РЕКОНСТРУКЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИПЛАВЛЕННЯ ЗАЛІЗА ЗА АРХЕОЛОГІЧНИМИ ЗНАХІДКАМИ СКІФСЬКОЇ ДОБИ

Олексій Потоцький | аспірант, Інститут археології НАН України

Статтю присвячено експериментальному моделюванню виробництва та оброблення заліза у скіфський час на території лісостепової зони Східної Європи. У процесі експерименту створено ряд реконструкцій і перевірено на практиці їх функціонування крізь призму археології досвіду.

Ключові слова: *експеримент, реконструкція, оброблення заліза, скіфський час.*

З початком скіфської доби на теренах України різко збільшується видобуток заліза, що серйозно змінює життя місцевого населення. Нові знаряддя праці і засоби їх використання зумовлюють стрімке зростання кількості поселень, зміни у соціальному та військовому аспектах життя. Секрет виготовлення і оброблення заліза поширюється, ковальство в цей період стає окремим видом ремесла.

Багато дослідників намагалися реконструювати процес металовиробництва, зрозуміти рівень технологій тогочасного населення, традиції ремесла. Впродовж усього часу дослідження лісостепових пам'яток скіфської доби було знайдено і описано багато слідів металургії. Б. А. Шрамко (Шрамко 1971) та І. Б. Шрамко (Шрамко 1994) неодноразово публікували роботи, присвячені знахідкам залізних речей і комплексів із видобутку та оброблення заліза скіфської доби. С. В. Паньков (Паньков 2014) проаналізував майже всі зафіксовані сліди виробництва і оброблення чорного металу доби раннього заліза на теренах України. Проте сучасні знання щодо цього ремесла у скіфський період залишаються переважно гіпотетичними, в основному теоретичними та базуються на випадкових знахідках. Це є проблемою, оскільки неявні, неочевидні залишки металургійної діяльності можуть бути або хибно інтерпретовані, або взагалі опинитися поза увагою вчених. Натомість дослідники різних історичних епох та археологічних культур завзято здійснюють експерименти для перевірки наявних варіантів реконструкцій та

фіксують усі деталі реплікації процесу. Експериментальна реконструкція дає змогу досліднику стикатися з задачами, які не було враховано під час теоретичних досліджень, і викриває значні прогалини у знаннях.

Для проведення експериментів як приклад було використано вдалі роботи: Дж. Хамфріс і Б. Ейхорн, «Вибір палива під час довгострокового виробництва давнього заліза в Судані» (Humphris, Eichhorn 2019) та А. В. Петраускас і А. А. Шапов, «Експериментальні дослідження процесу виготовлення кричного заліза» (Петраускас, Шапов 2013).

Слід зазначити, що археологічна реконструкція є не лише експериментом, а й передбачає виконання певних дій в умовах, максимально наближених до автентичних, що дає змогу зробити спостереження щодо особливостей самого процесу. Археологія людського досвіду (*archaeology of the human experience*) пропонує реконструкцію як метод дослідження для виявлення певних дій, які є невід'ємною складовою процесу, проте не були враховані під час теоретичного моделювання або взагалі не лишають наявних слідів (Hegmon 2016).

Метою цієї реконструкції є отримання практичного досвіду переплавлення залізовмісних матеріалів на сталевий напівфабрикат, спираючись на теоретичні реконструкції цього процесу для скіфського часу. Це дає змогу оцінити витрати ресурсів і часу, описати практичний алгоритм і виявити обов'язкові наслідки подібного виробництва, які пізніше можна намагатися фіксувати на археологічних пам'ятках.

Умови. Реконструкцію здійснювали на базі Канівської археологічної експедиції з травня до липня 2022 р. в селі Студенець. Місце базування експедиції розташоване прямо на поселенні скіфського часу й оточене синхронними пам'ятками, що дає змогу використовувати сировину, яка була доступна і в скіфський час тогочасним майстрам (Черниш, Кузміч 2017).

Аналіз археологічних даних. Перед початком реконструкції здійснювали спроби відтворити давні металургійні технології на підставі знахідок сиродутних печей із Лиманського озера (Бидзиля и др. 1983, с. 14), Більського (Шрамко 1990, с. 106–107; Паньков 2014, с. 61–62) і Шарпівського (Фабриціус 1949; Паньков 2014) городищ та ковальського горна з Більського городища. Також додатково аналізували матеріали і висновки Б. А. Шрамка та А. О. Моруженко щодо знахідок на городищах Полкова Микитівка (Моруженко

1988) і Люботин (Шрамко 1998). Для записів, фіксації та інтерпретації фізичних і хімічних процесів було використано спеціальний довідник (Атаманюк 2006). За браком пірометра температуру заміряли за допомогою сталевого прутка діаметром 0,5 см (сталь марки 35ГС, температура початку плавлення бл. 1350°С) і за кольором нагрітого металу.

Підготовка сировини та інструментів. Для проведення реконструкції використовували таку сировину: деревину, сіно, глину і залізовмісні матеріали. Деревина необхідна для будування горна та виготовлення деревного вугілля, сіно і глина — для створення саманного розчину, з якого будували горно, залізовмісні матеріали — для отримання залізної криці.

Деревина. За даними археології, в лісостеповій зоні України у скіфський час були поширені дуб, граб, осика, липа, бузина, вільха, клен (Болтрик та ін. 2015; Мелюкова 1964; Смирнов 1961). Для експерименту вдалося зібрати сухостій дуба, осики, вільхи та клену. Хоча дубове вугілля за своїми якостями дає найбільшу температуру горіння, чітких антрокологічних аналізів знахідок на виробничих комплексах немає, що не дає змоги говорити, що в скіфський час використовували саме його. Тому весь зібраний сухостій було перепалено разом для отримання середнього показника. Сухостій легко транспортується, обробляється і є найменш працезатратним у видобуванні матеріалом.

Глина. Для експерименту використовували лесову, так звану мазальну глину з найближчого яру, де місцеві мешканці набирають її для будівництва і ремонту господарських та житлових комплексів і зараз. Вона мала світлий колір, розсипчасту консистенцію та містила велику кількість вапна.

