

УДК 902.65

DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2640.2019.142.4>

С. Нагорний, канд. фіз.-мат. наук, наук. співроб.
Підземна лабораторія Гран Сассо, Ассерджі, Італія,
Т. Довбуш, канд. хім. наук, наук. співроб.

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, Київ, Україна

ФОЛІС ГРОШОВОЇ СИСТЕМИ КОСТЯНТИНА ВЕЛИКОГО

Наведено дослідження та спроба детальної ідентифікації античної монети за допомогою аналітичних методів. Визначено регіон походження складових матеріалу та період виготовлення монети. Після проведення комплексу фізичних досліджень визначено, що матеріал монети на 79 % складається з міді та на 16 % зі свинцю, що були видобуті на родовищі Лімні (східна частина острова Кіпр). Мідно-свинцевий сплав також легований оловом на рівні 3 %. Супутніми домішками з концентрацією на рівні 1 % є залізо й арсен. Монета класифікована як дрібна розмінна монета (фоліс) грошової системи Костянтина I Великого. Період виготовлення фолісу з високою точністю можна віднести до другої половини 324 р. н. е. Зроблено припущення, що розбавлення міді великою кількістю свинцю (16 %) свідчить про необхідність суттєвої економії матеріалу для виготовлення дрібних монет у період економічної кризи в Римській імперії після тривалої громадянської війни. У той же час, відкидається версія про виготовлення монети фальшивомонетчиком.

Ключові слова: Костянтин I Великий, фоліс, свинцева бронза, фізико-хімічні дослідження.

Вступ. Нещодавно, на прикладі античних свинцевих якорів [1] було продемонстровано, що використання лише аналітичних методів дослідження матеріалу артефакту, навіть без відомостей про супутні знахідки і стратиграфічні особливості з місця знахідки, є потужним інструментом у археологічних дослідженнях, що дозволяють отримати унікальну інформацію, яка суттєво поглиблює наші знання про досліджуваний артефакт. А у випадку, коли була б змога застосувати як комплексні фізико-хімічні дослідження, так і співвіднести артефакт із відомою історичною особистістю, або ж із чітко визначеним історичним періодом, це дозволило б із високою точністю визначити як період виготовлення та регіон походження артефакту, так і максимально охарактеризувати саму знахідку. Такими артефактами, які зазвичай мають чітко визначений зв'язок з історичними особистостями або ж подіями є монети. І здавалося б, що ще можна додати до інформації яка отримана з дослідження морфологічних особливостей монети та розшифрування її легенди? Саме про такі унікальні властивості й відомості, які вдалося отримати експериментальним шляхом і говоритиметься в цій роботі, де ми розглянемо монету часів римського імператора Костянтина I Великого.

Костянтин I Великий (306–337 рр. н. е.) – Флавій Валерій Костянтин (Flavius Valerius Constantinus) – Імператор Цезар Гай (або Луцій, або Марк) Флавій Валерій Костянтин Август (Imperator Caesar Caius Flavius Valerius Constantinus Augustus). Для стабілізації грошової системи Костянтин провів монетарну реформу у період 306–324 рр. н. е. У 309 р. був введений новий золотий номінал – солід, який використовувався до XI ст. Його маса складала 1/72 фунта (4,55 г). Силіква, срібна монета, номінувалася до золотого соліда у співвідношенні 24:1. Дрібна розмінна монета (фоліс), була мідною та мала срібне покриття, що складало приблизно 2 % від маси. За досить короткий історичний період – менше 40 років – маса фолісу зменшилася з 11 до 1,5 г. Водночас вміст срібла зменшився з 4 % до 0,4 %. Фоліс номінувався у співвідношенні 240:1 до соліда у 313 р. на Заході Римської імперії. У той же час, на Сході імперії співвідношення дещо відрізнялося та становило 288:1, а після реформи Ліцинія у 321 р. вартість фолісу зменшилася майже вдвічі – фоліс став номінуватися до соліда у співвідношенні 576:1.

Для класифікації мідних дрібних розмінних монет грошової системи Костянтина Великого застосовується символічний код, який включає літери типу металу (АЕ – мідний сплав) і цифру діаметра – 1 (32–26 мм), 2 (25–

21 мм), 3 (20–17 мм), і 4 (менше 17 мм). Наведені в таблиці (табл. 1) розміри можуть незначно відрізнятися.

Розглянемо мідну дрібну розмінну монету грошової системи Костянтина I Великого, що була надана для дослідження з приватної колекції, і спробуємо її максимально охарактеризувати.

