнавчого музею (Янов, 2016), а також обрізаний шилінг магістра Тевтонського ордену Міхаеля Кюхмейстера фон Штернберга, знайдений на Львівщині (Орлик, 2016).

Ці дослідження важливі тим, що вони репрезентують як традиційну типологічну й топографічну нумізматику, так і проблеми, пов'язані з технологічним аналізом предметів. Наприклад, вивчення обрізаних, деформованих, графітованих або нетипових монетних предметів безпосередньо ставить питання про їхню функцію, обставини використання, зміну первісного вигляду та можливе вторинне застосування. У таких випадках РФА може виступати допоміжним інструментом для встановлення складу металу, виявлення неоднорідності поверхні, визначення наявності покриттів чи сторонніх втручань.

На V міжнародній конференції 2018 р. українські дослідники середньовічної нумізматики представили дев'ять студій. Серед них слід назвати працю про роль срібляників та арабських дирхемів у грошовому обігу Київської Русі (Шапринський, 2018), дослідження про можливу спробу карбування візантійських монет у давньому Києві (Івакін, Івакін & Баранов, 2018), аналіз мідних монет Візантії з Києва з колекції сім'ї Богдана та Варвари Ханенків за матеріалами НМІУ (Бойко-Гагарін & Осипенко, 2018), студію про рідкісний західноєвропейський денарій XIII ст., знайдений в Україні (Кулешов, 2018), дослідження іконографії денаріїв Волинського князівства (Литвинчук, 2018), працю про печатку «Корибута» як речовий доказ давнього фальшування (Саввов, 2018), аналіз персоніфікованих найменувань монетних дворів на пізніх джучидських срібних монетах (Зайончковський & Тішкін, 2018), дослідження скарбу золотоординських, турецьких і татарських монет XIV–XVI ст. із с. Устя Бершадського району Вінницької області (Курок & Бакалець, 2018), а також

питання атрибуції та датування скарбу із с. Тарасовичі Жуківського району Київської округи, знайденого 1928 р. (Зразюк, 2018).

Особливої уваги у контексті нашого дослідження заслуговують праці, у яких порушуються питання фальшування, локального карбування, наслідувань і сумнівних емісій. Такі студії засвідчують, що середньовічна монета не завжди може бути однозначно віднесена до офіційного або неофіційного виробництва лише на основі візуального аналізу. У низці випадків потрібним є комплексний підхід, що поєднує типологію, метрологію, штемпельний аналіз, аналіз легенд, іконографії, археологічного контексту та матеріального складу. Саме тому застосування РФА у сучасній експертизі середньовічних предметів нумізматики є логічним продовженням розвитку джерелознавчих і спеціально-історичних методів.

На VI міжнародній конференції 2020 р. проблеми середньовічної нумізматики були представлені одинадцятьма темами українських дослідників. Серед них комплекс візантійських солідів VII ст. із с. Озерище Черкаського району Черкаської області (Коцур, Орлик & Шостопал, 2020), нововиявлений комплекс східних монет VIII–X ст. з Нижнього Подніпров'я (Потильчак, 2020), можливі свідчення обігу візантійських фолісів у Чернігівському регіоні (Кулешов, 2020), Городницький скарб срібляників Володимира Великого та Святополка Окаянного (Алфьоров, 2020), знахідки давньоруських монет на Черкащині (Шостопал, 2020), скарб монетних гривень з Переяслава 2014 р. (Колибенко & Прядко, 2020), рідкісні грошові зливки з-під Олики (Єскін & Литвинчук, 2020), монета Вітовта, карбована в Луцьку (Литвинчук, 2020), срібні монети хана Великої Орди Саїд-Ахмада II з мусульманським символом віри на реверсі та рядковою легендою аверсу (Зайончковський & Тішкін, 2020), знахідки монет Молдавського князівства на Чорнівському городищі (Калініченко & Пивоваров, 2020), а також узагальнювальна праця «Студії з середньовічної нумізматики в Україні: традиції, виклики та перспективи» (Хромова, 2020).

Матеріали конференції 2020 р. засвідчують, що українська середньовічна нумізматыка набула виразно комплексного характеру. Дослідники звертаються не

лише до опису монетних знахідок, а й до ширших питань їхнього історичного контексту, обігу, походження, атрибуції, взаємозв'язку різних монетних систем і регіональних особливостей використання грошей. Водночас саме на цьому етапі дедалі помітнішою стає потреба у залученні природничо-наукових методів, зокрема РФА, адже значна частина дискусійних питань середньовічної нумізматики пов'язана з матеріалом предмета, технологією виготовлення, якістю металу, домішками, покриттям, слідами ремонту, корозії або фальсифікації.

Контент-аналіз матеріалів шести міжнародних конференцій «Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки», проведених протягом 2011–2020 рр., свідчить, що проблеми середньовічної нумізматики посідали від 17,31 % до 40 % загальної кількості нумізматичних публікацій. У 2011 р. із 10 нумізматичних публікацій 4 були присвячені середньовічній нумізматиці, що становило 40 %. У 2013 р. таких праць було 11 із 31, або 35,48 %. У 2015 р. із 38 публікацій 10 стосувалися середньовічної тематики, тобто 26,31 %. У 2016 р. середньовічна нумізматика була представлена 10 публікаціями з 50, або 20 %. У 2018 р. цей показник становив 9 публікацій із 52, тобто 17,31 %. У 2020 р. із 43 нумізматичних публікацій 11 були присвячені проблемам середньовічної нумізматики, що становило 25,58 %. Такі показники свідчать про стабільне місце середньовічної тематики в українських нумізматичних студіях, навіть попри коливання частки відповідних публікацій у різні роки.

Проаналізована тематика доповідей дозволяє виокремити п'ять основних напрямів студій українських нумізматів-медієвістів. Перший напрям становлять дослідження монет, монетно-вагових зливків та грошового обігу Русі. За матеріалами конференцій 2011–2020 рр. цей напрям представлений 17 доповідями, що становить 30,91 % від загальної кількості досліджень середньовічної нумізматики. Другий напрям монетне карбування та грошовий обіг у Наддніпрянській Україні, Галичині та Волині в XIV–XV ст.; він представлений 16 доповідями, або 29,10 %. Третій напрям золотоординська та ісламська нумізматика, яка охоплює 11 доповідей, або 20 %. Четвертий напрям

монети Візантії та християнського Сходу, представлений 8 доповідями. П'ятий напрям теоретичні питання середньовічної нумізматики, представлений 3 доповідями.

Ці дані дозволяють зробити кілька важливих висновків. По-перше, найбільш розвиненими в українській середньовічній нумізматиці є дослідження, пов'язані з монетною справою та грошовим обігом Русі, а також із монетним карбуванням і грошовим обігом українських земель XIV–XV ст. По-друге, вагоме місце посідають студії з золотоординської та ісламської нумізматики, що є цілком закономірним з огляду на активну присутність монет Золотої Орди, Кримського ханства та інших східних емітентів у складі знахідок на території України. По-третє, візантійська нумізматики та монети християнського Сходу також мають важливе значення для реконструкції торговельних, політичних і культурних контактів українських земель у середньовічну добу. По-четверте, порівняно невелика кількість теоретичних досліджень свідчить про потребу у подальшому методологічному осмисленні середньовічної нумізматики, зокрема в контексті археометрії, цифрових методів, матеріального аналізу та експертизи.

Другу групу історіографічних джерел становлять праці, присвячені експертизі середньовічних предметів нумізматики та суміжних металевих пам'яток історико-культурної спадщини. У межах цього напрямку особливого значення набуває вивчення діагностичних ознак автентичності предметів, природного старіння металевих сплавів, технологічних слідів виготовлення, корозійних процесів, поверхневих змін і внутрішньої структури металу. Саме ці питання безпосередньо пов'язані з можливостями застосування РФА, адже рентгенофлуоресцентний аналіз дозволяє визначити елементний склад поверхневого шару предмета без його руйнування.

У наукових працях, які формують корпус експертних досліджень з нумізматики та металевих пам'яток, було окреслено систему діагностичних ознак природного старіння металевих сплавів у виробах із тривалою історією побутування. Дослідницька увага у цьому напрямі зосереджується передусім на процесах природної перекристалізації металів, які відбуваються протягом

значного часу і супроводжуються комплексом структурних та поверхневих змін. Для середньовічних нумізматичних предметів це має особливе значення, оскільки автентична монета, що перебувала у землі, скарбі, культурному шарі або колекційному середовищі протягом століть, неминуче зазнає фізико-хімічних трансформацій.

Українські фахівці з експертизи предметів історико-культурної спадщини Н. Мережко, К. Пірковіч та О. Ковтун звертають увагу на те, що важливою ознакою природного старіння є зміни мікроструктури металів. Ці зміни проявляються у формуванні дрібніших, хімічно чистіших і морфологічно досконаліших кристалів зі складною міжкристалічною будовою, структурно розділеною потрійними точками (Мережко, Пірковіч, & Ковтун, 2025: 255–256). На думку цих дослідників, до характеристик природного старіння належать також підвищення механічної крихкості металів, сліди активної елімінації домішкових елементів на поверхню під впливом теплових факторів, а також утворення мінеральних агрегатів, збагачених домішковими елементами, типовими для автентичних сплавів, зокрема Cu, As, Sb, Pb, Zn, Sn тощо, але нехарактерними для зовнішнього середовища (Мережко, Пірковіч, & Ковтун, 2025: 255–256).

Ці положення мають принципове значення для нашого дослідження, оскільки вони демонструють, що експертиза середньовічних нумізматичних предметів не може обмежуватися лише зовнішнім оглядом, визначенням ваги, діаметра, типу, легенди або іконографії. Автентичність монети або іншого нумізматичного предмета значною мірою пов'язана з матеріальними характеристиками об'єкта. Саме тому дослідження складу металу, характеру домішок, поверхневих нашарувань, корозійних продуктів і технологічних слідів стає важливим складником сучасної експертизи. Практичне виявлення зазначених ознак дає змогу робити обґрунтовані висновки щодо автентичності металевих виробів і, що особливо важливо, здійснювати таку оцінку без застосування руйнівних методів дослідження.

У цьому контексті РФА має низку очевидних переваг. По-перше, метод є неруйнівним, що особливо важливо для роботи з унікальними музейними предметами, археологічними знахідками, скарбами та приватними колекціями. По-друге, РФА дозволяє отримати дані про елементний склад поверхні предмета, що може бути корисним для виявлення сріблення, золочення, амальгамування, мідної основи під благородним покриттям, а також слідів реставраційних втручань. По-третє, метод дає можливість порівнювати склад різних монет одного типу або одного скарбу, виявляти аномальні екземпляри, встановлювати групи за складом сплаву та робити попередні висновки щодо технологічних особливостей виробництва.

Разом із тим історіографія експертних досліджень звертає увагу і на обмеження РФА. Оскільки цей метод аналізує переважно поверхневий шар предмета, результати можуть бути спотворені корозією, патиною, забрудненнями, продуктами ґрунтового середовища, реставраційними речовинами або вторинними покриттями. Для середньовічних монет це особливо важливо, адже багато з них мають нерівномірну поверхню, сліди зношення, очищення, механічних пошкоджень або хімічного впливу. Тому результати РФА мають інтерпретуватися не ізольовано, а у комплексі з іншими методами: візуальним аналізом, мікроскопією, метрологічним дослідженням, штемпельним аналізом, аналізом археологічного контексту та, за потреби, іншими інструментальними методами.

Третю групу історіографічних джерел становлять дослідження, присвячені середньовічним фальсифікатам монет. Цей напрям має безпосереднє значення для теми нашої роботи, адже одне з найважливіших завдань експертизи нумізматичних предметів полягає у виявленні підробок, фальшивих монет, наслідувань, монет із покриттям, а також предметів, які були виготовлені з порушенням офіційних стандартів. Проблема фальшивомонетництва є складною, оскільки у середньовічну добу існували різні форми неофіційного або напівофіційного виробництва монет: кустарні підробки, імітації іноземних монет, місцеві наслідування, монети зі зниженим вмістом благородного металу, а

також емісії, санкціоновані владою, але виготовлені з використанням дешевої металевої основи або покриття.

Перші праці про фальсифікацію монет у добу середньовіччя з'явилися ще у XIX ст. Зокрема, Ю. Сокольський описував діяльність середньовічних фальшивомонетників (Sokol'skij, 1873). Ці ранні дослідження мали переважно описовий характер, але вони заклали основу для подальшого вивчення соціально-економічних, правових і технологічних аспектів фальшивомонетництва. У подальшому дослідники почали звертати увагу не лише на сам факт існування фальшивих монет, а й на способи їхнього виготовлення, матеріальний склад, технологічні особливості, канали поширення та реакцію влади на такі явища.

Сучасні українські дослідники також не залишають проблему середньовічного фальшивомонетництва поза увагою. Зокрема, український нумізмат А. Бойко-Гагарін присвятив цій проблемі частину своєї монографії (Бойко-Гагарін, 2017). Його дослідження є важливим для розуміння фальшивомонетництва як історичного явища, що було пов'язане не лише з кримінальними практиками, а й із загальним станом грошового обігу, рівнем контролю за монетним виробництвом, поширенням певних монетних типів і довірою населення до грошових знаків. У цьому контексті фальшива монета виступає не просто підробкою, а джерелом інформації про економічні відносини, технологічні можливості, кризові явища у грошовій системі та особливості повсякденного використання грошей.

Важливими є також дослідження І. Прохненка та М. Жиленка, які проаналізували фальшиві середньовічні монети, виявлені під час археологічних розкопок Середнянського замку в Закарпатській області (Прохненко & Жиленко, 2017: 86–97). Значення цієї праці полягає в тому, що фальшиві монети розглядаються не ізольовано, а в археологічному контексті. Такий підхід дозволяє поєднати нумізматичний аналіз із даними археології, стратиграфії, історії фортифікацій, регіональної історії та матеріальної культури. Для експертизи це особливо важливо, оскільки походження предмета, умови його виявлення та

контекст побутування можуть суттєво впливати на інтерпретацію результатів матеріального аналізу.

Окремий інтерес становлять праці В. Орлика, присвячені монетам хрестоносців, зокрема монетам із літерами R-Є-X, карбованим тамплієрами на о. Кіпр (Orlyk, 2021; Орлик, 2024). Дослідник виявив, що один із типів цих монет має ознаки фальшування, зокрема нанесення срібної амальгами на поверхню монет, карбованих на мідній заготовці. Провівши штемпельний аналіз цих монет, учений висловив гіпотезу, що ці фальсифікати не були кустарними підробками, а, найімовірніше, виготовлялися на монетному дворі, а нанесення срібної амальгами на їхню поверхню могло бути санкціоноване тодішніми володарями острова. Цей приклад є надзвичайно важливим для нашої теми, оскільки демонструє, що фальсифікація не завжди була позаінституційною або нелегальною у сучасному розумінні. Іноді йдеться про складніші явища, пов'язані з офіційним або напівофіційним виробництвом монет зі зниженою металевою вартістю.

У цьому випадку РФА може мати особливе значення, оскільки саме елементний аналіз поверхні дозволяє виявити наявність срібного покриття на мідній основі, встановити склад амальгами, співвідношення металів, а також порівняти підозрілі екземпляри з монетами, виготовленими з повноцінного срібного сплаву. Такі дані можуть або підтвердити, або уточнити висновки, отримані традиційними нумізматичними методами. Водночас вони потребують обережної інтерпретації, оскільки поверхневий аналіз може фіксувати не лише первинне покриття, а й продукти корозії, реставраційні нашарування або наслідки пізнішого втручання.

Досліджуючи монетну справу держави Тевтонського ордену у Пруссії, В. Орлик виявив лише кустарні середньовічні підробки їхніх монет (Orlyk, 2012). Це дозволяє порівнювати різні типи фальшивомонетництва: з одного боку, можливі санкціоновані або організовані емісії з використанням покриття, з іншого кустарні підробки, виготовлені поза офіційними монетними структурами. Для експертизи таке розмежування є принциповим, оскільки різні типи

фальсифікатів можуть мати різні ознаки: відмінності у складі металу, нерівномірність покриття, неточності штемпеля, порушення вагових стандартів, технологічні дефекти, сліди лиття або грубого карбування.

Проблема середньовічного фальшивомонетництва активно розглядалася і в працях зарубіжних учених. Польський археолог і нумізмат Є. Пінінські проаналізував підробки монет у Польському королівстві у період пізнього середньовіччя (Pininski, 1976; Pininski, 2006). Його дослідження є важливими для ширшого центральноєвропейського контексту, оскільки українські землі у XIV–XV ст. перебували у тісному зв'язку з монетними системами Польського королівства, Великого князівства Литовського, Угорщини, Молдавії, Тевтонського ордену, Золотої Орди та Кримського ханства. Тому вивчення польських пізньосередньовічних підробок допомагає краще зрозуміти загальні механізми фальшивомонетництва у регіоні.

Польський археолог Г. Яноха дослідив підпільну монетарню у замку Старий Дравськ (Janoha, 1998), який був збудований лицарями ордену Святого Івана Єрусалимського у 1360–1366 рр., а у 1368 р. ця місцевість була приєднана до Польського королівства Казимиром Великим. Це дослідження є показовим прикладом того, як археологічні дані можуть поєднуватися з нумізматиною та історією фальшивомонетництва. Виявлення підпільної монетарні дозволяє дослідити не лише готові фальшиві монети, а й виробничий контекст: інструменти, заготовки, відходи виробництва, технологічні прийоми та організацію незаконного карбування.

Узагальнення історіографії дає підстави стверджувати, що проблема експертизи середньовічних предметів нумізматики перебуває на перетині кількох дослідницьких традицій. Перша традиція класична нумізматична, орієнтована на типологію, хронологію, метрологію, іконографію, легенди, штемпельний аналіз і топографію знахідок. Друга археологічна та джерелознавча, яка розглядає монету як елемент матеріальної культури, частину археологічного комплексу, скарбу, поселення, замку або поховального контексту. Третя експертна та археометрична, що зосереджується на матеріальному складі, технології

виробництва, ознаках старіння, автентичності та можливих втручаннях. Четверта історико-економічна, яка аналізує монету як засіб обігу, інструмент платежу, показник торговельних зв'язків і свідчення монетної політики.

Попри значні здобутки української та зарубіжної нумізматики, застосування РФА у дослідженні середньовічних предметів нумізматики ще потребує подальшого системного осмислення. У багатьох працях питання матеріального складу монет порушується лише побіжно або розглядається як допоміжний аспект. Натомість для сучасної експертизи визначення хімічного складу металу є одним із ключових інструментів, що дозволяє не лише уточнювати атрибуцію, але й виявляти фальсифікати, реконструювати технологію виготовлення, порівнювати групи монет, встановлювати відмінності між офіційним карбуванням і наслідуваннями, а також визначати характер поверхневих покриттів.

Отже, історіографія дослідження свідчить про поступовий перехід від описово-типологічного вивчення середньовічних монет до комплексного аналізу нумізматичних предметів як матеріальних об'єктів. Якщо у XIX ст. та значною мірою у XX ст. головний акцент робився на топографії знахідок, описі монет, визначенні емітентів і реконструкції грошового обігу, то у сучасній науці дедалі більшого значення набувають методи матеріального аналізу. У цьому контексті рентгенофлуоресцентний аналіз є одним із перспективних інструментів експертизи, що дозволяє поєднати традиційні нумізматичні методи з можливостями природничих наук.

Таким чином, розглянута історіографія демонструє, що тема РФА у експертизі середньовічних предметів нумізматики є актуальною і науково обґрунтованою. Вона спирається на здобутки української середньовічної нумізматики, дослідження з експертизи металевих пам'яток історико-культурної спадщини та студії з історії фальшивомонетництва. Водночас вона відкриває перспективу для подальшого розвитку комплексного підходу, у межах якого монета розглядається не лише як історичне чи економічне джерело, а й як матеріальний об'єкт, хімічний склад, технологія виготовлення та фізико-хімічний

стан якого можуть надати важливу інформацію для атрибуції, датування, визначення автентичності та реконструкції історичного контексту.

1.2. Джерельна база дослідження

Джерельна база дослідження рентгенофлуоресцентного аналізу у експертизі середньовічних предметів нумізматики має комплексний і міждисциплінарний характер. Це зумовлено тим, що предмети нумізматики, передусім монети, поєднують у собі ознаки речового, історичного, економічного, технологічного, мистецького та правового джерела. Монета є не лише засобом платежу або елементом грошового обігу, а й матеріальним свідченням рівня розвитку металургії, організації монетного виробництва, політичної влади, торговельних зв'язків, ідеологічної репрезентації емітента та технологічних можливостей певної історичної доби (Grierson, 1975; Котляр, 1975; Metcalf, 2012). Саме тому джерельна база такого дослідження не може обмежуватися лише самими монетами або їх каталогічним описом. Вона повинна охоплювати речові пам'ятки, письмові свідчення, іконографічні матеріали, музейні та археологічні колекції, результати лабораторних аналізів, цифрові бази даних, онлайн-каталоги, а також матеріали сучасної експертної практики (Pollard, Batt, Stern, & Young, 2007; Orfanou & Rehren, 2015).

Найважливішим і водночас найбільш інформативним джерелом експертизи пам'яток нумізматики є самі монети. Як матеріальні об'єкти вони належать до речових джерел, що відображають технологічні, економічні та організаційні аспекти монетного виробництва і дозволяють реконструювати основні етапи процесу карбування (Котляр, 1975; Grierson, 1975). Монета містить цілий комплекс інформації: метал і його склад, вагу, діаметр, форму заготовки, спосіб виготовлення, характер карбування, ступінь зношення, наявність дефектів, сліди перебування в обігу, корозійні нашарування, ознаки очищення, реставрації або фальсифікації (Butcher & Ponting, 2015; Gitler & Ponting, 2003).

Для експертизи особливо важливим є те, що монета як джерело зберігає інформацію не лише на рівні зображення чи напису, але й на рівні матеріальної структури. Саме ця обставина робить застосування рентгенофлуоресцентного аналізу особливо перспективним, оскільки РФА дозволяє перейти від традиційного опису зовнішніх ознак до аналізу елементного складу предмета (Beck, Bosonnet, Réveillon, Eliot, & Pilon, 2004; Pollard et al., 2007).

У межах проведеного дослідження було безпосередньо проаналізовано середньовічний монетний комплекс, виявлений на території Сумщини (Кулешов, Шатайло, 2025). Значення такого комплексу полягає не лише в тому, що він репрезентує конкретний археологічний або колекційний матеріал, а й у тому, що дає змогу застосувати до групи монет порівняльний підхід. Аналіз окремої монети може бути інформативним, однак дослідження комплексу дозволяє виявити закономірності: подібність або відмінність складу сплавів, наявність груп за металом, можливі аномальні екземпляри, відхилення від очікуваних метрологічних параметрів, а також потенційні ознаки фальшування (Orfanou & Rehren, 2015; Constantinescu, Bugoi, & Cojocaru, 2010). Саме комплексність матеріалу дає можливість співвіднести результати традиційної нумізматичної атрибуції з даними РФА та перевірити, наскільки матеріальний склад монет відповідає їхньому типу, хронології та передбачуваному центру карбування.

