

Piaskowski, Jerzy

Określanie pochodzenia dawnych przedmiotów na podstawie analizy cech

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 12/1, 61-97

1967

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



OKREŚLANIE POCHODZENIA DAWNYCH PRZEDMIOTÓW NA PODSTAWIE ANALIZY CECH

Określanie pochodzenia dawnych przedmiotów z metalu, gliny czy też z innych tworzyw ma doniosłe znaczenie zarówno dla historii techniki, jak i dla archeologii lub historii kultury materialnej. Dzięki temu można bowiem przyporządkować poszczególne przedmioty określonym ośrodkom produkcyjnym, a następnie poznać procesy technologiczne stosowane w tych ośrodkach i ocenić występujący w nich poziom umiejętności oraz wielkość produkcji i zasięg wyrobów, a tym samym ustalić kierunki wymiany handlowej. Można też śledzić postęp techniczny w ciągu wieków w poszczególnych ośrodkach produkcyjnych, ilościowy rozwój wytwórczości, a — w określonych warunkach — także i zmiany etniczne.

Do niedawna próby znalezienia sposobu określania pochodzenia dawnych wyrobów nie dawały właściwych rezultatów.

Próbowano mianowicie określać pochodzenie przedmiotów na podstawie braku lub obecności jednej tylko lub dwóch cech. Tak np. A. Krupkowski i T. Reyman¹, opierając się na braku domieszki niklu i miedzi, wysunęli przypuszczenie, że kęsy z Witowa były wykonane na ziemiach Polski. Odwrotnie znów B. A. Kołczin² próbował określić pochodzenie przedmiotów żelaznych na podstawie obecności molibdenu lub niklu. Tego rodzaju próby nie mogły jednak prowadzić do celu, gdyż obecność lub brak jednej lub dwóch cech nie były specyficzne dla jednego ośrodka produkcyjnego, a statystyczny rozrzut wielkości poszczególnych cech sprawiał dodatkowe trudności nie do pokonania.

A. R. Weill³ zaproponowała dla przedmiotów żelaznych, aby ich chemiczny skład jakościowy, oznaczony np. metodą spektrograficzną, porównywać ze składem rudy. Pokrywanie się składu jakościowego (tzn. cech jakościowych) świadczyłoby, że przedmiot wykonany został z metalu wytopionego z rudy o danym składzie, a więc wskazywałoby na pochodzenie przedmiotu. Ta prosta i oczywista metoda nie może być jednak zaakceptowana w tego rodzaju ujęciu, gdyż nie wszystkie cechy (domieszki) surowca (rudy) przechodzą do wyrobu (metal), zwłaszcza w wypadku przedmiotów żelaznych, których skład jakościowy jest często analogiczny pomimo różnego pochodzenia. Ponadto dla przedmiotów żelaznych dokładność określania składu jakościowego metodą spektrograficzną jest tego samego rzędu, co zawartość domieszek. Wreszcie,

¹ A. Krupkowski, T. Reyman, *Badania metaloznawcze nad przetutym półfabrykatem żelaza z Witowa, pow. Pińczów i żużlem dymarkowym z Igołomii, pow. Miechów*. „Sprawozdania Państwowego Muzeum Archeologicznego”, nr 1—2/1953, s. 56.

² B. A. Kołczin, *Czornaja metaliurgija i metaliobrabotka w driewniej Rusi*. Moskwa 1953, s. 46.

³ A. R. Weill, *Exemple d'analyses comparées sur des objets en fer de Chine (époque Han) et d'Etrurie*. „Revue de Metallurgie”, nr 4/1957, s. 270.

archeolog tylko w niektórych wypadkach znajduje surowiec obok gotowych przedmiotów. Dlatego też sposób zaproponowany przez A. R. Weill nie został zastosowany w późniejszych pracach, a wyniki badań autor-ki, w których porównywała skład jakościowy trzech przedmiotów i rudę z czterech ośrodków w Chinach oraz dwóch przedmiotów i czterech rodzajów rud z Etrurii, mają charakter najprawdopodobniej czysto przypadkowy.

Niemniej jednak konieczność powiązania cech wyrobu — dla określenia jego pochodzenia — ze składem ewentualnego surowca nie może ulegać żadnej wątpliwości i czynnik ten odgrywa istotną rolę także w opisanych niżej metodach określania pochodzenia dawnych przedmiotów⁴.

Pierwsze prace, zmierzające do określania pochodzenia dawnych wyrobów na podstawie zespołu ich cech, podjęli autorzy prowadzący badania wyrobów z miedzi i jej stopów na podstawie dużej liczby analiz uzyskiwanych głównie drogą spektrograficzną. Punktem wyjścia musiało tu być wytypowanie cech, które miały charakteryzować dane wyroby, stanowiąc podstawę ich klasyfikacji.

Dla stopów miedzi cechy takie (zawartość Bi, Sb, Ag, Ni i As) zaproponowali H. Otto i W. Witter⁵; dla stopów zaś żelaza wstępne opracowanie opublikował autor⁶, rozwijając to zagadnienie bardziej dokładnie w późniejszych pracach.

Podstawą dalszych badań nad pochodzeniem przedmiotów wykonanych ze stopów miedzi była praca H. Kleina⁷, który, opierając się na ok. 400 analizach spektrograficznych i posługując się statystyczną metodą D. Daèvesa i A. Beckela, opracował szczegółową klasyfikację stopów miedzi.

Metoda H. Kleina została w 1960 r. rozwinięta przez S. Junghansa, E. Sangmeistera i M. Schrödera⁸, którzy dysponowali już 2302 analizami spektrograficznymi wyrobów ze stopów miedzi z Europy środkowej i zachodniej. Podstawą klasyfikacji był zespół pięciu wymienionych domieszek. Autorzy ci przedstawili częstość występowania poszczególnych rodzajów stopów miedzi w różnych częściach Europy, nie zdołali jednak powiązać składu stopów ze składem chemicznym lokalnych rud i dlatego nie określili, gdzie zbadane przedmioty zostały wykonane^{8a}.

⁴ Pominięto tu stosowaną przez archeologów metodę oceny pochodzenia przedmiotów na podstawie kształtu, metoda ta bowiem może być stosowana jedynie w wyjątkowych wypadkach; natomiast kształt przedmiotu został włączony do opisanych niżej metod jako pewna cecha jakościowa (choć kształt ten można określić także ilościowo).

⁵ H. Otto, W. Witter, *Handbuch der ältesten bergeschichtlichen Metallurgie in Mitteleuropa*. Leipzig 1952, s. 61.

⁶ J. Piaskowski, *Stopy żelaza w dawnych wiekach*. „Z otchłani wieków”, nr 5/1957, s. 258.

⁷ H. Klein, *Statistische Auswertung der Analyseergebnisse einer spektroanalytischen Untersuchung vorgeschichtlicher Funde aus Kupfer und Kupferlegierungen*. „Bericht der Römisch-Germanischen Kommission”, 1951—1953, t. 34, s. 111.

⁸ Por.: S. Junghans, E. Sangmeister, M. Schröder, *Metallanalysen kupferzeitlicher und frühbronzezeitlicher Bodenfunde aus Europa*. Berlin 1960, s. 57.

^{8a} Wyniki dalszego zastosowania metody zostały przedstawione w dniu 25 VIII 1966 (kiedy niniejszy artykuł był już przygotowywany do druku) na zebraniu I Sekcji VII Międzynarodowego Kongresu Nauk Prehistorycznych i Protohistorycznych w Pradze w referacie E. Sangmeistera *Ausbreitung der Metall-*

Próbie powiązania składu rud miedzi i gotowych wyrobów podjął już wcześniej R. Pittioni⁹, dysponował on jednak jedynie wynikami analizy jakościowej, a nie zastosowawszy metod statystycznych, nie mógł uchwycić charakterystycznych zależności.

Pochodzenie dawnych wyrobów żelaznych na podstawie analizy ich cech zostało określone po raz pierwszy dopiero w wyniku badań autora, gdy zidentyfikowane zostały cechy wyrobów świętokrzyskich. Autor wraz z T. Różycką¹⁰, badając technologię wyrobów żelaznych na ziemiach Polski w okresie halsztackim, przedstawili w 1959 r. wstępne opracowanie cech wyrobów świętokrzyskich, będące wynikiem zastosowania nowej metody. Metoda ta opierała się również na statystyce, przy czym jednak rozpatrywano wieloboki rozkładu (krzywe prawdopodobieństwa) dla całego zespołu cech wyrobów z żelaza dymarskiego, określonych podczas badań. Uwzględniając następnie zależność (korelację) pomiędzy składem metalu i rudy (oraz żużła), powiązano grupę wyrobów o określonym zespole cech z ośrodkiem świętokrzyskim.

Podstawowe założenia tej metody wraz z odpowiednimi materiałami zostały przedstawione w specjalnej pracy¹¹, pełny jednak wywód metody autora nie został dotąd opublikowany.

Ostatnio G. K. Krug i O. J. Krug przedstawili inną jeszcze metodę określania pochodzenia dawnych wyrobów, opartą o statystyczną analizę cech jakościowych i zastosowali ją do identyfikacji ceramiki czernihowskiej¹².

Po zdefiniowaniu pewnych pojęć podstawowych zostaną poniżej opisane i przedyskutowane wszystkie trzy wspomniane metody, a nieco dokładniej zostanie przedstawiona metoda autora.

kentniss in Europa. Liczba spektrograficznych analiz chemicznych wczesnych wyrobów z brązu wzrosła bardzo poważnie, aż do 12 000, a w związku z tym liczba wyróżnionych grup metalu zwiększyła się do 29. Natomiast nadal nie zdołano powiązać tych grup z jakimiś określonymi ośrodkami produkcyjnymi. Referat wywołał ożywioną dyskusję.

⁹ Por.: R. Pittioni, *Urzeitlicher Bergbau auf Kupfererz und Spurenanalyse*. „*Archaeologia Austriaca*”, nr 1/1957, s. 1.

¹⁰ J. Piaskowski, T. Różycka, *Badania technologii wyrobów żelaznych na ziemiach Polski w okresie halsztackim i wczesnolateńskim* „*Kwartalnik Historii Kultury Materialnej*”, nr 3/1959, s. 391.

