

- Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku w dniach 5-7 września 2008 roku. Frombork: Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku. Instytucja Samorządu Województwa Warmińsko-Mazurskiego, s. 121-125.
- Dąbrowska, M. 1987. Kafle i piece kaflowe w Polsce do końca XVIII wieku. In: Komieńska, S. (ed.). *Studia i materiały z historii kultury materialnej, tom LVIII. Wrocław. Warszawa. Kraków. Gdańsk. Łódź: Zakład Narodowy im. Ossolińskich. Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk.*
- Moslal, K. 2012. *Kafle w zbiorach Muzeum Historycznego Miasta Krakowa.* Kraków: Muzeum Historyczne Miasta Krakowa.
- Niemcewicz-Ledwoń, B., Fonferek, J. 2010. Piece kaflowe w zbiorach Muzeum Archeologiczno-Historycznego w Elblągu. In: Dąbrowska, M., Semków, J., Wojnowska, W (ed.). *Piece kaflowe w zbiorach muzealnych w Polsce.* Materiały konferencji naukowej zorganizowanej Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku w dniach 5-7 września 2008 roku. Frombork: Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku. Instytucja Samorządu Województwa Warmińsko-Mazurskiego, s. 42-44.
- Pośpieszna, B. 2010. Piece kaflowe na zamku malborskiem. In: Dąbrowska, M., Semków, J., Wojnowska, W (ed.). *Piece kaflowe w zbiorach muzealnych w Polsce.* Materiały konferencji naukowej zorganizowanej Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku w dniach 5-7 września 2008 roku. Frombork: Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku. Instytucja Samorządu Województwa Warmińsko-Mazurskiego, s. 87-93.

Додаток

А. В. Корохіна, В. М. Бельський * Сировинно-технологічний аналіз формувальних мас двох кахлів із Батурина

Для аналізу були надані фрагменти двох кахлів з Батурина (початок XVIII ст.) з розкопок Батуринської міжнародної археологічної експедиції 2015 р. Фрагменти не мають польових шифрів, походять з ями 1 розкопу 1 на території парку «Кочубеївський». Їм надані лабораторні шифри: Vat-001, Vat-002 (рис. 5: 1—2).

Методи та обладнання

Застосовані такі методи:

1) Первинна візуальна характеристика, діагностика структурно-текстурних особливостей матриці й первинна діагностика непластичних включень за допомогою цифрового мікроскопа (Druc 2018).

2) Петрографічний аналіз прозорих шліфів (30 μm) в поляризованому світлі (Quinn 2013). Обладнання: поляризаційний мікроскоп МІН-8, цифрова камера LT-Cam Basic 2 MP. Програмне забезпечення під час проведення текстурного аналізу: SmartGrain (<http://www.kazusa.or.jp/phenotyping/smartgrain/index.html>).

Петрографічний аналіз (оптична мікроскопія) дозволяє проводити діагностику композиції формувальних мас: визначати склад і характеристики непластичних включень, текстуру і ступінь оскловування матриці.

3) Аналіз на електронному мікроскопі JEOL-733 методом енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (мікрозондовий аналіз). Параметри роботи приладу: прискорювальна напруга 20.00 kV, сила струму 20 nA, локальність зонду 2—3 μm. Цей метод, що також є одним із базових для кола завдань, що розглядаються, дозволив встановити елементний склад матриці та визначити деякі акцесорні мінерали.

Первинна візуальна технологічна характеристика

Колір поверхонь обох зразків за системою Мансела¹ 2.5YR 6/10—7/10 (внутрішня поверхня зразка Vat-001 вкрита тонким шаром кіптяви). Твердість (за шкалою Мооса) 4. Поверхні від дотика до них осипаються. Злами землісті. Кольорова палітра зламів має однотонний колір, що відповідає кольору поверхонь (рис. 5: 1—4).

Огляд свіжих зрізів, перпендикулярних поверхням виробів, засвідчує високу гомоген-

* КОРОХІНА Анастасія Вікторівна — к. і. н., н. с., Інститут археології НАН України, a.v.korokhina@gmail.com, ORCID 0000-0001-6123-6285.

БЕЛЬСЬКИЙ Володимир Миколайович — к. г. н., н. с., Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, ORCID 0000-0001-7990-1386, belskyi.v@gmail.com.

¹ Колір встановлено шляхом порівняння цифрових фотографій, до яких застосовувалася кольорова корекція, зі згенерованими таблицями Мансела (<http://www.andrewwerth.com/color/>).