Особливе місце серед речових джерел посідають монети, що мають нетипові ознаки. До них належать екземпляри з незвичною вагою, неприродним кольором металу, слідами сріблення або золочення, нерівномірною поверхнею, ознаками лиття, підозрілими технологічними дефектами, а також монети з можливими слідами реставраційного втручання (Scott, 2002; Butcher & Ponting, 2015). Саме такі предмети найчастіше потребують експертної перевірки. У випадку середньовічних монет це особливо актуально, оскільки в обігу могли перебувати не лише офіційні випуски, але й наслідування, локальні імітації, фальшиві монети, субератні екземпляри, монети з покриттям, а також предмети, які пройшли вторинне використання (Бойко-Гагарін, 2017; Orlyk, 2021; Орлик, 2024). Рентгенофлуоресцентний аналіз у такому разі дає можливість виявити

співвідношення основних і домішкових елементів, визначити наявність поверхневого покриття, встановити, чи відповідає склад металу очікуваному для конкретного типу монети, а також виявити ознаки технологічної неоднорідності (Beck et al., 2004; Pollard et al., 2007).

Поряд із самими монетами важливе місце серед джерел посідають інструменти та механізми карбування, які також належать до матеріальних свідчень розвитку монетної справи. До цієї групи входять штемпелі, ковадла, молоти, кліщі, ножиці для нарізання металу, вагові гирі, ваги, ливарні форми, тиглі, заготовки, обрізки металу, відходи виробництва, пробні відбитки та інші предмети, пов'язані з технологічним циклом виготовлення монет (Котляр, 1975; Grierson, 1975). Хоча такі джерела зберігаються значно рідше, ніж самі монети, їхня наукова цінність є надзвичайно високою. Вони дозволяють реконструювати не лише кінцевий результат монетного виробництва, а й сам процес його організації: підготовку металу, виготовлення заготовок, контроль ваги, карбування, сортування, перевірку якості та введення монет в обіг.

До речових джерел дослідження доцільно віднести кілька основних груп. Першу групу становить сировина, тобто метал або металеві сплави, з яких виготовлялися монети. Її склад, походження та способи обробки дозволяють визначити рівень технологічних знань і технічні можливості виробництва (Pollard et al., 2007; Orfanou & Rehren, 2015). Для середньовічної нумізматики важливе значення має аналіз срібла, міді, золота, білону, бронзи, латуні та інших сплавів, що використовувалися у монетному виробництві. Наявність таких домішок, як свинець, олово, цинк, сурма, арсен, нікель, залізо або вісмут, може свідчити про особливості рудної сировини, технологію плавлення, рівень очищення металу або повторне використання старого металу (Butcher & Ponting, 2015; Gitler & Ponting, 2003). Саме тому РФА-аналіз складу сплаву має не лише експертне, але й історико-технологічне значення.

Другу групу становлять знаряддя виробництва, тобто предмети, за допомогою яких здійснювався вплив на матеріал у процесі виготовлення монет. До них належать насамперед монетні штемпелі, які є одним із найважливіших

джерел для реконструкції технології карбування (Grierson, 1975; Metcalf, 2012). Штемпель дає змогу простежити спосіб нанесення зображення, рівень майстерності різьбляра, особливості організації монетного двору, а також зв'язок між окремими монетами, відкарбованими однією парою штемпелів. У поєднанні зі штемпельним аналізом результати РФА можуть бути особливо інформативними: якщо група монет, пов'язаних спільними штемпелями, має подібний склад металу, це може підтверджувати їх походження з одного виробничого циклу; натомість різкі відмінності у складі можуть вказувати на наслідування, фальшування або пізніше виготовлення (Beck et al., 2004; Orfanou & Rehren, 2015).

Третю групу речових джерел становлять відходи монетного виробництва, які відображають технологічні особливості процесу. Це можуть бути обрізки металевих пластин, залишки заготовок, невдало відкарбовані монети, шлаки, тиглі з залишками металу, фрагменти форм, а також інші матеріали, пов'язані з виробничим процесом (Котляр, 1975; Pollard et al., 2007). Такі джерела мають особливе значення для археологічного вивчення монетних дворів або місць неофіційного карбування. Їхній аналіз дозволяє встановити, які метали використовувалися, як готувалася сировина, чи здійснювалося легування, чи застосовувалося покриття дешевшої металевої основи благородним металом, а також якими були масштаби виробництва. Для експертизи фальшивомонетництва такі джерела можуть бути ключовими, адже відходи виробництва часто дають більше інформації про технологію підробки, ніж готові фальшиві монети (Janouša, 1998; Бойко-Гагарін, 2017).

Четверту групу становлять пристрої та механізми, включаючи устаткування, системи підготовки матеріалів, вимірювання, контролю й обліку виробничих ресурсів та готової продукції. У середньовічному монетному виробництві особливе значення мали ваги та гирі, оскільки контроль ваги був одним із головних критеріїв якості монети (Grierson, 1975; Котляр, 1975). Вагові відхилення могли бути наслідком зношення, обрізання, недотримання стандарту, фальшування або навмисного заниження вмісту дорогоцінного металу. Саме

тому метрологічний аналіз залишається важливою складовою експертизи, а його поєднання з РФА дозволяє значно підвищити достовірність висновків (Metcalf, 2012; Butcher & Ponting, 2015). Наприклад, монета з нормальною вагою, але невідповідним складом металу може бути покритою підробкою, тоді як монета зі зниженою вагою, але правильним складом може бути результатом тривалого обігу або обрізання.

До матеріальних джерел також належать археологічні знахідки, пов'язані з монетним виробництвом, а також самі давні монети, що становлять основу нумізматичного аналізу та експертизи їхньої автентичності. Археологічний контекст є надзвичайно важливим для інтерпретації монетного матеріалу (Котляр, 1975; Metcalf, 2012). Монета, знайдена у складі скарбу, на поселенні, у замку, похованні, ремісничому комплексі або випадково, має різний джерельний потенціал. Скарб дозволяє дослідити склад грошового накопичення, хронологію приховування, структуру обігу та співвідношення монет різних емітентів. Поодинокі знахідки можуть свідчити про присутність певного монетного типу в регіоні, однак потребують більш обережної інтерпретації.

Окрім речових джерел, у дослідженні використано інформаційні джерела, які умовно можна поділити на дві великі групи. До першої належать письмові та іконографічні матеріали: літописи, хроніки, каталоги, графічні мініатюри, гравюри, документи монетних дворів, юридичні акти, фінансові книги, інвентарні описи, торговельні рекомендації та інші тексти, що відображають організацію монетної справи та окремі етапи карбування (Котляр, 1975; Grierson, 1975). Вони дозволяють зрозуміти нормативний, економічний і технологічний контекст існування монети. Якщо сама монета є безпосереднім матеріальним джерелом, то письмові матеріали допомагають пояснити умови її виробництва, обігу, контролю, оцінювання та вилучення з використання.

Письмові джерела мають різний характер. До них можуть належати законодавчі акти, що регулювали монетну справу, визначали вагу, пробу, номінал, правила обміну або покарання за фальшивомонетництво (Grierson, 1975; Бойко-Гагарін, 2017). Такі документи особливо важливі для зіставлення нормативного

стандарту з реальними характеристиками монет. Якщо документ встановлює певний вміст срібла або вагу монети, а результати РФА та метрологічного аналізу демонструють значні відхилення, це може свідчити про псування монети, зміну стандарту, неофіційне виробництво або фальсифікацію. До письмових джерел також належать фінансові книги, рахунки, описи податків, митні документи, акти купівлі-продажу, боргові записи та інші матеріали, у яких згадуються конкретні грошові одиниці. Вони дозволяють реконструювати функціонування монет у господарській практиці.

Іконографічні джерела, попри певну схематичність, відіграють важливу роль у формуванні уявлень дослідників про технологію монетного виробництва. До них належать мініатюри, гравюри, малюнки, зображення монетних дворів, ремісничих майстерень, процесу карбування, зважування, плавлення металу або контролю готової продукції. Зокрема, відома гравюра монетного двору у Франції XV ст. стала одним із ранніх візуальних свідчень організації карбування (Котляр, 1975: 64–65). Хоча такі зображення не завжди є абсолютно точними з технічного погляду, вони дозволяють реконструювати загальні уявлення про організацію виробництва, розподіл праці, використання інструментів і послідовність операцій.

Особливе значення для нумізматичних досліджень мають каталоги монет, які забезпечують можливість атрибуції та є базовим інструментом первинної експертизи (Grierson, 1975; Metcalf, 2012). Каталоги дозволяють визначити емітента, номінал, тип, хронологію, монетний двір, варіанти легенд, іконографічні особливості, рідкісність, метрологічні параметри та відомі аналогії. Для експерта каталог є першим етапом перевірки предмета, оскільки дає змогу встановити, чи відповідає монета відомим типам, чи має вона нетипові ознаки, чи відома така комбінація аверсу та реверсу, чи відповідають її вага і діаметр стандартним показникам. Однак каталогічний опис не може замінити матеріального аналізу. Навіть якщо монета зовні відповідає відомому типу, її металевий склад може вказувати на підробку, покриття або пізніше виготовлення (Beck et al., 2004; Pollard et al., 2007).

У контексті нашого дослідження доцільно виділити ще один важливий тип джерел – результати фізико-хімічного аналізу монет, зокрема дані рентгенофлуоресцентного аналізу. Їх можна розглядати як окрему групу аналітичних джерел, що виникають у процесі лабораторного або інструментального дослідження предмета (Pollard et al., 2007; Orfanou & Rehren, 2015). РФА-дані включають інформацію про наявність і відносну концентрацію хімічних елементів у поверхневому шарі монети. Такі результати дозволяють встановити склад основного металу, визначити домішки, виявити покриття, порівняти між собою окремі екземпляри, а також перевірити відповідність складу монети її передбачуваному типу, часу та місцю виготовлення (Beck et al., 2004; Constantinescu et al., 2010).

РФА-дані мають особливий статус у джерельній базі. З одного боку, вони безпосередньо походять від речового джерела, тобто самої монети. З іншого боку, вони є результатом застосування спеціального технічного методу, а тому потребують інтерпретації (Pollard et al., 2007). Склад, зафіксований приладом, не завжди є прямим відображенням первинного складу монетного сплаву. На результати можуть впливати патина, корозія, забруднення, продукти ґрунтового середовища, поверхнєве збагачення або виснаження окремих елементів, очищення, реставрація, сріблення, золочення чи амальгамування (Scott, 2002; Orfanou & Rehren, 2015). Тому РФА не можна розглядати як самодостатній доказ. Його результати мають оцінюватися у поєднанні з метрологічними, типологічними, іконографічними та археологічними даними.

Водночас саме РФА дозволяє розширити джерельну базу нумізматичного дослідження за рахунок такої інформації, яку неможливо отримати традиційними методами. Наприклад, зовнішньо схожі монети можуть мати різний склад металу; монета, яка здається срібною, може бути виготовлена з мідної основи зі срібним покриттям; предмет, який візуально виглядає автентичним, може містити сучасні домішки або технологічні ознаки, нехарактерні для середньовічного виробництва (Beck et al., 2004; Butcher & Ponting, 2015). У таких випадках РФА виступає важливим інструментом експертизи, який дозволяє не лише уточнити

атрибуцію, але й поставити нові питання щодо походження, технології виготовлення та автентичності предмета.

Джерельну цінність мають також порівняльні бази результатів РФА. Якщо для певного типу монет або певного монетного двору накопичено достатню кількість даних про склад металу, це дозволяє створювати еталонні групи для порівняння (Orfanou & Rehren, 2015). У такому разі експерт може оцінювати новий предмет не лише за зовнішніми ознаками, а й за тим, чи відповідає його хімічний склад відомим характеристикам аналогічних монет. Особливо перспективним є створення баз даних, у яких поєднуються фотографії, метрологічні параметри, каталогічна атрибуція, дані про походження та результати РФА. Саме такі інтегровані джерельні комплекси можуть стати основою для сучасної цифрової нумізматичної експертизи (Meadows & Gruber, 2014; Tolle & Wigg-Wolf, 2015).

Другу велику групу інформаційних джерел становлять сучасні цифрові ресурси. У контексті розвитку інформаційних технологій дедалі більшого значення набувають інтернет-каталоги, електронні бази даних, онлайн-аукціони, спеціалізовані форуми, ресурси нумізматичних товариств та результати цифрових досліджень, що суттєво розширюють джерельну базу та аналітичні можливості нумізматики (Meadows & Gruber, 2014; Tolle & Wigg-Wolf, 2015). Цифрові ресурси дозволяють швидко знаходити аналогії, порівнювати зображення, відстежувати появу нових екземплярів, фіксувати рідкісні типи, аналізувати поширення монет на ринку та в наукових публікаціях. Вони також сприяють демократизації доступу до нумізматичної інформації, оскільки значна частина матеріалу, який раніше був доступний лише у спеціалізованих бібліотеках або музейних фондах, сьогодні може використовуватися дистанційно.

До цифрових джерел можна віднести міжнародні онлайн-каталоги, музейні електронні колекції, бази археологічних знахідок, аукціонні архіви, цифрові репозитарії наукових публікацій, спеціалізовані нумізматичні портали та форуми. Водночас ці джерела мають різний рівень наукової надійності. Музейні

бази та академічні ресурси, як правило, мають вищий рівень верифікації, оскільки інформація проходить фахове опрацювання (Meadows & Gruber, 2014). Онлайн-аукціони та приватні каталоги можуть містити цінні зображення й опис рідкісних предметів, але потребують критичної перевірки, адже атрибуції в них не завжди є безпомилковими. Форуми й аматорські ресурси можуть бути корисними для виявлення нових знахідок або дискусійних предметів, однак їх не можна використовувати без додаткової перевірки.

Цифрові ресурси мають особливе значення для експертизи підробок. Сучасний ринок антикваріату й нумізматики характеризується активним поширенням фальсифікатів, зокрема виготовлених із використанням високоякісних копій, лиття, штучного патинування або сучасних технологій обробки металу (Бойко-Гагарін, 2017; Scott, 2002). Онлайн-аукціони та цифрові архіви дозволяють відстежувати появу однотипних підробок, повторення штемпельних помилок, використання однакових форм, а також поширення певних груп фальшивих монет. У поєднанні з РФА такі спостереження можуть стати важливим інструментом експертної практики: якщо кілька підозрілих монет мають однакові візуальні ознаки та близький склад металу, це може свідчити про їхнє походження з одного сучасного виробництва.

У джерельній базі дослідження важливу роль відіграють також фотоматеріали. Якісні фотографії монет дозволяють здійснювати візуальне порівняння, аналізувати іконографію, легенди, форму літер, стиль зображення, особливості рельєфу, сліди зношення, дефекти карбування, тріщини заготовки, зміщення штемпеля та інші ознаки (Grierson, 1975; Metcalf, 2012). Для експертизи особливо важливими є фотографії високої роздільної здатності, виконані за однакових умов освітлення, з фіксацією масштабу та обох боків монети. У поєднанні з РФА фотодокументація дозволяє зіставити ділянки аналізу з конкретними зонами поверхні предмета. Це важливо, оскільки склад металу може відрізнятися на різних ділянках монети, особливо якщо вона має покриття, корозійні плями, сліди очищення або реставрації (Scott, 2002; Beck et al., 2004).

Окремо слід зазначити значення картографічних і топографічних джерел. Для середньовічної нумізматики важливим є не лише сам факт існування певного типу монети, але й місце її виявлення. Топографія знахідок дозволяє реконструювати напрями обігу, торговельні шляхи, зони політичного впливу, регіональні ринки, контакти між різними монетними системами (Котляр, 1975; Metcalf, 2012). У контексті РФА такі джерела можуть допомогти встановити, чи пов'язані монети певного складу з конкретним регіоном, чи є відмінності між знахідками з різних територій, чи можна простежити групи монет за металургійними характеристиками. Перспективним є використання ГІС-технологій для поєднання просторових даних із результатами елементного аналізу (Tolle & Wigg-Wolf, 2015).

Для експертизи середньовічних предметів нумізматики важливе значення мають також джерела, що стосуються фальшивомонетництва. До них належать самі фальшиві монети, письмові згадки про покарання фальшивомонетників, судові справи, законодавчі акти, археологічні залишки підпільних майстерень, інструменти для виготовлення підробок, а також сучасні дослідження фальсифікатів (Sokol'skij, 1873; Pininski, 1976; Janoša, 1998; Бойко-Гагарін, 2017). Ця група джерел дозволяє зрозуміти, які саме способи підробки були поширені у середньовіччі: лиття, карбування неофіційними штемпелями, використання дешевших сплавів, покриття мідної основи сріблом, обрізання монет, імітація популярних типів тощо. Для РФА такі джерела особливо важливі, оскільки саме аналіз металу часто дозволяє виявити фальшивий характер предмета (Beck et al., 2004; Orlyk, 2021; Орлик, 2024).

Не менш важливою є проблема збереженості джерел. Середньовічні монети протягом століть зазнавали фізичних, хімічних і механічних змін. Вони могли перебувати у ґрунті, водному середовищі, скарбі, вогнищі, похованні, колекції або бути підданими очищенню та реставрації (Scott, 2002). Унаслідок цього поверхня монети може істотно відрізнитися від її первинного стану. Це має пряме значення для РФА, оскільки метод аналізує переважно поверхневий шар. Тому джерельна база дослідження повинна включати не лише самі результати

вимірювань, але й опис стану збереження предмета, характеру патини, ступеня корозії, наявності механічних пошкоджень і способу попереднього очищення. Без цієї інформації інтерпретація РФА-даних може бути неповною або помилковою (Pollard et al., 2007; Orfanou & Rehren, 2015).

У цьому контексті важливим є також питання етики та збереження культурної спадщини. Оскільки предмети нумізматики часто є частиною музейних фондів або археологічної спадщини, застосування методів дослідження має бути максимально обережним. Перевага РФА полягає саме у його неруйнівному характері (Beck et al., 2004; Pollard et al., 2007). На відміну від методів, що потребують відбору проби, шліфування або пошкодження поверхні, РФА дозволяє отримати інформацію без фізичного втручання у структуру предмета. Це робить його особливо придатним для роботи з унікальними або цінними монетами. Однак навіть неруйнівний аналіз потребує належної фіксації умов дослідження, точок вимірювання, параметрів приладу та методики обробки результатів.

Таким чином, джерельна база дослідження РФА у експертизі середньовічних предметів нумізматики охоплює кілька взаємопов'язаних груп джерел. Першу і головну групу становлять речові джерела: самі монети, монетні комплекси, заготовки, зливки, інструменти, штемпелі, відходи виробництва, вагові прилади та інші матеріальні свідчення монетної справи (Котляр, 1975; Grierson, 1975). Другу групу становлять письмові джерела: літописи, хроніки, юридичні акти, фінансові книги, інвентарі, ділова документація, каталоги та наукові описи. Третю групу формують іконографічні джерела, які відображають організацію монетного виробництва та окремі технологічні операції (Котляр, 1975: 64–65). Четверту групу становлять цифрові ресурси: онлайн-каталоги, музейні бази, аукціонні архіви, форуми, цифрові репозитарії та бази результатів аналізів (Meadows & Gruber, 2014; Tolle & Wigg-Wolf, 2015). П'яту, особливо важливу для нашої теми, групу становлять аналітичні джерела, зокрема результати РФА та інших фізико-хімічних досліджень (Pollard et al., 2007; Orfanou & Rehren, 2015).

1.3. Методологічні засади застосування природничо-наукових методів у нумізматиці

У сучасному науковому дискурсі методологія дослідження розглядається як система взаємопов'язаних методів, прийомів, способів і процедур, що застосовуються у процесі пізнання, опису, аналізу та інтерпретації наукових даних. Для нумізматики методологія має особливе значення, оскільки монета є складним історичним джерелом, яке поєднує в собі матеріальну, економічну, політичну, технологічну, мистецьку та інформаційну складові. Саме тому її вивчення не може обмежуватися лише традиційним описом типу, легенди, іконографії чи метрологічних параметрів. Сучасне дослідження нумізматичних пам'яток потребує комплексного підходу, у межах якого класичні методи нумізматики поєднуються з методами археології, історичного джерелознавства, металознавства, хімічного аналізу, фізики матеріалів, цифрової обробки даних та експериментального моделювання (Grierson, 1975; Pollard, Batt, Stern, & Young, 2007; Butcher & Ponting, 2015).

Методологічна основа сучасних нумізматичних досліджень має ґрунтуватися на низці базових принципів, серед яких ключовими є об'єктивність, системність, історизм, розвиток і багатовимірність. Послідовне дотримання цих принципів забезпечує адекватне висвітлення досліджуваних явищ, дозволяє уникнути описовості, надмірної фактографічності, суб'єктивності оцінок та ідеологічної заангажованості. Для дослідження рентгенофлуоресцентного аналізу у експертизі середньовічних предметів нумізматики ці принципи мають не лише загальнонаукове, а й практичне значення, оскільки результати інструментального аналізу потребують коректної інтерпретації в історичному, технологічному та джерелознавчому контексті.

Принцип об'єктивності передбачає неупереджене ставлення до джерела та результатів його аналізу. У нумізматичній експертизі це означає, що висновок про автентичність, походження, технологію виготовлення або хімічний склад

монети має ґрунтуватися не на попередніх припущеннях дослідника, а на сукупності перевірюваних ознак. До таких ознак належать типологічні характеристики, метрологічні параметри, іконографія, легенда, штемпельні зв'язки, стан поверхні, археологічний контекст, а також результати фізико-хімічних методів дослідження. Рентгенофлуоресцентний аналіз у цьому контексті є важливим інструментом об'єктивізації експертного висновку, адже дозволяє отримати кількісні або напівкількісні дані про елементний склад металу, які можуть бути зіставлені з іншими джерелами інформації (Beck, Bosonnet, Réveillon, Eliot, & Pilon, 2004; Pollard et al., 2007).

Разом із тим принцип об'єктивності не означає механічного сприйняття результатів приладу як остаточної істини. Дані РФА потребують фахової інтерпретації, оскільки метод аналізує переважно поверхневий шар предмета. На результати можуть впливати корозія, патина, забруднення, продукти ґрунтового середовища, реставраційні речовини, сліди очищення, поверхнєве збагачення сріблом або міддю, а також наявність покриття. Тому об'єктивність у цьому випадку полягає не лише в отриманні аналітичних даних, а й у критичному усвідомленні меж їх застосування. Як зазначають дослідники археометрії, хімічний аналіз археологічних металів має розглядатися у зв'язку з технологією виготовлення предмета, умовами його побутування та постдепозиційними змінами (Pollard et al., 2007; Orfanou & Rehren, 2015).

Принцип історизму передбачає розгляд процесів карбування монет у контексті конкретної історичної доби, рівня розвитку виробничих технологій, доступності сировини, політичної ситуації, торговельних зв'язків і монетної політики емітента. У межах цього принципу монета аналізується не як ізольований предмет, а як результат певного історичного процесу. Склад металу, спосіб виготовлення заготовки, якість карбування, наявність домішок або покриття повинні тлумачитися з урахуванням технічних можливостей відповідного часу. Наприклад, високий вміст домішок у середньовічній монеті не завжди свідчить про фальшування; він може бути наслідком використання

певного типу рудної сировини, недостатнього очищення металу або повторного переплавлення старих виробів (Котляр, 1975; Butcher & Ponting, 2015).