Сіно. Рослинну домішку було зібрано з висушеної трави. Також було зібрано солому для порівняння властивостей цих матеріалів. Під час експерименту виявилося, що сіно та солома, замішані в глину, майже не відрізняються за своїми властивостями.

Металовмісні матеріали. Як джерело заліза використано дрібні іржаві металеві предмети, зокрема дуже корозійні уламки цвяхів і господарський інвентар. Крицю з уже відновленого заліза, згідно з даними інших експериментів та етнографії, також виробляли для отримання готового залізного напівфабрикату («товарної криці»). Також наявність оксидованого заліза дає змогу додатково перевірити, наскільки добре в горні відбуваються відновлювальні процеси.

Інструменти. Для проведення експерименту було задіяно такі інструменти: провушна сокира невеликого розміру, мотузка, мотика, металеве свердло, невелика пилка, молоток, електричний нагнітач повітря для імітації міхового дуття, ніж, мішки.

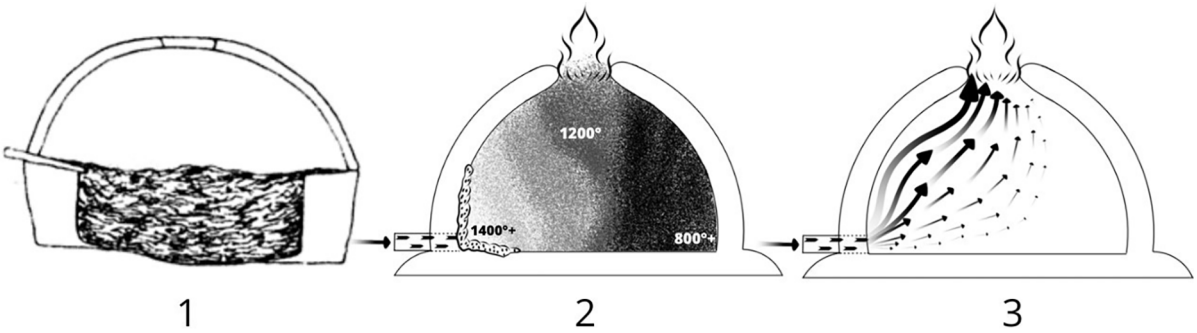

Рис. 1. 1 — реконструкція печі Більського городища (за Б. А. Шрамком); 2 — робота експериментальної печі; 3 — шлях повітря в печі з одним боковим отвором

Перший експеримент. Під час першого експерименту перепалювали вугілля, будували пічку, подібну до відновлювальної печі з Більського городища (рис. 1: 1), та переплавляли залізні заготовки (додаток 1).

У результаті було виявлено, що підготовка виробничих комплексів однією людиною можлива в межах одного дня, вона не потребує спеціальних інструментів, проте залишає багато характерних слідів: обпалена яма, велика кількість вугілля, яке непридатне до використання, яма для замішування саману. Саме плавлення в печі заліза також може бути здійснено однією людиною, проте ефективність такого способу низька, бажано залучати одного-двох помічників для міхового дуття. Форма печі з Більського городища не дає змоги проводити відновлювальні процеси у всій внутрішній камері за використання лише одного отвору для дуття. В результаті експерименту виявлено, що для максимально ефективного виробництва необхідно зробити піддув як мінімум із двох сторін, але бажано з трьох-чотирьох. Інтенсивність дуття значно не підвищує ККД подібної печі, її робочий простір не збільшується на всю піч (рис. 1: 2). Температура в печі може досягати 1300°C, за більш інтенсивного дуття з різних сторін, імовірно, навіть 1400°C, що може забезпечити отримання високоякісної сталі. Подібна піч підходить для переплавлення вже готового заліза й дає змогу також його відновлювати із залізовмісних субстанцій. Отриманий злиток заліза необхідно проковувати неодноразово за температури ковальського зварювання для видалення

зайвих речовин і зварювання потрісканих часток. Відомо, що майстри скіфської доби досконало володіли цим прийомом і створювали багатошарові пакети, що є дуже складним процесом із технічного погляду (Шрамко 1969). Через середній вміст шлаків відновлене залізо під час проковування потрібно неодноразово зварювати. Тобто для виготовлення якісного металевого предмета, який би мав монолітну структуру, необхідно володіти прийомом ковальського зварювання, навіть якщо немає потреби додавати інше за складом залізо для покращення якості виробу (мається на увазі створення пакета з різних сталей). Відповідно для зварювання предметів обов'язково треба використовувати різні флюси, сліди яких завжди залишаються у металі. З цього можна зробити висновок, що за порівняння хімічного аналізу сучасних і давніх сталей обов'язково будуть помітні відмінності, які зможуть більше розповісти про давні технології. Також слід зазначити, що повністю пічку зруйновано не було, лише її частину, тобто її можна було використовувати після незначного ремонту.

Другий експеримент (додаток 2). Було створено пічку, подібну за формою до знахідки з Лиманського озера, та горно багаторазового використання з Шарпівського городища за наявними реконструкціями (Бидзиля и др. 1983; Паньков 2014) (рис. 2, 3: 1). Майже на всіх реконструкціях автори пропонують наявність лише одного отвору-сопла для подавання повітря, а попередній експеримент показав, що за такого способу дуття робочий простір печі (простір, який має достатню температуру для відновлення та переплавлення заліза) є невеликим (за розмірів сопла 10–15 см завдовжки та діаметра отвору не більше ніж 4 см), що за різної потужності дуття має вигляд еліпсоїда об'ємом 70–100 см^3.