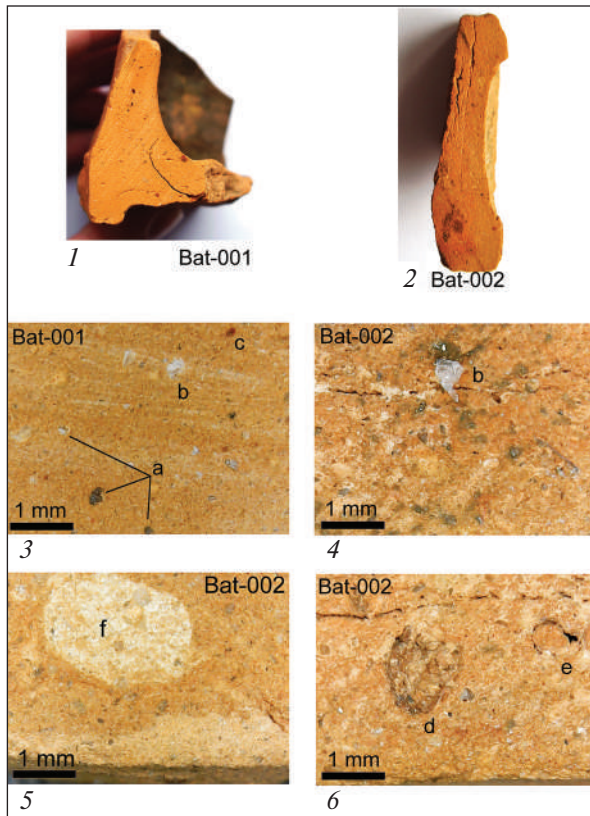


Рис. 5. 1, 2 — свіжі зрізи стінок зразків перпендикулярно до поверхонь (без масштабу); 3—6 — мікрофотографії свіжих зрізів (перпендикулярних поверхні), цифровий мікроскоп: 3 — зразок Bat-001; 4—6 — зразок Bat-002; *a* — кварц; *b* — літокласти польового шпату; *c* — сполука заліза; *d* — фрагмент осадового літокласту (алевроліт?); *e* — глиниста пелета; *f* — вапнякова стяжка

Fig. 5. 1, 2 — fresh sections of the samples walls perpendicular to the surfaces (without scale); 3—6 — microphotographs of fresh sections (perpendicular to the surface), digital microscope: 3 — sample Bat-001; 4—6 — sample Bat-002; *a* — quartz; *b* — lithoclasts of feldspar; *c* — iron compound; *d* — fragment of sedimentary lithoclast (siltstone?); *e* — clay pellet; *f* — limestone screed

ність формувальної маси. Втім, можна констатувати дещо більшу ступінь гомогенності зразку Bat-001: у його складі помітний дуже дрібний пісок (переважно кварцевого складу), зерна полікристалічного кварцу і стяжки заліза (рис. 5: 5). Натомість, матриця зразка Bat-002 містить також глинисті пелети, часточки осадових літокластів, округлі вапнякові стяжки, розмірами до 2,25 мм (рис. 6: 6—8). За умови високих прикінцевих температур випалу виробів (див. результати петрографічного аналізу) утворення таких стяжок можна пояснити як результат вторинного (постдепозиційного, за археологічною термінологією) відкладення кальциту з матриці (Сау, Day, Montana 2002).