У дослідженні середньовічних предметів нумізматики принцип історизму особливо важливий, оскільки середньовічне монетне виробництво було неоднорідним. У різних регіонах Європи, Візантії, Русі, Золотої Орди, Кримського ханства чи держав хрестоносців використовувалися різні монетні стандарти, різна сировина, різні технологічні прийоми та різні системи контролю якості. Тому результати РФА мають інтерпретуватися не за сучасними уявленнями про «чистий» метал або стандартизоване виробництво, а у контексті конкретної монетної системи. Наприклад, білонні монети, монети з низьким умістом срібла, мідні монети з домішками свинцю або олова могли бути цілком нормальним явищем для певного регіону чи періоду.

Застосування принципу історизму дозволяє також уникнути помилкового ототожнення будь-якого відхилення від очікуваного складу з підробкою. У середньовічній нумізматиці слід розрізняти офіційне карбування зі зниженим умістом благородного металу, локальні наслідування, монети кризових емісій, кустарні фальсифікати та сучасні підробки. Кожна з цих груп має власні ознаки, і лише поєднання історичного аналізу з фізико-хімічними методами дозволяє наблизитися до коректного висновку. У цьому контексті показовими є дослідження монет хрестоносців, у яких аналіз складу металу допомагає уточнювати особливості монетного виробництва держав Латинського Сходу. Зокрема, стаття В. Орлика та В. Кропивного про мідні монети князівства Антіохії 1103–1130 рр. прямо присвячена фізико-хімічному аналізу монетного матеріалу та демонструє можливості поєднання історико-нумізматичного аналізу з природничо-науковими методами (Orlyk & Kropivnyi, 2025).

Принцип системності орієнтує дослідника на комплексне вивчення об'єкта, виявлення його структурної цілісності та внутрішніх взаємозв'язків. У нумізматиці це означає, що монета має розглядатися як частина ширшої системи: монетного виробництва, грошового обігу, політичної влади, торговельних контактів, соціально-економічних відносин і матеріальної культури. У межах

дослідження процесів карбування монет системний підхід дозволяє розширити традиційні уявлення про послідовність технологічних операцій, включаючи не лише безпосереднє карбування, а й видобуток сировини, її первинну обробку, очищення металу, легування, виготовлення заготовок, контроль ваги, виготовлення штемпелів, сам процес ударного карбування, сортування готової продукції та введення монет в обіг.

Саме системний підхід дає можливість правильно визначити місце РФА у нумізматичній експертизі. Рентгенофлуоресцентний аналіз не замінює традиційні методи нумізматики, а доповнює їх. Його результати стають повноцінними лише тоді, коли вони зіставляються з даними типологічного, метрологічного, штемпельного, іконографічного, епіграфічного та топографічного аналізу. Наприклад, якщо монета за іконографією та легендою відповідає певному типу, але має нетиповий склад металу, це не є автоматичним доказом підробки. Потрібно перевірити її вагу, діаметр, штемпельні зв'язки, походження, стан поверхні, можливість корозійного спотворення результатів РФА, а також наявність аналогій у відомих колекціях або публікаціях (Grierson, 1975; Metcalf, 2012; Orfanou & Rehren, 2015).

Принцип розвитку передбачає вивчення нумізматичних явищ у динаміці. Монетне виробництво не було статичним: воно змінювалося під впливом політичних криз, воєн, зміни емітентів, доступності дорогоцінних металів, торговельних контактів, технологічних запозичень і фінансових реформ. У цьому сенсі природничо-наукові методи дозволяють виявити ті зміни, які не завжди помітні на рівні зовнішнього опису монети. Наприклад, поступове зниження вмісту срібла в монетах певного типу може свідчити про девальвацію, кризу монетної системи або свідоме псування монети. Зміна домішок у сплаві може відображати перехід до іншого джерела сировини або зміну технології плавлення. Поява покриття на мідній основі може вказувати на фальшивомонетництво або на офіційні емісії зі зниженим вмістом благородного металу.

Принцип багатовимірності дозволяє здійснити детальний аналіз окремих технологічних операцій, у тому числі їхніх мікропроцесів, та сформуванню узагальнену модель алгоритму карбування монет із урахуванням його технічних і технологічних особливостей. У межах такого підходу монетне виробництво розглядається не лише як історичний факт, а як складний технологічний процес. Він включає видобуток руди, отримання металу, очищення, легування, лиття зливків, виготовлення пластин або дроту, нарізання заготовок, відпалювання, вирівнювання, зважування, карбування, контроль якості та подальше використання монет. Кожен із цих етапів може залишати специфічні сліди на монеті, які можуть бути виявлені за допомогою традиційних і природничо-наукових методів.

У цьому контексті РФА є одним із найважливіших інструментів для виявлення матеріальних ознак технологічного процесу. Він дозволяє встановити елементний склад поверхні монети, виявити домішки, оцінити співвідношення основних компонентів сплаву, визначити наявність благородного покриття або сторонніх елементів. Особливо важливим є застосування РФА до серій монет, оскільки саме порівняльний аналіз групи предметів дозволяє виявити закономірності. Якщо кілька монет одного типу мають близький склад металу, це може свідчити про спільну технологічну традицію або один виробничий центр. Якщо ж серед них трапляється екземпляр із різко відмінним складом, він потребує додаткової експертної уваги (Beck et al., 2004; Constantinescu, Bugoi, & Sojocaru, 2010).

Протягом останніх десятиліть істотно зросла роль сучасних інструментальних методів дослідження процесів монетного виробництва, серед яких особливе місце посідає рентгенофлуоресцентний аналіз складу металевих сплавів. Його популярність у нумізматиці пояснюється кількома причинами. По-перше, РФА є неруйнівним методом, що особливо важливо для дослідження музейних предметів, унікальних знахідок і монет із цінних колекцій. По-друге, метод є відносно швидким і може застосовуватися до значної кількості предметів. По-третє, портативні РФА-аналізatori дають можливість проводити

дослідження без переміщення предметів до лабораторії. По-четверте, результати РФА можуть бути використані для порівняльного аналізу монет різних типів, регіонів, періодів і виробничих традицій (Pollard et al., 2007; Orfanou & Rehren, 2015).

одночас методологічно важливо враховувати обмеження РФА. Метод аналізує переважно поверхневий шар предмета, тому результати можуть не повністю відображати склад внутрішньої частини монети. Для срібних і мідних монет це особливо актуально, оскільки внаслідок корозії, очищення або тривалого перебування у ґрунті поверхня може бути збагачена або, навпаки, збіднена окремими елементами. Наприклад, у срібно-мідних сплавах можливе поверхнєве збагачення сріблом, що призводить до завищення показників Ag під час аналізу. У мідних сплавах продукти корозії можуть змінювати співвідношення Cu, Sn, Pb, Zn та інших елементів. Тому результати РФА мають бути критично осмислені та, за можливості, зіставлені з даними інших методів: мікроскопії, SEM-EDS, металографії, ізотопного аналізу або аналізу поперечного перерізу, якщо такий допустимий з етичного й консерваційного погляду (Scott, 2002; Beck et al., 2004; Orfanou & Rehren, 2015).

Методологічне значення природничо-наукових методів у нумізматиці полягає не лише у визначенні складу металу, а й у можливості реконструкції історії виробництва і побутування предмета. Матеріали й інструменти давнього виробництва істотно відрізнялися від сучасних за складом, що значною мірою зумовлювалося регіональними особливостями та джерелами сировини. Вивчення їхніх фізико-хімічних характеристик формує важливий напрям дослідження історії технологій і розвитку давніх виробництв, пов'язаний із методами металознавства. Через аналіз домішок можна робити обережні висновки про тип рудної бази, рівень очищення металу, повторне використання сировини, технологічні традиції монетного двору або характер фальшування (Pollard et al., 2007; Butcher & Ponting, 2015).

Особливо перспективним є поєднання РФА з традиційним штемпельним аналізом. Штемпельний аналіз дозволяє встановити, які монети були виготовлені

за допомогою одних і тих самих штемпелів або належать до одного виробничого ланцюга. Якщо такі монети мають близький хімічний склад, це посилює висновок про їхнє спільне походження. Якщо ж монети, пов'язані спільними штемпелями, демонструють суттєві відмінності у складі металу, це може свідчити про різні партії сировини, тривалий період використання штемпелів або складніші виробничі процеси. У випадку підробок зіставлення штемпельних і хімічних даних може допомогти відрізнити середньовічні фальсифікати від сучасних копій.

Важливе місце у методології дослідження посідає метрологічний аналіз. Вага, діаметр, товщина, форма заготовки та співвідношення цих параметрів є базовими характеристиками монети. У поєднанні з РФА метрологічний аналіз дозволяє краще зрозуміти природу відхилень. Наприклад, монета з низькою вагою і правильним складом металу може бути результатом тривалого обігу, обрізання або технологічної похибки. Натомість монета з нормальною вагою, але невідповідним складом може бути виготовлена з дешевшого сплаву або мати покриття. Саме тому у межах експертизи важливо застосовувати не один метод, а їх систему, де кожен метод уточнює або перевіряє результати іншого (Grierson, 1975; Metcalf, 2012).

Топографування знахідок також має важливе методологічне значення. Воно дозволяє виявити просторове поширення певних монетних типів, реконструювати торговельні шляхи, зони політичного впливу, регіональні особливості грошового обігу та можливі центри виробництва або поширення підробок. У поєднанні з РФА топографічні дані можуть набути нового значення. Наприклад, якщо монети одного типу, знайдені в різних регіонах, мають відмінний склад металу, це може вказувати на різні виробничі партії, різні монетні двори, локальні наслідування або регіональні особливості обігу. Перспективним є застосування ГІС-технологій, які дозволяють поєднувати просторову інформацію з результатами хімічного аналізу, метрологічними показниками та каталогічними даними (Tolle & Wigg-Wolf, 2015).

Окрему роль відіграє порівняльно-типологічний метод. Він дає змогу співвіднести досліджувану монету з відомими типами, варіантами, каталогічними аналогіями та опублікованими знахідками. Для експертизи це є початковим етапом, адже перед застосуванням РФА необхідно встановити, що саме досліджується: який тип монети, який передбачуваний емітент, який період, який монетний двір, які очікувані метрологічні та матеріальні характеристики. Без такого попереднього нумізматичного визначення результати фізико-хімічного аналізу можуть бути відірваними від історичного контексту. Тому природничо-науковий аналіз не повинен передувати нумізматичній атрибуції, а має застосовуватися у тісному зв'язку з нею.

Додатковим методом реконструкції технологій виготовлення виробів із золота, срібла та міді є експериментальне моделювання. Експеримент як дослідницький інструмент застосовується в археології та нумізматиці понад століття і дає найбільш переконливі результати за умови точного розуміння технологічних можливостей і обмежень давніх майстрів. У нумізматичному контексті експеримент може стосуватися виготовлення заготовок, відпалювання металу, карбування вручну, нанесення покриття, створення штемпелів, імітації процесу зношення або дослідження впливу корозії на поверхню металу. Такі експерименти дозволяють краще зрозуміти, які сліди залишає та чи інша технологічна операція, і як ці сліди можуть проявлятися на автентичних предметах (Coles, 1979; Outram, 2008).

Водночас експериментальні реконструкції містять ризик формування помилкових висновків або штучних технологічних моделей, що потребує критичного аналізу отриманих результатів. Головна небезпека полягає в тому, що сучасний дослідник може несвідомо використовувати сучасні матеріали, інструменти, технічні навички або уявлення про ефективність виробництва, які не відповідають середньовічним умовам. Тому експеримент має спиратися на реальні археологічні, письмові, іконографічні та нумізматичні дані. Його результати слід розглядати не як пряме відтворення минулого, а як модель, що дозволяє перевірити певну гіпотезу. Саме тому експериментальна археологія

вимагає чіткої постановки дослідницького питання, фіксації умов експерименту, повторюваності та зіставлення з реальними пам'ятками (Outram, 2008).

Фізичне моделювання виробничих процесів із максимально можливим наближенням до історичних умов дозволяє реконструювати технологію та динаміку виробництва, простежити послідовність його етапів і глибше осмислити практичний досвід давніх ремісників. Наприклад, експериментальне виготовлення монетних заготовок може показати, які дефекти виникають під час лиття, різання або відпалювання металу. Експериментальне карбування дозволяє зрозуміти причини зміщення зображення, подвійного удару, тріщин заготовки, нерівномірного рельєфу або швидкого зношення штемпеля. У поєднанні з РФА та мікроскопічним аналізом такі експерименти можуть допомогти відрізнити сліди давньої технології від ознак сучасного фальшування.

Особливого значення набуває методологія дослідження фальсифікатів. Середньовічні підробки не завжди можна виявити лише за зовнішніми ознаками. Частина з них могла бути виготовлена досить майстерно, із використанням карбування, сріблення, золочення або інших технологічних прийомів. Тому експертиза фальшивих монет потребує поєднання історико-нумізматичного аналізу з фізико-хімічними методами. У цьому контексті важливими є праці, присвячені середньовічному фальшивомонетництву, зокрема дослідження А. Бойка-Гагаріна, В. Орлика, Є. Пінінського, Г. Янохи та інших авторів (Pininski, 1976; Janoha, 1998; Бойко-Гагарін, 2017; Orlyk, 2021; Орлик, 2024). Вони демонструють, що фальшивомонетництво слід розглядати не лише як кримінальне явище, а й як важливе джерело для вивчення економіки, технологій і соціальної історії.

У випадку фальсифікатів РФА дозволяє виявити невідповідність між зовнішнім виглядом монети та її матеріальним складом. Наприклад, монета, яка візуально сприймається як срібна, може виявитися мідною з тонким срібним покриттям. Або ж монета, яка за типом має бути виготовлена з певного сплаву, може містити домішки, характерні для сучасного виробництва. Проте і тут необхідна обережність: середньовічні офіційні монети могли мати низький уміст

срібла, а деякі сучасні підробки можуть бути виготовлені зі старого металу. Тому висновок про фальшивість не повинен ґрунтуватися лише на одному показнику. Він має бути результатом сукупного аналізу: типології, ваги, штемпельних ознак, стану поверхні, складу металу та походження предмета.

З методологічного погляду важливо також розрізняти поняття «автентичність», «оригінальність», «давність» і «цінність». Автентична монета, це предмет, виготовлений у відповідний історичний період і пов'язаний із реальним грошовим обігом або монетним виробництвом. Оригінальність може стосуватися належності предмета до первинного типу, а не пізнішої копії. Давність означає хронологічну належність предмета до певного часу, але сама по собі не завжди гарантує офіційний характер монети. Цінність може бути історичною, науковою, музейною або ринковою. У експертизі ці поняття не слід змішувати. РФА може допомогти у встановленні автентичності або виявленні підробки, але остаточний висновок потребує ширшої методологічної рамки.

Застосування природничо-наукових методів у нумізматиці також пов'язане з принципом відтворюваності результатів. Для того щоб результати РФА мали наукову цінність, необхідно фіксувати модель приладу, умови вимірювання, тривалість аналізу, точки дослідження, стан поверхні, наявність очищення, калібрування та спосіб обробки даних. Без цього результати складно перевірити або порівняти з іншими дослідженнями. Особливо важливо вказувати, чи проводився аналіз на патинованій поверхні, очищеній ділянці, зламі, ребрі або полі монети. Різні ділянки одного предмета можуть давати різні результати, особливо якщо йдеться про покриття, корозію або неоднорідний сплав (Beck et al., 2004; Pollard et al., 2007).

Не менш важливим є принцип комплексної верифікації. Він передбачає, що результати одного методу повинні перевірятися або уточнюватися за допомогою інших методів. Наприклад, якщо РФА показує високий вміст срібла на поверхні монети, але її вага, колір і характер пошкоджень свідчать про мідну основу, необхідно враховувати можливість сріблення. Якщо монета має високий вміст свинцю, слід з'ясувати, чи це технологічна домішка, ознака певної рудної

сировини, результат корозійного процесу або особливість фальшивого виробництва. Якщо на поверхні виявлено золото, слід перевірити, чи йдеться про первинне золочення, пізніше покриття або забруднення. Саме така верифікація дозволяє уникнути поспішних висновків.

У межах дослідження середньовічних монет важливе місце посідають також цифрові методи. Вони не належать безпосередньо до природничо-наукових, однак посилюють їхню аналітичну ефективність. Цифрова фіксація результатів РФА, фотографій, метрологічних параметрів, штемпельних зв'язків і місць знахідок дозволяє створювати комплексні бази даних. Такі бази можуть використовуватися для порівняння монет, виявлення аномалій, групування за складом металу, побудови карт поширення та подальшого статистичного аналізу. У перспективі можливе застосування методів машинного навчання для класифікації монет за сукупністю ознак, однак такі підходи потребують якісних і репрезентативних даних (Meadows & Gruber, 2014; Tolle & Wigg-Wolf, 2015).

У контексті сучасної нумізматики важливо враховувати й етичний аспект застосування природничо-наукових методів. Багато монет є частиною музейних фондів або археологічної спадщини, тому дослідник повинен надавати перевагу неруйнівним або мінімально інвазивним методам. РФА у цьому сенсі має значну перевагу, оскільки дозволяє отримати інформацію без відбору проби. Проте навіть неруйнівний аналіз потребує відповідального ставлення: необхідно уникати пошкодження поверхні, фіксувати всі дії з предметом, дотримуватися музейних і консерваційних вимог, а також чітко розмежовувати наукові висновки й припущення. Особливо це стосується унікальних монет, скарбів і предметів із неповторним історичним контекстом.

Отже, у межах дослідження пріоритетно застосовано нумізматичні методи, зокрема періодизацію монетного карбування, типологічний аналіз, метрологічний аналіз, штемпельний аналіз і топографування знахідок. Водночас важливе місце посіли історичні та технічні методи, що забезпечило комплексний характер дослідження. Природничо-наукові методи, передусім рентгенофлуоресцентний аналіз, розглядаються не як самодостатня альтернатива

класичній нумізматиці, а як її необхідне доповнення. Вони дозволяють уточнювати склад металу, виявляти технологічні особливості, перевіряти автентичність, встановлювати ознаки фальшування та реконструювати окремі етапи монетного виробництва.

Таким чином, методологічні засади застосування природничо-наукових методів у нумізматиці ґрунтуються на поєднанні принципів об'єктивності, історизму, системності, розвитку та багатовимірності. Саме така методологічна основа дозволяє розглядати середньовічну монету не лише як носій зображення чи напису, а як складний матеріальний об'єкт, у якому закодована інформація про сировину, технологію, виробничу організацію, економічні умови, обіг і подальшу історію побутування. Застосування РФА, експериментального моделювання, металознавчого аналізу, цифрової фіксації та традиційних нумізматичних методів забезпечує перехід від описового рівня дослідження до комплексної наукової експертизи середньовічних предметів нумізматики.

РОЗДІЛ 2

РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНИЙ АНАЛІЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКСПЕРТИЗИ

2.1. Фізичні основи рентгенофлуоресцентного аналізу

Рентгенофлуоресцентний аналіз, або РФА, належить до інструментальних фізико-хімічних методів дослідження елементного складу речовини. Його сутність полягає у збудженні атомів досліджуваного матеріалу первинним рентгенівським випромінюванням і подальшій реєстрації вторинного, або флуоресцентного, рентгенівського випромінювання. Це випромінювання має характеристичний характер, тобто його енергія залежить від атомного номера елемента та будови електронних оболонок атома. Саме ця властивість дозволяє визначати хімічні елементи, присутні у складі досліджуваного предмета, зокрема монети, зливка, заготовки або іншого нумізматичного об'єкта. У загальному розумінні РФА є швидким, багатоелементним і переважно неруйнівним методом аналізу, що робить його особливо важливим для дослідження археологічних і музейних пам'яток (IAEA, 1997; Pollard et al., 2007).

Фізична природа РФА пов'язана з взаємодією рентгенівського випромінювання з атомами речовини. Коли первинний пучок рентгенівських променів потрапляє на поверхню зразка, частина фотонів поглинається атомами матеріалу. Якщо енергія фотона достатня для подолання енергії зв'язку електрона на внутрішній електронній оболонці, відбувається фотоелектричний ефект: електрон вибивається з атома, а на його місці виникає вакансія. Атом переходить у збуджений нестійкий стан. Щоб повернутися до стабільного стану, вакансія заповнюється електроном із вищого енергетичного рівня, а надлишкова енергія випромінюється у вигляді рентгенівського фотона. Саме це вторинне випромінювання називають характеристичним рентгенівським випромінюванням або рентгенівською флуоресценцією (Jenkins, 1999; Van Grieken & Markowicz, 2002).

Ключове значення для РФА має те, що енергія характеристичного випромінювання є індивідуальною для кожного хімічного елемента. Атоми різних елементів мають різний заряд ядра, різну кількість електронів і різні енергії зв'язку електронних оболонок. Тому перехід електрона між енергетичними рівнями в атомі міді, срібла, золота, свинцю, олова чи цинку супроводжується випромінюванням фотонів із різною енергією. У спектрі РФА це проявляється у вигляді піків, положення яких відповідає певним елементам. Для монетних сплавів особливо важливими є лінії Cu, Ag, Au, Pb, Sn, Zn, Fe, Ni, As, Sb та інших елементів, які можуть свідчити про склад основного металу, домішки, технологію плавлення, особливості рудної сировини або наявність покриття (Beckhoff et al., 2006; Pollard et al., 2007).

Теоретичною основою ідентифікації елементів за характеристичним рентгенівським випромінюванням є залежність між атомним номером елемента та енергією його характеристичних ліній. Ця закономірність відома як закон Мозлі. Її значення полягає в тому, що кожен елемент має власний набір характеристичних рентгенівських ліній, які можуть бути використані для якісного аналізу, тобто визначення того, які саме елементи присутні у досліджуваному зразку (Jenkins, 1999; Beckhoff et al., 2006).

У структурі РФА спектра розрізняють кілька серій характеристичних ліній: K, L, M тощо. Вони пов'язані з електронними оболонками атома. Якщо вакансія виникає на K-оболонці, а її заповнює електрон із L- або M-оболонки, виникають лінії K α або K β . Якщо вакансія виникає на L-оболонці, формуються лінії L-серії. Для легших елементів частіше використовуються K-лінії, тоді як для важчих, наприклад золота, свинцю чи ртуті, важливими є L-лінії. У нумізматичній практиці це має велике значення, оскільки монетні сплави часто містять як основні, так і домішкові елементи з різними атомними номерами (Van Grieken & Markowicz, 2002; Beckhoff et al., 2006).

Процес РФА аналізу можна подати як послідовність кількох етапів. Спочатку джерело рентгенівського випромінювання генерує первинний пучок, який спрямовується на зразок. Далі первинне випромінювання взаємодіє з

атомами матеріалу, спричиняючи іонізацію внутрішніх електронних оболонок. Після цього атоми переходять зі збудженого стану до стабільного, випромінюючи характеристичні рентгенівські фотони. Детектор реєструє це вторинне випромінювання та перетворює його на електричний сигнал. На завершальному етапі програмне забезпечення формує спектр, у якому по осі абсцис відкладається енергія фотонів, а по осі ординат, інтенсивність сигналу. Положення піків відповідає хімічним елементам, а їх інтенсивність використовується для оцінки концентрації цих елементів (Jenkins, 1999; Beckhoff et al., 2006).