Візуальний огляд монети. Перед нами монета (див. фото 1, 2), що має форму неідеального диску з усередненим діаметром $\varnothing = 19,70 \pm 0,01$ мм (найменший $\varnothing = 19,55 \pm 0,01$ мм, найбільший $\varnothing = 20,34 \pm 0,01$ мм), висотою монетного диску (1,2–1,5) $\pm 0,1$ мм і масою $3,00 \pm 0,01$ г. Виходячи з розмірів і маси монети, вона належить до типу АЕЗ (див. табл. 1). Монета "скошена" – тобто, висота (товщина) монетного диску не однакова з різних боків. Це свідчить про те, що монета карбувалася, а не відливалася в рельєфну форму. Сила удару при карбуванні була докладена нерівномірно (не строго вертикально), що і призвело до сильнішого карбування одного боку монети щодо іншого. Зображення на аверсі й реверсі добре відцентроване один відносно іншого. Вірогідно, монета була в обігу: про це свідчать потертості поверхні, однак всі написи й основні деталі малюнку і портрета залишаються чіткими. Монета має бусиний кант, який зберігся по всій довжині кола. На гурті відсутні сліди обробки, які виникають при знятті напівів, що утворюються при відливанні монети в форму. Монета вкрита рівномірним шаром темно-зеленої патини, що є сумішшю карбонатів і гідро-окислів міді. Мідь і її сплави у вологому повітрі під дією вуглекислого газу (CO_2) і води (H_2O) поступово покриваються плівкою карбонату міді, близького за складом до малахіту. Дігідроксид карбонату міді, або ж малахіт (хімічна формула $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) – темно-зелені кристали, що не розчиняються у воді.

Розшифрування легенди. На аверсі досліджуваної монети присутній портрет Костянтина в лавровому вінку (як цезар), навколо якого розташована легенда "CONSTANTINVS AVG".

CONSTANTINVS – власне, ім'я Костянтин.

AVG (AUGUSTUS) – Сенат і народ Риму дарували цей титул Октавіану – імператору Августу – у 27 р. до н. е. на знак визнання його заслуг перед державою. Цей епітет, що означає "шановний", "гідний поваги", присвоєний першому імператору, став згодом ознакою володарювання.

На реверсі – зображений лавровий вінок пов'язаний стрічкою, навколо якого міститься легенда "DN CONSTANTINVS X AVG SMNA". У середині вінка легенда "VOT ... X ..." (частково текст не видно, оскільки він прихований продуктами корозії матеріалу монети).

DN, D NOST (DOMINVS NOSTER) – "Наш Володар". "Так велить наш Володар та Бог" – такими словами, за свідченням Светонія, імператор Доміціан почав одного разу офіційний лист від імені прокураторів. А після цього, ніхто не смів називати його інакше, ні в усному, ані в письмовому зверненні. Згодом це стало звичайним титулом римських імператорів.

X – використовується для зображення хреста.

SMNA – У період із 313 по 337 рік н. е. в Римській імперії працювало до 17 монетних дворів із кількістю офіцин (майстерень), у різний час від 28 до 67. До кінця III ст. місце карбування монет стало позначатися спеціальним емісійним знаком. Цей знак можна умовно розділити на три частини, причому наявність усіх трьох частин одночасно не обов'язкова.

"P" (Pecunia), "**SM**" (Sacra Moneta) або "M" (Moneta) – тобто, власне назва "гроші";

"N" – у цьому випадку Nicomedia (Нікомедія), місто, де розташовувався монетний двір, який випустив монету. Монетний двір у місті Нікомедія існував із 294 р. н. е., і був скасований під час правління імператора Лева I Македла (457–474 рр. н. е.).

"P" (Prima), "S" (Secunda), "T" (Tertia), "Q" (Quarta), тобто номер майстерні в латинській нумерації, таке написання було, в основному, на Заході. На Сході Римської імперії використовувався грецький алфавіт, і номери майстерень писалися в такому порядку: "A", "B", "Г", і так далі.

VOT – Vota – клятва імператора служити своєму народові (інші приклади: VOT X ET XX, VOT X MULT XX).

Дослідження елементного складу матеріалу монети. Для визначення хімічного складу матеріалу монети був проведений рентген-флюоресцентний аналіз. Для зменшення впливу можливої нерівномірності сплаву, монета досліджувалася як із боку аверса, так і реверса. Результати вимірювань представлені в **табл. 2**.

Було виділено п'ять основних компонент сплаву монети: мідь, свинець, олово, залізо й арсен. Срібло також спостерігалось, але не було включено до переліку основних компонент сплаву. З історичних джерел відомо, що мідні монети (точніше – бронзові) були найдрібнішими розмірними монетами грошової системи Римської імперії. Технологія їхнього виготовлення передбачала, що бронзовий диск заготовки плакувався (покривався) шаром срібла, після чого карбувалося зображення монети. Оскільки срібло є елементом поверхневого шару, срібло не враховувалося нами при розрахунку вмісту основних компонент сплаву. Концентрація срібла в поверхневому шарі складає приблизно 3,5 %, як і зазначено нижче в **табл. 2**.