¹¹ J. Piaskowski, *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych produkowanych przez starożytnych hutników w Górach Świętokrzyskich w okresie wpływów rzymskich*. „*Studia z Dziejów Górnictwa i Hutnictwa*”, 1963, t. 6, s. 9; por. także: J. Piaskowski, *The Method of Determination of the Origin of Ancient Iron Objects Based on Metallographic Investigations*. „*Archaeologia Polona*”, 1964, t. 6, s. 124. W dalszych pracach zidentyfikowano cechy wyrobów żelaznych z innych ośrodków starożytnego hutnictwa na ziemiach Polski; por.: J. Piaskowski, *Technologia żelaza na Śląsku Opolskim w II—V wieku naszej ery*. „*Hutnik*”, nr 12/1961, s. 462; tenże, *Metaloznawcze badania wyrobów żelaznych i próbek żużła ze Śląska Opolskiego z okresu wpływów rzymskich*. „*Przeгляд Archeologiczny*”, 1963, t. 15, s. 134; tenże, *Technologia żelaza w okolicach Krakowa-Nowej Huty w okresie od I wieku p.n.e. do IV wieku n.e.* „*Hutnik*”, nr 1/1963, s. 25; tenże, *Metaloznawcze badania przedmiotów żelaznych z osady w Nowej Hucie-Mogile z okresu rzymskiego*. „*Materiały Starożytne*”, 1964, t. 10, s. 169.

¹² Por.: G. K. Krug, O. J. Krug, *Matiematiczeskij mietod klassifikacii drierwniej kieramiki*. W pracy zbiorowej: *Archaeologija i jestiestwiennyje nauki*. Moskwa 1965, s. 318.

I. PODSTAWOWE POJĘCIA OGÓLNE

A. DEFINICJA POJĘĆ

Określenie pochodzenia przedmiotu może mieć sens pozytywny lub negatywny. W sensie pozytywnym określenie takie polega na wskazaniu konkretnego ośrodka produkcyjnego, gdzie przedmiot został wykonany, natomiast w sensie negatywnym — ogranicza się do wskazania ośrodka (lub ośrodków), gdzie przedmiot nie był lub nie mógł być wykonany.

Niewątpliwie cenniejsze dla historyka techniki i kultury materialnej jest określenie pochodzenia przedmiotu w sensie pozytywnym, jest ono jednak na ogół znacznie trudniejsze i wymaga większej ilości badań, zwłaszcza przy posługiwaniu się cechami ilościowymi. Ale i określenie pochodzenia przedmiotu w sensie negatywnym, umożliwiające np. odróżnienie importów (bez wskazania ich pochodzenia) od wyrobów miejscowych, ma również duże znaczenie i może prowadzić do wniosków ważnych zarówno dla historyka techniki, jak i dla historyka kultury materialnej.

Rozpatrując ośrodki produkcyjne, można rozróżnić takie, w których wyrabiano półfabrykaty, takie, w których przerabiano surowiec bezpośrednio w wyrób gotowy, oraz ośrodki przetwórcze, gdzie przerabiano półfabrykaty (lub surowiec) obcego pochodzenia. Ośrodek wytwórczy półfabrykatów jest określany przez cechy surowca i półfabrykatów, a ośrodek wytwórczy wyrobów gotowych — przez cechy zarówno surowca, jak i wyrobów; podobnie, ośrodek przetwórczy charakteryzują cechy gotowych wyrobów.

Trzeba przyjąć, że określanie pochodzenia dawnych wyrobów będzie dokonywane na podstawie ich cech. Mogą to być cechy tworzywa (dotyczące np. jego składu i własności), cechy jego przeróbki (np. procesy technologiczne stosowane przy przeróbce, rozwiązania konstrukcyjne), oraz cechy gotowych wyrobów (kształt i dane geometryczne, zdobienie itp.). Wśród określanych cech muszą przy tym znaleźć się przede wszystkim te, które dla danego rodzaju wyrobów wykazują pewne zróżnicowanie, natomiast cechy, które są wspólne dla wszystkich wyrobów pewnego rodzaju (lub wykazują nieznaczne tylko zróżnicowanie), nic nie wnoszą do określenia pochodzenia przedmiotów i mogą być pominięte.

Tak np. podczas badań metaloznawczych dawnych przedmiotów żelaznych, prowadzonych przez autora, uwzględniono: zawartość węgla i rozkład nawęglania, zawartość fosforu, niklu i miedzi, strukturę wtrąceń żuźla, wielkość ziarn, mikrotwardość składników strukturalnych, procesy technologiczne stosowane przy wyrobie przedmiotu (zgrzewanie, nawęglanie itp.), kształt okazów¹³. Nieprzydatne natomiast okazały się dane analityczne dotyczące zawartości krzemu, manganu i siarki, nie wykazujące — jak dotychczas — zróżnicowania w żelazie dymarskim pochodzącym z różnych ośrodków hutniczych.

Wśród cech tworzywa można wyróżnić cechy podstawowe i cechy pochodne, uzależnione od tych pierwszych (np. twardość tworzywa za-

¹³ Por.: J. Piaskowski, *Sprawozdanie z metaloznawczych badań dawnych przedmiotów żelaznych w latach 1955—1962*. „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki”, nr 1/1963, s. 79.

leżna od zawartości pewnych składników); cechy pierwotne, pochodzące z procesu wytwarzania surowca (tworzywa), i cechy wtórne, będące wynikiem procesów przetwórczych, stosowanych, zazwyczaj świadomie, przez wykonawców gotowych przedmiotów.

Dla określania pochodzenia przedmiotów cenniejsze będą na ogół cechy podstawowe, jeśli tylko można je w sposób dostatecznie łatwo określić; trzeba jednak oprzeć się na cechach pochodnych, jeśli możliwości ich określenia są większe. Cechy pierwotne tworzywa służą do określania ośrodka wytwórczego półfabrykatów, z którego pochodziło tworzywo, a cechy wtórne — do określania ośrodka przetwórczego (jeżeli wyroby gotowe nie były wykonywane w miejscu, gdzie uzyskiwano surowiec).

Cechy dawnych wyrobów mogą być jakościowe lub ilościowe. Cechy jakościowe — to np.: zabarwienie, rodzaj wzoru dekoracyjnego, rodzaj procesu technologicznego stosowany przy wyrobie przedmiotu (np. sposób toczenia ceramiki czy utwardzania narzędzi). Natomiast cechy ilościowe określane są pewną liczbą, są to np.: wymiar przedmiotu, zawartość pewnych domieszek w tworzywie itp. Przez odpowiednią klasyfikację można przekształcić cechy ilościowe w jakościowe, a cechy jakościowe — przez odpowiednią metodę ich określenia — w ilościowe.

Cechy alternatywne w sposób jednoznaczny decydują o przynależności (lub nieprzynależności) przedmiotów do zbioru okazów o określonym pochodzeniu. Tak np. rodzaj procesu technologicznego, zastosowanego przy wyrobie danego przedmiotu, w sposób jednoznaczny łączy go z ośrodkiem produkcyjnym, gdzie proces ten był znany, wykluczając jednocześnie jego pochodzenie z ośrodków, gdzie proces ten nie był (lub nie mógł być) stosowany. Tak np. miecz dziwerowany (zgrzewany z żelaza i stali) z cmentarzyska z okresu rzymskiego w Wąchocku (powiat ilżecki)¹⁴ nie mógł być wykonany w pobliskim ośrodku hutniczym w rejonie Gór Świętokrzyskich, gdyż wytapiano tam żelazo o nierównomiernym nawęgleniu pierwotnym, a oprócz tego nie stwierdzono w tym ośrodku ani znajomości zgrzewania żelaza i stali, ani nawet różniania tych stopów¹⁵.

Cecha jakościowa nie zawsze jest alternatywną, niekiedy bowiem jest zależna od warunków (lub od statystycznego rozrzutu cech). Tak więc określona technika stosowana w pewnym ośrodku produkcyjnym, jak np. zgrzewanie, nie będzie występować przy wyrobie takich przedmiotów, które stosowania tej techniki nie wymagają (gwoździe, nity itp.). Jeśli więc przedmioty tego typu nie wykazują stosowania zgrzewania żelaza i stali, nie oznacza to, aby pochodziły z ośrodka, gdzie technika ta nie była znana i stosowana.

Niekiedy wystarczająca do jednoznacznego określenia przedmiotu (tj. alternatywna) może być jedna cecha ilościowa, ale wtedy jedynie, gdy wielkość tej cechy dla pewnego ośrodka różni się bardzo wyraźnie od tej wielkości dla przedmiotów z innych ośrodków. Przykładem mogą być dawne wyroby z żelaza zawierające kilka procent niklu i więcej (np. bransoleta z grobu nr 62 halsztackiego cmentarzyska w Czę-

¹⁴ Por.: J. Piaskowski, *Technologia i pochodzenie wyrobów żelaznych z północnej Małopolski i Mazowsza w okresie wpływów rzymskich na podstawie badań metaloznawczych*. „Studia z Dziejów Górnicztwa i Hutnictwa”, 1962, t. 7, s. 137.

¹⁵ Por.: J. Piaskowski, *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych [...]*, s. 57.

stochowie-Rakowie, o zawartości 12,47% Ni¹⁶), które były albo wykute z żelaza meteorytowego, albo też pochodziły z ośrodka, w którym przetapiano rudę żelaza o wysokiej zawartości niklu. Przedmioty te nie mogły natomiast pochodzić z ośrodka, gdzie eksploatowano zwykłą rudę żelaza o niewielkiej zawartości niklu.

Zwykle jednak do określenia pochodzenia dawnych przedmiotów trzeba wykorzystywać również i te cechy ilościowe, które występują w różnych wyrobach w podobnym zakresie wielkości, trzeba jednak wtedy rozpatrywać możliwie duży zespół cech, w ten sposób bowiem zwiększają się możliwości zróżnicowania ośrodków produkcyjnych, gdyż n cechom odpowiada $n!$ możliwych kombinacji¹⁷.

Można także przewidzieć z góry, że rozpatrywane cechy dawnych wyrobów będą wykazywać pewien rozrzut, określanie więc tych cech jest możliwe jedynie w oparciu o metody statystyczne, w wyniku badań zbioru przedmiotów, tworzących statystyczną próbę, której wiarygodność jest określana przez losowość i liczebność próby.

B. LOSOWOŚĆ I LICZEBNOŚĆ PRÓBY STATYSTYCZNEJ

Dla materiałów archeologicznych warunek losowości próby jest na ogół spełniony, gdyż zarówno zagubienie przedmiotu przed wiekami przez jego użytkownika, jak i zachowanie okazu do czasów obecnych i jego znalezienie przez archeologa jest całkowicie dziełem przypadku¹⁸.