РФА-спектрометр складається з кількох основних елементів: джерела збудження, системи формування пучка, зони розміщення зразка, детектора, електроніки обробки сигналу та програмного забезпечення. Як джерело збудження найчастіше використовується рентгенівська трубка, хоча можуть застосовуватися також радіоізотопні джерела або синхротронне випромінювання. У портативних РФА-приладах, які часто використовуються для музейних і польових досліджень, поєднуються компактна рентгенівська трубка та енергодисперсійний детектор. Це дозволяє проводити аналіз без відбору проби та без транспортування предмета до лабораторії (Pollard et al., 2007; Orfanou & Rehren, 2015).

Залежно від способу реєстрації характеристичного випромінювання розрізняють два основні типи РФА: енергодисперсійний і хвильодисперсійний. Енергодисперсійний РФА, або EDXRF, реєструє енергії рентгенівських фотонів безпосередньо за допомогою детектора, який одночасно фіксує широкий діапазон енергій. Такий підхід є швидким і зручним, тому широко застосовується у портативних приладах. Хвильодисперсійний РФА, або WDXRF, використовує дифракцію рентгенівських променів на кристалі-аналізаторі й забезпечує вищу спектральну роздільну здатність, але потребує складнішого обладнання. У лабораторній практиці WDXRF застосовується для точного кількісного аналізу, тоді як EDXRF особливо придатний для експрес-досліджень, музейних

вимірювань і первинної експертизи предметів нумізматики (Jenkins, 1999; Beckhoff et al., 2006).

Якісний аналіз у РФА ґрунтується на визначенні положення піків у спектрі. Якщо у спектрі зафіксовано пік з енергією, характерною для певного елемента, можна зробити висновок про його наявність у зразку. Наприклад, лінії срібла свідчать про наявність Ag у сплаві або на поверхні монети; лінії міді, про мідну основу чи мідний компонент сплаву; лінії свинцю, олова або цинку, про домішки, легування або особливості сировини. Однак інтерпретація якісного спектра потребує обережності, оскільки спектральні лінії деяких елементів можуть частково перекриватися. Це особливо важливо для багатоконпонентних сплавів, характерних для давніх і середньовічних монет (Beckhoff et al., 2006; Pollard et al., 2007).

Кількісний аналіз полягає у визначенні концентрації елементів за інтенсивністю їхніх характеристичних ліній. Загальний принцип полягає в тому, що чим більше атомів певного елемента міститься у зоні аналізу, тим інтенсивнішим буде відповідний спектральний пік. Проте ця залежність не є абсолютно прямою. На інтенсивність впливають склад матриці, поглинання та підсилення випромінювання іншими елементами, геометрія вимірювання, стан поверхні, розмір і форма зразка. Саме тому для кількісного РФА потрібні калібрування, еталони, стандарти або математичні моделі корекції матричних ефектів (IAEA, 1997; Jenkins, 1999).

Поняття матричних ефектів є одним із центральних у РФА. Матрицею називають загальний склад зразка, у якому міститься елемент, що визначається. У складних сплавах рентгенівське випромінювання одного елемента може поглинатися або підсилюватися іншими елементами. Через це однакова концентрація елемента в різних матрицях може давати різну інтенсивність сигналу. Для монетних сплавів це особливо важливо, оскільки срібно-мідні, мідно-олов'яні, мідно-свинцеві або білонні сплави мають різні фізичні властивості. Тому кількісний аналіз монет за допомогою РФА потребує

порівняльних стандартів, близьких за складом до досліджуваних об'єктів (Van Grieken & Markowicz, 2002; Beckhoff et al., 2006).

Для нумізматичних предметів важливим є питання глибини аналізу. РФА не досліджує весь об'єм монети, а реєструє випромінювання переважно з поверхневого шару. Глибина, з якої надходить корисний сигнал, залежить від енергії випромінювання, атомного номера елементів, густини матеріалу та складу сплаву. У практичному сенсі це означає, що РФА найкраще характеризує поверхню або приповерхневий шар монети. Для музейних і археологічних предметів така особливість має подвійне значення. З одного боку, поверхневий аналіз є безпечним для пам'ятки. З іншого поверхня давньої монети часто не відповідає первинному складу сплаву через корозію, патинування, очищення, зношення або покриття (Beck et al., 2004; Orfanou & Rehren, 2015).

Поверхневий характер РФА створює низку методологічних проблем під час дослідження середньовічних монет. Якщо монета виготовлена з мідної основи та вкрита тонким шаром срібла, РФА може зафіксувати високий вміст срібла у поверхневому шарі, хоча основний об'єм предмета є мідним. Якщо срібно-мідний сплав зазнав корозійних процесів, поверхня може бути збагачена сріблом унаслідок вибіркового вилуговування міді. Якщо монету очищували хімічними або механічними методами, склад поверхні також може бути змінений. Тому результати РФА середньовічних нумізматичних пам'яток слід інтерпретувати разом із візуальним оглядом, мікроскопією, метрологічними даними, аналізом стану поверхні та порівнянням кількох точок вимірювання на одному предметі (Scott, 2002; Beck et al., 2004).

У фізичних основах РФА важливе місце займає поняття фону спектра. Окрім характеристичних піків, у спектрі присутнє фонове випромінювання, пов'язане з розсіюванням первинного пучка, гальмівним випромінюванням рентгенівської трубки, шумом детектора та іншими процесами. Фон може ускладнювати виявлення елементів, які присутні у малих концентраціях. Це актуально для домішкових елементів у монетних сплавах, наприклад As, Sb, Bi, Ni або Zn, які можуть бути важливими для реконструкції джерел сировини чи

технологічних особливостей виробництва. Чим нижча концентрація елемента, тим складніше відрізнити його сигнал від фону. Тому межа виявлення залежить від характеристик приладу, часу вимірювання, складу зразка та умов аналізу (Jenkins, 1999; Beckhoff et al., 2006).

РФА має різну чутливість до різних елементів. Загалом метод краще підходить для виявлення середніх і важких елементів, тоді як легкі елементи визначаються складніше. Це пов'язано з тим, що низькоенергетичне випромінювання легких елементів сильніше поглинається повітрям, вікнами детектора, поверхневими шарами зразка та іншими перешкодами. Для аналізу монет це не є критичним щодо основних металів, таких як Cu, Ag, Au, Pb, Sn, Zn, Fe, Ni, оскільки вони добре реєструються більшістю РФА-приладів. Проте для вивчення легких елементів, оксидів, карбонатів або органічних забруднень РФА не є оптимальним методом (Van Grieken & Markowicz, 2002; Pollard et al., 2007).

Для нумізматичної експертизи важливо розрізняти елементний, хімічний і фазовий аналіз. РФА визначає саме елементний склад, тобто показує, які хімічні елементи присутні у зоні аналізу. Проте він не завжди дає відповідь, у якій хімічній формі перебувають ці елементи. Наприклад, виявлення міді й кисню на поверхні монети саме по собі не встановлює, чи йдеться про оксид міді, карбонат міді або іншу корозійну сполуку. Так само виявлення срібла на поверхні мідної монети не означає автоматично, що вся монета є срібною. Для фазового аналізу потрібні інші методи, наприклад рентгенівська дифракція, електронна мікроскопія або спектроскопічні методи (Scott, 2002; Pollard et al., 2007).

Важливе значення має геометрія вимірювання. Інтенсивність сигналу залежить від кута падіння первинного пучка, кута реєстрації вторинного випромінювання, відстані між приладом і поверхнею зразка, площі аналізованої ділянки та стану поверхні. Для плоских і однорідних зразків ці чинники легше контролювати. Монети ж часто мають нерівний рельєф, виступи, заглиблення, потертості, тріщини, корозію та патину. Якщо промінь потрапляє на рельєфне зображення, заглиблену легенду або корозійну пляму, результат може відрізнитися від вимірювання на рівному полі монети. Тому під час РФА

нумізматичних предметів доцільно проводити кілька вимірювань у різних точках: на полі монети, на рельєфі, на ребрі, на пошкоджених або підозрілих ділянках (Beck et al., 2004; Orfanou & Rehren, 2015).

Детектор є одним із ключових елементів РФА-спектрометра. Він реєструє енергії рентгенівських фотонів і перетворює їх на електричні імпульси. У сучасних енергодисперсійних приладах часто використовуються напівпровідникові детектори, зокрема кремнієві дрейфові детектори. Важливою характеристикою детектора є енергетична роздільна здатність, тобто здатність розрізняти близько розташовані спектральні лінії. Для складних монетних сплавів це має велике значення, оскільки перекриття ліній може призводити до помилкової ідентифікації або неточних кількісних результатів (Jenkins, 1999; Beckhoff et al., 2006).

У кількісному РФА використовують два основні підходи: калібрування за стандартами та метод фундаментальних параметрів. Калібрування за стандартами передбачає вимірювання зразків відомого складу та побудову залежності між інтенсивністю спектральної лінії і концентрацією елемента. Метод фундаментальних параметрів використовує математичні моделі взаємодії рентгенівського випромінювання з речовиною. У портативних РФА-приладах часто застосовуються вбудовані алгоритми, але для археологічних монет їхні результати бажано перевіряти, оскільки давні сплави, корозійні поверхні та покриття можуть істотно відрізнятися від сучасних стандартних матеріалів (IAEA, 1997; Beckhoff et al., 2006).

Рентгенофлуоресцентний аналіз є особливо корисним для дослідження середньовічних монетних сплавів. Срібні монети можуть містити мідь як основний легуючий елемент, а також свинець, золото, вісмут, цинк, олово, сурму чи миш'як у вигляді домішок. Мідні монети можуть містити олово, свинець, цинк, залізо, нікель та інші елементи. Золоті монети часто містять срібло й мідь, що впливає на їхній колір, пробу та технологічні властивості. Білонні монети становлять особливий інтерес, оскільки поєднують невисокий вміст срібла з мідною основою. Аналіз таких сплавів дає змогу оцінювати якість монетного

металу, порівнювати різні випуски, виявляти зниження проби та встановлювати можливі технологічні або економічні зміни (Butcher & Ponting, 2015; Orfanou & Rehren, 2015).

З погляду експертизи, РФА дозволяє виявляти покриття. Якщо монета має мідну основу і тонкий шар срібла, спектр може показувати одночасну присутність Cu та Ag. Співвідношення цих елементів залежатиме від товщини покриття, енергії ліній, глибини аналізу та стану поверхні. Якщо покриття тонке або пошкоджене, вимірювання в різних точках можуть давати суттєво різні результати. Тому для підозрілих монет важливо досліджувати кілька ділянок, особливо місця потертостей, подряпин, сколів або країв, де може бути видно основу. Такий підхід важливий для виявлення субератних монет, посріблених підробок і предметів із пізнішим покриттям (Beck et al., 2004; Scott, 2002).

РФА може бути корисним і для виявлення сучасних підробок, однак лише за умови комплексної інтерпретації. Сучасна підробка може мати склад металу, який істотно відрізняється від середньовічного сплаву: містити промислово чисті метали, нетипові домішки або сучасні легувальні компоненти. Водночас фальсифікатор може використовувати старий метал, що ускладнює експертизу. Тому фізико-хімічні дані мають зіставлятися з технологічними ознаками: способом виготовлення, характером рельєфу, мікроструктурою поверхні, штемпельними відповідностями, слідами лиття чи карбування. РФА не дає автоматичної відповіді на питання автентичності, але створює важливу доказову базу для експертного висновку (Pollard et al., 2007; Orfanou & Rehren, 2015).

Перевагою РФА є його неруйнівний характер. Для нумізматики це має принципове значення, оскільки монети є історико-культурними пам'ятками, а іноді унікальними музейними предметами. На відміну від методів, що потребують відбору проби, шліфування або свердління, РФА дозволяє отримати інформацію без фізичного пошкодження предмета. Саме тому цей метод широко застосовується у музейній практиці, археометрії, експертизі культурної спадщини та дослідженні металевих артефактів. Однак навіть неруйнівний аналіз потребує фіксації умов вимірювання: стану поверхні, точок аналізу,

параметрів приладу, тривалості експозиції та способу обробки результатів (IAEA, 1997; Pollard et al., 2007).

Для середньовічної нумізматики важливим є питання репрезентативності вимірювання. Один аналіз в одній точці не завжди може характеризувати всю монету. Це особливо стосується неоднорідних сплавів, монет із покриттям, предметів із корозійними нашаруваннями або екземплярів, які зазнали очищення. Тому методично доцільно проводити серію вимірювань і порівнювати результати з різних ділянок. Якщо показники різко відрізняються, це може бути важливою ознакою покриття, ремонту, корозії, локального забруднення або технологічної неоднорідності виробництва (Beck et al., 2004; Orfanou & Rehren, 2015).

Отже, фізичні основи рентгенофлуоресцентного аналізу ґрунтуються на явищі збудження атомів первинним рентгенівським випромінюванням і реєстрації характеристичного вторинного випромінювання, енергія якого є специфічною для кожного хімічного елемента. Ця властивість забезпечує можливість якісного визначення елементного складу, а інтенсивність спектральних ліній, за умови коректного калібрування та врахування матричних ефектів, дозволяє здійснювати кількісний або напівкількісний аналіз. Для експертизи середньовічних предметів нумізматики РФА є особливо цінним завдяки неруйнівності, багатoelementності, швидкості та можливості застосування до музейних і археологічних предметів. Водночас його результати мають інтерпретуватися критично, з урахуванням поверхневого характеру аналізу, стану збереженості монети, корозії, патини, покриттів, матричних ефектів і неоднорідності сплаву.

У підсумку РФА можна розглядати як один із ключових природничо-наукових методів сучасної нумізматичної експертизи. Він не замінює традиційні нумізматичні методи, але істотно розширює їхні можливості. Поєднання РФА з типологічним, метрологічним, штемпельним, іконографічним і топографічним аналізом дозволяє не лише уточнювати склад металу, а й реконструювати технологію карбування, виявляти підробки, встановлювати наявність покриттів,

порівнювати групи монет і формувати більш обґрунтовані висновки щодо походження та автентичності середньовічних нумізматичних пам'яток.

2.2. Види РФА та особливості їх застосування

Пам'ятки матеріальної культури є унікальними свідченнями минулого, тому їх дослідження потребує застосування таких методів, які не передбачають фізичного втручання в структуру об'єкта. Це особливо важливо у випадку музейних предметів, археологічних знахідок і нумізматичних матеріалів, оскільки будь-яке руйнування або навіть незначне пошкодження поверхні може призвести до втрати джерельної інформації. У цьому контексті рентгенофлуоресцентний аналіз є одним із найефективніших сучасних неруйнівних спектроскопічних методів, що дозволяє визначати елементний склад речовини шляхом реєстрації вторинного, або флуоресцентного, рентгенівського випромінювання. Під час опромінення зразка первинним рентгенівським пучком атоми матеріалу переходять у збуджений стан, а подальше випромінювання характеристичних ліній дає змогу встановити якісний і кількісний склад досліджуваного матеріалу (Фізико-хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини, 2023: 74). Основні положення цього підрозділу розгорнуто на основі наданого текстового матеріалу.

У широкому сенсі РФА можна розглядати як групу споріднених методик, що мають спільну фізичну основу, але відрізняються типом обладнання, способом реєстрації випромінювання, мобільністю, глибиною аналізу, точністю, умовами застосування та характером дослідницьких завдань. У практиці дослідження культурної спадщини, археологічних матеріалів і нумізматичних пам'яток найчастіше розрізняють стаціонарний лабораторний РФА, портативний РФА, мікро-РФА, енергодисперсійний РФА та хвильодисперсійний РФА. Кожен із цих різновидів має власну сферу доцільного використання, переваги та обмеження.

Найбільш традиційним різновидом є стаціонарний лабораторний РФА. Він застосовується у спеціально обладнаних лабораторіях і, як правило, забезпечує високу точність вимірювання, стабільні умови аналізу та ширші можливості калібрування. Перевагою такого типу дослідження є контрольованість усіх параметрів: геометрії вимірювання, часу опромінення, умов реєстрації спектра, підготовки зразка та програмної обробки результатів. У випадку нумізматичних предметів лабораторний РФА може бути ефективним для поглибленого аналізу монетних сплавів, монетних заготовок, штемпелів, зливків або інших предметів, пов'язаних із монетним виробництвом. Саме в лабораторних умовах найкраще здійснювати порівняльні серії вимірювань, коли необхідно дослідити значну кількість монет одного типу або одного комплексу.

Водночас застосування стаціонарного РФА має і певні обмеження. Головне з них полягає в необхідності транспортування предмета до лабораторії. Для музейних пам'яток, унікальних знахідок, великих об'єктів або предметів зі складним режимом зберігання це не завжди можливо. Крім того, окремі археологічні або музейні об'єкти не можуть бути переміщені через консерваційні, правові чи організаційні причини. Саме тому в дослідженнях культурної спадщини значного поширення набули портативні РФА-спектрометри, які дозволяють проводити аналіз безпосередньо на місці зберігання або виявлення предмета.

Портативний РФА є одним із найважливіших різновидів методу для сучасної археології, музейної справи та нумізматичної експертизи. Його поява суттєво розширила можливості дослідників, оскільки дозволила аналізувати предмети без транспортування, відбору проб або порушення цілісності пам'ятки. Саме портативні рентгенофлуоресцентні спектрометри активно застосовуються у випадках, коли фізичне переміщення об'єкта є неможливим або небажаним. У дослідженнях культурної спадщини такі прилади використовувалися для вивчення кераміки, пофарбованих поверхонь, металевих виробів, кам'яних сокир, музейних експонатів, археологічних матеріалів і навіть великих

нерухомих пам'яток, як-от блакитний камінь Стоунхенджа (Фізико-хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини, 2023: 88).

Портативний РФА має особливе значення для нумізматики. Монети, як правило, є невеликими за розміром, але мають високу історичну, музейну, колекційну та наукову цінність. Вони часто зберігаються у фондах, приватних збірках або археологічних комплексах, де можливість транспортування обмежена. Портативний аналізатор дозволяє швидко отримати дані про склад металу, визначити наявність основних і домішкових елементів, виявити ознаки покриття, оцінити можливу неоднорідність сплаву та попередньо перевірити автентичність предмета. Водночас результати портативного РФА слід інтерпретувати обережно, оскільки такі прилади часто працюють із поверхневим шаром, а точність результатів залежить від стану поверхні, корозії, патини, площі опромінення та програмних алгоритмів обробки.

Ще одним важливим різновидом є мікро-РФА. Цей метод дає змогу проводити локальний аналіз дуже малих ділянок поверхні. На відміну від звичайного РФА, який усереднює інформацію з відносно більшої площі, мікро-РФА дозволяє досліджувати окремі зони: поле монети, рельєф, легенду, край, тріщину, ділянку корозії, місце потертості або ймовірного покриття. Для нумізматичної експертизи це має принципове значення, оскільки склад монети може бути неоднорідним. Особливо це стосується середньовічних монет, виготовлених за технологіями, які не забезпечували повної однорідності сплаву. У різних точках аверсу й реверсу можуть фіксуватися відмінні показники, що пов'язано з ліквідацією, корозією, очищенням, зношенням або наявністю тонких поверхневих покриттів.

Мікро-РФА є перспективним для дослідження фальшивих монет. Якщо монета має мідну основу і срібне покриття, аналіз різних ділянок може виявити відмінності між поверхневим шаром і пошкодженими або відкритими ділянками основного металу. Це дозволяє точніше встановити технологію підробки, відрізнити давній фальсифікат від сучасної імітації та виявити способи нанесення покриття. Застосування мікро-РФА також важливе для аналізу

штемпелів, монетних заготовок і виробничих відходів, оскільки дає змогу дослідити локальні технологічні особливості металу.

За способом реєстрації випромінювання РФА поділяють на енергодисперсійний і хвильодисперсійний. Енергодисперсійний РФА, або EDXRF, є найпоширенішим у портативних приладах. Він реєструє енергії рентгенівських фотонів і дозволяє одночасно фіксувати широкий спектр елементів. Його перевагами є швидкість, мобільність, відносна простота використання та можливість застосування безпосередньо в музейних або польових умовах. Саме цей різновид найчастіше використовується у первинній експертизі нумізматичних предметів, коли необхідно швидко визначити склад сплаву, виявити очевидні невідповідності або відібрати предмети для подальшого поглибленого аналізу.

Хвильодисперсійний РФА, або WDXRF, має вищу спектральну роздільну здатність і забезпечує точніше розділення близьких спектральних ліній. Це особливо важливо для складних багатокomпонентних сплавів, у яких присутні основні, другорядні та мікродомішкові елементи. Однак WDXRF потребує складнішого стаціонарного обладнання, тому менш придатний для оперативних польових або музейних досліджень. У нумізматиці його доцільно використовувати тоді, коли потрібен точний кількісний аналіз, перевірка результатів портативного РФА або дослідження складних сплавів із близькими спектральними лініями.

Окреме значення має поділ РФА за характером отриманих результатів: якісний, напівкількісний і кількісний аналіз. Якісний аналіз дозволяє встановити, які хімічні елементи присутні у складі предмета. Він є корисним на початковому етапі експертизи, коли потрібно з'ясувати, чи містить монета срібло, мідь, золото, свинець, олово, цинк, залізо, нікель або інші елементи. Напівкількісний аналіз дає орієнтовне уявлення про співвідношення елементів, тоді як кількісний аналіз подає результати у відсотковому вираженні. У наданому матеріалі зазначено, що сучасні РФА-аналізатори оснащені програмно-апаратними комплексами, які на основі математичних алгоритмів обчислюють частки елементів у складі сплавів

з урахуванням характеристик відбиття рентгенівського випромінювання. Отримані дані зазвичай репрезентуються у відсотках, що робить їх зручними для подальшої табличної обробки й порівняння.

У нумізматичних дослідженнях кількісний РФА дає можливість визначати пробу монетного металу, співвідношення срібла й міді, наявність домішок золота, свинцю, сурми, вісмуту, олова, цинку, нікелю, заліза та інших елементів. Такі дані дозволяють простежувати динаміку зміни якості монетної продукції, встановлювати періоди підвищення або зниження проби, виявляти економічно-політичні чинники монетних реформ і реконструювати технологічні особливості карбування. Значні коливання співвідношення срібла й міді часто можуть відображати не лише технологічні, а й економічні або політичні процеси, пов'язані зі зміною монетної політики, дефіцитом сировини або девальвацією.

Важливою методичною розробкою для інтерпретації результатів РФА є класифікація елементів сплаву за їхньою значущістю. Б. Константінеску, Р. Бугой, Є. Оберлендер-Тарновеану та К. Парван запропонували поділяти елементи на основні, другорядні та мікроелементи: основні становлять понад 10 %, другорядні — від 0,1 до 10 %, а мікроелементи — менше 0,1 % (Constantinescu, Bugoi, Oberländer-Tarnoveanu, Parvan, 2009). Такий підхід є важливим для нумізматичної експертизи, оскільки дозволяє розрізняти елементи, що формують основу сплаву, технологічні добавки та слідові домішки, пов'язані з природними особливостями рудної сировини або процесами переплавлення.

Виявлення мікроелементів має велике значення для реконструкції джерел металевої сировини. Домішки золота, вісмуту, свинцю, сурми, нікелю або заліза у срібних і мідних сплавах можуть бути пов'язані з особливостями рудних родовищ або технологією очищення металу. Саме тому РФА відкриває можливості не лише для визначення складу монети, а й для встановлення ймовірного походження металу. За наявності репрезентативних масивів даних щодо складу сплавів монет різних хронологічних періодів можна простежувати практики переплавлення старих монет для виготовлення нових емісій, а також виявляти відмінності між сировинними базами різних монетних систем.