Різниця у значеннях концентрації елементів на аверсі й реверсі монети можна пояснити кількома факторами. По-перше, поверхневий окисдно-корозійний шар із різних сторін монети є нерівномірним через різні умови зберігання й обігу монети, що призводить до вибіркової концентрації на поверхні тих елементів, які більш активно реагують із довкіллям (наприклад, залізо). По-друге, технологія того часу була недосконалою й не могла забезпечити рівномірного розподілу легуючих домішок в об'ємі матеріалу, що і призвело до незначної варіації хімічного складу монети з різних боків монетного диску. Презиційне визначення хімічного складу матеріалу монети в об'ємі можливе або після видалення поверхневого окисдно-корозійного шару, або ж застосуванням неруйнівних методів, наприклад за допомогою нейтрон-активаційного аналізу, який дозволить визначити абсолютну концентрацію всіх елементів сплаву.

Дослідження поверхневого шару монети. Знімки, отримані за допомогою електронного мікроскопу

(див. **фото 3, 4**), демонструють, що на поверхні монети по всій її площі присутні вкраплення вуглецю – темні вкраплення, які розподілені по всьому монетному полю (на фотографіях деякі з них показані чорними стрілками) і мають характерні розміри до 100 мкм (0,1 мм). Наявність вуглецевих вкраплень у поглибленнях монетного поля: біля основи букв легенди, між бусинами обрамлення монетного поля, свідчить про те, що ці вкраплення, швидше за все, були привнесені при карбуванні монети, а не у процесі її обігу. Відомо, що сажею або товченим деревним вугіллем посипалися штемпелі для карбування монет, щоб уникнути прилипання заготовки до штемпелів. Спостережені вуглецеві **вкраплення (вкраплення)**, загалом, дають можливість продатувати час карбування монети за допомогою радіо-вуглецевого методу.

Також вуглецеві вкраплення могли потрапити до складу бронзи під час процесу виплавки металу – деревне вугілля використовували для відновлення окислів у процесі плавлення та відділення небажаних домішок. Певний відсоток вугілля не прореагував і залишився в об'ємі сплаву. Цю гіпотезу може підтверджувати той факт, що великі вуглецеві вкраплення на **фото 3** (нижня частина фото) мають чіткі межі з матеріалом сплаву, а також гострі кути, на противагу пошкодженим межах сплаву, що мали утворюватися під час вдавнення вуглецевих вкраплень у процесі карбування.

Матеріал сплаву на виступаючих елементах монети (бусинний ряд, літери), які позначені на фотографіях прямокутниками з вертикальним штрихуванням, має у своєму складі лише мідь, свинець і олово. У той же час, залізо, арсен і срібло там повністю відсутні. Цей факт підтверджує історичні відомості, що срібло наносилося на заготовку монети у вигляді поверхневого покриття, а не присутнє в матеріалі як один зі складових елементів. Відсутність на виступаючих елементах зображення заліза й миш'яку, але, у той же час, їхня присутність у поглибленнях зображення монети (ділянки, що позначені на фотографіях прямокутниками з діагональним штрихуванням), підтверджує припущення про сильну неоднорідність сплаву і той факт, що більш активні елементи прореагували на виступаючих елементах зображення монети з довкіллям, і продукти реакції були видалені в подальшому з поверхні монети при обігу.

Загальний висновок, який можна зробити після дослідження поверхні монетного диску за допомогою електронного мікроскопа, такий: поверхневий хімічний склад монети сильно неоднорідний, присутні ділянки як із переважанням продуктів окислення свинцю, так і ділянки із переважанням міді. Розподіл заліза, арсену та срібла на поверхні монети також сильно неоднорідний – на рельєфних деталях рисунку монети ці хімічні елементи відсутні. Також спостерігається сильна шаруватість матеріалу монети, яка характерна для цього типу бронзи (мідно-олов'яно-свинцевий сплав).

Ізотопний склад свинцю з матеріалу монети. Як відомо, свинець складається з суміші чотирьох природних стабільних ізотопів із масовими числами 204, 206, 207, 208. Ізотопи свинцю ^{206}Pb і ^{207}Pb є кінцевими продуктами розпаду урану ^{238}U і ^{235}U , у той час як ^{208}Pb утворюється внаслідок розпаду радіонуклідів із ланцюжка торію ^{232}Th . У свинцевих рудах у невеликих кількостях завжди присутні радіоактивні уран і торій. Тому, залежно від їхньої початкової концентрації, а також від геологічного віку руд, співвідношення між ізотопами набувають певних значень, властиві лише цьому родовищу [2; 3]. Сформований у рудах ізотопний склад свинцю залишається постійним після виділення металу з руди, оскільки у процесі виплавки свинець відділяється від супутніх урану й торію, і накопичення радіогенних ізотопів свинцю

припиняється. Надалі, співвідношення ізоотопів свинцю вже не змінюється, що й дозволяє, вимірявши ізоотопний склад свинцю, визначити родовище, на якому був добутий метал. Таким чином, визначення ізоотопного складу є потужним інструментом для визначення регіону походження знахідок, що містять свинець у своєму складі. Результати вимірювання ізоотопного складу свинцю з матеріалу монети представлено в **табл. 3**.