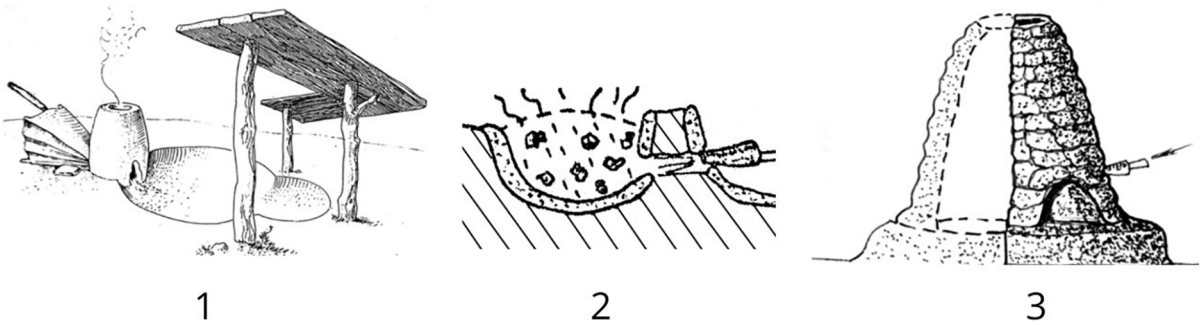

Рис. 2. 1 — реконструкція горна з Лиманського озера (за Бидзиля и др. 1983); 2 — реконструкція горна з Лиманського озера (за С. В. Паньковим); 3 — реконструкція горна з Шарпівського городища (за С. В. Паньковим)

Запропонований варіант горна і влаштування дуття не показали високої ефективності. Зокрема, попередній експеримент виявився більш вдалим попри різні недоліки. Очевидне рішення проблем після цього експерименту — продовжувати експериментувати із формою печі, режимами дуття та флюсами. Температура в печі на рівні денця була дуже невисокою, відповідно за швидкого просування вниз під силою тяжіння сировина проходила частину, де була найвища температура, не встигаючи розплавитися. Крім того, сопло під час роботи печі оплавилося, відповідно змінився і сам принцип роботи печі, її робоча зона (рис. 3: 2). Це свідчить про те, що наявні сучасні реконструкції сиродутних печей не завжди відповідають дійсності та потребують коригування. Також, оскільки не було флюсів, неможливим був вихід шлаків із заліза під час переплавлення, також змінений температурний режим був нестабільний. Будування печі за допомогою глиняних вальків — дуже простий та ефективний спосіб, подібну піч можна використовувати багато разів, її ремонт простий і займає не більше ніж 20–30 хвилин.

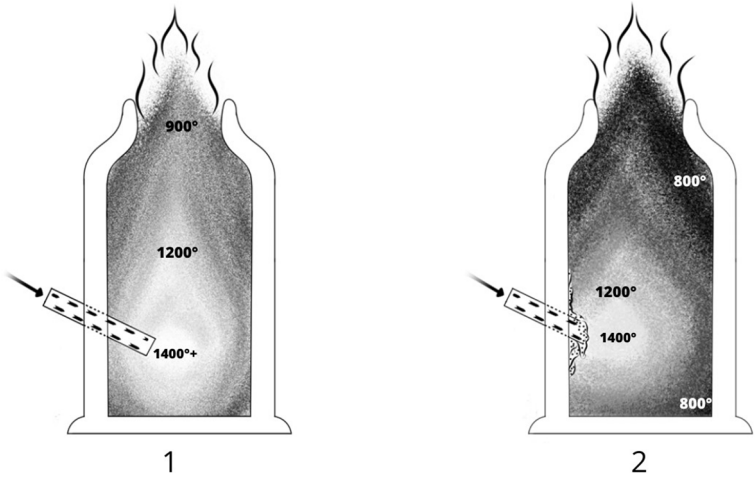

Рис. 3. 1 — реконструкція горна шахтного типу на момент початку експерименту № 2; 2 — горно шахтного типу та його робота після оплавлення сопла під час експерименту № 2

Експеримент № 3 полягав у повторному використанні печі з попереднього експерименту (додаток 3). Результати демонструють, що існує можливість повторного використання подібних горен. Крім того, зменшення кількості шлаків у результаті роботи печі свідчить про те, що частина з них формувалася під час первинної експлуатації печі, набираючи легкоплавкі речовини зі стінок. Повторне використання печі збільшує ефективність плавлення. Оскільки

стінки пологі, шлак стікав на дно печі, а залізо, яке має вищу температуру плавлення, опинилося вище шлаку, тож була змога його вилучити одразу одним шматком і більш ефективно прокувати. Використання флюсу (піску) зменшило кількість тріщинок на готовому залізному предметі. Пісок як флюс використовують із давніх часів і дотепер (Гадагатль 1987).

Експеримент № 4 полягав у спробі відтворити типову зернову яму скіфського часу і випалити в ній вугілля (додаток 4). Результат експерименту продемонстрував досить високу ефективність ямного способу видобування вугілля, який простіший за кучний. Крім того, яма з підбоєм значно ефективніша для видобування вугілля, ніж звичайна. Форма ями, яка є досить типовою для скіфського часу, є багатофункціональною, теоретично, одночасно з отриманням вугілля в ній можна також проводити процес обпалення кераміки, що є цілком технологічно доречним. Обпалення кераміки у ямі застосовують сучасні майстри-гончарі для отримання звичайної або чорнолискованої кераміки (Bettina Kocak, Georgi Genov [1]).

Підсумки експериментів

Під час реконструкції було проведено в польових умовах низку операцій, які дали змогу успішно видобути залізні заготовки різної якості та надали додаткову інформацію щодо самого процесу створення залізних речей. Практичне опрацювання сировини продемонструвало, що видобуток заліза потребує підготовки робочих комплексів, що може займати один–три дні, з відповідною логістикою доставлення і перероблення матеріалів. Увесь процес повністю може виконувати одна людина, проте у разі залучення додаткових робочих рук деякі елементи процесу значно прискорюються. Це заготовлення вугілля і глини, формування глиняних вальків, дуття міхами, проковування криці й залізної заготовки.

Процес видобутку вугілля є вкрай важливим етапом підготовки до виробництва. Від якості вугілля також залежить процес перебігу реакції в горні. Видобування в ямі продемонструвало свою ефективність, тож можна припустити, що знахідки ям зі слідами обпалу можуть бути свідченням видобутку вугілля. Воно необхідне для опалення, приготування їжі, проведення цементації металу, створення

[1] Інформацію отримано під час спілкування з майстрами через листування у соцмережах. Наводимо імена гончарів мовою оригіналу для зручного пошуку в інтернеті.