Показовим у цьому сенсі є дослідження І. Сінчука та В. Філонова, які проаналізували результати численних РФА-досліджень литовських монет XIV ст. та чеських, або празьких, грошів XIV–XV ст. Дослідники не виявили суттєвих збігів у складі цих сплавів. Для литовських монет характерною була наявність мікродомішок золота, відсутніх у празьких грошах, тоді як празькі гроші карбувалися зі срібла вищої проби з незначними домішками свинцю (Sinchuk, Filonov, 2001). Це дає підстави припускати, що празькі гроші не використовувалися як основна сировина для карбування ранніх литовських динарів. Такий приклад демонструє, що РФА може бути корисним не лише для експертизи окремої монети, а й для реконструкції ширших економічних і технологічних процесів.

Особливий різновид застосування РФА пов'язаний із дослідженням монетних штемпелів та інструментів карбування. У цьому випадку об'єктом аналізу є не сама монета, а знаряддя, за допомогою якого здійснювалося виробництво. Показовим прикладом є дослідження Х. Гітлера та М. Понтінга, які проаналізували збережені монетні штемпелі для карбування куфічних дирхемів династії Фатімідів X–XII ст. у Північній Африці та на Близькому Сході (Gitler & Ponting, 2006). За результатами РФА було встановлено, що штемпелі виготовлені з мідно-олов'яного сплаву з домішками цинку та свинцю, а також незначними кількостями нікелю, заліза й марганцю. Такі дані дають змогу характеризувати технологію виготовлення інструментарію, оцінювати його технічні властивості та краще розуміти організацію монетного виробництва.

Аналіз штемпелів має важливе значення у поєднанні з поштемпельним аналізом. Якщо традиційний поштемпельний аналіз дозволяє встановити зв'язки між монетами, виготовленими за допомогою однакових або споріднених штемпелів, то РФА може допомогти оцінити матеріальні характеристики самих інструментів. Це, своєю чергою, відкриває можливість для реконструкції потенційної продуктивності штемпелів, умов їх експлуатації, причин зношування та технологічного рівня виробництва. У ширшому сенсі аналіз

штемпелів, монет і заготовок у межах одного комплексу дозволяє перейти від опису окремих предметів до реконструкції повного виробничого циклу.

Важливим різновидом застосування РФА є дослідження фальсифікатів і монет із покриттям. Метод дозволяє визначати матеріал заготовки, склад поверхневого шару, технологію нанесення покриття з дорогоцінного металу та невідповідність між зовнішнім виглядом монети й фактичним складом її сплаву. Це має принципове значення для відрізнєння оригінальних монет від історичних фальсифікатів або сучасних підробок. Якщо монета візуально сприймається як срібна, але РФА фіксує значний вміст міді й лише поверхневу присутність срібла, можна припускати наявність посріблення. Подібно, наявність позолоти або лудіння ускладнює визначення складу основного металу, навіть якщо шар покриття є незначним.

У цьому контексті важливо враховувати, що результати РФА можуть бути спотворені поверхневими шарами. У корозійних шарах мідних і срібних сплавів можуть накопичуватися домішки свинцю, заліза та нікелю, а неоднорідність структури сплавів і процеси ліквідації можуть спричиняти значні коливання показників у різних точках поверхні (Pollard, Bray, Cuénod, Hommel, Hsu, Liu, Perucchetti, Pouncett & Saunders, 2018). Саме тому для підвищення достовірності результатів необхідно проводити вимірювання на різних ділянках монети та з обох її сторін. Особливо це стосується археологічного металу, який є складною системою, що поєднує первинний метал і продукти тривалої корозії.

Важливим є також питання стану поверхні зразка. У наданому матеріалі наголошено, що аналіз монет різних епох і регіонів показав істотний вплив корозійних шарів на результати вимірювань. Це зумовлює необхідність спрямування рентгенівського випромінювання на чисту металеву фазу, якщо така можливість існує. Проте в музейній і археологічній практиці інтенсивна механічна зачистка поверхні зазвичай не застосовується з міркувань збереження пам'яток. Через це у спектрі можуть фіксуватися елементи, пов'язані не лише з основним сплавом, а й з оксидними шарами, ґрунтовими домішками або продуктами корозії, зокрема титан, кальцій і залізо.

Проблема неоднорідності сплаву є особливо актуальною для античних і середньовічних монет. Технологічні можливості давнього виробництва не забезпечували повної однорідності металу. Процеси ліквідації, нерівномірне охолодження, недостатнє перемішування сплаву, повторне використання металу або домішки у сировині могли спричиняти різний склад у різних ділянках однієї монети. Саме тому одноразове вимірювання в одній точці не завжди може бути репрезентативним. Для коректної інтерпретації необхідно враховувати площу опромінення, глибину проникнення випромінювання, спосіб усереднення результатів і спектр елементів, які здатен визначити конкретний аналізатор.

Ще один важливий різновид застосування РФА пов'язаний із дослідженням матеріалів культурної спадщини поза власне нумізматику. Метод активно використовується для аналізу кераміки, скла, емалі, обсидіану, пігментів, глазурей, ювелірних виробів і металевих артефактів. Зокрема, аналіз скла римського оніксу, барвників і свинцю в римському мозаїчному склі дозволив реконструювати окремі технологічні процеси. Неруйнівний характер РФА сприяв його застосуванню для встановлення джерел гранатів у ювелірних виробках та класифікації римських монет I ст. до Р.Х. (Фізико-хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини, 2023: 88). Такі приклади важливі для нумізматики, оскільки демонструють ширший потенціал методу у реконструкції технологій виробництва й походження сировини.

У музейній практиці РФА використовується для ідентифікації складу пігментів, глазурей і металевих сплавів, що сприяє атрибуції, реставрації та створенню баз даних пам'яток. Метод має значення і для перевірки автентичності історичних артефактів, зокрема для виявлення підробок та контролю тотожності музейних предметів. Він також застосовувався для дослідження неолітичної кераміки Північної Греції, що дозволило визначити особливості технік декору та джерела глини (Фізико-хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини, 2023: 89). Для нумізматичних досліджень цей досвід є важливим, оскільки показує, що РФА ефективний не лише для визначення складу металу, а й для вирішення ширших питань походження, технології та автентичності.

У межах власне нумізматичних досліджень РФА використовується для розв'язання кількох основних завдань. По-перше, він дозволяє простежувати динаміку зміни проби монет. По-друге, дає змогу визначати періоди підвищення або зниження якості монетної продукції. По-третє, допомагає реконструювати технологічні особливості карбування. По-четверте, забезпечує ідентифікацію домішок у складі сплавів. По-п'яте, відкриває можливість встановлення джерел металевої сировини. По-шосте, дозволяє визначати технології нанесення покриття у фальшивих монетах. По-сьоме, сприяє розробці критеріїв протидії сучасним фальсифікаціям.

Окрему увагу слід звернути на використання конкретних приладів. У дослідженні монетного комплексу, виявленого на території Сумщини, було проведено кількісний аналіз сплавів із використанням експрес-аналізатора складу речовини Expert 3L W108U. Сучасні модифікації цього приладу дозволяють аналізувати не лише металеву основу, а й оксиди та сульфати на поверхні зразків, що суттєво розширює аналітичні можливості дослідження монетних сплавів. Використання такого обладнання є показовим прикладом застосування портативного або експрес-РФА у нумізматичній експертизі, коли необхідно отримати кількісні дані без руйнування об'єкта.

Водночас незалежно від різновиду РФА результати аналізу потребують критичної інтерпретації. Для цього необхідно враховувати спектр елементів, які може визначити аналізатор, глибину проникнення випромінювання, стан поверхні зразка, площу опромінення, спосіб усереднення результатів, наявність корозійних шарів, поверхневих покриттів та неоднорідність сплаву. Обмежена глибина проникнення випромінювання може не забезпечувати повної картини внутрішньої структури сплаву, особливо якщо монета має покриття або складалася з неоднорідного металу. Тому РФА не слід розглядати як самодостатній метод, відірваний від традиційної нумізматичної експертизи. Найбільш ефективним є його поєднання з типологічним, метрологічним, поштемпельним, візуальним і топографічним аналізом.

Таким чином, різні види РФА мають власні особливості застосування у дослідженні нумізматичних пам'яток. Стаціонарний лабораторний РФА забезпечує високу точність і контрольованість вимірювань; портативний РФА дає змогу проводити дослідження безпосередньо в музеях, фондосховищах або польових умовах; мікро-РФА дозволяє аналізувати локальні ділянки поверхні; енергодисперсійний РФА є зручним для швидкого експрес-аналізу; хвильодисперсійний РФА придатний для точнішого лабораторного визначення складних спектрів. Усі ці різновиди мають спільну перевагу — неруйнівний характер дослідження, що робить їх особливо цінними для роботи з предметами історико-культурної спадщини.

Отже, рентгенофлуоресцентний аналіз є універсальним методом нумізматичної експертизи, який дозволяє поєднати матеріалознавчий, технологічний та історичний підходи до дослідження монет. Його використання суттєво розширює можливості реконструкції монетного виробництва, монетної політики та економічних процесів минулого. Водночас ефективність РФА залежить від правильного вибору різновиду аналізу, стану досліджуваного предмета, кількості точок вимірювання, якості інтерпретації результатів і поєднання з іншими методами нумізматичного дослідження.

2.3. Методика підготовки та проведення РФА нумізматичних предметів

Методика підготовки та проведення рентгенофлуоресцентного аналізу нумізматичних предметів має вирішальне значення для достовірності отриманих результатів. РФА належить до неруйнівних або умовно неруйнівних методів дослідження, однак його ефективність залежить від правильного вибору об'єкта, стану його поверхні, кількості точок вимірювання, параметрів приладу та подальшої інтерпретації результатів. У випадку монет, монетних заготовок, штемпелів чи зливків дослідник працює не зі стандартним лабораторним зразком, а з історичною пам'яткою, яка могла тривалий час перебувати в обігу,

грунті, скарбі, музейному середовищі або приватній колекції. Тому підготовка до РФА повинна враховувати не лише технічні вимоги методу, а й джерелознавчу та консерваційну специфіку роботи з предметами культурної спадщини (Pollard et al., 2007; Scott, 2002).

Першим етапом підготовки є попередній опис і документування нумізматичного предмета. До початку інструментального аналізу необхідно зафіксувати емітента, номінал, орієнтовну дату карбування, монетний двір, тип аверсу й реверсу, легенду, іконографічні особливості, вагу, діаметр, товщину, ступінь зношення та загальний стан збереження. Такий опис важливий для подальшої інтерпретації результатів РФА, адже однаковий вміст срібла може мати різне значення для повноцінної срібної монети, білонного випуску, посрібленої підробки або мідної монети з поверхневим збагаченням сріблом. Отже, інструментальний аналіз має спиратися на традиційну нумізматичну атрибуцію, а не замінювати її (Grierson, 1975; Metcalf, 2012).

Важливою складовою підготовки є фотофіксація предмета. Доцільно зробити якісні фотографії аверсу, реверсу та гурту, а за потреби — окремих ділянок із корозією, тріщинами, подряпинами, потертостями, плямами, слідами покриття або реставрації. Фотофіксація дозволяє пов'язати результати РФА з конкретними точками вимірювання. Це особливо важливо, оскільки склад поверхні монети може бути неоднорідним: одна ділянка може містити продукти корозії, інша — залишки первинного металу, третя — сліди очищення або покриття. Тому точки аналізу бажано позначати на фотографіях або детально описувати у протоколі вимірювання (Beck et al., 2004; Orfanou & Rehren, 2015).

Наступним етапом є оцінка стану поверхні. РФА аналізує переважно поверхневий або приповерхневий шар предмета, тому поверхня археологічної монети не завжди відображає первинний склад сплаву. На результати можуть впливати патина, оксидні й карбонатні нашарування, ґрунтові домішки, солі, продукти корозії, залишки консерваційних речовин, сліди механічного чи хімічного очищення. У срібно-мідних сплавах можливе поверхнєве збагачення сріблом унаслідок вибіркового вилуговування міді, що може призводити до

завищення частки Ag у результатах аналізу (Beck et al., 2004). У мідних і бронзових сплавах корозійні продукти можуть змінювати співвідношення Cu, Sn, Pb, Zn, Fe та інших елементів (Scott, 2002).

Питання очищення поверхні перед РФА є дискусійним. З одного боку, аналіз чистої металевої фази дає точніше уявлення про склад сплаву. З іншого боку, агресивне очищення може пошкодити пам'ятку, знищити патину, сліди побутування, залишки покриття або важливі діагностичні ознаки. Тому у нумізматичній експертизі слід уникати інтенсивної механічної чи хімічної зачистки. Якщо на предметі є природні потертості, тріщини, відколи або ділянки з відкритим металом, саме вони можуть бути використані для аналізу основного сплаву. Якщо очищення необхідне, воно має бути мінімальним, контрольованим і зафіксованим у протоколі (Pollard et al., 2007; IAEA, 1997).

Вибір точок вимірювання є одним із ключових моментів методики. Одне вимірювання в одній точці не може вважатися достатнім для повної характеристики монети, особливо якщо йдеться про середньовічний предмет. Давні технології плавлення й карбування не завжди забезпечували однорідність сплаву, а процеси ліквації, нерівномірне охолодження, повторне переплавлення металу, корозія та зношення могли спричиняти різні показники на різних ділянках поверхні. Тому доцільно проводити серію вимірювань: щонайменше на аверсі й реверсі, а за можливості — на полі монети, рельєфі, біля краю, на ділянках потертості та на підозрілих зонах (Orfanou & Rehren, 2015; Beck et al., 2004).

Під час аналізу фальшивих або підозрілих монет кількість точок вимірювання має бути збільшена. Якщо монета є субератною, посрібленою або позолоченою, різні ділянки можуть демонструвати різне співвідношення основного металу й покриття. Наприклад, на рівній ділянці поля прилад може зафіксувати підвищений вміст срібла, тоді як у місці подряпини або на гурті буде виявлено переважання міді. Такі відмінності є не похибкою, а важливою експертною ознакою. Саме тому для фальсифікатів корисним є локальний або

мікро-РФА, який дозволяє точніше встановлювати технологію нанесення покриття (Gitler & Ponting, 2006; Constantinescu et al., 2009).

Перед проведенням вимірювання необхідно налаштувати прилад і визначити режим аналізу. До основних параметрів належать напруга і струм рентгенівської трубки, час експозиції, площа опромінення, режим фільтрації, калібрування, тип аналітичної програми та спосіб обробки спектра. Для монетних сплавів важливо, щоб обраний режим дозволяв надійно визначати основні метали та домішки: Cu, Ag, Au, Pb, Sn, Zn, Fe, Ni, As, Sb, Bi та інші елементи. У разі використання портативних приладів слід пам'ятати, що вбудовані програми не завжди оптимально пристосовані до археологічних сплавів, тому результати необхідно оцінювати критично (Jenkins, 1999; Beckhoff et al., 2006).

Калібрування є необхідною умовою отримання достовірних кількісних результатів. Найкраще використовувати стандарти, близькі за складом до досліджуваних монет: срібно-мідні, мідно-олов'яні, мідно-свинцеві, білонні або золоті сплави. Якщо стандарти істотно відрізняються від об'єкта, результати можуть бути спотворені матричними ефектами. Для точного кількісного аналізу важливо або використовувати відповідні стандарти, або застосовувати метод фундаментальних параметрів із подальшою перевіркою результатів (IAEA, 1997; Van Grieken & Markowicz, 2002).

Проведення аналізу має супроводжуватися чітким протоколюванням. У протоколі бажано зазначати інвентарний номер або умовне позначення монети, її атрибуцію, вагу, діаметр, стан поверхні, точки вимірювання, параметри приладу, дату аналізу, модель аналізатора, режим роботи, тривалість експозиції та отримані результати. Якщо вимірювань кілька, їх потрібно подавати окремо, а не лише як середнє значення. Усереднення може приховати важливу неоднорідність, наприклад різницю між срібним покриттям і мідною основою.

Після отримання спектра проводиться ідентифікація елементів і розрахунок їхнього відсоткового співвідношення. У більшості сучасних приладів ці операції виконує програмне забезпечення, однак дослідник має перевіряти

результати, особливо у випадку перекриття спектральних ліній або наявності елементів у низьких концентраціях. Зручним є підхід, за яким основними вважають елементи з концентрацією понад 10 %, другорядними — від 0,1 до 10 %, а мікроелементами — менше 0,1 % (Constantinescu et al., 2009). Така класифікація дозволяє відділити основу сплаву від технологічних домішок і слідових елементів, пов'язаних із рудною сировиною.

Інтерпретація результатів РФА повинна здійснюватися з урахуванням типу монети й історичного контексту. Для срібних монет важливо оцінити співвідношення Ag і Cu, а також наявність Pb, Au, Bi, Sb та інших домішок. Для мідних монет важливими є Cu, Sn, Pb, Zn, Fe, Ni, As. Наявність свинцю в мідних сплавах може пояснюватися технологічною потребою підвищення плавкості металу. Для білонних монет необхідно встановити, чи срібло рівномірно входить до сплаву, чи зосереджене переважно на поверхні. У другому випадку можна припускати покриття або поверхнєве збагачення (Butcher & Ponting, 2015; Orfanou & Rehren, 2015).

Особливо обережно слід інтерпретувати дані щодо покриттів. РФА не завжди дозволяє прямо визначити товщину покриття, однак може вказати на його наявність через співвідношення елементів у різних точках. Якщо на поверхні фіксується високий вміст срібла або золота, а на пошкоджених ділянках — переважання міді, це може бути ознакою сріблення або золочення. Проте треба враховувати й можливість поверхнєвого збагачення, корозійних процесів або залишків консерваційних речовин. Тому дані РФА бажано зіставляти з мікроскопічним оглядом і фотографіями високої роздільної здатності (Scott, 2002; Beck et al., 2004).

Результати РФА мають бути зіставлені з традиційними нумізматичними показниками. Якщо склад металу відповідає очікуваному для певного типу монет, це посилює атрибуцію. Якщо ж склад істотно відрізняється, необхідно розглядати кілька можливих пояснень: інший монетний двір, інша емісія, локальне наслідування, давній фальсифікат, сучасна підробка, корозійне спотворення поверхні або помилка вимірювання. Висновок про підробку не

повинен ґрунтуватися лише на одному хімічному показнику. Він має бути результатом зіставлення складу металу, ваги, діаметра, іконографії, легенди, штемпельних ознак, стану поверхні та походження предмета (Grierson, 1975; Pollard et al., 2007).

Для дослідження монетних комплексів методика має передбачати порівняльний аналіз. У межах одного скарбу або групи знахідок доцільно аналізувати не лише окремі підозрілі монети, а й репрезентативну вибірку предметів різних типів, номіналів або ступенів збереженості. Це дозволяє виявити загальні закономірності складу, виділити групи за сплавом, встановити аномальні екземпляри та простежити можливі технологічні відмінності між емісіями. Саме серійний підхід перетворює РФА з інструмента окремої експертизи на метод реконструкції монетного виробництва та грошового обігу (Constantinescu et al., 2009; Orfanou & Rehren, 2015).

Отже, методика підготовки та проведення РФА нумізматичних предметів включає кілька взаємопов'язаних етапів: попередню атрибуцію, фотофіксацію, оцінку стану поверхні, вибір точок вимірювання, налаштування й калібрування приладу, проведення серії вимірювань, фіксацію результатів, їх критичну інтерпретацію та зіставлення з традиційними нумізматичними даними. Найважливішою методологічною вимогою є комплексність: РФА не повинен використовуватися ізольовано, оскільки його результати відображають переважно склад поверхневого шару. Лише поєднання РФА з типологічним, метрологічним, іконографічним, поштемпельним, топографічним і консерваційним аналізом дозволяє отримати науково обґрунтовані висновки щодо складу, технології виготовлення, автентичності та історичного значення нумізматичних предметів.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РФА У ЕКСПЕРТИЗІ СЕРЕДНЬОВІЧНИХ ПРЕДМЕТІВ НУМІЗМАТИКИ

3.1. РФА у виявленні фальсифікацій та реставраційних втручань

Рентгенофлуоресцентний аналіз є одним із найбільш ефективних природничо-наукових методів, що застосовується у сучасній експертизі нумізматичних пам'яток для виявлення фальсифікацій та слідів реставраційних втручань. Його значення полягає у можливості неруйнівного визначення елементного складу поверхневого шару монети, що особливо важливо для дослідження музейних предметів, археологічних знахідок і приватних колекцій. У випадку середньовічних монет цей метод дозволяє встановити, чи відповідає матеріальний склад предмета його типологічній, хронологічній та історико-нумізматичній атрибуції.

Проблема фальсифікації монет є однією з ключових у нумізматичній експертизі. У середньовічний період фальшивомонетництво могло набувати різних форм: виготовлення монет із дешевшого металу, нанесення срібного або золотого покриття на мідну основу, карбування неофіційними штемпелями, лиття підробок, наслідування популярним монетним типам, а також випуск монет зі заниженою пробою. У працях А. Бойка-Гагаріна фальшивомонетництво розглядається не лише як кримінальна практика, а і як історико-економічне явище, пов'язане з особливостями грошового обігу, кризами монетної системи та поширенням певних номіналів у торговельному середовищі (Бойко-Гагарін, 2017).

Традиційна нумізматична експертиза фальшивих монет спирається на візуальні, метрологічні, типологічні та поштемпельні ознаки. Дослідник аналізує стиль зображення, форму літер, якість легенди, рельєф, вагу, діаметр, товщину заготовки, сліди лиття або грубого карбування. Проте такі методи не завжди дозволяють остаточно встановити характер предмета. Частина фальсифікатів

могла бути виготовлена досить майстерно, а середньовічні офіційні монети нерідко самі мають нерівномірний рельєф, зміщення штемпеля, відхилення у вазі або неоднорідний склад сплаву. Саме тому РФА є важливим доповненням до класичних методів, оскільки дає змогу встановити фактичний склад металу.

Найбільш очевидним напрямом застосування РФА є виявлення невідповідності між зовнішнім виглядом монети та її реальним елементним складом. Наприклад, якщо монета за типом має бути срібною, але аналіз фіксує переважання міді, свинцю або цинку, це може свідчити про фальшивий характер предмета. Водночас така інтерпретація потребує обережності, оскільки середньовічні білонні монети могли містити невелику частку срібла у мідній основі, а корозійні процеси могли змінювати склад поверхневого шару. Тому результати РФА мають оцінюватися у зв'язку з історичним контекстом конкретної емісії, метрологічними параметрами та станом поверхні монети (Pollard et al., 2007; Orfanou & Rehren, 2015).

Особливе значення РФА має для виявлення монет із покриттям. У середньовічній практиці одним із поширених способів фальсифікації було виготовлення монети з дешевшого металу, найчастіше міді або мідного сплаву, з подальшим нанесенням тонкого шару срібла чи золота. Зовні така монета могла імітувати повноцінний срібний або золотий номінал, однак її внутрішня вартість була значно нижчою. РФА дозволяє виявити такі випадки через порівняння складу різних ділянок поверхні. Якщо на добре збереженій ділянці фіксується підвищений вміст срібла, а на потертості, подряпині, сколі або гурті виявляється переважання міді, це може свідчити про наявність срібного покриття на мідній основі.