Zespół przedmiotów pochodzących z pewnego stanowiska archeologicznego stanowi więc próbę losową, wskazującą na cechy tworzywa, technologii itd. w tym stanowisku. Trzeba się jednak liczyć, że przy badaniu materiałów z jednego stanowiska (jednej próby losowej) mogą ujść uwadze pewne szczegółowe zjawiska: np. wśród 37 zbadanych przedmiotów wczesnośredniowiecznych ze stanowiska nr 4 w Biskupinie (w czym było 25 narzędzi)¹⁹ nie natrafiono na żaden przedmiot poddany nawęgleniu, co jednak nie upoważnia do twierdzenia, że proces ten nie był tam stosowany, skoro występuje on poza tym na prawie każdym stanowisku wczesnośredniowiecznym na ziemiach Polski; można więc co najwyżej wysunąć przypuszczenie, że hutnicy i kowale w Biskupinie stosowali ten proces rzadziej niż gdzie indziej.

Bardziej jednak ogólna charakterystyka technologiczna stanowiska archeologicznego jest widoczna już na podstawie niewielkiej liczby zba-

¹⁶ Por.: J. Zimny, *Metaloznawcze badania wyrobów żelaznych z Częstochowy-Rakowa*. „Rocznik Muzeum w Częstochowie”, 1965, t. 1, s. 357.

¹⁷ W przedstawionej przez autora koncepcji starożytnego żelaza świętokrzyskiego fakt ten został dostatecznie zrozumiany, co m.in. było przyczyną dłuższej dyskusji na temat tej koncepcji; por. m.in. wypowiedź: R. Pleiner, *Przyczynek do problemu metalurgii wczesnohistorycznej i zagadnienia tak zwanego metalu świętokrzyskiego*. „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki”, nr 1—2/1965, s. 33; także: J. Piaskowski, *Dyskusja nad koncepcją starożytnego żelaza świętokrzyskiego (w odpowiedzi drowi R. Pleinerowi)*. Tamże, nr 3/1965, s. 351; oraz R. Pleiner, *Uwagi na temat polemiki z doc. J. Piaskowskim [...] w niniejszym nrze „Kwartalnika”*, s. 111.

¹⁸ Por.: J. Piaskowski, *Zastosowanie statystycznej analizy zbiorów i teorii próby w archeologii*. „Acta Archaeologica Carpathica” (w druku). Tej losowości należy najwidoczniej przypisać fakt, że nawet zestawienia oparte na niezbyt licznych materiałach (por. niżej niektóre podane dla ilustracji wyniki metaloznawczych badań dawnych przedmiotów żelaznych) w pełni potwierdzają się podczas dalszych badań.

¹⁹ Por.: J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania przedmiotów żelaznych ze stanowiska nr 4 w Biskupinie, pow. Złin* (w opracowaniu).

danych okazów. Tak np. wśród 20 stanowisk z okresu średniowiecza (VI—XV w.) we wszystkich 17 stanowiskach, z których zbadano co najmniej 2 noże, natrafiono na technologię (nawęglanie żelaza, zgrzewanie żelaza i stali) typową dla tego okresu (tabl. 1; tablica ta jest równocześnie interesującym przykładem, jak realizuje się średnie prawdopodobo-

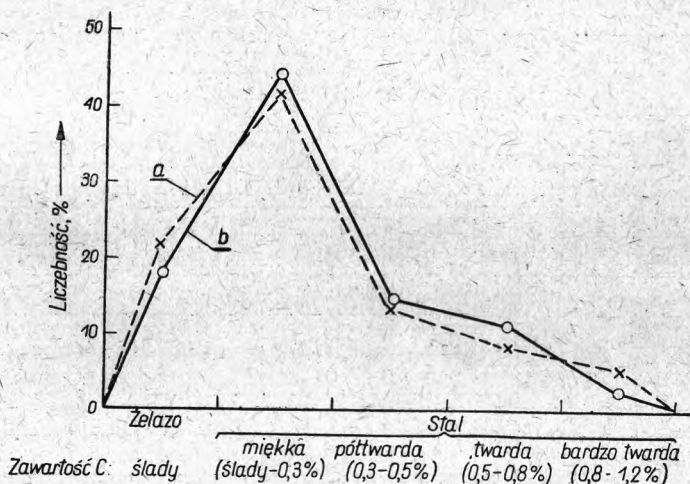
Tablica 1

Udział noży nawęglanych i zgrzewanych w materiałach ze średniowiecznych stanowisk archeologicznych na ziemiach Polski

Lp.	Stanowisko	Datowanie, wiek	Liczba zbadanych noży, sztuk	Udział noży nawęglanych i zgrzewanych, %
1	Szeligi	VI—VIII	15	26,7
2	Cieślin	VI—VIII	1	0
3	Cekanowo	VI—VIII	1	0
4	Czeladź Wielka	VI—VIII	3	66,7
		IX—XII	6	83,3
5	Łazy	VI—VIII	3	100,0
6	Biskupin	VI—XII(?)	15	60,0
7	Międzywieć	VII	2	50,0
8	Kornatka	VII—VIII	1	0
9	Czerchów	IX—X	5	40,0
10	Gdańsk	X—XI	11	81,8
		XII—XIII	18	94,4
		XIV—XV	10	80,0
11	Kołobrzeg	IX—X	2	100,0
		XI—XII	2	100,0
12	Wawel	X—XI	1	100,0
		XI—XII	5	80,0
		XII—XIII	3	66,7
13	Lutomiersk	XI	9	88,9
14	Buczek	XI	2	100,0
15	Młodzikowo	XI—XII	8	100,0
16	Tum pod Łęczycą	XII—XIII	10	60,0
17	Igołomia	XII—XIII	2	50,0
18	Sieradz	XIII	7	71,4
19	Piekary	XIII	10	90,0
20	Bytom	XIII—XIV	1	100,0
Razem		VI—XV	153	72,6

bieństwo w poszczególnych próbach o różnej, na ogół niewielkiej liczebności). Dla uzyskania natomiast pełniejszych danych konieczne są badania materiałów z większej liczby stanowisk archeologicznych na pewnym obszarze, przy czym liczba stanowisk, jaka powinna być zbadana, zależy od stopnia zróżnicowania cech metalu i technologii na rozpatrywanym obszarze dla określonego okresu czasu.

Liczebność próby odgrywa istotną rolę w rozważaniach statystycznych, a więc przy określaniu cech przedmiotów wyrabianych w określonym ośrodku produkcyjnym. Przy badaniach dawnych przedmiotów w celu określenia ich cech liczebność ta jest jednak ograniczona bądź przez koszt badań, bądź przez liczbę znalezionych okazów. Dodatkową trudność sprawia fakt, że tylko w niektórych wypadkach można na drodze rachunku statystycznego dokładnie określić liczebność próby wymaganą dla założonego poziomu prawdopodobieństwa wyniku przy określonym rozrzucie wielkości cechy. Częściej liczebność tę trzeba będzie określać orientacyjnie na podstawie doświadczenia w stosowaniu metod statystycznych w tej dziedzinie.



Ryc. 1. Wieloboki rozkładu średniego nawęglenia w wyrobach świętokrzyskich z okresu rzymskiego: a) dla przedmiotów z terenów w promieniu 100 km od Gór Świętokrzyskich (na podstawie 37 oznaczeń); b) dla przedmiotów z ziem całej Polski (na podstawie 118 oznaczeń)

Рис. 1. Многоугольники распределения среднего науглероживания в свентокршских изделиях римского периода: а) предметы, найденные в радиусе 100 км от Свентокршских гор (на основании 37 обозначений); б) предметы, обнаруженные в различных районах Польши (на основании 118 обозначений)

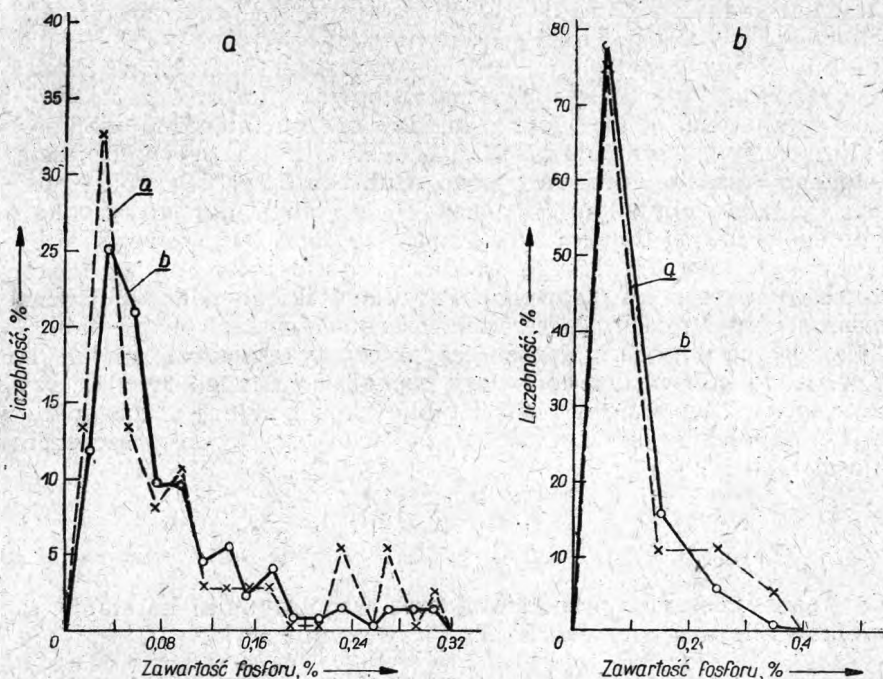
Fig. 1. Distribution polygons of average carburisation in the Holy Cross products from the Roman period: a) for objects found within a radius of 100 km from the Holy Cross Mountains (on the basis of 37 estimations); b) for objects from all the territory of Poland (on the basis of 118 estimations)

Pewną praktyczną wskazówką pozwalającą na ocenę liczebności próby jest kształt wieloboków rozkładu rozpatrywanych cech: kształt regularny może świadczyć o dostatecznej liczebności próby, nieregularny natomiast wskazuje na potrzebę dalszych badań dla stwierdzenia, czy

owe nieregularności — to wynik sumowania się elementów pochodzących z różnych zbiorów (ośrodków produkcyjnych), czy też wynikają one jedynie ze zbyt małej liczebności próby.