чорнолискованої кераміки. Під час експериментів використано близько 30 кг вугілля, відповідно було перепалено 250 кг деревини. Дослідження антрокологічних матеріалів із виробничих комплексів вбачаються дуже перспективними, оскільки сьогодні невідомо, яку деревину використовували саме як ковальське вугілля, від чого залежить хімічний склад і температурний режим середовища для ковальських операцій. У результаті експерименту встановлено, що тверді породи листяних дерев (дуб, клен) дають найбільшу температуру в горні. Сучасні ковалі використовують дубове та березове вугілля, хоча японські виробники холодної зброї віддають перевагу сосновому вугіллю. Крім того, в золі дубових, березових і соснових дерев міститься багато оксиду кальцію. Він є флюсом, який використовують у сучасному виробництві сталі й чавуну. Знахідки оксиду кальцію відомі на пам'ятках скіфського часу в контексті металургійних комплексів у вигляді слідів вапна. Також у золі цих порід дерев досить високий вміст сірки та фосфору, що робить метал менш пластичним і підвищує необхідну температуру нагріву для кування (вище ніж 800 градусів). Оксид кальцію очищує залізо від шлаків у процесі плавки, розчиняючи їх і знижуючи температуру їх плавлення (Smołka-Danielowska, Jabłońska 2022; Паньков 2014; Линчевский 1986).

Окремо слід звернути увагу на спосіб отримання вугілля у ямі. Найбільш ефективним способом видобування вугілля вважають кучний спосіб, який використовують і нині. Менш поширеним є ямний спосіб. Сліди видобутку вугілля в ранньому залізному віці свідчать про використання кучного способу на теренах України. Проте ямне виробництво не описано взагалі, хоча для отримання невеликої кількості вугілля, якого б вистачило на декілька плавлень, воно більш оптимальне. Під час розкопок пам'яток скіфського часу дослідникам трапляються господарські ями, які мають сліди впливу вогню, проте їх не інтерпретують як сліди видобутку вугілля у ямах. Такі ями можуть бути заповнені сміттям, дрібним вугіллям, обпеченими шматками землі тощо, їх описують як «господарчі». С. В. Паньков висловив думку, що одну яму з Мотронинського городища (рис. 5: 3) могли використовувати саме для видобутку вугілля, що є цілком імовірно (Бессонова, Скорый 2001, с. 63). Порівнюючи цю знахідку і результати експерименту, можна сказати, що така форма ями могла утворитися в результаті подібної експлуатації, коли верхні шари чорнозему через високу температуру стали

крихкими й осипалися на дно. Залишки дрібного вугілля в самій ямі мають схожий характер із експериментальною ямою.

Піч у формі напівсфери працювала не так, як очікувалося, проте в результаті її експлуатації було отримано найбільш якісний брусок заліза з найменшими втратами сировини. Піч функціонувала стабільно, і, не зважаючи на те, що стінки її не висохли на момент початку експерименту, не потріскалася за дуже високої температури всередині. Основний потік повітря був спрямований уздовж стінки чітко нагору від отвору подавання повітря. Це пояснюється тим, що гаряче повітря намагається рухатись у такому напрямку згідно із законами природи. Відповідно робочі зони печі, тобто зони, в яких відбулися реакції, було поділено так, як показано на схемах на рис. 1: 2. Цікаво, що давньоримські майстри помітили таку тенденцію руху повітря та побудували піч, яка за дуття з одного боку може видавати максимальний ККД.

Піч, камера якої мала форму усіченого конуса, не працювала так, як це описують Б. А. Колчин (Колчин, Круг 1965), Р. Плейнер (Pleiner 1958) та інші автори (рис. 4: 1, 2).

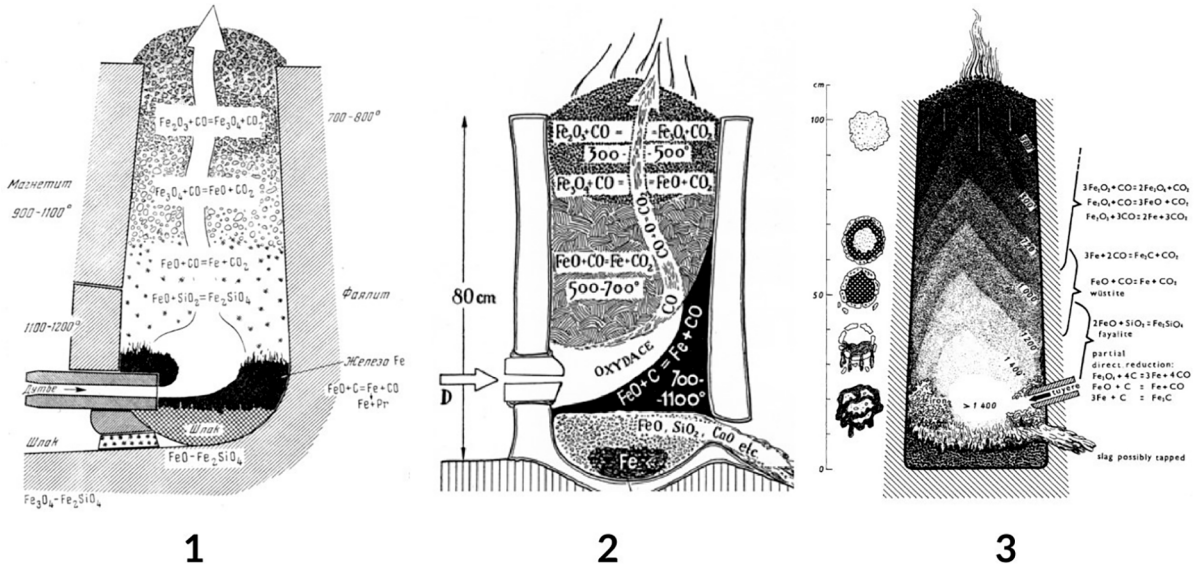

Рис. 4. 1 — реконструкція сиродутного процесу в результаті експерименту В. А. Колчина 1965 р.; 2 — реконструкція сиродутного процесу Р. Плейнера 1958 р.; 3 — реконструкція Р. Плейнера 2000 р.