Порівнюючи виміряний ізоотопний склад свинцю із вмістом ізоотопів свинцю для різних родовищ античних часів Середземноморського басейну [4; 5] витікає, що свинець, використаний як основна легуюча домішка в матеріалі монети Костянтина I Великого, був видобутий на родовищі мідно-цинкових руд Лімні (Limni) на східному узбережжі острова Кіпр, в околицях сучасного міста Фамагуста.

Обговорення. Розглянемо матеріал монети, що є доволі складним сплавом, по-компонентно.

Мідь. Із вищенаведених результатів рентген-флюоресцентного аналізу випливає, що матеріал монети містить мідь на рівні 79 %, тобто мідь є основою цього сплаву. За часів Римської імперії мідь видобувалася та використовувалася у значних кількостях. Найважливіші родовища міді в той час були в Іспанії, на Кіпрі та в Центральній Європі. Загальне виробництво міді в період 250 р. до н. е. – 350 р. н. е. оцінюється у 5 млн тонн, тобто приблизно 10 тис. тонн на рік.

На сучасному Кіпрі існує рудна провінція Троодос, що включає в себе родовища Калавассос, Мусулос, Лімні, Агрокіпія А та Б, Мавровуні, Коккіноя, Матіатіс, Скуріотісса. Основним мінералом, що видобувається на цих родовищах є пірит, або ж сірчаний колчедан (FeS_2). Він є переважною частиною (50–90 %) породи. Халькопірит (CuFeS_2), що містить мідь, присутній у руді в меншій кількості (до 15 %), але саме він і є основною цінністю руд Кіпру. Загалом, кіпрські руди характеризуються сумарним вмістом міді до 5 % (від загальної маси породи) і наявністю супутніх домішок цинку, нікелю, кобальту й арсену.

Наступним компонентом сплаву є свинець і, як показав мас-спектрометричний аналіз його ізоотопного складу, свинець походить із родовища Лімні, що належить до рудної провінції Троодос і розташоване у східній частині Кіпру. Варто зазначити, що свинець був відмічений лише в дев'яти родовищах серед 73-х у цій рудній провінції. Таким чином, є всі підстави стверджувати, що родовище Лімні є одним із тих дев'яти родовищ Кіпру, на якому, окрім міді, видобували також і свинець, який згодом був використаний для виготовлення монетного сплаву.

Ураховуючи вищенаведені геологічні відомості, можна зробити обґрунтований висновок, що компоненти монетного сплаву (мідь, свинець, залізо й арсен) за виключенням, можливо, олова, беруть своє походження з родовища Лімні, розташованого у східній частині Кіпру.

Далі, оскільки кіпрські руди містять у своєму складі велику кількість заліза, за необхідністю маємо припустити, що залізо, яке спостерігається в матеріалі монети на рівні 1 % є супутньою домішкою, що не була повністю видалена з міді через недосконалу технологію розділення міді й заліза на той час. Те саме можна сказати і про неповне видалення арсену, що також присутній у кіпрській руді, як супутня домішка. Ще одним можливим поясненням наявності арсену може бути факт використання старих бронзових виробів, які були виготовлені в інші історичні періоди та походили з іншого джерела міді. Така собі вторинна переробка мідної сировини. Звичайно, у цьому випадку було важко контролювати хімічний склад кінцевого сплаву. І це також допомогло б

пояснити наявність арсену в мідному сплаві, який за використання олова вже не несе основного змісту з поліпшення механічних властивостей мідного сплаву.

Олово. З історичних досліджень відомо, що в період приблизно до 2000 р. до н. е. більшість мідних виробів, були виготовлені не з чистої міді, а з мідно-арсенового сплаву. Арсен у мідних сплавах поліпшує їхні фізико-хімічні властивості. Наявність в міді 0,5 % арсену поліпшує її гнучкість у холодному стані й дає можливість отримати більш щільні виливки у рельєфних формах. Порівняно з чистою міддю, яка плавиться при температурі 1083 °C, мідь, яка легована арсеном, плавиться при нижчій температурі, залежно від кількості цієї домішки. Згодом з'являються вироби з олов'яної бронзи, тобто міді з основним легуючим елементом оловом, яка почала витіснити мідно-арсенові сплави. Безумовно, перехід від мідно-арсенових сплавів до мідно-олов'яних був поступовим, і на початку олово могли додавати в мідь разом з арсеном. Проте у IV ст. н. е., коли металургійні технології вже були достатньо розвиненими порівняно з II тис. до н. е., і коли олово вже широко використовувалося як основна легуюча домішка мідних сплавів для поліпшення механічних властивостей бронзи, присутність у сплаві арсену разом з оловом викликає питання. І для того, аби уникнути протиріччя, як було сказано вище, необхідно припустити або використання старих мідних виробів як вторинної сировини, або ж неповне відділення арсену з мідної руди.