Dla sprawdzenia, czy liczebność próby (liczba zbadanych materiałów) jest już dostatecznie duża dla określenia wieloboków rozkładu prawdopodobieństwa cech wyrobów z danego ośrodka produkcyjnego, można także posłużyć się dalszym zwiększaniem liczebności próby: jeśli okaże się, że wynik (np. wielobok rozkładu) nie ulegnie istotniejszym zmianom, można przyjąć, że liczebność próby jest już dostateczna; jeśli jednak nastąpi wyraźna zmiana wyniku, dalsze zwiększenie liczebności staje się nieodzowne.

Tak np. po wykonaniu wieloboków rozkładu cech dla niezbyt dużej liczby starożytnych wyrobów świętokrzyskich (niskofosforowych) znalezionych na terenach sąsiadujących z tym ośrodkiem (w promieniu 100



Ryc. 2. Wieloboki rozkładu zawartości fosforu w wyrobach świętokrzyskich z okresu rzymskiego: a) dla przedmiotów z terenów pobliskich ośrodkowi świętokrzyskiemu (na podstawie 37 analiz); b) dla przedmiotów z ziem całej Polski (na podstawie 122 analiz). Szerokość przedziału: a) 0,02‰; b) 0,1‰

Рис. 2. Многоугольники распределения содержания фосфора в свентокшиских изделиях, датируемых римским периодом: а) предметы, найденные на территории неподалеку от свентокшиского металлургического центра (на основании 37 анализов); б) предметы, обнаруженные в различных районах Польши (на основании 122 анализов). Ширина интервала: а) 0,02‰; б) 0,1‰

Fig. 2. Distribution polygons of phosphorus content in the Holy Cross products dating back to the Roman period: a) for objects from the area near to the Holy Cross centre (on the basis of 37 analyses); b) for objects from all the territory of Poland (on the basis of 122 analyses). The interval's width: a) 0,02‰, b) 0,1‰

km) zestawiono podobne wieloboki dla przedmiotów żelaznych wykazujących ten zespół cech z ziem całej Polski²⁰. Pomimo że liczebności próby dla poszczególnych cech zwiększyły się z 23—46 wyników do 89—140 wyników, kształt wieloboków rozkładu cech nie uległ istotnej zmianie (ryc. 1 i 2), co wskazuje, że wieloboki te są już dość dokładnie określone i jest mało prawdopodobne, aby dalsze uzupełnianie materiału doświadczalnego mogło w nich wnieść jakieś poważniejsze zmiany.

II. OKREŚLANIE POCHODZENIA DAWNYCH PRZEDMIOTÓW NA PODSTAWIE CECH JAKOŚCIOWYCH

Metoda identyfikacji ceramiki czerniachowskiej, opracowana przez G. K. Kruga i O. J. Krug²¹, może znaleźć zastosowanie przy określaniu pochodzenia dawnych przedmiotów na podstawie cech jakościowych. Teoretycznie metodą tą można posługiwać się także w wypadku cech ilościowych, jednak wyniki ilościowe zostają tu sprowadzone do cech jakościowych przez podział na dwie jedynie klasy.

Metoda Krugów polega na podziale charakterystyk (każdej cechy) na dwie wyłączające się klasy, oznaczone umownie liczbami +1 i -1. Następnie wyznacza się korelację pomiędzy tak określonymi wielkościami cech (oznaczonych symbolami: $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k$) i przynależnością do określonego ośrodka produkcyjnego (lub kultury). Przynależność tę określa się także symbolem +1 (okaz jest wyrobem danego ośrodka produkcyjnego lub należy do określonego zespołu kulturowego) lub -1 (okaz nie jest wyrobem danego ośrodka produkcyjnego lub nie należy do określonego zespołu kulturowego). Przykład takiego podziału i oznaczenia poszczególnych cech dla ceramiki czerniachowskiej podaje tabl. 2.

Zakodowaną w podany sposób charakterystykę poszczególnych przedmiotów, co do których wiadomo, czy pochodzą z danego ośrodka, czy też spoza niego, zestawia się w postaci tablicy korelacyjnej, a następnie wylicza się współczynniki korelacji $R_{X_i Y}$ wielkości Y od poszczególnych wielkości cech X_i :

$$R_{X_i Y} = \frac{\sum_{j=1}^N X_{ij} Y_j}{N} \quad [1]$$

(gdzie j oznacza numer przedmiotu) oraz współczynniki korelacji $R_{X_i X_k Y}$ od wielkości ilorazu par cech $X_i X_k$ (przy czym $i \neq k$):

$$R_{X_i X_k Y} = \frac{\sum_{j=1}^N X_{ij} X_{kj} Y_j}{N} \quad [2]$$

Z kolei układa się równanie korelacyjne typu:

$$Y = \sum_{i=1}^N a_i X_i + \sum_{\substack{i,k=1 \\ i \neq k}}^N a_{ik} X_i X_k \quad [3]$$

a następnie, mając wartości X_i, X_k, Y (równe po zakodowaniu +1 lub -1 w zależności od wartości poszczególnych cech i przynależności do kultury czerniachowskiej), wylicza się rachunkiem aproksymacyjnym

²⁰ Por.: J. Piaskowski, *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych* [...], s. 37.

²¹ G. K. Krug, O. J. Krug, *op. cit.*

Tablica 2

Przeliczenie na układ dwójkowy (kodowanie) wartości cech ceramiki i jej przynależności kulturowej (według G. K. Kruga i O. J. Krug)

Cecha	Oznaczenie	Przeliczenie na układ dwójkowy (kodowanie)	
		+1	-1
Barwa tła materiału w świetle przechodzącym	X_1	żółty lub czerwono-bury	szary
Działanie światła spolaryzowanego	X_2	działa	nie działa
Zawartość procentowa drobnoziarnistej domieszki (poniżej 0,08 mm)	X_3	ponad 14%	poniżej 14%
Zawartość procentowa gruboziarnistej domieszki (ponad 0,08 mm)	X_4	ponad 11%	poniżej 11%
Wymiary gruboziarnistego tłucznia	X_5	ponad 1 mm	poniżej 1 mm
Wielkość przeważającej ilościowo frakcji tłucznia	X_6	ponad 0,04 mm	poniżej 0,04 mm
Wyselekcjonowanie tłucznia	X_7	dobrze (ponad 60% przeważającej ilościowo frakcji)	złe (poniżej 40% przeważającej ilościowo frakcji)
Skład mineralogiczny gruboziarnistej domieszki	X_8	kwarc	inne materiały
Obecność związków żelazistych	X_9	są	brak
Jednorodność struktury masy ceramicznej	X_{10}	jednorodna	niejednorodna
Przynależność do kultury	Y	kultura czerniachowska	kultura nieczerniachowska

przy pomocy maszyny matematycznej współczynnikami a_i i a_{ik} . W wyznaczonym w ten sposób równaniu korelacyjnym opuszcza się te cechy i te pary cech, dla których wyliczone na podstawie wzorów (1) i (2) współczynniki korelacji są niewielkie. Tak np. G. K. Krug i O. J. Krug wprowadzili do równania jedynie te cechy i pary cech, dla których współczynniki korelacji były równe lub większe od 0,3; dzięki temu liczbę członów równania (3) można było sprowadzić do dwunastu i równanie korelacyjne dla identyfikacji ceramiki czerniachowskiej przyjęło postać:

$$\begin{aligned}
 Y = & +0,43 X_2 + 0,16 X_3 - 0,37 X_5 + 0,06 X_8 + 0,50 X_2 X_3 + 0,27 X_2 X_8 + \\
 & - 0,02 X_3 X_4 + 0,30 X_4 X_5 + 0,58 X_4 X_9 + 0,76 X_6 X_9 + 0,45 X_8 X_9 + \\
 & - 0,25 X_9 X_{10}.
 \end{aligned} \quad [4]$$

Mając w ten sposób — na podstawie cech przedmiotów o znanym pochodzeniu — wyznaczone równania korelacyjne (3) dla poszczególnych ośrodków produkcyjnych, można określić, z którego ośrodka pochodziły inne przedmioty o określonych cechach X_i wyrażonych umownymi wielkościami +1 lub -1. Uzyskanie ze wzoru (3) wielkości dodatniej na Y wskazuje, że przedmiot pochodzi z ośrodka, dla którego ustawiono ten

wzór; uzyskanie wielkości ujemnej natomiast świadczy o pochodzeniu z jakiegoś innego ośrodka produkcyjnego.

Dla 40 zbadanych fragmentów ceramiki, posługując się równaniem (4), G. K. Krug i O. J. Krug uzyskali 97,5% prawidłowych identyfikacji ceramiki czerniachowskiej.

III. OKREŚLANIE POCHODZENIA DAWNYCH PRZEDMIOTÓW NA PODSTAWIE CECH ILOŚCIOWYCH PRZY DUŻEJ LICZBIE CECH O SZEROKIM ZAKRESIE ZMIENNOŚCI

Rozwinięta przez S. Junghansa i współpracowników²² metoda H. Kleina, zastosowana do znalezionych na terenie środkowej i zachodniej Europy wyrobów ze stopów miedzi z wczesnej epoki brązu, polega na klasyfikacji tych wyrobów według zawartości bizmutu, antymonu, srebra, niklu i arsenu (poza tym analizy obejmowały zawartość cyny, ołowiu, złota, cynku, kobaltu i żelaza). W zależności od ilości tych pięciu domieszek wyróżniono dwanaście grup metalu (tabl. 3).

Tablica 3

Klasyfikacja dawnych stopów miedzi w zależności od ilości domieszek

Grupa	Zawartość, %				
	Bi	Sb	Ag	Ni	As
A	<0,08	>0,40	>0,25	>0,50	4,5
B1	<0,08	>0,40	>0,25	<0,50	<0,20
B2	<0,08	>0,40	>0,25	<0,50	>0,20
C1	>0,08	2,0	2,0	0,60	<0,64
C2	>0,08	>0,50	3,0	2,5	>0,64
C3	>0,08	<0,50	1,0	0,35	>0,64
E01	<0,08	<0,19	1,5	<0,04	>0,10
E00	<0,08	<0,19	1,7	<0,04	<0,10
E11	<0,08	>0,19	1,0	<0,04	>0,10
E10	<0,08	>0,19	2,0	<0,04	<0,10
F1	<0,08	2,0	<0,10	>0,04	7,0
F2	<0,08	3,0	>0,10	>0,04	5,0

Następnie teren środkowej i zachodniej Europy podzielono na 15 obszarów geograficznych, odpowiadających zespołom kulturowym w epoce neolitycznej i we wczesnej epoce brązu, i uważając łączną liczbę analiz odpowiadających poszczególnym grupom metalu za 100%, wyliczono udziały procentowe analiz z poszczególnych obszarów. Tak np. okazało się, że metal grupy E01 występuje najczęściej (25%) w Hiszpanii i Portugalii, metal E00 — w Jugosławii (17,8%) i na Węgrzech (15,0%), metal C3a — w północnych Włoszech (44,0%) oraz w Hiszpanii i Portugalii (38,5%), metal C3b — na Węgrzech (62,0%) itd.