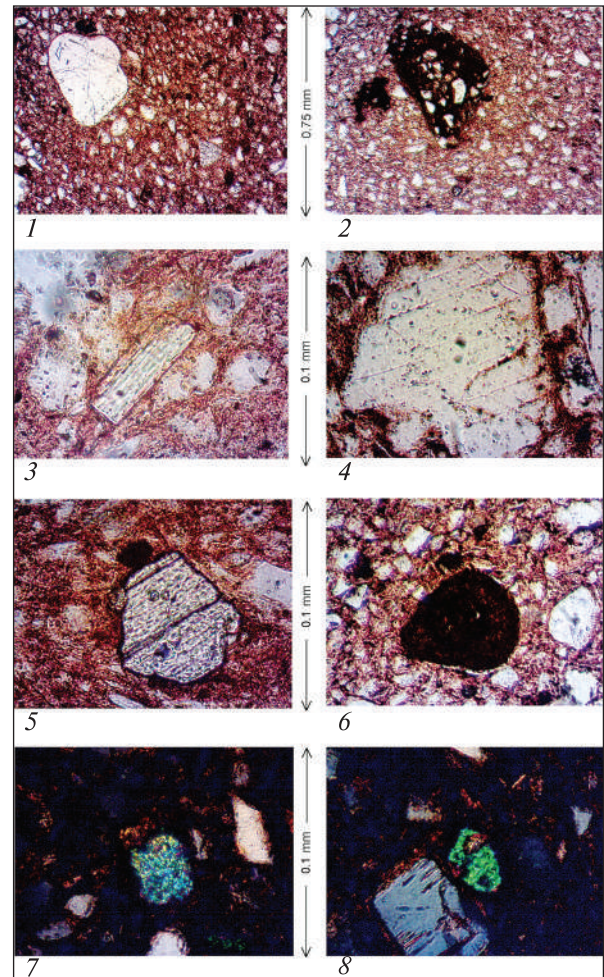


Рис. 6. Мікрофотографії шліфів зразку Bat-001 у поляризованому світлі. 1—6 — в одному поляризаторі (PPL²); 7—8 — у схрещених поляризаторах (XP³). 1, 2 — матриця із крупним включенням кварцу і глинистою пелетою; 3 — мусковіт; 4 — польовий шпат; 5 — плагіоклаз; 6 — акцесорний мінерал (рутил); 7 — акцесорний мінерал (циркон?); 8 — акцесорний мінерал і калієвий польовий шпат із пертитовим зростанням

Fig. 6. Microphotographs of sections of the sample Bat-001 in polarized light. 1—6 — in one polarizer (PPL²); 7—8 — in crossed polarizers (XP³). 1, 2 — matrix with a large inclusion of quartz and clay pellets; 3 — muscovite; 4 — feldspar; 5 — plagioclase; 6 — accessory mineral (rutile); 7 — accessory mineral (zircon?); 8 — accessory mineral and potassium feldspar with perthite growth

Петрографічний аналіз. Обидва зразки виявилися дуже схожими за основними петрографічними ознаками, відтак, їхня характеристика наводиться сукупно.

Доля непластичних включень в зразках складає 30—40 %, при цьому 95 % кластичного матеріалу має розмірність алевриту (грану-

² PPL — plain polarized light (режим з одним поляризатором)

³ XP — crossed polars (режим зі схрещеними поляризаторами)

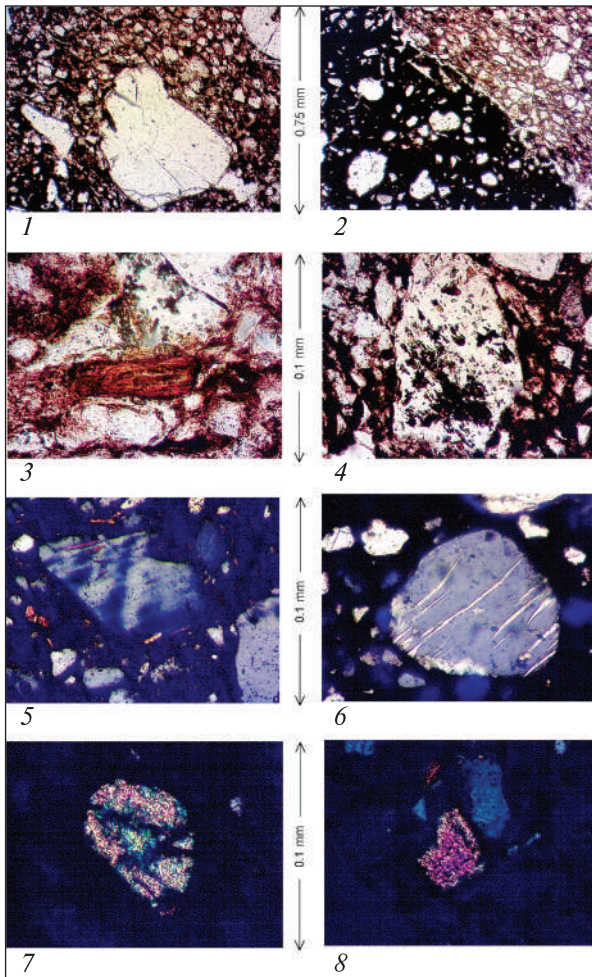


Рис. 7. Мікрофотографії шліфів зразку Bat-002 у поляризованому світлі. 1–4 — в одному поляризаторі (PPL); 5–8 — у схрещених поляризаторах (XP). 1–2 — матриця із крупним включенням кварцу і глинистою пелетою; 3 — біотит; 4 — польовий шпат, змінений вивітрянням; 5 — мікроклін; 6 — калієвий польовий шпат із пертитовим зростанням; 7 — акцесорний мінерал (циркон); 8 — акцесорний мінерал