Легування міді оловом, починаючи з десятих долей відсотка, поліпшує її ливарні властивості і пластичність. Бронза, яка містить до 5 % олова, обробляється холодним куванням та волочінням. Легування оловом також зменшує температуру плавлення міді. Наприклад, при додаванні 5 % олова, мідь плавиться при 1050 °C, а якщо додати 15 % олова, то вже при 960 °C. Вважається, що олово додавали до міді у вигляді двоокису олова (SnO_2). Відновлення олова в шихті з мідною рудою й деревним вугіллем – простіший процес, ніж виплавка окремо олова з подальшим легуванням міді. Однак, при такому способі виплавки було майже неможливо контролювати склад сплаву. Якщо ж пригадати результати, отримані скануванням поверхні монети за допомогою електронного мікроскопа, коли спостерігалися численні вкраплення деревного вугілля в об'ємі матеріалу монети, можна запропонувати таку гіпотезу. Олово додавалося в мідний сплав, справді, у вигляді двоокису олова (SnO_2), що під час плавлення з додаванням деревного вугілля відновлювалося до металічного олова. Частина деревного вугілля не прореагувала, або ж була надлишковою, і тому залишилася в об'ємі матеріалу. Про такий спосіб потрапляння вуглецевих вкраплень можуть свідчити різкі межі між частинками вугілля та бронзою, що її оточує, а також гострі кути частинок вугілля, що збереглися. Якщо б ці частинки вугілля потрапили до матеріалу монети на стадії карбування зображення, то різких меж вугілля-бронза, і гострих кутів у частинок вугілля не спостерігалося б.

Свинець. Як було показано вище, у складі мідного сплаву досліджуваної монети міститься до 16 % свинцю. У сучасній металургії сплави міді з додаванням до 30 % свинцю називають свинцевими бронзами. Свинець повністю не розчиняється в рідкій міді, тому сплав після затвердіння складається з зерен міді і вкраплень свинцю, які розташовуються по межах зерен міді. Така структура бронзи забезпечує її високі антифрикційні властивості й зумовлює широке застосування свинцевої бронзи для виготовлення вкладок підшипників

ковання, що працюють на великих швидкостях і при підвищеному навантаженні.

Унаслідок широкого інтервалу температури кристалізації (1083–327°C) і великої різниці густини міді та свинцю, свинцеві бронзи схильні до розшарування, чого можна уникнути лише інтенсивним перемішуванням гарячого розплаву та прискореним охолодженням злитків. Зрозуміло, що забезпечити інтенсивне й ефективне перемішування гарячого розплаву в давнину було неможливо і, хоча відлиті заготовки для карбування монет через їхній малий розмір можна було швидко охолодити, сплав всеодно виходив сильно неоднорідним, про що і свідчать результати рентген-флюоресцентного аналізу аверсу й реверсу монети, а також результати сканування монети електронним променем.

Однією з найважливіших властивостей сучасних свинцевих бронз є їхня зносостійкість. Ця ж властивість матеріалу незамінна також при карбуванні монет: чим більш зносостійкий матеріал, тим довшим буде термін служби монети. Тому можна припустити, що стародавні металурги, вибравши цей матеріал для карбування монет, провістили широке використання свинцевих бронз в індустрії як матеріалу підшипників.

Із урахуванням того факту, що свинцева бронза сильно розшаровується у процесі плавки, доцільно припустити, що бронза готувалася в ливарні безпосередньо на Кіпрі, поблизу родовища Лімні. Це, гарантувало високу якість матеріалу й постійність хімічного складу бронзи. Можливо, що й монетні диски також були виготовлені в майстерні на Кіпрі, а вже готовими до карбування їх доставили до монетного двору у Нікомедії (сучасна Туреччина), де місцеві майстри покривали монетні диски шаром срібла (плакірували) і карбували монети. Таке розділення обов'язків нам здається логічним і є виправданим з огляду на складнощі виготовлення якісної свинцевої бронзи. Також це дозволяло державі простіше контролювати склад монетної бронзи й мінімізувати можливість підробок і неякісної продукції – оскільки треба було контролювати лише одне підприємство з виготовлення свинцевої бронзи та монетних дисків, а не численні монетні двори та майстерні. Це зменшувало можливість виготовлення підробок на конкретному монетному дворі, а також допомагало уніфікувати виробництво грошей.