Dwie grupy, F1 i F2, zostały uznane za metal pochodzący z ośrodka bawarsko-austriackiego, ponieważ występują tam częściej aniżeli na innych obszarach. Poza tym jednak poszczególne grupy metalu nie zostały powiązane z określonymi ośrodkami produkcyjnymi, nie opracowano zresztą i metody pozwalającej na takie powiązanie.

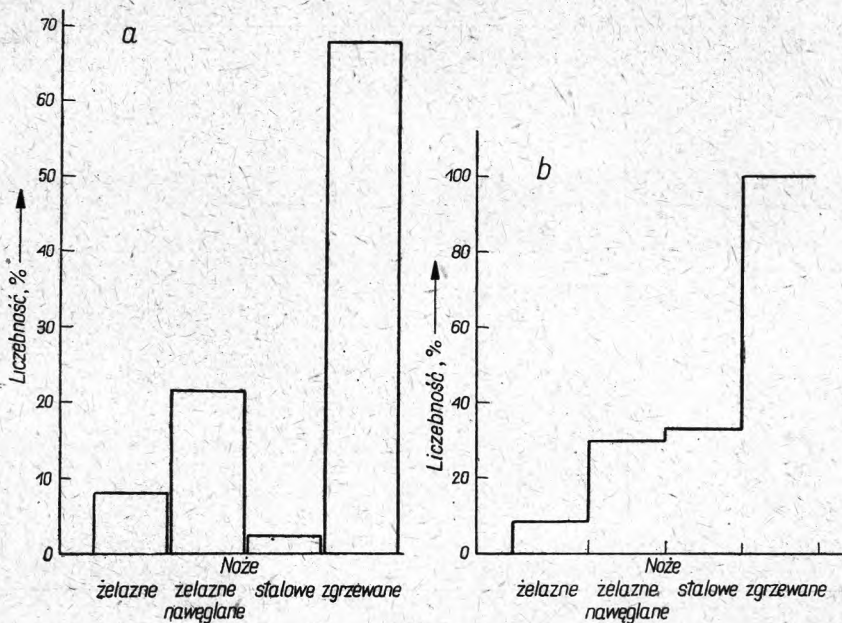
²² S. Junghans, E. Sangmeister, M. Schröder, *op. cit.*, s. 57.

IV. OKREŚLANIE POCHODZENIA DAWNYCH PRZEDMIOTÓW NA PODSTAWIE CECH IŁOŚCIOWYCH PRZY NIEWIELKIEJ LICZBIE CECH O WĄSKIM ZAKRESIE ZMIENNOŚCI

A. WIELOBOKI ROZKŁADU (KRZYWE PRAWDOPODOBIENSTWA I ICH INTERPRETACJA)

Dla niewielkiej liczby cech rozpatrywanych przedmiotów i wąskiego zakresu zmienności tych cech odpowiednia jest metoda autora²³, polegająca na wyznaczaniu wieloboków rozkładu (krzywych prawdopodobieństwa) dla poszczególnych cech przedmiotów pochodzących z różnych ośrodków produkcyjnych.

Metoda ta znajduje więc zastosowanie przede wszystkim do rozpatrywania cech ilościowych, można też jednak stosować ją dla cech jakościowych, układając je w określonej i stałej kolejności (np. w formie histogramu lub krzywej sumowej typu skokowego) i określając częstość ich występowania. Tak np. charakterystykę sposobów wykonania noży z Gdańska (X—XIV w.) w postaci histogramu (wykresu słupkowego) przedstawia ryc. 3a, w postaci zaś krzywej sumowej typu skokowego — ryc. 3b.



Ryc. 3a i 3b. Charakterystyka technologii wykonania noży z Gdańska (X—XIV w.) na podstawie 37 okazów: a) w postaci histogramu (wykresu słupkowego); b) w postaci krzywej sumowej (typu skokowego)

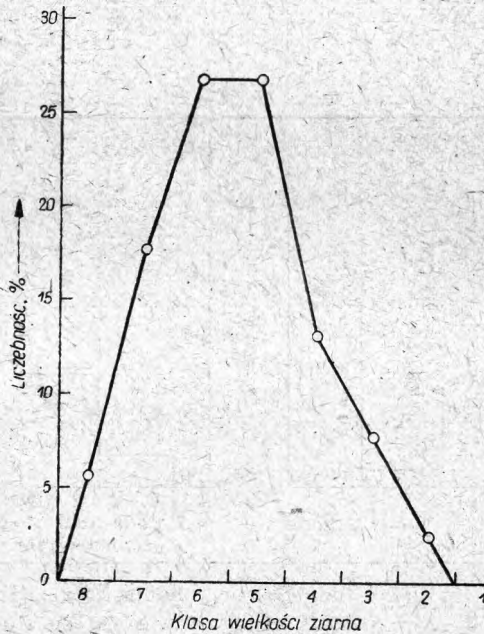
Рис. 3а и 3б. Характеристика технологии изготовления ножей из Гданьска (X—XIV вв.) на основании анализа 37 экземпляров: а) в виде гистограммы; б) в виде суммарной кривой (скачкообразного типа)

Fig. 3a and 3b. The characteristic of the technology of manufacturing the knives from Gdańsk (the X—XIV centuries) on the basis of 37 specimens: a) in the form of a histogram; b) in the form of a summation curve (thread pitch type)

²³ J. Piaskowski, *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych* [...], s. 12.

Sposoby wykresnego przedstawienia rozkładu cechy (histogramy, wieloboki rozkładu, krzywe rozkładu itd.) oraz liczbowe charakterystyki tego rozkładu (średnia arytmetyczna, moda, rozstęp, średnie kwadratowe odchylenie itd.) są ogólnie znane i były omówione już w poprzedniej pracy autora²⁴. Dlatego też w niniejszym opracowaniu ograniczono się do podania interpretacji kształtu wieloboków rozkładu cech dawnych wyrobów na przykładach pochodzących z badań przedmiotów żelaznych, prowadzonych przez autora.

Szczególnie duże znaczenie w rozważaniach statystycznych ma tzw. rozkład normalny, którego charakterystyka matematyczna jest najprostsza i najdogodniejsza, nie zawsze jednak cechy dawnych przedmiotów posiadają tego rodzaju rozkład. Wyznaczone zaś w dotychczasowych pracach autora wieloboki rozrzutu cech wczesnohistorycznych przedmiotów żelaznych odbiegają na ogół wyraźnie kształtem od krzywej Gaussa odpowiadającej rozkładowi normalnemu; niekiedy tylko spotyka się rozkłady symetryczne lub zbliżone do symetrycznych, w których wielkość najczęściej występująca (tzn. najbardziej prawdopodobna), zwana wielkością modalną (modą), znajduje się w środku pola rozrzutu i jest równa średniej arytmetycznej. Przykładem prawie symetrycznego rozkładu może być wielobok rozkładu wielkości ziarn ferrytu w starożytnych wyrobach świętokrzyskich z grobów ciałałpalnych (ryc. 4)²⁵.



Ryc. 4. Wielobok rozkładu wielkości ziarn ferrytu w wyrobach świętokrzyskich z cmentarzysk ciałałpalnych z okresu rzymskiego (na podstawie 130 oznaczeń)

Рис. 4. Многоугольник распределения размеров ферритовых зерен в свентокршиских изделиях, найденных в могильнике с трупосожжением, датируемых римским периодом (по 130 обозначениям)

Fig. 4. Distribution polygon of the magnitude of ferrite's grains in the Holy Cross manufactures from crematory cemeteries dating back to the Roman period (on the basis of 130 notations)

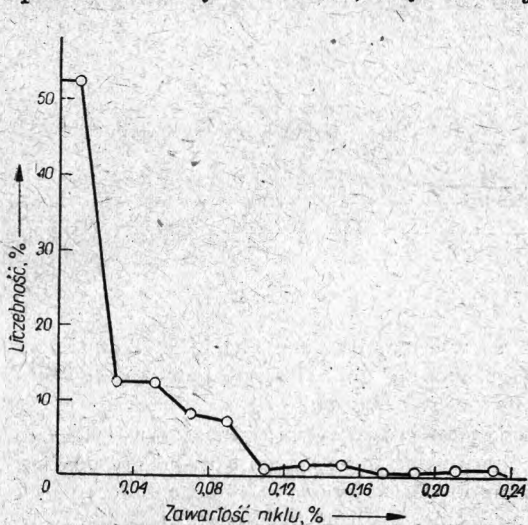
²⁴ Tamże, s. 12.

²⁵ Tamże, s. 46

Częściej występują jednak rozkłady asymetryczne; przykładami takimi mogą być wieloboki rozkładu zawartości fosforu i nawęglania w starożytnych wyrobach świętokrzyskich, wykazujące pewne nachylenie ku niższym zawartościom (ryc. 1 i 2). Zwiększenie szerokości przedziału (ryc. 2) powoduje zmniejszenie nieregularności wieloboku, ale równocześnie zmniejsza się dokładność; tak więc wielkość modalna (najbardziej prawdopodobna) zawartości fosforu, która przy wąskim przedziale (0,02%) mieści się w granicach 0,02—0,04% P (ryc. 2a), przy przedziale szerszym (0,1%) przypada na zakres 0,0—0,1% P (ryc. 2b).

Asymetria wieloboku rozkładu wskazuje na istnienie jakiegoś jednego dominującego czynnika wpływającego na wielkość badanej cechy, czynnik ten jednak zazwyczaj nie może być określony na podstawie danych statystycznych i wymaga dodatkowych badań.