Перший недолік таких реконструкції полягає у тому, що температурний режим 1000–1200°C не може розплавити навіть дрібні металеві краплі з низьким вмістом вуглецю (на відміну від чавуну, температура плавлення якого 1200°C). У разі ковальського зварювання двох сталевих заготовок із низьким вмістом вуглецю необхідно отри-

мати температуру близько 1200°C, а для того, щоб метал розплавився до пастоподібної консистенції, потрібна температура, очевидно, вища. У своїй реконструкції Р. Плейнер переглянув питання температурних режимів у сиродутному горні (рис. 4: 3), зазначивши, що в робочій зоні печі температура піднімається до 1400°C (Pleiner 2000). Така модель справді є більш точною. Проте у 2018 р. дослідник-металург С. П. Пантейков провів аналіз і критику відомих робіт із сиродутного виробництва заліза, зазначивши, що температура горіння деревного вугілля з берези не вище ніж 1300°C, тому подібна інтерпретація неправильна (Пантейков 2018). З одного боку, дуже складно знайти реально підтверджені таблиці температур різних порід деревного вугілля, а сам автор посилається на роботу, де тезу про максимальну температуру не підтверджено ані експериментально, ані посиланням на інші джерела. Крім того, відомо, що для отримання чавуну потрібен дуже високий температурний режим: у доменних і мартенівських печах температура сягає 1700°C. З іншого боку, чавун отримували ще в середньовіччі та у Стародавньому Китаї (Wagner 1995, с. 335), коли кам'яне вугілля фактично не було поширене. Під час експериментів розплавлено частину сталевого прута, що могло відбутися лише за температури 1400–1530°C.

Щодо другого недоліку наявних схем-реконструкцій. Висока температура за будь-якого способу нагнітання кисню (невеликий тиск, нагнітання з паузами, постійний потік повітря із міхів, високий тиск і постійне нагнітання) утворюється лише на шляху кисневого струменя у самому горні. Особливо слід зазначити, що висока температура потребує більше кисню, який не доходить до певних зон печі, залишаючи їх холодними. Така сама ситуація повторюється і у відкритому горні з боковим дуттям. Лише невелика зона навколо сопла прогрівається достатньо, щоб проводити реакцію.

Експеримент із повторного використання печі продемонстрував високу ефективність готових печей і реальну можливість їх багаторазового використання. Крім того, за спостереженнями, такий підхід є бажаним через зниження кількості шлаків, що утворюються під час першого використання печі з легкоплавких частин глини, з якої складається пічка. Тобто теза про обов'язкову руйнацію печі після завершення переплавлення є не зовсім точною, навпаки, чим більше використовують одну піч, тим краще і стабільніше вона працює.

Окремо слід сказати про необхідність ковальського горна під час оброблення криці. Як модель ковальського горна було вибрано

знахідку подібного горна з Більського городища (рис. 5). Таке горно на деревному вугіллі має бокове дуття. У процесі нагнітання повітря за різної кількості вугілля воно може розігрітися до температури ковальського зварювання, але його робоча зона з необхідною температурою обмежена за таким самим принципом, як і в печах для переплавлення. Під час експлуатації за нагрівання робочої зони до температури близько 1200–1300°С поверхня глиняної основи розплавилася до стану склоподібної маси зеленого кольору. Ковальське горно необхідно використовувати для подальшого проковування залізної заготовки, бо після вилучення криці із печі в ній залишається дуже багато шлаків, які неможливо видалити, проковуючи заготовку на дерев'яній колоді дерев'яними інструментами. За подальшого проковування заготовки було використано вугілля більше, ніж під час самої виплавки заліза. Для отримання якісного предмета в результаті проковування необхідно використати близько 10 кг вугілля.

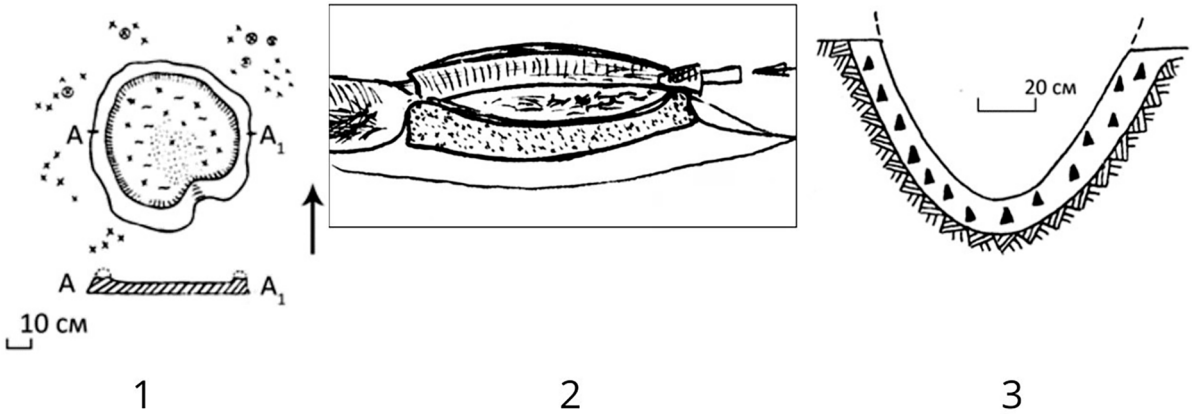

Рис. 5. 1 — ковальське горно з Більського городища (за Б. А. Шрамком); 2 — реконструкція роботи ковальського горна з Більського городища (за С. В. Паньковим); 3 — яма з Мотронинського городища, яку, ймовірно, використовували для видобування вугілля (за С. С. Бессоновою)

Запропоновані дослідниками графічні реконструкції печей скіфського часу під час випробувань продемонстрували необхідність коригування умоглядних даних.