Свинцева бронза. Як було показано раніше на прикладі виготовлення античних свинцевих штоків [1], якість виробу та якість використаного матеріалу суттєво залежать від економічної ситуації у країні в конкретний історичний період. Якщо у випадку свинцевих якірних штоків задля економії свинцю у заготовку вклали велику кількість каміння, то, у випадку виготовлення монети часів Костянтина Великого, задля здешевлення виготовлення, до вихідної олов'яної бронзи додали близько 20 % свинцю. Навіть нині, за сучасного розвитку технологій видобутку руди та виплавки металів, і за глобального масштабу сучасної торгівлі, порівнюючи ціни на Лондонській біржі металів (LME) можна побачити, що вартість міді, олова та свинцю на 15.02.2019 суттєво відрізняється (вартість міді становить 6241 дол США за тонну, олова – 21262 дол США за тонну, а свинцю – 2066 дол США за тонну). А в античні часи, коли кількість родовищ була обмеженою, коли існували труднощі в доставці металів до кінцевого користувача, і враховуючи неефективність технології виділення металів із руди, можна з високою ймовірністю припустити, що різниця в ціні цих металів була ще суттєвішою. Ми можемо приблизно оцінити різницю у вартості цих двох металів, порівнявши середні значення їхнього річного виробництва в цей історичний період – 10 тис. тонн у рік

для міді та 80 тис. тонн у рік для свинцю [6]. Тобто, свинець був у вісім разів доступнішим і можна припустити, що його вартість була принаймні у вісім разів меншою. Тому, на нашу думку, можливі декілька пояснень факту додавання свинцю в олов'яну бронзу.

Варіант 1. Виробники міді на Кіпрі, винайшовши мідно-свинцевий сплав, який не погіршуючи, а навіть навпаки – поліпшуючи властивості міді, мав приблизно ту ж саму густину, але на 20 % дешевше, почали поставляти такий матеріал до монетного двору. Тобто, це була ініціатива постачальників металу й державні монетні двори про це нічого не знали.

Варіант 2. Це була державна ініціатива в монетарній політиці, задля економії міді в часи кризи. А враховуючи розміри Римської імперії на той час і кількість дрібних монет в обігу – це була надзвичайна економія.

Варіант 3. Монета виготовлена фальшивомонетником. Ми не розглядаємо цей варіант, оскільки на поверхню монети було нанесено срібло у потрібній пропорції, а також використане дороге олово як легуюча домішка. Навіщо фальшивомонетнику наносити шар срібла й додавати олово, але заощадити на міді, що коштувала набагато дешевше, ніж олово та срібло?

Потрібно також звернути увагу і на той історичний факт, що менш ніж за 50 років після введення в обіг, маса бронзових монет (фолісів) зменшилися з 11 г до 1,5 г, а вміст срібла – із 4 % до 0,4 %. Вочевидь, існували певні причини (громадянська війна, криза та висока інфляція), що обумовлювали необхідність здешевлення виготовлення монет. За таких обставин, факт розбавлення міді більш дешевим свинцем, виглядає закономірним (логічним) кроком. Також треба зазначити, що густина мідно-свинцево-олов'яної бронзи не значно відрізняється від густини чистої міді. Наприклад, сучасний мідний сплав БрО5С25, що містить 5 % олова та 25 % свинцю, має густину 8,73 г/см³, у той час як густина чистої міді складає 8,92 г/см³. Таким чином, монети одного розміру й товщини, виготовлені з цих матеріалів, матимуть масу з різницею всього у 2 %. Таку незначну різницю у вазі неможливо було помітити при використанні однієї окремої монети, або навіть невеликої кількості монет одночасно. Таким чином, зміна хімічного складу монети могла залишатися відомою лише державним діячам і постачальникам бронзи, що мало на меті зменшити негативний соціальний та економічний ефект від застосування розбавленої бронзи для карбування монет.

Висновки. За сукупністю морфологічних ознак (розмір, маса) та ізотопного складу свинцю, що підтверджує античне походження досліджуваного зразка, можна впевнено стверджувати, що перед нами оригінал фолісу – дрібної бронзової розмінної монети часів Костянтина I Великого. Далі, із морфологічних ознак і концентрації срібла в поверхневому шарі витікає, що період її виготовлення належить до короткого історичного проміжку – 318–324 рр. н. е. Однак, урахувавши той факт, що місто Нікомедія була резиденцією цезаря Східної частини Римської імперії Ліцинія в останній період його правління (перед остаточним програвом і відмовою від влади у 324 р. н. е. після перемоги Костянтина Великого в битві при Хрзіполісі, що відбулася 18 вересня 324 р. н. е.), варто припустити, що ця монета не могла карбуватися в одній з офіцин Нікомедії до остаточного повалення цезаря Ліцинія та розповсюдження влади цезаря Костянтина на всю територію Римської імперії – Захід і Схід. Тому час карбування цієї монети можна визначити ще точніше, і віднести його до короткого історичного інтервалу від 18 вересня до кінця 324 р. н. е.