Wielobok rozkładu może wskazywać także na przypadkowy charakter cechy, jeśli wielkością modalną jest zero, a im większa wielkość cechy, tym zmniejsza się prawdopodobieństwo jej wystąpienia. Przykładem może być wielobok zawartości niklu w starożytnych wyrobach świętokrzyskich (zawartość ta jest przypuszczalnie wynikiem przypadkowo występujących domieszek niklu w rudzie; ryc. 5) lub wielobok zawartości manganu w tych wyrobach (czego przyczyną mogą być przypadkowe wtrącenia żużla, błąd analizy itp.; ryc. 6).



Ryc. 5

Ryc. 5. Wielobok rozkładu zawartości niklu w wyrobach świętokrzyskich z okresu rzymskiego (na podstawie 113 analiz)

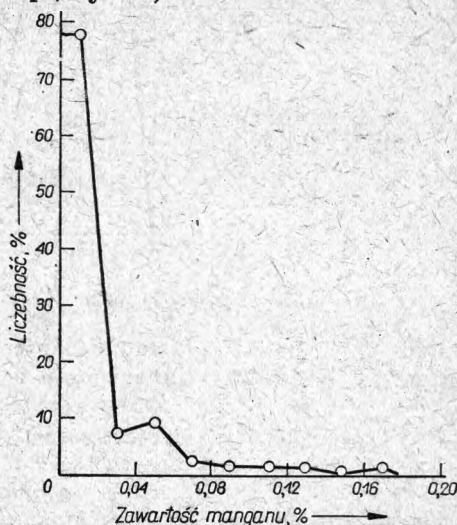
Рис. 5. Многоугольник распределения содержания никеля в свентокрских изделиях римского периода (на основании 113 анализов)

Fig. 5. Distribution polygon of nickel content in the Holy Cross manufactures from the Roman period (on the basis of 113 analyses)

Ryc. 6. Wielobok rozkładu zawartości manganu w wyrobach świętokrzyskich z okresu rzymskiego (na podstawie 108 analiz)

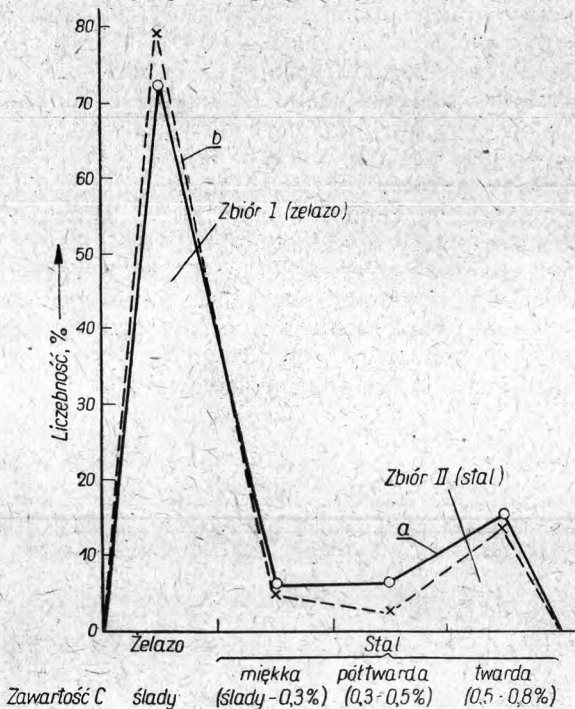
Рис. 6. Многоугольник распределения содержания марганца в свентокрских изделиях римского периода (на основании 108 анализов)

Fig. 6. Distribution polygon of manganese content in the Holy Cross manufactures, the Roman period (on the basis of 108 analyses)



Ryc. 6

Jeśli liczebność próby jest dostatecznie duża, kształt wieloboku rozkładu wskazuje także, czy mamy do czynienia z jednym zbiorem, czy też składa się on w rzeczywistości z dwóch zbiorów. Mogą to być np. wyroby z różnych ośrodków lub dwa różne rodzaje miejscowej produkcji. Przykładem może być rozkład nawęglenia w przedmiotach żelaznych z ośrodka hutniczego w Tumie pod Łęczycą (XII—XIII w.) i w Piekarach (XIII wiek)²⁶ (ryc. 7), wskazujący na systematyczną produkcję metalu prawie



Ryc. 7. Wieloboki rozkładu nawęglenia w wyrobach żelaznych: a) z Tumu pod Łęczycą, XII—XIII w. (na podstawie 58 oznaczeń); b) z Piekar, pow. krakowski, XIII w. (na podstawie 81 oznaczeń)

Рис. 7. Многоугольники распределения науглероживания в железных изделиях: а) из Тума под Лэнчицой, XII—XIII ст. (на основании 58 обозначений); б) из Пекар, Краковского повята, XIII в. (на основании 81 обозначения)

Fig. 7. Distribution polygons of case-hardening in iron products: a) from Tuma near Łęczycą, the XII and XIII centuries (on the basis of 58 notations); b) from Piekary, district of Cracow, the XIII century (on the basis of 81 notations)

nie nawęglonego (żelaza) i metalu silnie nawęglonego (stali). Dodatkowym dowodem jest stosowana w tych ośrodkach technologia wyrobu narzędzi, polegająca na zgrzewaniu części stalowych i części żelaznych²⁷.

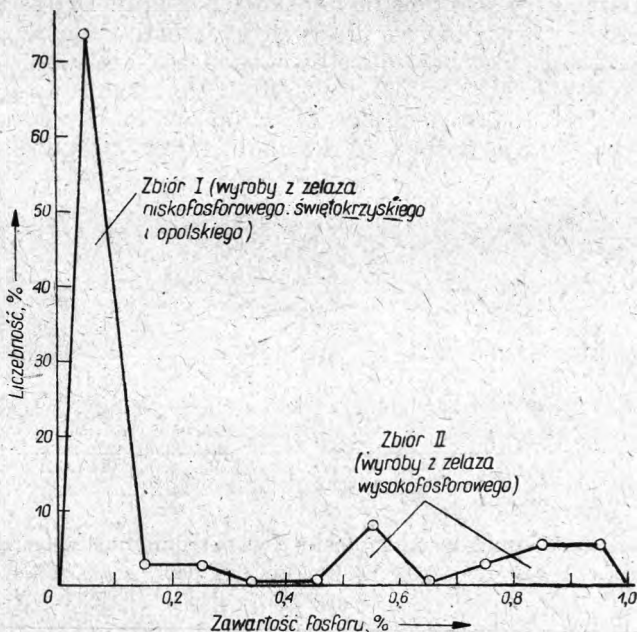
²⁶ Por.: J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania wczesnośredniowiecznych wyrobów żelaznych na przykładzie zabytków archeologicznych z Łęczycy, Czerchowa i Buczka*. „Studia z Dziejów Górnicztwa i Hutnictwa”, 1959, t. 3, s. 7; tenże, *Metaloznawcze badania zabytków archeologicznych z Wyciąży, Igołomii, Jadownik Mokrych i Piekar*. Tamże, 1958, t. 2, s. 7.

²⁷ Por.: J. Piaskowski, *La technique de fabrication des objets en fer en Pologne au début de Moyen-Age*. „Métaux-Corrosion-Industries”, 1960, nr 417, s. 206.

B. OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK CECH WYROBÓW Z POSZCZEGÓLNYCH OŚRODKÓW PRODUKCYJNYCH

Podstawowe znaczenie przy opisywanej tu metodzie określania pochodzenia dawnych przedmiotów ma określenie rozkładów prawdopodobieństwa poszczególnych cech wyrobów z różnych ośrodków produkcyjnych. Aby dane te uzyskać, należy poddać badaniom (pomiarom itp.) przedmioty znalezione na terenie danego ośrodka produkcyjnego lub w jego pobliżu i uzyskane wyniki zestawić w postaci wieloboków rozkładu poszczególnych cech.

Jeśli wieloboki rozkładu tych cech mają charakter regularny, z mniej lub więcej wyraźnym maksimum, można przyjąć, że wszystkie (lub prawie wszystkie) wyroby pochodzą z jednego zbioru i są — jeśli dodatkowe dane temu nie zaprzeczają — wyrobami miejscowymi. Tym samym wieloboki rozkładu (krzywe prawdopodobieństwa) mogą być uznane za charakterystyczne dla danego ośrodka produkcyjnego. Jeśli zaś pewne przedmioty wykazują cechy wyraźnie odbiegające wielkością od całego zbioru, należy je wyłączyć, uważając ich pochodzenie za niepewne lub



Ryc. 8. Wielobok rozkładu zawartości fosforu w przedmiotach żelaznych z okresu rzymskiego z Wąsosza Górnego, pow. kłobucki, Olsztyna, pow. częstochowski, Choruli, pow. krapkowicki (stanowisko 8) i Kościelisk, pow. oleśniński (na podstawie 37 analiz)

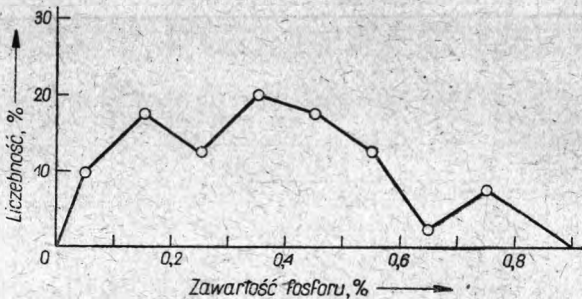
Рис. 8. Многоугольник распределения содержания фосфора в железных предметах римского периода: из Вонсоша Гурного (Клобуцкого повята), из Ольштына (Ченстоховского повята), из Хорули (Крапковицкого повята) и Коцелиск (Олесьненского повята) (на основании 37 анализов)

Fig. 8. Distribution polygons of phosphorus content in iron objects dating back to the Roman period. Found at Wąsosz Górny, district of Cracow, at Olsztyn, district of Częstochowa, at Chorula, district of Krapkowiec (stand No. 8), and at Kościeliska, district of Olesno (on the basis of 37 notations)

uznając te przedmioty za wyroby z jakiegoś innego ośrodka produkcyjnego.

Jeśli liczby wyrobów z dwóch (lub więcej) ośrodków produkcyjnych są w badanych materiałach (np. z rozpatrywanego stanowiska archeologicznego) zbliżone, wieloboki rozkładu przynajmniej niektórych cech wykazują kształt nieregularny lub nawet wyraźne dwa maksima²⁸. Należy wówczas rozdzielić przedmioty na dwie oddzielne grupy, różniące się pochodzeniem.