Важливим прикладом є дослідження В. Орлика, присвячені монетам хрестоносців із літерами R-E-X, карбованим на Кіпрі. Дослідник звернув увагу на групу монет, які мали ознаки фальшування, зокрема нанесення срібної амальгами на мідну заготовку. Поєднання поштемпельного аналізу та аналізу матеріальних ознак дозволило висунути гіпотезу, що такі предмети могли бути не звичайними кустарними підробками, а продукцією, пов'язаною з монетним

двором або санкціонованою владою емісією зі зниженим вмістом дорогоцінного металу (Orlyk, 2021; Орлик, 2024). Цей приклад демонструє, що РФА допомагає не лише виявити фальсифікацію, а й уточнити її історичний характер.

У межах експертизи важливо розрізняти давні фальсифікати, сучасні підробки та реставровані предмети. Давні фальшиві монети самі по собі є історичним джерелом, оскільки відображають реальні умови грошового обігу, попит на певні номінали та рівень контролю за монетною справою. Сучасні підробки, навпаки, створюються переважно для обману колекціонерів або антикварного ринку. Реставровані предмети можуть мати автентичну основу, але містити пізніші доповнення, покриття, сліди очищення або консерваційні матеріали. Для кожного з цих випадків РФА може надати важливу інформацію, але остаточний висновок має ґрунтуватися на комплексному аналізі.

Сучасні підробки часто відрізняються від середньовічних фальсифікатів складом металу. Якщо фальсифікатор використовує сучасні промислові сплави, РФА може зафіксувати нетипові елементи, неприродно високу чистоту металу або домішки, нехарактерні для середньовічного виробництва. Наприклад, надмірно чисте срібло чи мідь може викликати підозру, якщо для відповідного типу монет історично характерний складний сплав із природними домішками. Проте цей критерій не є абсолютним, оскільки сучасні підробники можуть використовувати старий метал або спеціально підібрані сплави. Тому результати РФА слід зіставляти з технологічними, стилістичними, метрологічними та поштемпельними ознаками.

Окреме значення має аналіз мікродомішок. Основні елементи сплаву дозволяють визначити тип металу: срібний, мідний, золотий, білонний або бронзовий. Натомість мікродомішки можуть свідчити про особливості рудної сировини, технологію плавлення, повторне використання металу або сучасне походження предмета. Б. Константінеску, Р. Бугой, Є. Оберлендер-Тарновеану та К. Парван запропонували поділяти елементи сплаву на основні, другорядні та мікроелементи: основні становлять понад 10 %, другорядні — від 0,1 до 10 %, а мікроелементи — менше 0,1 % (Constantinescu, Bugoi, Oberländer-Târnoveanu,

Parvan, 2009). Такий підхід є корисним для відокремлення основи сплаву від технологічних або природних домішок.

Водночас мікродомішки не можна автоматично трактувати як ознаку підробки. Наявність золота у срібній монеті може бути природною домішкою, пов'язаною з рудною сировиною. Свинець у мідних сплавах може пояснюватися технологічною потребою підвищення плавкості металу. Домішки вісмуту, сурми, миш'яку, нікелю або заліза можуть відображати як природні особливості руди, так і технологію переплавлення. Тому висновок про фальсифікацію має ґрунтуватися не на самому факті наявності домішок, а на їхньому співвідношенні, порівнянні з аналогами та відповідності історичному контексту (Butcher & Ponting, 2015; Orfanou & Rehren, 2015).

РФА також є важливим інструментом для виявлення реставраційних втручань. У випадку нумізматичних предметів реставрація може включати очищення поверхні, видалення корозії, стабілізацію металу, нанесення захисних покриттів, заповнення втрат, локальне посріблення або золочення, штучне патинування, склеювання фрагментів, доповнення гурту чи рельєфу. Частина таких втручань може бути професійною консервацією, спрямованою на збереження предмета, однак інші можуть мати фальсифікаційний або комерційний характер. РФА дозволяє виявляти сторонні речовини, локальні відмінності у складі або нетипові елементи, що можуть свідчити про пізніші втручання.

Особливо показовими є локальні відмінності у складі поверхні. Якщо окрема ділянка рельєфу або поля демонструє склад, який різко відрізняється від решти монети, це може бути ознакою ремонту, пайки, доповнення або нанесення нового шару металу. Підвищений вміст олова, свинцю чи цинку в окремій зоні може свідчити про використання припою. Наявність сучасних матеріалів або нетипових домішок може вказувати на пізніше втручання. У випадку золочених або посріблених предметів РФА допомагає встановити, чи є покриття первинним, чи воно було нанесене пізніше в процесі реставрації або фальсифікації.

Реставраційні втручання можуть не лише виявлятися за допомогою РФА, а й спотворювати результати аналізу. Консерваційні речовини, залишки ґрунту, хімічні реагенти після очищення, воски, лаки або захисні покриття можуть впливати на спектр. У таких випадках прилад може фіксувати елементи, що належать не до первинного металу, а до поверхневих нашарувань. Тому під час аналізу важливо фіксувати стан поверхні, історію реставрації, якщо вона відома, а також ділянки вимірювання. Без цієї інформації результати можуть бути неправильно інтерпретовані (Scott, 2002; Pollard et al., 2007).

Окрему проблему становить штучне патинування. Сучасні підробки часто обробляють хімічними речовинами для створення вигляду давності. Така патина може імітувати природні корозійні шари, однак за складом і структурою відрізняється від автентичних продуктів тривалого старіння металу. РФА може виявити нетипові елементи у поверхневому шарі або незвичне співвідношення компонентів, але для остаточного висновку часто потрібні додаткові методи: мікроскопія, SEM-EDS, рентгенівська дифракція або аналіз мікроструктури. Отже, РФА є ефективним інструментом первинного виявлення підозрілих зон, але не завжди достатнім для повної реконструкції походження патини.

Методологічно важливим є проведення РФА у кількох точках. Для виявлення фальсифікацій і реставраційних втручань одноразове вимірювання майже завжди є недостатнім. Якщо проаналізувати лише одну ділянку, можна випадково потрапити на корозійне нашарування, зону реставрації, залишок покриття або ділянку з поверхневим збагаченням. Тому доцільно проводити аналіз аверсу, реверсу, гурту, поля, рельєфу, потертостей, тріщин і підозрілих зон. Особливо інформативним є порівняння неушкодженої поверхні з ділянками механічного зносу, де може відкриватися основа металу.

У випадку монет із покриттям важливо враховувати обмежену глибину аналізу РФА. Метод фіксує переважно поверхневий або приповерхневий шар, тому тонке сріблення чи золочення може суттєво впливати на результат. Якщо покриття достатньо товсте, прилад може показати високий вміст благородного металу, хоча основа монети є мідною. Якщо покриття частково зруйноване, різні

точки дадуть різні показники. Ця особливість є одночасно обмеженням і перевагою методу: з одного боку, вона ускладнює визначення складу ядра монети, з іншого — дозволяє виявляти сам факт покриття (Beck et al., 2004; Beckhoff et al., 2006).

Важливим завданням РФА є відрізнєння давніх фальсифікатів від сучасних підробок. Давній фальсифікат є історичним джерелом і має наукову цінність, тоді як сучасна підробка потребує викриття. Давні фальшиві монети можуть мати природні ознаки старіння, корозійні шари, сліди обігу, характерні для історичного металу домішки та технологічні особливості ручного виробництва. Сучасні підробки можуть мати неприродно однорідний склад, сліди лиття, штучну патину, сучасні домішки або невідповідність між стилем і матеріалом. Однак межа між цими категоріями не завжди очевидна, тому РФА має використовуватися як частина комплексної експертизи.

РФА також може допомогти виявити повторне використання металу. У середньовічній практиці старі монети, ювелірні вироби або інші металеві предмети могли переплавлятися для виготовлення нових емісій. У такому разі склад сплаву може містити суміш домішок, характерних для різних джерел металу. Це іноді ускладнює експертизу, оскільки монета може бути автентичною, але мати нетиповий склад через використання вторинної сировини. Водночас аналіз домішок може виявити невідповідність між предметом та його передбачуваним походженням.

Окрему увагу слід приділяти монетам зі слідами обрізання, свердління, пайки або вторинного використання. Такі втручання можуть бути давніми або сучасними. Наприклад, отвір у монеті може свідчити про її використання як прикраси чи амулета, а сліди пайки — про включення до ювелірного виробу. РФА дозволяє проаналізувати ділянки навколо отворів, припоїв або змінених зон і встановити, чи відрізняється їхній склад від основного металу. Це допомагає розмежувати давні сліди побутування й пізніші реставраційні маніпуляції.

Разом із тим РФА не є універсальним методом, який автоматично дає відповідь на питання автентичності. Його результати залежать від стану

поверхні, калібрування приладу, типу аналізатора, площі вимірювання, глибини проникнення випромінювання та наявності корозійних шарів. У корозійних шарах мідних і срібних сплавів можуть накопичуватися свинець, залізо, нікель та інші елементи, а неоднорідність структури сплаву може спричиняти коливання показників у різних точках поверхні (Pollard et al., 2018). Тому висновок щодо фальсифікації або реставрації має бути результатом комплексного аналізу, а не одного вимірювання.

Отже, РФА є важливим інструментом виявлення фальсифікацій та реставраційних втручань у середньовічних предметах нумізматики. Його головна перевага полягає у можливості неруйнівного визначення елементного складу поверхневого шару монети. Метод дозволяє виявляти посріблення, золочення, білонні сплави, мідні основи під благородним покриттям, локальні ремонти, сліди пайки, сучасні домішки й невідповідність складу історичному типу монети. Водночас результати РФА мають інтерпретуватися з урахуванням корозії, патини, очищення, неоднорідності сплаву, реставраційних речовин і конкретного історико-нумізматичного контексту. Найбільш надійні висновки досягаються лише за умови поєднання РФА з традиційною нумізматичною експертизою, мікроскопією, метрологічним і поштемпельним аналізом.

3.2. РФА для реконструкції технологій карбування та джерел металу

Рентгенофлуоресцентний аналіз є важливим інструментом реконструкції технологій монетного виробництва, оскільки дозволяє встановити елементний склад монетного металу без руйнування предмета. Для середньовічної нумізматики це має особливе значення, адже монета є не лише грошовим знаком, а й матеріальним свідченням виробничого процесу. Її склад, домішки, якість сплаву, співвідношення основних і другорядних елементів можуть відображати рівень розвитку металургії, доступність сировини, особливості монетної

політики, практики переплавлення металу та технологічні прийоми конкретного монетного двору.

Традиційна нумізматика реконструює технологію карбування переважно за зовнішніми ознаками: формою заготовки, якістю рельєфу, слідами удару штемпеля, зміщенням зображення, тріщинами металу, вагою, діаметром, товщиною, орієнтацією осей, характером гурту та поштемпельними зв'язками. Проте ці ознаки не завжди дозволяють встановити склад металу, ступінь однорідності сплаву, наявність технологічних домішок або факт повторного використання старих монет і металевих виробів. Саме ці питання допомагає уточнити РФА, оскільки він переносить дослідження з рівня зовнішньої форми на рівень матеріального складу.

Виготовлення монети було складним виробничим циклом. Він охоплював добування або придбання металу, очищення, легування, переплавлення, виготовлення зливків, підготовку пластин або дроту, нарізання заготовок, їх відпалювання, вирівнювання, зважування, карбування та контроль готової продукції. Кожен із цих етапів міг залишати матеріальні сліди. Наприклад, домішки свинцю можуть бути пов'язані з рудною сировиною або технологією плавлення; олово й цинк можуть свідчити про використання бронзових чи латунних компонентів; мідь у срібних монетах могла додаватися для підвищення міцності сплаву або для зниження вмісту дорогоцінного металу; золото, вісмут, сурма чи миш'як у срібних монетах часто мають природне походження і пов'язані з особливостями руди (Pollard et al., 2007; Butcher & Ponting, 2015; Orfanou & Rehren, 2015).

Одним із головних напрямів застосування РФА є визначення проби монетного металу. Для срібних монет це насамперед співвідношення срібла й міді, для золотих - золота, срібла й міді, для мідних - міді, олова, свинцю, цинку та інших домішок. Визначення проби дає змогу простежити якість монетної продукції, виявити періоди її підвищення або зниження, а також співвіднести ці зміни з історичними обставинами. Якщо у певний період фіксується зниження частки срібла у монетах одного типу, це може свідчити про девальвацію, нестачу

дорогоцінного металу, фінансову кризу або зміну монетної політики. Водночас такі висновки мають бути обережними, оскільки коливання складу могли бути спричинені і технологічною неоднорідністю середньовічного виробництва.

РФА дозволяє виявляти технологічні домішки. У мідних сплавах свинець міг додаватися для зниження температури плавлення та поліпшення ливарних властивостей металу. Олово могло бути компонентом бронзи, цинк - латуні або мідно-цинкових сплавів. У срібних монетах мідь виконувала важливу технологічну функцію, оскільки чисте срібло є м'яким металом, а додавання міді підвищувало твердість і зносостійкість монети. Тому сама наявність міді у срібному сплаві не є ознакою фальсифікації. Важливим є її кількість, співвідношення з іншими елементами та відповідність відомим аналогам.

Для інтерпретації результатів РФА доцільно розрізняти основні елементи, другорядні компоненти та мікроелементи. Б. Константінеску, Р. Бугой, Є. Оберлендер-Тарновеану та К. Парван запропонували класифікувати елементи сплаву за їхньою значущістю: основні елементи становлять понад 10 %, другорядні - від 0,1 до 10 %, а мікроелементи - менше 0,1 % (Constantinescu, Bugoi, Oberländer-Târnoveanu, Parvan, 2009). Такий підхід дозволяє відокремити основу сплаву від технологічних добавок і слідових домішок. Саме мікроелементи часто мають найбільше значення для реконструкції джерел металу, адже вони можуть бути пов'язані з певними рудними родовищами або практиками переплавлення.

Особливу увагу слід приділяти однорідності або неоднорідності сплаву. Середньовічні технології плавлення не завжди забезпечували рівномірне розподілення елементів у металі. Унаслідок ліквіації, нерівномірного охолодження, недостатнього перемішування або використання вторинної сировини різні ділянки однієї монети можуть демонструвати відмінні показники. Тому для реконструкції технології недостатньо одного вимірювання. Необхідно аналізувати кілька точок на аверсі, реверсі, полі, рельєфі та, за можливості, на гурті. Якщо результати в різних точках близькі, це може свідчити про відносно однорідний сплав. Якщо ж вони суттєво відрізняються, це може бути ознакою

неоднорідності металу, покриття, корозії або реставраційного втручання (Beck et al., 2004; Orfanou & Rehren, 2015).

У реконструкції технологій карбування важливим є поєднання РФА з поштемпельним аналізом. Поштемпельний аналіз дозволяє встановити зв'язки між монетами, виготовленими одними й тими самими або спорідненими штемпелями. Якщо група монет, пов'язаних спільними штемпелями, має близький склад сплаву, це може підтверджувати їхнє походження з одного виробничого циклу або однієї партії металу. Якщо ж монети одного штемпельного ланцюга демонструють суттєві відмінності у складі, це може свідчити про тривале використання штемпелів, зміну сировини, переплавлення різних металевих партій або складнішу організацію монетного виробництва.

РФА може бути корисним і для дослідження монетних штемпелів, якщо такі предмети збереглися. Аналіз матеріалу штемпелів дає можливість оцінити технологію виготовлення інструментарію, його механічні властивості та потенційну продуктивність. Показовим прикладом є дослідження Haim Gitler та Matthew Ponting, які проаналізували середньовічні ісламські монетні штемпелі й використали хімічний аналіз для перевірки їхньої автентичності та визначення складу сплаву (Gitler & Ponting, 2006). Хоча штемпелі є значно рідкіснішими джерелами, ніж самі монети, їх дослідження дозволяє перейти від аналізу готової продукції до реконструкції інструментальної бази монетного виробництва.

Важливим напрямом є реконструкція джерел металу. За допомогою РФА можна встановити не лише основний склад сплаву, а й наявність домішок, які потенційно пов'язані з певними рудними джерелами. Наприклад, срібло з різних родовищ може мати різні слідові домішки золота, свинцю, вісмуту, сурми або миш'яку. Мідні сплави також можуть відрізнятися вмістом свинцю, олова, цинку, нікелю чи заліза. Якщо для певного регіону або періоду накопичено достатню кількість порівняльних даних, такі домішки можуть допомагати встановлювати ймовірні джерела сировини або принаймні розмежовувати різні групи металу.

Водночас можливості РФА у визначенні джерел металу мають суттєві обмеження. Елементний склад сам по собі не завжди дозволяє точно встановити

конкретне родовище. Подібні руди можуть мати близький склад, а переплавлення, очищення, легування і повторне використання металу можуть істотно змінювати первинний хімічний «слід». Тому РФА краще використовувати не як метод прямого визначення родовища, а як інструмент групування монет за складом і виявлення подібностей або відмінностей між ними. Для точнішого визначення джерел металу РФА бажано поєднувати з іншими методами, зокрема ізотопним аналізом свинцю, металографією, SEM-EDS та археологічним контекстом (Pollard et al., 2018).

Питання походження металу тісно пов'язане з проблемою повторного використання сировини. У середньовіччі старі монети, зливки, ювелірні вироби, церковне начиння або інші металеві предмети могли переплавлятися для виготовлення нових емісій. У результаті сплав нових монет міг містити змішані домішки, які не відображають одне конкретне родовище, а є наслідком використання різнорідної вторинної сировини. Саме тому результати РФА слід інтерпретувати не лише з позиції пошуку джерела, а й з урахуванням можливих практик переплавлення.

Показовим у цьому сенсі є порівняння складу литовських монет XIV ст. та чеських, або празьких, грошів XIV-XV ст. У дослідженні І. Сінчука та В. Філонова було проаналізовано результати РФА для цих груп монет і не виявлено суттєвих збігів у складі їхніх сплавів. Для литовських монет характерною була наявність мікродомішок золота, відсутніх у празьких грошах, тоді як празькі гроші карбувалися зі срібла вищої проби з незначними домішками свинцю (Sinchuk, Filonov, 2001). Це дозволило поставити під сумнів припущення про використання празьких грошів як основної сировини для карбування ранніх литовських динарів.

У реконструкції технологій карбування важливим є аналіз монетних заготовок. Якщо дослідник має доступ не лише до готових монет, а й до заготовок, напівфабрикатів або виробничих відходів, РФА дозволяє порівняти їхній склад із готовою продукцією. Це може дати відповідь на питання, чи заготовки належать до того самого виробничого циклу, чи використовувався один

і той самий сплав, чи відбувалося додаткове очищення або легування перед карбуванням. Аналіз заготовок особливо важливий для вивчення місцевих монетних дворів, підпільних майстерень і фальшивомонетного виробництва.

РФА також може допомогти у вивченні браків монетного виробництва. Монети з тріщинами, неповним відбитком, подвійним ударом, зміщенням штемпеля або дефектами заготовки можуть бути пов'язані з технологічними проблемами карбування. Аналіз їхнього складу дозволяє з'ясувати, чи були ці дефекти наслідком механічних помилок, чи вони могли бути пов'язані з властивостями самого сплаву. Наприклад, підвищена крихкість металу могла сприяти появі тріщин; надмірний вміст свинцю або інших домішок міг впливати на пластичність; недостатній відпал заготовки міг спричиняти руйнування під час удару штемпеля.

Найбільш продуктивним є серійний аналіз монет одного типу, одного скарбу або одного регіону. Аналіз окремої монети дає інформацію про конкретний предмет, але дослідження групи монет дозволяє реконструювати виробничі партії, зміни проби, стабільність монетного стандарту, наявність різних джерел сировини або перехід до нової технології. Близькі показники складу в межах групи можуть свідчити про стандартизоване виробництво, а значні коливання - про нестабільність сировини, кризові умови або нецентралізований характер карбування. Саме тому РФА найбільш ефективний не як аналіз окремого артефакту, а як інструмент серійного дослідження.

Результати РФА можуть використовуватися і для реконструкції монетної політики. Зміна проби, перехід від срібних до білонних або мідних емісій, зростання частки міді у срібних монетах, поява покриттів або зниження якості сплаву можуть відображати нестачу дорогоцінного металу, девальвацію, фінансування воєнних витрат, зміну торговельних потоків, монетну реформу або кризу державної влади. Проте такі висновки можливі лише тоді, коли хімічні дані поєднуються з історичними джерелами, нумізматичною типологією та хронологією емісій.

Для середньовічних предметів нумізматики особливе значення має аналіз білонних монет. Білон як низькопробний срібно-мідний сплав може бути складним для інтерпретації, оскільки невеликий вміст срібла може бути як нормою для певної емісії, так і ознакою знецінення або фальсифікації. РФА дозволяє встановити співвідношення срібла й міді, але при цьому необхідно враховувати поверхнєве збагачення сріблом, корозію та можливе штучне сріблення. Тому білонні монети потребують особливо ретельного аналізу в кількох точках.

Методологічно важливо враховувати, що результати РФА характеризують переважно поверхневий шар предмета. У випадку монет це може бути як перевагою, так і обмеженням. Перевагою є те, що метод дозволяє неруйнівно досліджувати музейні й археологічні предмети. Обмеження полягає в тому, що поверхня монети могла змінитися під впливом корозії, очищення, патинування або зношення. Для срібно-мідних сплавів відоме явище поверхневого збагачення сріблом, яке може призводити до завищення показників Ag під час поверхневого аналізу (Beck et al., 2004). Тому реконструкція технології карбування за даними РФА потребує критичного підходу й обов'язкового врахування стану поверхні.

У практичному плані для реконструкції технології карбування доцільно застосовувати кілька рівнів аналізу. Перший рівень - визначення основного складу сплаву. Другий - аналіз другорядних елементів і мікродомішок. Третій - порівняння результатів у різних точках однієї монети. Четвертий - зіставлення монет у межах однієї серії або скарбу. П'ятий - порівняння отриманих даних із результатами дослідження інших емісій, регіонів або монетних дворів. Саме така послідовність дозволяє перейти від окремого вимірювання до історико-технологічної реконструкції.

Отже, РФА є важливим методом реконструкції технологій карбування та джерел металу у середньовічній нумізматиці. Він дозволяє визначати пробу монетного металу, аналізувати основні й домішкові елементи, виявляти технологічні добавки, встановлювати неоднорідність сплаву, досліджувати покриття, порівнювати виробничі партії та перевіряти гіпотези щодо походження

сировини. Водночас РФА має обмеження: поверхневий характер аналізу, вплив корозії, патини, очищення, ліквідації та повторного використання металу. Тому результати цього методу мають інтерпретуватися у поєднанні з традиційною нумізматичною методикою, поштемпельним аналізом, метрологією, археологічним контекстом і, за потреби, іншими археометричними методами.

Таким чином, застосування РФА відкриває можливість переходу від описового вивчення монет до комплексної реконструкції монетного виробництва. Якщо традиційна нумізматика відповідає на питання, що це за монета, коли і ким вона була карбована, то РФА допомагає з'ясувати, з якого металу вона виготовлена, які технологічні прийоми використовувалися, чи відповідає її склад певній емісії, чи пов'язана вона з конкретною групою монет, а також які джерела металу могли бути залучені до її виробництва. Саме тому РФА слід розглядати як один із ключових інструментів сучасної археометричної нумізматики.