Fig. 7. Microphotographs of sections of the sample Bat-002 in polarized light. 1–4 — in one polarizer (PPL); 5–8 — in crossed polarizers (XP). 1–2 — matrix with a large inclusion of quartz and clay pellets; 3 — biotite; 4 — feldspar, changed by weathering; 5 — microcline; 6 — potassium feldspar with perthite growth; 7 — accessory mineral (zircon); 8 — accessory mineral

лометрична класифікація, за: Wentworth 1922). Включення складені кварцом і польовими шпатами, розміром < 0,6 мм; анізометричні та ізометричні; слабоокатані—окатані; помірно орієнтовані відносно поверхонь зразків; демонструють унімодальний розподіл розмірів,

помірно сортовані; тип цементації — суцільне міжзернове облямування (рис. 6–7).

Кварц у фракції дрібного піску має пряме згасання (рідше мозаїчне чи хвильове). Іноді спостерігається тріщинуватість.

Алевритова фракція загалом сформована із зерен гострокутої форми. В цій фракції у кількості «дуже рідкісні» (< 0,5 %) представлені: біотит, мусковіт, полікристалічний кварц, польові шпати (зокрема плагіоклаз і мікроклін), акцесорні мінерали (рис. 6: 3–8; 7: 3–8). Польові шпати демонструють ознаки вивітряння, подекуди мають пертитові зростання, плагіоклаз серицитизований і пелітизований (рис. 6: 8; 7: 4–6). Включення акцесорних мінералів з високим показником двозаломлення здебільшого надто дрібні для точного визначення. Серед них виділяються циркон, рутил (рис. 6: 6–7; 7: 7), топаз.

Штучні домішки не виявлені. Характеристики розподілу непластичних природних включень наведено в табл. 1–2.

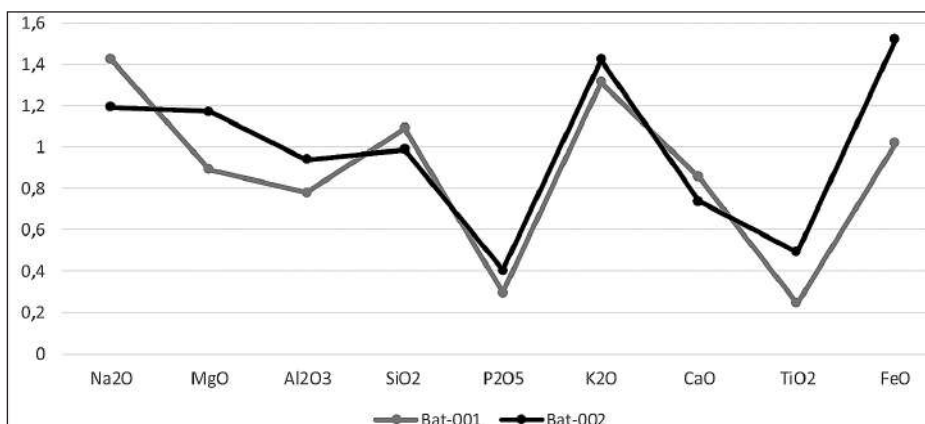


Рис. 8. Нормовані лінійні діаграми хімічного складу глинистої матриці для зразків кераміки Bat-001 та Bat-002 побудовані за результатами мікрозондового аналізу (табл. 3)

Fig. 8. Normalized linear diagrams of the chemical composition of the clay matrix for samples of ceramics Bat-001 and Bat-002 based on the results of microprobe analysis (Table 3)

Матриця складає: близько 65 % у зразку 001, 50 % — у зразку 002. Безкарбонатна. Коричнева в одному поляризаторі, темно-коричнева — у схрещених поляризаторах (за збільшення $\times 40$); гомогенна. У зразку 001 матриця оптично слабо активна (початок процесу вітрифікації), у зразку 002 — оптично неактивна, вітрифікована. Трапляються рідкісні (0,5—2,0 %) пелети: ізометричні, слабоокатані чи окатані, чорні в одному та у схрещених поляризаторах ($\times 40$); розмірами до 2,4 мм; включають алеврит (рис. 6: 2; 7: 2).