Tak np. wielobok rozkładu zawartości fosforu w wyrobach żelaznych z okresu rzymskiego z 2 stanowisk z Ziemi Częstochowskiej i 2 — ze Śląska Opolskiego (ryc. 8)²⁹ posiada wyraźne maksimum w zakresie niskiej zawartości fosforu (poniżej 0,1% P), które jest wynikiem istnienia dużego zbioru niskofosforowych wyrobów żelaznych (udział ich wynosi aż 73,6%), a oprócz tego wykazuje niewielką liczbę przedmiotów z żelaza wysokofosforowego. Pierwsza grupa pochodzi z ośrodków, w których wytapiano niskofosforową rudę żelaza, a takie ośrodki były w pobliżu tylko dwa: wielki ośrodek hutniczy w rejonie Gór Świętokrzyskich (por. ryc. 2) i nieduży ośrodek na Śląsku Opolskim. Druga grupa przedmiotów pochodzi z ośrodków, w których eksploatowano występujące tuż pod powierzchnią ziemi rudy darniowe o dużej zawartości fosforu; wyłącznie niemal takie rudy eksploatowano na ziemiach polskich we wczesnym średniowieczu, odpowiadające więc im wieloboki rozkładu zawartości fosforu występują pospolicie dla materiałów z tego okresu (ryc. 9).



Ryc. 9. Wielobok rozkładu zawartości fosforu w przedmiotach żelaznych z wczesnego średniowiecza ze stanowiska 4 w Biskupinie, pow. żniński (na podstawie 40 analiz)

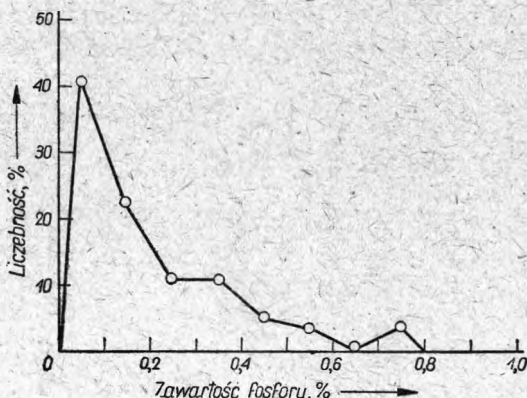
Рис. 9. Многоугольник распределения содержания фосфора в металлических предметах, датируемых ранним средневековьем; из Бискупина (Жнинского повята) на основании 40 анализов)

Fig. 9. Distribution polygon of phosphorus content in iron objects from the early Middle Ages, stand No. 4 at Biskupin, district of Żnin (on the basis of 40 analyses)

²⁸ Cechy takie nazywane są charakterystycznymi; por.: J. Piaskowski, *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych* [...], s. 18.

²⁹ Por.: J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania wyrobów żelaznych z osady w Wąsoszu Górnym, pow. Kłobuck.* „Wiadomości Archeologiczne”, nr 3/1962, s. 218; tenże, *Metaloznawcze badania starożytnych przedmiotów żelaznych i próbek żużla z Górnego Śląska* (w opracowaniu); tenże, *Metaloznawcze badania przedmiotów żelaznych z Sobociska, Nowej Cerekwi i Kościelisk* (w opracowaniu).

Jest szczególnie dogodnie, jeśli z innych badań znane są cechy wyrobów pewnego ośrodka występujące na danym stanowisku archeologicznym obok wyrobów miejscowych: można wtedy oddzielić owe importy i dla pozostałych, miejscowych wyrobów określić wieloboki rozkładu prawdopodobieństwa poszczególnych cech. Tak np. wśród przedmiotów żelaznych z okresu lateńskiego i rzymskiego z dorzecza Wkry³⁰ występują przedmioty o cechach niskofosforowego żelaza świętokrzyskiego i wyroby o podwyższonej zawartości fosforu, na ogół zapewne miejscowego pochodzenia, na co wskazują analizy żużla dymarskiego z tego terenu (ryc. 10).



Ryc. 10. Wielobok rozkładu zawartości fosforu w przedmiotach żelaznych z okresu lateńskiego i rzymskiego z dorzecza Wkry (na podstawie 38 analiz)

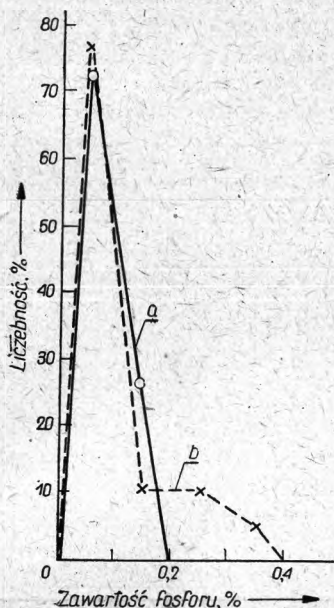
Рис. 10. Многоугольник распределения содержания фосфора в металлических предметах латенского и римского периодов из бассейна реки Вкры (на основании 38 анализов)

Fig. 10. Distribution polygon of phosphorus content in iron objects dating back to the La Tène and the Roman periods, the basin of Wkra (on the basis of 38 analyses)

Jeśli zbadane przedmioty żelazne podzieli się na dwie wymienione grupy (pomijając 3 okazy, które trudno było przyporządkować do jednej z tych grup, i 7 okazów, których badania nie zostały ukończone) i wyznaczy się dla nich oddzielnie wieloboki rozkładu cech, wtedy można je porównać z odpowiednimi wielobokami cech dla przedmiotów żelaznych z okolic Gór Świętokrzyskich (reprezentujących tamtejsze wyroby miejscowe) i dla wczesnośredniowiecznych przedmiotów żelaznych z dorzecza Wkry (VI—VIII w.), które również można uważać, przynajmniej w przeważającej większości, za wyroby miejscowe. Zgodność tych wieloboków przedstawiona przykładowo dla zawartości fosforu (ryc. 11 i 12) wskazuje, że podział na dwie wyróżnione grupy był trafny i w dorzeczu Wkry w okresie lateńskim i rzymskim obok importowanych wyrobów świętokrzyskich występowały wyroby miejscowe, różniące się zresztą od świętokrzyskich także technologią (znajomość sposobu wytapiania żelaza i stali, ich rozróżniania i zgrzewania) i kształtem przedmiotów.

³⁰ Są to przedmioty z Kołoczębia, Poświętnych i Szpondowa (pow. płoński) z II w. p.n.e. — III w. n.e., znajdujące się w opracowaniu autora.

Jeśli jednak wieloboki rozkładu nie wykazują tak wyraźnego zróżnicowania, do rozważań nad pochodzeniem przedmiotów muszą być włączone dodatkowe metody, oparte na częstości występowania określonych wartości cech. Tak np. wielobok rozkładu zawartości fosforu w przed-

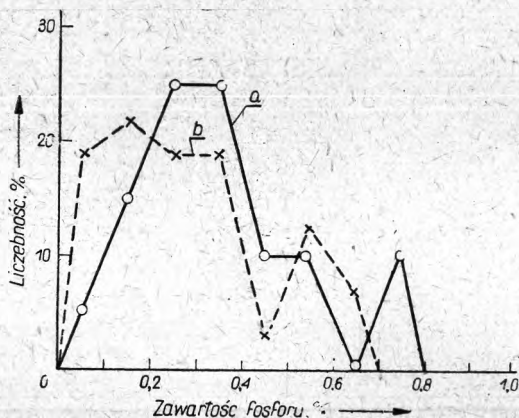


Ryc. 11

Ryc. 11. Wielobok rozkładu zawartości fosforu: a) dla przedmiotów żelaznych z okresu lateńskiego i rzymskiego, wykazujących cechy starożytnego żelaza świętokrzyskiego, z dorzecza Wkry (na podstawie 15 analiz); b) dla przedmiotów, wykazujących te cechy, z terenów w pobliżu Gór Świętokrzyskich (na podstawie 37 analiz)

Рис. 11. Многоугольник распределения содержания фосфора: а) в железных предметах латенского и римского периодов, характеризующихся признаками свентокршиского железа, из бассейна р. Вкры (на основании 15 анализов); б) в предметах, отличающихся такими же признаками, найденных в районе Свентокршиских гор (на основании 37 анализов)

Fig. 11. Distribution polygon of phosphorus content: a) for iron objects from the La Tène and the Roman periods, showing the properties of the ancient Holy Cross iron, the basin of Wkra (on the basis of 15 analyses); b) for objects showing these properties and found in the area near to the Holy Cross Mountains (on the basis of 37 analyses)



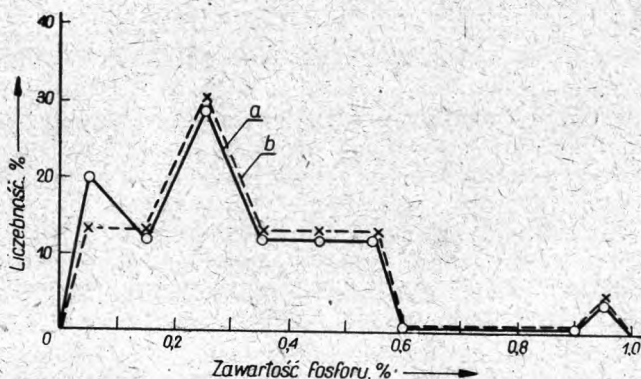
Ryc. 12

Ryc. 12. Wielobok rozkładu zawartości fosforu: a) dla wyrobów miejscowych z dorzecza Wkry z okresu lateńskiego i rzymskiego (na podstawie 20 analiz); b) dla przedmiotów żelaznych z dorzecza Wkry z VI—VIII w. (na podstawie 32 analiz)

Рис. 12. Многоугольник распределения содержания фосфора: а) в местных изделиях из бассейна р. Вкры, датируемых латенским и римским периодами (на основании 20 анализов) б) в железных предметах из бассейна р. Вкры, VI—VIII вв. (на основании 32 анализов)

Fig. 12. Distribution polygon of phosphorus content: a) for local products dating back to the La Tène and the Roman periods, the basin of Wkra (on the basis of 20 analyses); b) for iron objects from the VI—VIII centuries, the basin of Wkra (on the basis of 32 analyses)

miotach żelaznych z Miezan i Sudaty (okolice Święcian na Litwie)³¹ wskazuje ogólnie, że przedmioty te wykonane zostały z żelaza uzyskanego z rudy wysokofosforowej (ryc. 13); wielobok ten różni się wyraźnie od wieloboku rozkładu fosforu w wyrobach świętokrzyskich (ryc. 2). Jednakże wśród 25 analiz w 8 przedmiotach (tj. 32%) występuje zawartość poniżej 0,2% P, a z tego w 5 przedmiotach (tj. 20%) — poniżej 0,1% P, zachodzi więc pytanie, czy pomiędzy tymi okazami nie znajdują się przedmioty z jakiegoś ośrodka, w którym przetapiano rudę niskofosforową (np. świętokrzyskiego).