3.3. Перспективи комплексного археометричного дослідження нумізматичних пам'яток

Перспективи дослідження середньовічних нумізматичних пам'яток пов'язані з переходом від ізольованого застосування окремих методів до комплексного археометричного підходу. Монета є складним історичним джерелом, яке поєднує матеріальні, технологічні, економічні, політичні та культурні характеристики. Тому її повноцінне вивчення потребує поєднання традиційної нумізматичної методики з природничо-науковими методами аналізу, цифровими технологіями, статистичною обробкою даних і просторовим моделюванням. У цьому контексті РФА є важливим, але не єдиним інструментом. Його результати набувають найбільшої наукової цінності тоді, коли вони співвідносяться з даними типології, метрології, поштемпельного аналізу,

археологічного контексту, металографії, ізотопного аналізу та цифрової фіксації пам'яток.

Комплексне археометричне дослідження передбачає розгляд монети не лише як носія зображення, легенди чи номіналу, а як матеріального об'єкта, у структурі якого збережено інформацію про сировину, технологію виготовлення, умови карбування, обіг, зношення, корозію, фальсифікацію або реставраційні втручання. Саме такий підхід дозволяє перейти від описового рівня дослідження до реконструкції історико-технологічних процесів. Якщо традиційна нумізMATIKA відповідає на питання про емітента, номінал, тип і хронологію монети, то археометрія допомагає з'ясувати, з якого металу вона виготовлена, які домішки містить, чи є сплав типовим для певної емісії, чи використовувалася вторинна сировина, чи є на поверхні покриття, чи відповідає предмет заявленій атрибуції (Pollard et al., 2007; Orfanou & Rehren, 2015).

Одним із ключових напрямів подальшого розвитку є поєднання РФА з металографічними дослідженнями. РФА дає змогу визначити елементний склад поверхневого шару монети, однак не завжди дозволяє встановити внутрішню структуру сплаву, характер кристалізації, ступінь деформації металу, наслідки відпалювання або механічної обробки. Металографія, своєю чергою, дає можливість вивчати мікроструктуру металу, виявляти сліди лиття, кування, відпалювання, наклепу, тріщини, ліквацію та інші технологічні ознаки. Поєднання цих методів дозволяє значно точніше реконструювати виробничий процес, особливо у випадку монет із дефектами карбування, підозрілих фальсифікатів або предметів зі складною історією побутування (Scott, 2002; Pollard et al., 2007).

Перспективним є також використання електронної мікроскопії з енергодисперсійним аналізом, зокрема SEM-EDS. Цей метод дозволяє досліджувати мікроділянки поверхні, фіксувати морфологію корозійних шарів, аналізувати локальні вclusions, виявляти тонкі покриття та уточнювати склад окремих фаз. Якщо РФА дає узагальнену інформацію про склад певної ділянки, то SEM-EDS дозволяє перейти до мікрорівня. Це особливо важливо для вивчення

посріблених, позолочених або білонних монет, де склад поверхні може суттєво відрізнятися від складу ядра. У таких випадках комплексне застосування РФА, мікроскопії та SEM-EDS дозволяє відрізнити природне поверхнєве збагачення від штучного покриття або реставраційного втручання (Beck et al., 2004; Orfanou & Rehren, 2015).

Окреме місце у перспективних дослідженнях посідає ізотопний аналіз, насамперед аналіз ізотопів свинцю. Якщо РФА дозволяє встановити елементний склад сплаву, то ізотопний аналіз може допомогти точніше визначити геологічне походження металу. Це особливо важливо для реконструкції джерел срібла, міді або свинцю, які використовувалися у монетному виробництві. Проте і цей метод має свої обмеження. У середньовіччі метал часто переплавлявся, змішувався, очищувався або повторно використовувався, тому ізотопний «слід» може бути не однозначним. Саме тому ізотопні дані мають інтерпретуватися разом із результатами РФА, історичними джерелами, археологічним контекстом і даними про торговельні маршрути та монетні реформи (Pollard et al., 2018).

Важливим напрямом є формування порівняльних баз даних результатів археометричних досліджень. Окреме вимірювання однієї монети має обмежене значення, якщо його не можна зіставити з іншими даними. Натомість накопичення серійних результатів РФА, SEM-EDS, металографії та ізотопного аналізу дозволяє створювати еталонні групи для різних монетних типів, емітентів, регіонів і хронологічних періодів. Такі бази даних можуть включати хімічний склад, вагу, діаметр, фотографії, поштемпельні зв'язки, інформацію про місце знахідки, стан поверхні, умови аналізу та бібліографію. У перспективі це дозволить ефективніше виявляти аномальні екземпляри, уточнювати атрибуцію та розпізнавати підробки.

Створення таких баз даних має особливе значення для середньовічної нумізматики, де значна частина матеріалу походить зі скарбів, випадкових знахідок, музейних збірок і приватних колекцій. Якщо результати досліджень будуть фіксуватися у стандартизованій формі, це дозволить порівнювати монети з різних регіонів і колекцій. Наприклад, дані про склад срібних, білонних і мідних

монет можуть допомогти простежити зміну проби, поширення певних джерел металу, використання вторинної сировини або появу локальних наслідувань. Особливо важливо фіксувати не лише відсотковий склад елементів, а й умови проведення аналізу: тип приладу, точки вимірювання, стан поверхні, наявність патини, корозії чи очищення.

Перспективним є поєднання археометричних даних із цифровою нумізматиною. Сучасні цифрові ресурси, зокрема онлайн-каталоги, музейні бази, аукціонні архіви та системи Linked Open Data, дають можливість об'єднувати різні типи інформації про монети. Якщо до таких систем інтегрувати результати РФА та інших фізико-хімічних аналізів, це дозволить створити новий рівень дослідницької інфраструктури. Монета у такій базі може бути представлена не лише як зображення та опис, а як комплекс даних: тип, легенда, вага, діаметр, місце знахідки, склад металу, штемпельні зв'язки, стан збереження та посилання на наукові публікації (Meadows & Gruber, 2014; Tolle & Wigg-Wolf, 2015).

Значні перспективи має застосування ГІС-технологій. Просторове картографування знахідок монет у поєднанні з результатами РФА може допомогти виявляти регіональні особливості обігу, переміщення металу, зони поширення певних емісій і можливі центри виробництва. Якщо монети одного типу, знайдені у різних регіонах, мають близький склад металу, це може свідчити про централізоване карбування або спільне джерело сировини. Якщо ж склад істотно відрізняється, можна припускати локальні наслідування, різні виробничі партії або використання місцевої сировини. Таким чином, ГІС дозволяє перейти від аналізу окремих предметів до просторової реконструкції економічних і технологічних процесів.

Комплексне археометричне дослідження може бути особливо корисним для вивчення скарбів. Скарб є не випадковою сукупністю монет, а історичним комплексом, що відображає певну ситуацію накопичення, приховування або обігу. Аналіз складу монет у межах одного скарбу дозволяє з'ясувати, чи належать вони до різних виробничих партій, чи є серед них фальсифікати, чи відрізняються вони за пробою, чи простежується хронологічна зміна складу

металу. У поєднанні з типологією, датуванням і топографією це дозволяє реконструювати не лише склад грошового накопичення, а й ширші економічні умови його формування.

Важливою перспективою є також застосування статистичних методів для обробки археометричних даних. Результати РФА часто представлені у вигляді таблиць із відсотковим вмістом елементів. Якщо таких даних багато, їх можна аналізувати за допомогою кластерного аналізу, головних компонент, кореляційного аналізу та інших статистичних процедур. Це дозволяє виявляти групи монет зі схожим складом, аномальні екземпляри, закономірності зміни проби або зв'язки між елементами. Проте статистична обробка має сенс лише за умови якісної вибірки, стандартизованої методики вимірювань і критичного врахування стану поверхні монет.

У перспективі археометричні дані можуть бути використані і для машинного навчання. Якщо накопичити достатньо перевірених даних про автентичні монети, фальсифікати, різні емісії та монети з відомих скарбів, алгоритми можуть допомагати у попередній класифікації предметів за сукупністю ознак. До таких ознак можуть належати елементний склад, вага, діаметр, типологічні характеристики, зображення, штемпельні зв'язки та місце знахідки. Водночас такі методи не повинні замінювати експертний аналіз. Вони можуть бути лише допоміжним інструментом, оскільки якість результату залежить від якості вихідних даних і правильності їх інтерпретації.

Одним із важливих завдань майбутніх досліджень є стандартизація методики РФА у нумізматиці. Часто результати різних досліджень важко порівнювати між собою через відмінності у приладах, режимах аналізу, кількості точок вимірювання, стані поверхні, способах очищення та формах подання результатів. Тому перспективним є вироблення єдиних вимог до протоколювання: зазначення моделі приладу, параметрів вимірювання, тривалості експозиції, точок аналізу, стану поверхні, наявності корозії, патини чи реставрації. Така стандартизація підвищить відтворюваність досліджень і дозволить створювати надійні порівняльні масиви даних.

Окремою проблемою залишається інтерпретація поверхневих даних. РФА аналізує переважно поверхневий шар монети, який може бути змінений корозією, очищенням, патинуванням або зношенням. Для срібно-мідних сплавів відоме явище поверхневого збагачення сріблом, яке може призводити до завищення частки Ag у результатах аналізу (Beck et al., 2004). Для мідних сплавів корозійні продукти також можуть суттєво змінювати показники. Тому перспективним є поєднання РФА з методами, які дозволяють уточнювати структуру поверхневих шарів, зокрема мікроскопією, SEM-EDS, рентгенівською дифракцією та, у виняткових випадках, аналізом мікрошліфів.

Перспективи комплексного дослідження пов'язані і з вивченням фальсифікатів. Давні фальшиві монети є важливим історичним джерелом, оскільки відображають реальні умови грошового обігу, рівень контролю за монетною справою та економічну привабливість певних номіналів. Сучасні підробки, своєю чергою, становлять проблему для музейної та колекційної практики. Поєднання РФА, мікроскопії, поштемпельного аналізу та цифрового порівняння зображень дозволяє ефективніше розмежовувати автентичні монети, давні фальсифікати та сучасні імітації. Це має практичне значення для музеїв, експертів, археологів і колекціонерів (Бойко-Гагарін, 2017; Orlyk, 2021; Орлик, 2024).

Ще одним перспективним напрямом є дослідження реставраційних втручань і консерваційних матеріалів. У багатьох музейних колекціях монети могли неодноразово очищуватися, покриватися захисними речовинами або зазнавати локального ремонту. Такі втручання можуть впливати на результати РФА та ускладнювати інтерпретацію. Тому комплексне дослідження має включати не лише аналіз металу, а й фіксацію історії зберігання, консервації та реставрації предмета. Це дозволить відокремлювати первинні технологічні ознаки від пізніших змін.

Важливою перспективою є також міждисциплінарна співпраця. Повноцінне археометричне дослідження нумізматичних пам'яток потребує участі нумізматів, археологів, хіміків, фізиків, реставраторів, музейних

працівників, фахівців із цифрових технологій і статистики. Нумізмат забезпечує історичну й типологічну інтерпретацію, археолог враховує контекст знахідки, хімік і фізик відповідають за коректність аналізу, реставратор оцінює стан поверхні та втручання, цифровий фахівець допомагає з базами даних і візуалізацією. Лише така співпраця дозволяє уникнути однобічних висновків.

Для української нумізматики комплексні археометричні дослідження мають особливе значення. Територія України у середньовіччі була простором взаємодії різних монетних систем: Русі, Візантії, Золотої Орди, Кримського ханства, Великого князівства Литовського, Польського королівства, Молдавського князівства, Угорщини та інших політичних утворень. Саме тому монетні знахідки з українських земель є надзвичайно різноманітними за походженням, типами, металом і технологіями виготовлення. Комплексний аналіз таких матеріалів може допомогти не лише уточнити атрибуцію окремих предметів, а й реконструювати торговельні зв'язки, напрями руху металу, регіональні особливості обігу та взаємодію різних економічних зон.

Окрему перспективу становить дослідження локальних наслідувань і прикордонних монетних явищ. На територіях, де перетиналися кілька монетних систем, могли виникати місцеві імітації, переробки, фальсифікати або гібридні типи. Традиційними методами не завжди можна точно визначити їхнє походження. РФА у поєднанні з типологією, поштемпельним аналізом і топографією знахідок може допомогти встановити, чи такі предмети виготовлялися з місцевої сировини, чи наслідували чужі монетні стандарти, чи пов'язані вони з конкретними регіональними ринками.

Комплексний археометричний підхід має значення і для музейної атрибуції. У багатьох музейних збірках зберігаються монети зі старих надходжень, для яких відсутні точні дані про місце знахідки або обставини потрапляння до колекції. У таких випадках археометричний аналіз може надати додаткові аргументи для уточнення атрибуції. Якщо склад металу монети відповідає певній групі аналогів, це може посилити її визначення. Якщо ж склад

нетиповий, предмет потребує додаткової перевірки. Таким чином, РФА та інші методи можуть стати важливим інструментом переатрибуції музейних колекцій.

Перспективним є також застосування археометрії у навчальному процесі та підготовці фахівців. Сучасний нумізмат має володіти не лише традиційними методами атрибуції, а й базовим розумінням фізико-хімічних методів аналізу. Це не означає, що історик повинен замінити хіміка або фізика, але він має розуміти можливості й обмеження РФА, принципи інтерпретації спектрів, вплив корозії, патини, поверхневого збагачення та неоднорідності сплаву. Така підготовка дозволить уникати помилкових висновків і ефективніше використовувати результати природничо-наукових досліджень у гуманітарному контексті.

Не менш важливою є проблема відкритості даних. Результати РФА та інших археометричних аналізів часто залишаються у внутрішніх звітах, не публікуються повністю або подаються без достатнього опису методики. Це обмежує можливість їх подальшого використання. Перспективним є публікування не лише узагальнених висновків, а й таблиць складу, опису точок вимірювання, фотографій, параметрів приладу та інформації про стан поверхні. Така відкритість дозволить іншим дослідникам перевіряти результати, порівнювати матеріали та формувати ширші наукові узагальнення.

Отже, перспективи комплексного археометричного дослідження нумізматичних пам'яток полягають у поєднанні РФА з іншими методами аналізу, цифровими технологіями, статистичною обробкою, ГІС-картографуванням і традиційною нумізматичною експертизою. Такий підхід дозволяє не лише визначати склад металу, а й реконструювати технології виробництва, джерела сировини, особливості монетної політики, шляхи обігу, фальсифікації та реставраційні втручання. Водночас ефективність цього напряму залежить від стандартизації методики, якості джерельної бази, міждисциплінарної співпраці та критичної інтерпретації результатів.

Таким чином, комплексна археометрія відкриває для нумізматики нові можливості. Вона дозволяє перейти від вивчення монети як ізольованого предмета до аналізу її місця у системі виробництва, обігу, використання та

збереження. Для середньовічних нумізматичних пам'яток це особливо важливо, оскільки їхній матеріальний склад часто містить інформацію, яку неможливо отримати лише за допомогою візуального або типологічного аналізу. Саме тому майбутнє нумізматичної експертизи пов'язане не з відмовою від традиційної методики, а з її поглибленням через застосування природничо-наукових і цифрових інструментів.

ВИСНОВКИ

У результаті аналізу історіографії встановлено, що проблема використання рентгенофлуоресцентного аналізу у дослідженні та експертизі середньовічних нумізматичних предметів перебуває на перетині кількох наукових напрямів: нумізматики, археометрії, металознавства, історії технологій, музейної експертизи та досліджень фальшивомонетництва. У працях українських і зарубіжних дослідників розглядаються питання складу монетних сплавів, технологій карбування, фальсифікацій, поверхневого збагачення сріблом, корозії, реставраційних втручань і походження металу. Водночас історіографічний огляд засвідчив, що РФА не може розглядатися як самодостатній метод експертизи, оскільки його результати потребують зіставлення з традиційними нумізматичними методами, історичним контекстом, метрологічними показниками та станом збереження предмета.

Джерельна база дослідження має комплексний характер і охоплює кілька основних груп джерел. Її основу становлять самі нумізматичні предмети: монети, грошові зливки, заготовки, штемпелі, виробничі відходи, скарби та окремі знахідки. Важливе значення мають письмові джерела, каталоги, музейні описи, наукові публікації, матеріали конференцій, цифрові ресурси, онлайн-каталоги та результати попередніх археометричних досліджень. Окрему групу становлять аналітичні джерела, зокрема результати РФА, які дають змогу фіксувати елементний склад металу та використовувати ці дані для атрибуції, експертизи, виявлення фальсифікацій і реконструкції технологій монетного виробництва.

Методологічні засади застосування природничо-наукових методів у нумізматиці ґрунтуються на принципах об'єктивності, історизму, системності, розвитку та багатовимірності. Принцип об'єктивності передбачає неупереджений аналіз нумізматичного предмета за сукупністю перевірюваних ознак. Принцип історизму орієнтує на розгляд монетного металу, технологій карбування та фальсифікацій у контексті конкретної доби, монетної системи та рівня розвитку виробництва. Принцип системності дозволяє аналізувати монету як частину ширшого виробничого, економічного й культурного процесу.

Застосування природничо-наукових методів, зокрема РФА, є найбільш ефективним тоді, коли вони поєднуються з типологічним, метрологічним, поштемпельним, топографічним і джерелознавчим аналізом.

Фізичні основи рентгенофлуоресцентного аналізу полягають у збудженні атомів досліджуваного матеріалу первинним рентгенівським випромінюванням і реєстрації вторинного характеристичного випромінювання. Енергія цього випромінювання є специфічною для кожного хімічного елемента, що дає змогу визначати наявність у складі монети міді, срібла, золота, свинцю, олова, цинку, заліза, нікелю, сурми, миш'яку, вісмуту та інших елементів. Інтенсивність спектральних ліній, за умови коректного калібрування та врахування матричних ефектів, може використовуватися для кількісного або напівкількісного визначення складу сплаву. Водночас встановлено, що РФА характеризує переважно поверхневий шар предмета, тому його результати потребують критичної інтерпретації.

Основними видами РФА, які можуть застосовуватися у дослідженні нумізматичних предметів, є стаціонарний лабораторний РФА, портативний РФА, мікро-РФА, енергодисперсійний РФА та хвильодисперсійний РФА. Стаціонарний лабораторний РФА забезпечує вищу точність і контрольованість вимірювань; портативний РФА дозволяє проводити аналіз безпосередньо у музеях, фондосховищах або польових умовах; мікро-РФА дає можливість досліджувати локальні ділянки поверхні. Енергодисперсійний РФА є зручним для швидкого експрес-аналізу, тоді як хвильодисперсійний РФА забезпечує кращу спектральну роздільну здатність. Вибір конкретного виду РФА залежить від завдань експертизи, стану предмета, необхідної точності та можливості переміщення об'єкта до лабораторії.

Методика підготовки та проведення РФА нумізматичних предметів повинна включати кілька послідовних етапів: попередню атрибуцію, фотофіксацію, оцінку стану поверхні, вибір точок вимірювання, налаштування й калібрування приладу, проведення серії вимірювань, протоколювання результатів та їх критичну інтерпретацію. Особливо важливим є проведення аналізу в кількох

точках: на аверсі, реверсі, полі, рельєфі, гурті, ділянках зношення, корозії або можливого покриття. Одне вимірювання в одній точці не може вважатися достатнім для повної характеристики середньовічної монети. Результати РФА мають подаватися разом із зазначенням стану поверхні, параметрів приладу, умов аналізу й точок вимірювання.

РФА має значний потенціал у виявленні фальсифікацій і реставраційних втручань. Метод дозволяє встановлювати невідповідність між зовнішнім виглядом монети та її фактичним складом, виявляти посріблення, золочення, мідну основу під благородним покриттям, білонні сплави, локальні ремонти, сліди пайки, сучасні домішки та пізніші втручання у поверхню предмета. Водночас висновок про фальсифікацію не повинен ґрунтуватися лише на результатах РФА. Він має враховувати типологічні, метрологічні, поштемпельні, стилістичні й консерваційні ознаки. Особливо важливо розрізняти давні фальсифікати, які самі є історичними джерелами, сучасні підробки та предмети, змінені внаслідок реставрації.

Значення РФА для реконструкції технологій карбування та джерел металу полягає у можливості визначення проби монетного металу, аналізу основних і домішкових елементів, виявлення технологічних добавок, неоднорідності сплаву, ознак переплавлення, використання білону, бронзи, латуні або мідно-свинцевих сплавів. Дані РФА можуть свідчити про якість монетної продукції, зміни монетного стандарту, виробничі партії, технологічні особливості конкретного монетного двору або використання вторинної сировини. Водночас можливості РФА у визначенні джерел металу є обмеженими: елементний склад і мікродомішки можуть вказувати на подібність або відмінність груп монет, але не завжди дозволяють точно встановити конкретне родовище. Для цього РФА доцільно поєднувати з ізотопним аналізом, металографією, SEM-EDS та археологічним контекстом.

Перспективи комплексного археометричного дослідження нумізматичних пам'яток полягають у поєднанні РФА з іншими методами аналізу: мікроскопією, SEM-EDS, металографією, ізотопним аналізом, поштемпельним аналізом,

метрологією, цифровою фотофіксацією, ГІС-картографуванням і статистичною обробкою даних. Такий підхід дозволяє розглядати монету не лише як окремий предмет, а як частину ширшої системи виробництва, обігу, фальсифікації, реставрації та збереження. Важливою перспективою є створення баз даних результатів РФА-досліджень, які мають містити відомості про тип монети, емітента, дату, вагу, діаметр, місце знахідки, стан поверхні, точки вимірювання, параметри приладу та бібліографічні дані. Саме комплексний підхід забезпечує найбільш обґрунтовані висновки щодо автентичності, технології виготовлення та історичного значення середньовічних нумізматичних предметів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алфьоров О. Городницький скарб срібляників Володимира Великого та Святополка Окаянного (попереднє повідомлення). Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Переяслав, Кропивницький, Київ, 17-18 верес. 2020 р.). Переяслав; Кропивницький; Київ, 2020. С. 51-53.
2. Антонович В. Археологическая карта Киевской губернии. Киев, 1895. 139, 20 с.
3. Бакалець О. Знахідки монет Золотої Орди та Кримського ханства XIV-XVIII ст. на території Вінниччини. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 5-6 листоп. 2015 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 43-45.
4. Бойко-Гагарін А. Види браків монетного виробництва доби середньовіччя. Наукові записки з української історії. 2013. Вип. 33. С. 72-80.
5. Бойко-Гагарін А. С. Фальшиві монети у Кримському ханстві другої половини XV-XVI ст. Спеціальні історичні дисципліни. 2011. Число 18. С. 25-32.
6. Бойко-Гагарін А. С. Фальшивомонетничество в Центральной и Восточной Европе в эпоху Средневековья и раннего Нового времени: монографія. Київ: Українська конфедерація журналістів, 2017. 549 с.
7. Бойко-Гагарін А., Осипенко М. Мідні монети Візантії з Києва з колекції сім'ї Богдана та Варвари Ханенків (за матеріалами НМІУ). Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Меджибіж, Переяслав-Хмельницький, Кропивницький, Київ, 21-22 черв. 2018 р.). Меджибіж; Переяслав-Хмельницький; Кропивницький; Київ, 2018. С. 51-53.
8. Булава Л. Невеликий комплекс джучидських дангів 1370-х років. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 5-6 листоп. 2015 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 38-40.
9. Дубіцька В. До питання класифікації давньоруських гривень київського типу в нумізматичній збірці НМІУ. Наукові записки з української історії. 2013. Вип. 33. С. 46-52.
10. Дубіцька В. Графіті на давньоруських гривнях київського типу в колекції НМІУ. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 22-23 черв. 2016 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2016. С. 40-41.