Із результатів досліджень, наведених у цій роботі, і з їхнього обговорення можна зробити такі висновки.

По-перше, ми спостерігаємо, можливо перше, використання свинцевої бронзи у виробництві, яка майже в незмінній пропорції складових використовується й дотепер. Наприклад, марка бронзи БрО5С25 (5 % олова, 25 % свинцю).

На наш погляд, додавання дешевого свинцю в початково лише олов'яну бронзу, було скоріше результатом загальної економічної кризи у суспільстві й диктовалося необхідністю економії дорогої міді в умовах високої інфляції. Корисні властивості цього сплаву, можливо, були отримані античними майстрами випадково, але саме унікальні властивості свинцевих бронз призвели до їхнього широкого використання та в сучасному виробництві для виготовлення підшипників та антифрикційних матеріалів.

На нашу думку, залізо й арсен є супутніми домішками при виготовленні міді з кіпрської руди. Однак, питання супутніх хімічних домішок вимагає додаткового сис-

тематичного дослідження з використанням великої кількості бронзових монет цього історичного періоду та, за можливості, із кожної майстерні. Було б цікаво дослідити бронзові монети грошової системи Костянтина I Великого на історичному інтервалі в 50 років – від моменту введення їх у обіг після реформи у 305 р. і приблизно до 360 р. Це дало б змогу систематично дослідити зміну хімічного складу бронзи, визначити місця видобутку сировини, визначити основні супутні домішки та прослідкувати зменшення вмісту срібла. На нашу думку, вміст свинцю підвищувався із погіршенням економічної ситуації у Римській імперії, і в монетах 350–360-х рр. випуску його вміст може бути найвищий. Також, можливо, що в подальшому використовувалася лише чиста свинцева бронза, без додавання дорогого олова. На нашу думку, додавання свинцю для розбавлення монетного сплаву було офіційною державною ініціативою в монетарній політиці та не є результатом підробки монет.



Фото 1, 2. Зовнішній вигляд досліджуваної монети

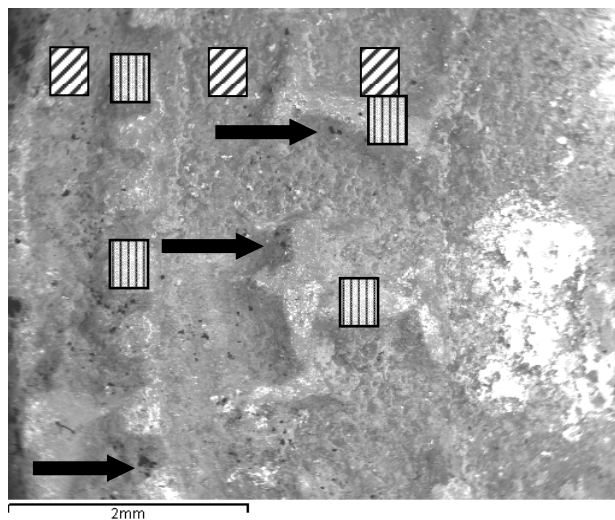
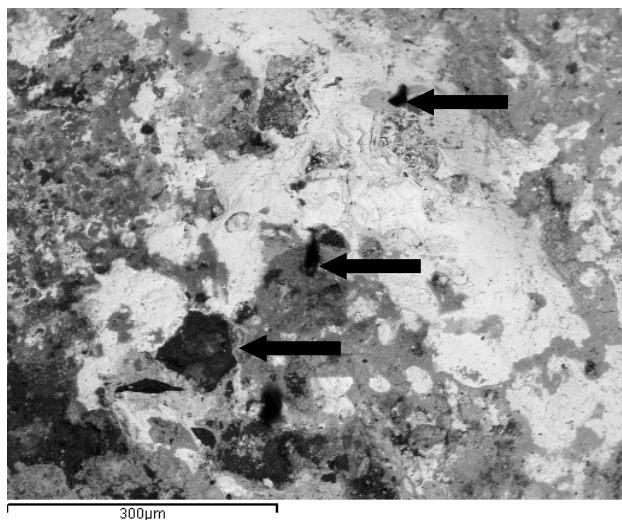


Фото 3, 4. Знімки поверхні монети, отримані за допомогою електронного мікроскопу в різному масштабі (0,3 мм і 2 мм).