Зокрема, в результаті першого і другого експериментів виявилося, що запропонована Б. А. Шрамком схема нагнітання повітря до горна потребує коригування. При дутті з одного боку не задіяно всю камеру горна, також при дутті на середину горна за допомогою сопла саме керамічне сопло через високу температуру розплавляється. Температура, за якої сопло залишається цілим, недостатня для плав-

лення заліза. Відповідно технологічне рішення цієї проблеми — створення додаткових отворів для доступу кисню. Також слід звернути увагу на знахідки сопел, їх керамічне тісто (яке може бути вогнестійким після додавання мінералів) та ступінь їх оплавленості. Зазвичай дослідники описують цілі сопла і не зазначають, яка температура на них впливає. З цього можна також зробити висновок, що нагнітання повітря у цементаційні печі з Люботинського городища та Полкової Микитовки здійснювалося не через один отвір, бо подібний спосіб не може забезпечити киснем усю камеру горіння, що, своєю чергою, не призведе до отримання необхідної температури (на обох пам'ятках було знайдено оплавлені шматки глини). Зазвичай плавлення глини відбувається за температури від 1000°C до 1400°C для звичайних глин. Дослідників комплексу з Полкової Микитовки зацікавили залишки титану в деяких шлаках поруч із піччкою, що були зафіксовані в результаті спектрального аналізу (Моруженко 1972). Слід зазначити, що в більшості глин наявний оксид титану в досить великій кількості, оскільки титан є одним із поширених хімічних елементів, а відновлення оксиду титану відбувається за температури від 1300°C. Для легування заліза титаном цієї температури безумовно недостатньо, але отримати незначну кількість титану в шлаках за нагрівання глини до високих температур цілком можливо.

Отримані дані демонструють актуальність експериментальних досліджень оброблення заліза за технологіями, наближеними до скіфського часу. Реконструкція ковальських операцій дала змогу скласти більш комплексне уявлення про функціонування виробничого комплексу, його руйнацію та характерні сліди. Під час експерименту було перевірено на практиці наявні варіанти реконструкцій, що дало змогу зробити низку уточнень і поставити багато нових запитань.

Бібліографія

Атаманюк, В. В. 2006. *Технологія конструкційних матеріалів: навч. посібник*. Київ: Кондор.

Бессонова, С. С., Скорый, С. А. 2001. *Мотронинское городище скифской эпохи (по материалам раскопок 1988–1996 гг.)*. Киев: ИА НАНУ, Краков: ИА Ягеллонского ун-та.

Бидзиля, В. И., Вознесенская, Г. А., Недопако, Д. П., Паньков, С. В. 1983. *История черной металлургии и металлообработки на территории УССР (III в. до н. э. — III в. н. э.)*. Київ: Наукова думка.

Болтрик, Ю. В., Горбаненко, С. А., Кублій, М. В., Сергеєва, М. С., Яніш, Є. Ю. 2015. Северинівське городище скіфського часу: екогосподарський аспект досліджень. *Археологія і давня історія України*, 17, с. 155–192.

Гадагатль, А. М., 1987. *Героический эпос «Нарты» адыгских (черкесских) народов*. Майкоп-Краснодар: Адыг. отд-ние.

Колчин, Б. А., Круг, О. Ю. 1965. Физическое моделирование сыродутного процесса производства железа. *Археология и естественные науки. Материалы и исследования по археологии СССР*, 129, с. 196–215.

Линчевский, Б. В. 1986. *Металлургия черных металлов*. Москва: Металлургия.

Мелюкова, А. И. 1964. Вооружение скифов. *Свод археологических источников*, Д1-4. Москва: Наука.

Моруженко, А. А. 1973. Раскопки городища Полковая Никитовка, *Археологические открытия 1972 года*. Москва: Наука, с. 316.

Моруженко, А. А. 1988. К вопросу о памятниках раннего железного века в бассейне р. Ворсклы. *Советская археология*, 1, с. 33–52.

Пантейков, С. П. 2018. О существующих физико-химических моделях сыродутного горна для прямого восстановления железа из болотной руды древесным углём. В: W. Okulicz-Kozaryn (ред.). *Science, research, development: technics and technology: monografia pokonferencyjna.* Warszawa, с. 19–26.

Паньков, С. В. 2014. *Стародавня чорна металургія на території України. Частина I. Передскіфський і скіфо-античний період*. Київ: Інститут археології НАН України.

Петраускас, А. В., Шапов, А. А. 2013. Експериментальні дослідження процесу виготовлення кричного заліза. *Археологія і давня історія України*, 10, с. 224–228.

Смирнов, К. Ф. 1961. Вооружение савроматов. *Материалы и исследования по археологии СССР*, 101. Москва: Изд-во АН СССР.

Фабриціус, І. В. 1949. Тясминська експедиція. *Археологічні пам'ятки УРСР*, 2, с. 80–111.

Черниш, С., Кузьмич, Д. 2019. Комплекс кухонного посуду скіфського часу з с. Студенець на Канівщині. *Археологічні дослідження в Україні 2017*, с. 320–321.

Шрамко, И. Б. 1990. Кузница Бельского городища. В: Скворцова, А. П. (ред.). *Археологические исследования в Центральном Черноземье в 12 пятилетке*. Тезисы докладов и сообщений II Межвузовской научной конференции. Белгород, февраль 1990. Белгород: Изд-во Белгородского пед. ин-та, с. 106–107.

Шрамко, Б. А. 1969. Орудия труда скифской эпохи для обработки железа. *Советская археология*, 3, с. 53–70.

Шрамко, Б. А. 1971. К вопросу о значении культурно-хозяйственных особенностей степной и лесостепной Скифии. *Материалы и исследования по археологии СССР*, 177, с. 92–102.

Шрамко, Б. А. 1998. Люботинское городище. В: Буйнов, Ю. В. (ред.). *Люботинское городище*. Харьков: Регион-Информ, с. 9–131.

Шрамко, І. Б. 1994. *Ковальське ремесло у населення скіфського часу в басейнах Ворскли та Псла*. Автореферат дисертації к. і. н. ІА НАНУ.

Шрамко, И. Б. 1994. *Кузнечное ремесло у населения скифского времени в бассейнах Ворсклы и Псла.* Диссертация к. и. н. ИА НАНУ.

Hegmon, M. 2016. Archaeology of the Human Experience: An Introduction. *Archeological Papers of the American Anthropological Association*, 27 (1), pp. 7–21. https://doi.org/10.1111/apaa.12071.