11. Єскін Д., Литвинчук О. Рідкісні грошові зливки з-під Олики. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Переяслав, Кропивницький, Київ, 17-18 верес. 2020 р.). Переяслав; Кропивницький; Київ, 2020. С. 68-73.
12. Жарко В. Скарб фальшивих гістаменонів і платіжних злиwkів з Городецького району Львівської області. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 5-6 листоп. 2015 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 28-31.
13. Зайончковський Ю. Джучидські срібні монети, відкарбовані від імені хана Саїд Ахмада. Наукові записки з української історії. 2013. Вип. 33. С. 81-87.
14. Зайончковський Ю., Шептуха В. Джучидські данги середини 1410-х рр., відкарбовані у Бек-Базарі. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 22-23 черв. 2016 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2016. С. 49-51.
15. Зайончковський Ю., Тішкін В. До питання про персоніфіковані найменування монетних дворів на пізніх джучидських срібних монетах. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Меджибіж, Переяслав-Хмельницький, Кропивницький, Київ, 21-22 черв. 2018 р.). Меджибіж; Переяслав-Хмельницький; Кропивницький; Київ, 2018. С. 72-75.
16. Зайончковський Ю., Тішкін В. Срібні монети хана «Великої орди» Саїд-Ахмада II з мусульманським символом віри на реверсі та рядковою легендою аверсу. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Переяслав, Кропивницький, Київ, 17-18 верес. 2020 р.). Переяслав; Кропивницький; Київ, 2020. С. 85-88.
17. Зразюк З. До питання про атрибуцію і датування скарбу із с. Тарасовичі Жуківського р-ну Київської округи (знахідка 1928 р.). Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Меджибіж, Переяслав-Хмельницький, Кропивницький, Київ, 21-22 черв. 2018 р.). Меджибіж; Переяслав-Хмельницький; Кропивницький; Київ, 2018. С. 80-85.
18. Івакін Г., Івакін В., Баранов В. Спроба карбування (?) візантійських монет у давньому Києві (попереднє повідомлення). Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Меджибіж, Переяслав-Хмельницький, Кропивницький, Київ, 21-22 черв.

2018 р.). Меджибіж; Переяслав-Хмельницький; Кропивницький; Київ, 2018. С. 48-49.

19. Івакін Г., Козубовський Г. Нумізматичні знахідки XIV-XV ст. з розкопок Михайлівського Золотоверхого Собору. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 5-6 листоп. 2015 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 50.

20. Калініченко В., Пивоваров С. Знахідки монет Молдавського князівства на Чорнівському городищі. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Переяслав, Кропивницький, Київ, 17-18 верес. 2020 р.). Переяслав; Кропивницький; Київ, 2020. С. 88-91.

21. Келембет С. Литовсько-католицькі князі в Сіверській землі: 1401-1452 рр. Сіверянський літопис. 2019. № 4-5. С. 8-32.

22. Коваленко Ю. Монети Золотої Орди з давньоруського Глухова та його округи. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 5-6 листоп. 2015 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 40-43.

23. Козубовський Г. Про один платіж кінця XIV ст. Наукові записки з української історії. 2013. Вип. 33. С. 61-63.

24. Колибенко О., Колибенко О. До питання про монети від боярина Ратибора. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 5-6 листоп. 2015 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 31-33.

25. Колибенко О., Прядко О. Скарб монетних гривень з Переяслава 2014 р. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Переяслав, Кропивницький, Київ, 17-18 верес. 2020 р.). Переяслав; Кропивницький; Київ, 2020. С. 62-68.

26. Котляр М. Ф. Грошовий обіг на території України доби феодалізму. Київ: Наукова думка, 1975.

27. Котляр М. Ф. Кладоискательство и нумизматика. Київ: Наукова думка, 1975.

28. Коцур В. Актуальні напрямки та організаційні засади сучасних досліджень середньовічної нумізматики в Україні. Наукові записки з української історії. 2013. Вип. 33. С. 3-8.

29. Коцур В., Орлик В., Шостопап А. Комплекс візантійських солідів VII ст. із с. Озерище Черкаського району Черкаської області. Актуальні проблеми

нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Переяслав, Кропивницький, Київ, 17-18 верес. 2020 р.). Переяслав; Кропивницький; Київ, 2020. С. 41-45.

30. Кулешов С. Наслідування європейським денаріям VIII-X століть як об'єкт нумізматичного дослідження. Наукові записки з української історії. 2013. Вип. 33. С. 22-31.

31. Кулешов С. Про деякі наслідування німецьких денаріїв XI століття, знайдені на Чернігівщині. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 5-6 листоп. 2015 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 36-38.

32. Кулешов С. Де було карбовано знайдену в Україні монету з іменем короля Гарольда? Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 22-23 черв. 2016 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2016. С. 33-36.

33. Кулешов С. Рідкісний західноєвропейський денарій XIII століття, знайдений в Україні. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Меджибіж, Переяслав-Хмельницький, Кропивницький, Київ, 21-22 черв. 2018 р.). Меджибіж; Переяслав-Хмельницький; Кропивницький; Київ, 2018. С. 60-62.

34. Кулешов С., Шатайло М. Мідні імітації денаріїв великого князя литовського Казимира IV Ягеллончика, знайдені на Сумщині. Український нумізматичний щорічник. 2025. Вип. 9. С. 116-128.

35. Курок О., Бакалець О. Скарб золотоординських, турецьких і татарських монет XIV-XVI ст. із с. Устя Бершадського району Вінницької області. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Меджибіж, Переяслав-Хмельницький, Кропивницький, Київ, 21-22 черв. 2018 р.). Меджибіж; Переяслав-Хмельницький; Кропивницький; Київ, 2018. С. 75-80.

36. Ластовський В. Походження міста Черкаси в контексті нумізматичних матеріалів. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 22-23 черв. 2016 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2016. С. 45-47.

37. Литвинчук О. Знахідка скарбу з гривнями волинського типу поблизу Луцька. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ,

Переяслав-Хмельницький, 22-23 черв. 2016 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2016. С. 41-45.

38. Литвинчук О. Щодо іконографії денаріїв Волинського князівства. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Меджибіж, Переяслав-Хмельницький, Кропивницький, Київ, 21-22 черв. 2018 р.). Меджибіж; Переяслав-Хмельницький; Кропивницький; Київ, 2018. С. 62-66.

39. Литвинчук О. Монета Вітовта, карбована в Луцьку. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Переяслав, Кропивницький, Київ, 17-18 верес. 2020 р.). Переяслав; Кропивницький; Київ, 2020. С. 79-81.

40. Мережко Н., Пірковіч К., Ковтун О. Автентичність нумізматичних пам'яток зі срібла на прикладі гривні давньої Русі. Український нумізматичний щорічник. 2025. Вип. 9. С. 252-264. DOI: 10.31470/2616-6275-2025-9-252-264.

41. Орлик В. М. До питання започаткування монетного карбування в державах хрестоносців (на прикладі Едеського графства). Спеціальні історичні дисципліни. 2011. Число 18. С. 157-162.

42. Орлик В. Монеты государства Тевтонского ордена в Пруссии в составе денежных и денежно-вещевых кладов, найденных на территории Украины. Наукові записки з української історії. 2013. Вип. 33. С. 39-45.

43. Орлик В. Знахідки на Волині монет банату Северин із символікою Тевтонського ордену. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 5-6 листоп. 2015 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 46-47.

44. Орлик В. Обрізаний шилінг магістра Тевтонського ордену Міхаеля Кюхмейстер фон Штернберга, знайдений на Львівщині. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 22-23 черв. 2016 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2016. С. 54-56.

45. Орлик В. М. Третій хрестовий похід і зміна монетної системи Кіпру. Науковий вісник Ізмаїльського державного гуманітарного університету. Серія: Історичні науки. 2024. Вип. 67. С. 68-77. DOI: 10.31909/26168774.2024-(67)-6.

46. Погорілець О. Рахункові одиниці Подільської землі та Галицької Русі: «подільська копа» та «руська копа» (II пол. XIV-XV ст.) - щодо питання виникнення та монетного наповнення. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 5-6 листоп. 2015 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 48-50.

47. Потильчак О. Нововиявлений комплекс східних монет VIII-X століть з Нижнього Подніпров'я. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Переяслав, Кропивницький, Київ, 17-18 верес. 2020 р.). Переяслав; Кропивницький; Київ, 2020. С. 46-49.
48. Прядко О. Давньоруське городище поблизу міста Золотоноша. Нові археологічні та нумізматичні знахідки. Наукові записки з української історії. 2013. Вип. 33. С. 53-60.
49. Саввов Р. Проблеми атрибуції київського півгроша. Наукові записки з української історії. 2013. Вип. 33. С. 64-67.
50. Саввов Р. Печатка «Корибута» - речовий доказ давнього фальшування. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Меджибіж, Переяслав-Хмельницький, Кропивницький, Київ, 21-22 черв. 2018 р.). Меджибіж; Переяслав-Хмельницький; Кропивницький; Київ, 2018. С. 68-71.
51. Тетеря Д., Прядко О. Знахідка візантійської монети на території Південно-Західної Переяславщини. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 22-23 черв. 2016 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2016. С. 26-29.
52. Фізико-хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини: навч. посіб. для студентів спеціальності 032 «Історія та археологія» / В. М. Кропівний, В. М. Орлик, О. В. Кузик, А. В. Кропівна; за ред. В. М. Кропівного. Кропивницький: ЦНТУ, 2023. 265 с.
53. Хромов К. К. До проблеми інтерпретації епітета «Ал-Джедід» на джучидських монетах. Спеціальні історичні дисципліни. 2011. Число 18. С. 214-221.
54. Хромов К. Мідні східні монети другої половини XI - першої третини XIII ст. на території Київського князівства в контексті проблеми «безмонетного періоду» в Русі. Наукові записки з української історії. 2013. Вип. 33. С. 32-38.
55. Хромова І. К. Наслідування монет Червоної Русі з Середнього Подніпров'я. Спеціальні історичні дисципліни. 2011. Число 18. С. 222-225.
56. Хромова І. Дві новознайдені монети Дмитра Корибута Ольгердовича. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 22-23 черв. 2016 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2016. С. 47-48.
57. Хромова І. Студії з середньовічної нумізматики в Україні: традиції, виклики та перспективи. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних

галузей історичної науки: тези доп. VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Переяслав, Кропивницький, Київ, 17-18 верес. 2020 р.). Переяслав; Кропивницький; Київ, 2020. С. 91-97.

58. Шапринський В. Роль срібляників та арабських дирхемів у грошовому обігу Київської Русі. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Меджибіж, Переяслав-Хмельницький, Кропивницький, Київ, 21-22 черв. 2018 р.). Меджибіж; Переяслав-Хмельницький; Кропивницький; Київ, 2018. С. 42-47.

59. Шостопал А. Басейн р. Тясмин: на перетині двох монетних систем. Наукові записки з української історії. 2013. Вип. 33. С. 68-71.

60. Шостопал А. Знахідки давньоруських монет на Черкащині. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Переяслав, Кропивницький, Київ, 17-18 верес. 2020 р.). Переяслав; Кропивницький; Київ, 2020. С. 53-58.

61. Шуліка М. Топографія знахідок монет візантійського Херсону в Україні (Полтавська область). Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 5-6 листоп. 2015 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 25-27.

62. Шуліка М. Топографія знахідок монет візантійського Херсона в Україні (Полтавська область). Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 22-23 черв. 2016 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2016. С. 29-33.

63. Янов Д. Нові дані про східні монети в колекції Одеського історико-краєзнавчого музею. Актуальні проблеми нумізматики у системі спеціальних галузей історичної науки: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Кіровоград, Київ, Переяслав-Хмельницький, 22-23 черв. 2016 р.). Кіровоград; Київ; Переяслав-Хмельницький, 2016. С. 52-54.

64. Beck L., Bosonnet S., Réveillon S., Eliot D., Pilon F. Silver surface enrichment of silver-copper alloys: a limitation for the analysis of ancient silver coins by surface techniques. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B. 2004. Vol. 226. P. 153-162. DOI: 10.1016/j.nimb.2004.06.044.

65. Beckhoff B., Kanngießner B., Langhoff N., Wedell R., Wolff H. Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis. Berlin; Heidelberg: Springer, 2006.

66. Butcher K., Ponting M. The Metallurgy of Roman Silver Coinage: From the Reform of Nero to the Reform of Trajan. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.

67. Coles J. Experimental Archaeology. London: Academic Press, 1979.

68. Constantinescu B., Bugoi R., Oberländer-Târnoveanu E., Parvan K. Some considerations on X-ray fluorescence use in museum measurements: the case of medieval silver coins. *Romanian Reports in Physics*. 2005. Vol. 57. No. 4. P. 1021-1031.
69. Constantinescu B., Bugoi R., Oberländer-Târnoveanu E., Parvan K. Medieval silver coins analyses by PIXE and ED-XRF techniques. *Romanian Journal of Physics*. 2009. Vol. 54. No. 5-6. P. 481-490.
70. Denier - Casimir IV Jagiellon. Items from the Grand Duchy of Lithuania. Numista. URL: <https://en.numista.com/313469>.
71. Gitler H., Ponting M. The Silver Coinage of Septimius Severus and His Family, 193-211 AD: A Study of the Chemical Composition of the Roman and Eastern Issues. Milano: Ennerre, 2003. 159 p. (Glaux; 16).
72. Gitler H., Ponting M. Chemical analysis of medieval Islamic coin dies. *The Numismatic Chronicle*. 2006. Vol. 166. P. 321-326.
73. Grierson P. Numismatics. Oxford: Oxford University Press, 1975.
74. IAEA. Sampling, Storage and Sample Preparation Procedures for X Ray Fluorescence Analysis of Environmental Materials. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1997. 99 p. (IAEA-TECDOC-950).
75. Ivanauskas E., Douchis R. Coins of Lithuania 1387-1707. Vilnius, 1999.
76. Janoha H. Mennica fałszerska na zamku w Starym Drawsku. Mennice między Bałtykiem a Morzem Czarnym - wspólnota dziejów: materiały z III Międzynarodowej Konferencji Numizmatycznej (Supraśl, 10-12 IX 1998). Warszawa, 1998. S. 41-51.
77. Jenkins R. X-Ray Fluorescence Spectrometry. 2nd ed. New York: Wiley, 1999.
78. Kopicki E. Ilustrowany skorowidz pieniędzy polskich i z Polską związanych. Warszawa, 1995. Cz. 1.1. Tablice. Poz. 1-7058.
79. Kopicki E. Ilustrowany skorowidz pieniędzy polskich i z Polską związanych. Warszawa, 1995. Cz. 1.1. Teksty. Poz. 1-7058.
80. Kryżaniwskij A. Próba rekonstrukcji nie notowanych skarbów monet XIV-XV wieku na Ukrainie Zachodniej. *Biuletyn Numizmatyczny*. 2009. Nr 3 (335). S. 161-180.
81. Meadows A., Gruber E. Coinage and numismatic methods: a case study of linking a discipline. *ISAW Papers*. 2014. No. 7.15.
82. Metcalf D. M. An Atlas of Anglo-Saxon and Norman Coin Finds, c. 973-1086. London: Royal Numismatic Society, 1998.
83. Orfanou V., Rehren T. A review of archaeological silver analysis. *Journal of Archaeological Science*. 2015. Vol. 56. P. 94-110.
84. Orlyk V. False coins of the Teutonic Order State in Prussia in the currency of South-Rus Lands of the Lithuanian Grand Duchy. *Pieniądz i systemy monetarne* -

wspólne dziedzictwo Europy. Studia i materiały. Augustów; Warszawa, 2012. S. 112-115.

85. Orlyk V. Coins in Byzantine style with the Latin letters R-E-X. *The Numismatic Chronicle*. 2021. Vol. 181. P. 233-246.

86. Orlyk V., Kropivnyi V. Copper coins of the Principality of Antioch (1103-1130): physico-chemical analysis. *Skhidnoievropeiskyi Istorychnyi Visnyk / East European Historical Bulletin*. 2025. Issue 36. P. 8-23. DOI: 10.24919/2519-058X.36.339342.

87. Outram A. K. Introduction to experimental archaeology. *World Archaeology*. 2008. Vol. 40. No. 1. P. 1-6. DOI: 10.1080/00438240801889456.

88. Pininski J. Pojęcie monety fałszywej w późnym średniowieczu. *Wiadomości Numizmatyczne*. 1976. R. XX, z. 4. S. 239-242.

89. Pininski J. Znaleziska fałszywych monet z Polski późnośredniowiecznej. Psucie pieniądza w Europie Środkowo-Wschodniej od antyku po czasy współczesne: materiały z VII Międzynarodowej Konferencji Numizmatycznej (Białystok-Augustów, 7-10 wrześ. 2006 r.). Warszawa, 2006. S. 239-242.

90. Pollard A. M., Batt C. M., Stern B., Young S. M. M. *Analytical Chemistry in Archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

91. Pollard A. M., Bray P., Cuénod A., Hommel P., Hsu Y.-K., Liu R., Perucchetti L., Pouncett J., Saunders M. *Beyond Provenance: New Approaches to Interpreting the Chemistry of Archaeological Copper Alloys*. Leuven: Leuven University Press, 2018. DOI: 10.2307/j.ctv7xbs5r.

92. Sajauskas St., Kaubrys D. *Lietuvos Didžiosios Kunigaikštystės numizmatika*. Vilnius, 1993.

93. Scott D. A. *Copper and Bronze in Art: Corrosion, Colorants, Conservation*. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2002.

94. Sinchuk I., Filonov B. About several numismatic subjects from the physico-chemical point of view. *Proceedings of the 3rd International Numismatic Congress in Croatia (INCC) (Pula, October 11th-14th, 2001)*. Pula, 2001. P. 210-211.

95. Van Grieken R., Markowicz A. A. *Handbook of X-Ray Spectrometry*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 2002.

96. Wigg-Wolf D., Tolle K. Linked Open Data for Coin Finds: Antike Fundmünzen in Europa (AFE). *Proceedings of the XVI International Numismatic Congress, Warsaw 2022*. Vol. IV. Turnhout: Brepols, 2025. P. 267-274.

ДОДАТКИ

Алгоритм проведення РФА нумізматичного предмета

№	Дія	Пояснення
1	Визначення мети аналізу	Атрибуція, перевірка автентичності, виявлення покриття, аналіз складу сплаву
2	Огляд предмета	Виявлення корозії, патини, слідів очищення, тріщин, пошкоджень
3	Фотофіксація	Фотографування аверсу, реверсу, гурту та проблемних ділянок
4	Вибір точок вимірювання	Не менше кількох точок на різних ділянках монети
5	Налаштування приладу	Вибір режиму аналізу, експозиції, фільтрів, калібрування
6	Проведення вимірювань	Аналіз кожної точки з фіксацією параметрів
7	Перевірка повторюваності	Порівняння результатів у різних точках
8	Аналіз отриманих даних	Визначення основних елементів, домішок, можливих покриттів
9	Порівняння з нумізматичними даними	Зіставлення складу з типом, номіналом, емітентом і хронологією
10	Формування висновку	Встановлення складу металу, можливих ознак фальсифікації або реставрації

Основні елементи, які визначаються під час РФА нумізматичних предметів

Елемент	Можливе значення для експертизи
Ag	Визначення срібної основи монети, проби срібла, білонного складу
Cu	Основний компонент мідних сплавів; домішка у срібних монетах
Au	Ознака золотого сплаву або природна домішка у сріблі
Pb	Може свідчити про рудну сировину, технологію плавлення або домішки у сплаві
Sn	Компонент бронзи, важливий для аналізу мідних сплавів
Zn	Ознака латуні або мідно-цинкових сплавів
Fe	Може бути домішкою, наслідком корозії або забруднення поверхні
Ni	Домішка у мідних сплавах, іноді важлива для порівняння груп монет
As	Мікродомішка, що може бути пов'язана з рудною сировиною
Sb	Мікродомішка, важлива для порівняльного аналізу походження металу
Bi	Може бути слідовим елементом у срібних сплавах
Hg	Може вказувати на амальгамне сріблення або золочення

Можливості та обмеження РФА у нумізматичній експертизі

Можливості РФА	Обмеження РФА
Неруйнівне визначення елементного складу	Аналізує переважно поверхневий шар
Виявлення основних елементів сплаву	Результати можуть спотворюватися корозією
Визначення домішок і мікроелементів	Патина може змінювати хімічний склад поверхні
Виявлення посріблення або золочення	Не завжди дозволяє визначити склад ядра монети
Встановлення ознак реставраційних втручань	Потребує аналізу в кількох точках
Порівняння монет однієї серії або скарбу	Не завжди точно визначає джерело металу
Допомога у виявленні фальсифікатів	Не замінює традиційну нумізматичну експертизу
Реконструкція технологічних особливостей виробництва	Потребує коректного калібрування та протоколювання

Схема інтерпретації результатів РФА

Результат РФА	Можлива інтерпретація	Подальші дії
Склад відповідає відомим аналогам	Монета ймовірно відповідає заявленій атрибуції	Порівняти з типологічними й метрологічними даними
Склад суттєво відрізняється від аналогів	Можлива фальсифікація, наслідування або інша емісія	Провести додаткові вимірювання
Високий вміст Ag лише на поверхні	Посріблення або поверхневе збагачення сріблом	Перевірити пошкоджені ділянки й гурт
Наявність Hg	Амальгамне покриття	Перевірити можливе сріблення або золочення
Висока неоднорідність складу	Ліквіація, корозія, реставрація або покриття	Залучити мікроскопію або SEM-EDS
Нетипові сучасні елементи	Можлива сучасна підробка	Порівняти з технологією відповідної епохи
Подібний склад у групі монет	Ймовірна одна виробнича партія або джерело металу	Провести серійний аналіз
Різний склад у монет одного типу	Різні партії, різні джерела металу або нестабільне виробництво	Зіставити з хронологією і поштемпельним аналізом

Схема використання РФА для виявлення підробки

Послідовність дій	Зміст
1. Візуальна перевірка	Огляд стилю, легенди, рельєфу, слідів лиття або карбування
2. Метрологічна перевірка	Порівняння ваги, діаметра й товщини з відомими аналогами
3. РФА поверхні	Визначення складу основних ділянок монети
4. РФА пошкоджених ділянок	Перевірка складу під поверхневим шаром
5. Порівняння точок	Виявлення різниці між полем, рельєфом, краєм і пошкодженнями
6. Пошук ознак покриття	Виявлення сріблення, золочення, амальгами або припою
7. Порівняння з еталонами	Зіставлення з аналогічними автентичними монетами
8. Комплексний висновок	Встановлення автентичності, давньої фальсифікації або сучасної підробки