Присутні численні включення вуглецю на всій поверхні монети – темні вкраплення, які розподілені по всьому монетному полю (деякі з них показані чорними стрілками) із характерними розмірами до 100 мкм (0,1 мм). Прямокутниками позначені ділянки де проводилося визначення хімічного складу матеріалу монети (вертикально заштриховані – виступаючі елементи зображення, із косим штрихуванням – у поглибленнях зображення)

Таблиця 1. Класифікація мідних монет, грошової системи Костянтина I Великого

Рік	Класифікація	Маса, грам	Вміст срібла, %
305–307	AE1	10,75	4,00
307, квітень	AE2	8,00	4,00
307, листопад	AE2	6,70	4,00
310–313	AE2	4,50	1,50
313–318	AE3	3,36	1,40
318–324	AE3	3,00	2,00–4,00
324–330	AE3	3,05	1,90
330–335	AE3	2,48	1,00
336–337	AE4	1,61	1,30
337–341	AE4	1,64	1,10
341–348	AE4	1,65	0,40

Таблиця 2. Елементний склад матеріалу монети.

Концентрація складових елементів вказана у %.

Похибка визначення для всіх елементів не перевищує 0,1 %

Елемент	Концентрація елементу, %		
	Аверс	Реверс	Середнє значення
Cu (мідь)	79,2	79,0	79,1
Pb (свинець)	15,5	16,2	15,9
Sn (олово)	3,1	2,9	3,0
Fe (залізо)	1,2	0,6	0,9
As (арсен)	1,0	1,3	1,1
Ag (срібро)	3,8	3,1	3,5

Таблиця 3. Ізотопний склад (у %) свинцю з матеріалу монети часів Костянтина I Великого

Ізотоп	²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb	²⁰⁸ Pb
Вміст	1.358(7)	25.182(7)	21.208(7)	52.251(15)

Список використаних джерел:

1. Нагорний С. Античні яскраві штики: невідомі аспекти / С. Нагорний, С. Ніці, С. Воронов, Т. Довбуш, В. Скрипник // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Історія. – 2018. – № 139. – С. 52–56. – DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2640.2018.139.10>
2. Gale, N. H.; Stos-Gale, Z. A. Bronze Age Copper Sources in the Mediterranean: A New Approach / N. H. Gale, Z. A. Stos-Gale // Science. – 1982. – 216(4541). – Pp. 11–19.
3. Gale, N. H.; Stos-Gale, Z. A. (1981). Lead and Silver in the Ancient Aegean / N. H. Gale, Z. A. Stos-Gale // Scientific American. – 1981. – 244(6). – Pp. 176–193.
4. Lead isotope ratios for Mediterranean ores [Online]. – 2012. – Retrieved from <http://www.brettscaife.net/lead/data/index.html>.
5. The Database [Online] // Oxford Archaeological Lead Isotope Database. – Retrieved from <http://oxalid.arch.ox.ac.uk/The%20Database/TheDatabase.htm>.
6. Weiss, D.; Shotyk, W.; Kempf, O. Archives of Atmospheric Lead Pollution / D. Weiss, W. Shotyk, O. Kempf // Naturwissenschaften. – 1999. – 86. – Pp. 262–275.

References:

1. Nagorny, S., et al., (2018). Antique Anchor Stocks: Unknown Aspects. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. History*, 139, 52–56. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2640.2018.139.10>. [In Ukrainian].
2. Gale, N. H. & STOS-GALE, Z. A. (1982). Bronze Age Copper Sources in the Mediterranean: A New Approach. *Science*, 216(4541), 11–19.
3. Gale, N. H. & STOS-GALE, Z. A. (1981). Lead and Silver in the Ancient Aegean. *Scientific American*, 244(6), 176–193.
4. Lead isotope ratios for Mediterranean ores. (2012). Retrieved from <http://www.brettscaife.net/lead/data/index.html>.
5. The Database. (n.d.). *Oxford Archaeological Lead Isotope Database*. Retrieved from <http://oxalid.arch.ox.ac.uk/The%20Database/TheDatabase.htm>.
6. Weiss, D. & Shotyk, W. & Kempf, O. (1999). Archives of Atmospheric Lead Pollution. *Naturwissenschaften*, 86, 262–275.

Надійшла до редколегії 06.06.19

S. Nagorny, PhD in Physics, Researcher

Gran Sasso Underground Laboratory, Assergi, Italy,

T. Dovbush, PhD in Chemistry, Researcher

M.P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

FOLIS OF CONSTANTINE THE GREAT MONETARY SYSTEM

The studies and attempts to detail identification of the antique coin by means of analytical methods are described. The region of origin of the material components and the coin production period are determined. The coin material consists of copper (79%) and lead (16%) mined in the Limni deposit (eastern part of Cyprus). Copper-lead alloy is also doped with tin at 3%. The alloy also contains iron and arsenic as impurities at the level of 1%. The coin is classified as a small coin (folis) of the monetary system of Constantine Great. The production phase of the folis with high accuracy can be attributed to the second half of 324 BC. It is assumed that dilution of expensive copper with a large amount of cheap lead (16%) caused by the need for substantial savings in coin material due to an economic crisis in the Roman Empire after a long civil war. At the same time, the version of coin manufacturing by a counterfeiter is rejected.

Key words: Constantine the Great, folis, lead bronze, physical and chemical research methods.