Humphris, J., Eichhorn, B. 2019. Fuel selection during long-term ancient iron production in Sudan. *Azania: Archaeological Research in Africa*, 54, pp. 33–54. https://doi.org/10.1080/0067270x.2019.1578567.

Pleiner, R. 1958. *Základy slovanského železářství v českých zemích: vývoj přímé výroby železa z rud od doby halštatské do 12 věku*. Praha: Academia,

Pleiner, R. 2000. *Iron in Archaeology: the European bloomery smelters.* Prague: Archeologický ústav AVČR.

Smołka-Danielowska, D., Jabłońska, M. 2022. Chemical and mineral composition of ashes from wood biomass combustion in domestic wood-fired furnaces. *Int. J. Environ. Sci. Technol*., 19, 5359–5372. https://doi.org/10.1007/s13762-021-03506-9.

Wagner, D. B. 1993. *Iron and steel in ancient China*. Leiden, Netherlands; New York: E. J. Brill.

Додаток 1

Експеримент № 1 (03–04.05.2022)

Перепалення вугілля відбувалося в овальній ямі розміром 1×0,5 м і глибиною 0,5 м. Яму викопали мотикою за 1 годину. До ями транспортовано близько 60 кг сухостою, ще близько 40 кг було на території садиби. Транспортування сухостою зайняло близько двох годин одним маршрутом, із інструментів використовували сокиру й мотузку. Тим самим маршрутом було транспортовано глину з яру. Під час перепалення на вугілля деревину не треба було подрібнювати, дрова перегорали дуже швидко, вугілля падало в яму і накопичувалося пошарово, верхній шар вугілля перекривав доступ кисню для нижнього. Краї ями через високу температуру набули рудого кольору перепаленого чорнозему та частково осипались у яму. Перепалення вугілля не потребувало значного часу та зусиль, подібно до звичайного паління ватри. Це дало змогу паралельно підготувати глину для пічки, яку було замішано з додаванням сіна та соломи, та сформувати саму піч. Піч планували робити подібну до знахідки з Лиманського озера, проте через консистенцію глини не було змоги це зробити, навіть з використанням прутяного каркаса. Тому було вирішено підлаштуватися під матеріал і відтворити піч із Більського городища. Отвір для дуття було зроблено на рівні підлоги печі. Прутяний каркас не давав змоги також створити подібну форму, тому

було сформовано з сіна та соломи основу, на яку намазували глину. Після отримання напівсферичної форми з отвором згори купола піч залишили підсихати. Вугілля в ямі було перекрито зверху дошками і засипано шаром землі, щоб перекрити кисень і зупинити горіння. Замішування глини, будівля печі, перепалення вугілля зайняли близько 6 годин, підготовка до цього — близько 4 годин.

На наступний день було розкопано яму з вугіллям, яке ще було теплим, проте не горіло і було готовим до використання. Земля, якою було присипано вугілля, перемішалася з ним, і верхній шар довелося просіювати. Було отримано близько 9 кг чистого вугілля. Частину вугілля, яке дуже сильно перемішалося із землею, довелося викинути, що утворило навколо ями дуже помітні сліди.

Пічка для переплавлення не висохла, проте було вирішено її використати. Сіно всередині печі випалилось швидко, в неї було завантажено близько 3 кг вугілля для прогрівання, було імітоване міхове дуття через боковий отвір. Перед цим було поставлено на центр товстостінний тигель у вигляді миски (тісто: залізиста глина 50 %, пісок 30 %, шамот 20 %; режим обпалу 800°C 4 год.) із залізними уламками, щоб перевірити, чи можна розплавити залізо саме у тиглі. Після розпалу печі, коли температура біля отвору досягла 900°C, було завантажено перший шар залізовмісних матеріалів (100 грамів). У процесі виплавлення кожні 20 хвилин завантажували по 100 грамів заліза й засипали шар вугілля (300 грамів). Як флюс було використано чистий білий річковий пісок із шару між материковими пластами. Через дві години піч розібрали з однієї сторони, вилучили два шматки шлаків і одну залізну крицю. Шлаки та криця у розпеченому стані мали однаковий вигляд, крицю було відокремлено в результаті проковування: шлаки від ударів розсипалися, а криця деформувалася. Після проковування на дерев'яній колоді криця являла собою злиток сталі вагою 300 грамів, укритий незначною кількістю тріщин. У самій печі були уламки тигелю, колір яких змінився на світло-сірий. При здійсненні дуття тільки з одного боку лише третина печі нагрілася до температури 1300–1400°C, усі залізовмісні матеріали, які не потрапили в робочий простір біля отвору, не перепалилися, зокрема й ті, що були в тиглі. Стінка біля отвору для повітря оплавилася в результаті високої температури, вона мала зелений колір і пористу структуру.

У подальшому шматок отриманого заліза прокували залізним молотком за нагрівання в ковальському горні до температури 1200°C

і вище, за зниження температурного режиму він моментально вкривався тріщинами. Саме горно, побудоване за зразком знахідки на Більському городищі, розігрівалося до температури близько 1300°С за інтенсивного дуття. Глина навколо зони, де була найвища температура, також оплавилася, як і сучасна глиняна червона цегла, яку поклали для контрольної перевірки. В результаті було отримано злиток з однією великою тріщиною, як можна видалили ковальським зварюванням, проте загалом він був досить монолітним і добре піддавався обробленню.

Додаток 2

Експеримент № 2 (19–20.05.2022)

Для цього експерименту було поглиблено яму для випалювання вугілля на 10 см і вирізано невеличкий підбій на 20 см. Відповідно простір для випаленого вугілля збільшувався, вдалося отримати на 3 кг більше якісного вугілля, ніж під час попереднього експерименту. Відповідно функціонально яма з підбоєм дає змогу перепалювати значно більше вугілля, використання підбою зробило яму більш зручною для використання.