Пори майже відсутні в зразку 001 (мікрокаверни біля поверхонь). У зразку 002 їх близько 5,0 % — макро- та мега-пласкі.

Таким чином, обидва зразки майже ідентичні за петрографічними характеристиками. Була використана алевритисто-глиниста пластична сировина (можливо, відмулена). Формувальна маса не має штучно введених компонентів. Випал здійснено в окислювальній атмосфері, із витримкою не менше години за кінцевих температур. Температура випа-

лу визначається за станом матриці та різними етапами її оскловування — від 850 °С. Петрографічні дослідження свідчать на користь виготовлення обох кахлів у межах аналогічних за складом операцій технологічних циклів (чи навіть одного циклу), з глинистої сировини подібного складу.

Методом енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії досліджувалася матриця зразків та вибіркові акцесорні мінерали. Для матриці обраховувалися середні значення для замірів по п'яти точках. Визначався вміст головних хімічних елементів в оксидах із долею $> 1,0$ % від загальної маси.

Для порівняння середнього хімічного складу ми побудували лінійні діаграми нормованих значень (рис. 8). Нормування було зроблено за середнім значенням для всіх результатів за формулою

$$Y = X / \text{AVERAGE}(X_1 \dots X_n),$$

де Y — нормоване значення, X — середнє значення хімічного складу глиняної матриці для окремого зразка кераміки.

Таблиця 1. Кількісна характеристика непластичних включень у шліфах кахлів з Батурина

Table 1. Quantitative characteristics of non-flexible inclusions in thin sections of tiles from Baturyn

Зразок	Кількість включень	Загальна площа включень (мм ²)	Середня площа включень (мм ²)	Доля від загальної площі (%)	Середня довжина включень
Bat-001	459	0,332	6,43E-04	33,447	5,57E-05
Bat-002	312	0,317	9,04E-04	42,284	9,14E-05

Таблиця 2. Розподіл розмірів непластичних включень у шліфах кахлів з Батурина

Table 2. Size distribution of non-plastic inclusions in thin sections of tiles from Baturyn

Гранулометрична категорія	Межі інтервалів (мм)	Кількість включень	
		Зразок Bat-001	Зразок Bat-002
Алеврит	<0,0625	437	294
Дуже дрібний пісок	0,0625—0,125	20	14
Дрібний пісок	0,125—0,25	1	3
Середній пісок	0,25—0,5	1	1
Крупний пісок	0,5—1	0	0
Дуже крупний пісок	1—2	0	0
Усього		459	312

Таблиця 3. Середні значення елементного складу матриці кахлів з Батурина

Table 3. Average elemental composition of tiles matrix from Baturyn

Зразок	%									
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO	Усього
Bat-001	1,80	2,42	16,70	66,46	0,59	2,54	1,79	0,25	6,46	99,98
Bat-002	1,51	3,17	20,13	60,13	0,81	2,75	1,55	0,50	9,63	100,68

Необхідно зазначити, що разом із зразками, що розглядаються, тестові вимірювання було проведено ще для дев'яти зразків кераміки з різних пам'яток і регіонів, «на фоні» яких чітко проявляється близькість хімічного складу матриці батуринських зразків.

Результати визначень елементного складу для матриці наведені в табл. 3. З акцесорних мінералів для обох зразків визначені циркон і рутил.

Таким чином, за результатами порівняння виробів між собою і з іншокультурним матеріалом, встановлено, що кахлі виготовлені з глини, приналежної до одного і того ж родовища.

Незначні відмінності можуть бути наслідком зміни хімічного складу глини по латералі або на глибину.

- Cau, M. A., Day, P. M., Montana, G. 2002. Secondary calcite in archaeological ceramics: evaluation of alteration and contamination processes by thin section study. In: Kilikoglou V. et al. (eds.). *Modern trends in ancient ceramics*. BAR International Series, 1011. Oxford: Archaeopress, p. 9-18.
- Druc, I. C. 2018. Atlas of ceramic pastes. Components, texture and technology. Wisconsin: Deep Education Press.
- Quinn, P. S. 2013. *Ceramic petrography. The interpretation of archaeological pottery & related artifacts in thin-section*. London: Archaeopress.
- Wentworth, C. K. 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), p. 377-392.