Піч для експерименту було побудовано частково з цегли, частково з саманних блоків, які перед цим висушили на сонці. Сира глина, з якої ліпили попередню піч, опливала і не тримала форму, тому подібну піч можна побудувати двома способами: а) укласти пошарово глину, коли попередній шар висох і затвердів, тож тримає форму (такий спосіб будування печі потребує близько тижня, що не дуже зручно); б) створити саманні блоки і з них викласти піч. Для перевірки властивостей матеріалу і визначення відмінностей при експлуатації було використано декілька сучасних звичайних червоних цеглин. Очевидно, що спосіб складання конструкцій із саманних блоків є швидшим, простішим та ефективнішим.

Розміри внутрішньої камери у вигляді циліндра були 20 см в діаметрі і 50 см заввишки. Глиняне сопло для повітря розташовувалося на 10 см вище поду печі і виступало на 8 см. За задумом воно мало нагнітати повітря під кутом прямо в центр печі, що мало збільшити об'єм робочого простору печі. Принцип розпалення і завантаження у колошник печі був аналогічним до попереднього експерименту, проте пісок не додавали. У процесі переплавлення здійснено спробу випустити рідкі шлаки, але їх було дуже мало і вони майже всі залишилися біля денця печі.

У результаті роботи печі через 2 години було розібрано частину печі, з якої вилучили крицю і прокували на колоді дерев'яним молотком. Криця вийшла невеликого розміру, готове залізо важило близько 100 г і було всуціль укрито тріщинами. Після проковування за температури 1300°C тріщини зникали. Було здійснено спробу надати злитку форми сокири, однак під час кування тріщини стали більшими. Напевно, в самому залізі дуже багато зайвих домішок, які не були «видавлено» у процесі проковування криці. На зламі було видно, що заготовка не має монолітної структури. Імовірно, що без використання флюсу (наприклад, піску) велика кількість шлаків не вийшла під час формування криці. Своєю чергою піч деформувалася від високої температури: сопло, яке розміщувалося на 1/3 в середині печі, майже повністю оплавилось. Випнутий край сопла в середині не перевищував 3 см, сама стінка навколо сопла також оплавилася і мала блискучу поверхню зеленого кольору. Частина залізних уламків також не переплавилася, вони впали на денце горна разом зі шлаком.

Додаток 3

Експеримент № 3 (25.05.2022)

Зруйновану частину горну відновили глиняним вальком, оплавлене склоподібне сопло залишилося з минулого експерименту, підлогу було вирішено підняти на 5 см і зробити пологі стінки. Також відмінність від минулого експерименту полягала у використанні піску як флюсу. Завантажено було близько 200 грамів заліза і 6 кг вугілля.

Температура в горні на рівні сопла була близько 1400°C, на дні горна — 1000°C. Флюс рівномірно проходив до камери через колошник. Експеримент було завершено за годину. Піч було розібрано і вилучено невеликий шматок криці, який прокований на дерев'яній колоді. Заготовці надали правильної форми і оглянули. Заготовка мала вагу близько 150 г та вміщувала значно менше шлаку, ніж заготовка з попереднього експерименту. В подальшому заготовку перекували на пластину.

Піч після повторного використання фактично не змінилася: оплавлене сопло залишилося в тому самому стані, стінки більше не оплавилися, шлаків було значно менше. Отже, шар зі спеченої та розплавленої глини виконував функцію, схожу на футерування. Заліз-

на заготовка піддавалася механічно-температурному обробленню краще, була більш пластичною, не мала великих тріщин.

Додаток 4

Експеримент № 4 (21–22.08.2022). Випалювання вугілля в ямі

Експеримент проводили для отримання деревинного вугілля у більшій кількості. Яму, в якій здійснювали попередні операції з видобування вугілля, засипали землею, що лежала довкола, для майбутнього дослідження слідів виробництва. Нову яму зробили за формою зернових ям скіфської доби: грушовидної форми з підбоєм круглою в плані. Ширина верхньої частини — 1 м, глибина — 1,3 м, ширина нижньої частини — 1,7 м. Яма була повністю в чорноземі, досягаючи до суглинку лише в донній частині. Для перепалення було транспортовано близько 180 кг деревини фруктових дерев і сосни. Попри очікування у процесі перепалення в ямі було багато кисню, бо підбій і широкий отвір ями створили сильну тягу, що забезпечило рівномірне горіння палива, і полум'я піднімалося над рівнем землі на 1,5 м, закручуючись по спіралі. Випалювання тривало понад 5 годин, проте яма була заповнена вугіллям лише до середини, експеримент довелося перервати. Яму закрили дошками і засипали землею. Через 12 годин яму розкопали, проте вугілля продовжувало горіти. Через додатковий кисень піроліз продовжився, тому яму повторно засипали землею ще на 40 годин. Незважаючи на те, що більшість деревини перетворилася на вугілля, частина великих колод до кінця не прогоріли, тому їх вилучили і склали для повторного перепалення. Яму заповнили вугіллям на дві третини її об'єму, після вилучення вугілля стінки ями оглянули. Дно ями фактично не зазнало впливу температури, консистенція землі і її колір не змінилися. Самі стінки ями були незначно пропеченими, їх монолітна структура залишилася, і на ній чітко було видно сліди від шанцевих інструментів. Колір стінок був неоднорідний, бо при перепаленні повітря йшло коловоротом по стінках, і полум'я, яке вибивалося з ями, було закручене. При перепаленні в ямі без підбою та неправильної форми подібного явища не спостерігалося. Дерновий шар навколо ями повністю змінив колір із чорного на бурий і частково осипався в яму. Навколо ями після вилучення з неї вугілля було дуже багато дрібних вугільних уламків. Самого вугілля було отримано близько 20 кг.

RECONSTRUCTING THE PROCESS OF IRON MELTING ACCORDING TO THE ARCHAEOLOGICAL FINDINGS OF SCYTHIAN ERA

Oleksii Pototskyi | PhD student, Institute of Archaeology of the NAS of Ukraine

This article is dedicated to the experimental modeling of iron production and processing during the Scythian era in the forest-steppe zone of Eastern Europe. The experiment involved creating a series of reconstructions and practically testing their functionality through the lens of experimental archaeology.

Keywords: *experiment, reconstruction, iron processing, Scythian period.*