Ryc. 13. Wielobok rozkładu zawartości fosforu w przedmiotach żelaznych z Miezan i Sudaty (okolice Święcian na Litwie) z V—VI w. n.e.: a) na podstawie 25 analiz; b) na podstawie 23 analiz po wyłączeniu szysła z Sudaty i grota włóczni nr 1 z Miezan

Рис. 13. Многоугольник распределения содержания фосфора в железных предметах из Межан и Судаты (близ Свянциан в Литовской ССР), V—VI в.н.э.: а) на основании 25 анализов; б) на основании 23 анализов, после изъятия шила из Судаты и наконечника копья № 1 из Межан

Fig. 13. Distribution polygon of phosphorus content in iron objects from Miežany and Sudata (environs of Święciany in Lithuania), dating back to the V and VI centuries A.D.: a) on the basis of 25 analyses; b) on the basis of 23 analyses after eliminating the awl from Sudata and the point of the spear No. 1 from Miežany

Dla rozstrzygnięcia tego problemu włącza się do rozważań dalsze cechy: nawęglenie oraz rodzaj i kształt przedmiotów. Większość zbadanych przedmiotów (17, tj. 68%) wykazuje strukturę żelaza czysto ferrytyczną, z czego w 5 przedmiotach zaobserwowano znikome ślady nawęglenia. Natomiast wyraźne, zwykle silne, nierównomierne nawęglenie (do 0,8% C) występuje w zbadanych 6 toporach; poza tym niezbyt równomierne i słabe nawęglenie (do 0,3% C) stwierdzono w szysdle z Sudaty i w grocie włóczni nr 1 z Miezan. Przypadkowość wystąpienia silnego nawęglenia w toporach — podczas gdy prawie wszystkie pozostałe okazy, a w tym i narzędzia (m. in. 6 noży), nawęglenia nie wykazują — jest mało prawdopodobne, można więc przyjąć, że wykonawcy toporów (o prawie identycznym kształcie) świadomie zastosowali do wyrobu tych narzędzi metal o silniejszym nawęgleniu, umiejętności zaś tej nie po-

³¹ J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania przedmiotów żelaznych z Miezan i Sudaty (Litewska Socj. Rep. Radziecka) z IV—VIII w. n.e.* (w opracowaniu).

siadali starożytni hutnicy świętokrzyscy, których wyroby — niezależnie od rodzaju, ewentualnie z wyjątkiem krzesiw — wykazują przypadkowy rozkład nawęglenia. Ponadto topory wykazują sekwencję koncentracji fosforu (od 0,035 do 0,37‰ P). Topór nr 1 z Sudaty odbiega od pozostałych najniższą zawartością fosforu (0,035‰ P), podczas gdy następny (topór nr 3 z Sudaty) zawiera już 0,09‰ P, jednak wobec podobieństwa pozostałych cech (m. in. struktury wtrąceń żużla) trudno przypisać pierwszemu z toporów odrębne pochodzenie. Trzeba więc uznać, że wszystkie topory pochodziły z tego samego ośrodka hutniczego, co i pozostałe przedmioty z Sudaty i Miezan.

W świetle tych rozważań nie jest pewne, czy sztydło z Sudaty i grot włócznie nr 1 z Miezan, choć wykazują one cechy starożytnych wyrobów świętokrzyskich mogą być uznane za importy z tego ośrodka, czy też zbieżność cech jest tylko przypadkowa. Za przypuszczeniem, że przedmioty te były importowane, przemawia fakt, że po ich wyłączeniu wielobok rozkładu (ryc. 13 — linia kreskowana) przyjmuje kształt zbliżony do kształtu wieloboku rozkładu fosforu w wyrobach żelaznych produkowanych z rudy wysokofosforowej (por. ryc. 9). Wątpliwości co do pochodzenia obu rozpatrywanych przedmiotów mogłyby do pewnego stopnia wyjaśnić badania przedmiotów żelaznych na terenach pomiędzy ośrodkiem w Górach Świętokrzyskich a Litwą; jeśli by stwierdzono tam sekwencję geograficzną występowania wyrobów świętokrzyskich, można byłoby zaliczyć do nich także oba rozpatrywane przedmioty, w przeciwnym zaś wypadku zbieżność cech należałoby uznać za przypadkową, nie wykluczając jednak całkowicie możliwości pochodzenia tych przedmiotów z ośrodka świętokrzyskiego.

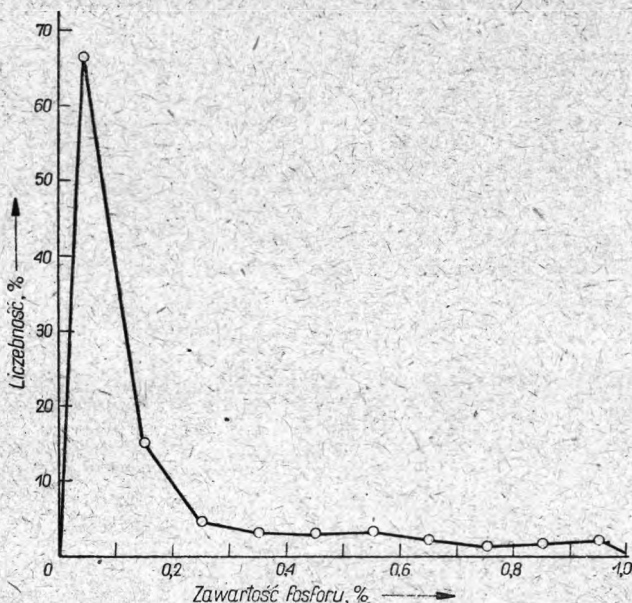
Innym przykładem wieloboku rozkładu wskazującego na istnienie paru zbiorów jest wielobok rozkładu zawartości fosforu dla przedmiotów żelaznych z okresu późnolateńskiego i rzymskiego, znalezionych na ziemiach Polski (ryc. 14)³². Rozkład ten ma kształt regularny, wykazuje wyraźne maksimum, a równocześnie rozciąga się od najniższych aż do najwyższych zawartości fosforu w żelazie dymarskim. Zdaniem autora niniejszego artykułu o kształcie tego rozkładu zdecydował przede wszystkim fakt, że w okresie późnolateńskim i rzymskim przevažająca większość przedmiotów używanych przez ludność, zamieszkującą pomiędzy górną i środkową Odrą a Wisłą, pochodziła z ośrodka świętokrzyskiego (rozkład fosforu w tym żelazie pokazuje ryc. 2). Natomiast analizy wyrobów żelaznych z drobnych ośrodków hutniczych, w których wytapiano w niewielkich ilościach metal z rud wysokofosforowych, spowodowały objęcie przez wielobok rozkładu także zakresu wysokich zawartości fosforu (por. ryc. 9).

Przedstawione w formie wieloboków rozkłady prawdopodobieństwa dotyczą w zasadzie cech niezależnych od siebie. W niektórych wypadkach jednak pewne cechy są od siebie wzajemnie uzależnione (skorelowane) i wtedy dla ich powiązania służą tablice korelacyjne. Przykładem takiego uzależnienia są zawartości węgla i fosforu w żelazie dymarskim, w którym proces nawęglenia nie był kierowany (tzn. był

³² Por.: J. Piaskowski, *Zagadnienia prooecyzny Słowian w świetle metaloznawczych badań dawnych przedmiotów żelaznych*. „Acta Archaeologica Carpathica”, nr 1—2/1963, s. 228.

przypadkowy); na uzależnienie to wskazał na drodze rozważań teoretycznych E. Schürmann³³.

Odpowiednią tablicę korelacyjną (tabl. 4) zestawiono dla starożytnych wyrobów świętokrzyskich. Wynika z niej np., że przedmiot o słabym nawęgleniu (tj. o strukturze ferrytycznej lub odpowiadającej stali miękkiej) zawierający 0,15% P należy zaliczyć do grupy wyrobów świętokrzyskich. Jeśli jednak zawartość węgla byłaby wyższa (np. jak w stali twardej, 0,5—0,8% C), wtedy przedmiot do grupy tej nie może być zaliczony, stal twarłą o takiej zawartości fosforu uzyskiwano bowiem z rudy wysokofosforowej, a więc poza ośrodkiem świętokrzyskim³⁴.



Ryc. 14. Wielobok rozkładu zawartości fosforu w przedmiotach żelaznych z okresu późnolateńskiego i rzymskiego, znalezionych na ziemiach Polski (na podstawie 304 analiz)

Рис. 14. Многоугольник распределения содержания фосфора в предметах из железа, датированных позднорлатенским и римским периодами, найденных на территории Польши (на основании 304 анализов)

Fig. 14. Distribution polygon of phosphorus content in iron objects dating back to the Late La Tène and the Roman periods, found on Polish territory (on the basis of 304 analyses)

Dla zidentyfikowania grupy wyrobów z miejscowego ośrodka produkcyjnego nie wystarczy samo zestawienie i analiza wieloboków rozkładu, konieczne jest jeszcze uzyskanie danych o możliwościach pro-

³³ E. Schürmann, *Die Reduction des Eisens im Rennfeuer*. „Stahl und Eisen”, nr 19/1958, s. 1297.

³⁴ Tabl. 4 zawiera wprawdzie okaz w przedziale twardej stali o zawartości 0,15—0,20% P, jest to jednak tylko pojedynczy — więc zapewne przypadkowy — wynik analizy, będący może skutkiem nierównomiernego rozłożenia węgla i fosforu w metalu, nie przeczy on więc ogólnej prawidłowości statystycznej.

dukcji na miejscu wyrobów o określonych cechach. Dla wyrobów żelaznych nieodzowne są w tym celu odpowiednio liczne badania żużła względnie rudy, tak aby można było znaleźć związek (korelację) pomiędzy cechami żużła (lub rudy) i zespołem cech metalu. W tym celu wykorzystuje się np. korelację pomiędzy zawartością fosforu (lub zawartością innych domieszek, jak nikiel, miedź, arsen itp.) w rudzie

Tablica 4

Tablica korelacyjna zależności pomiędzy stopniem nawęglenia i zawartością fosforu w wyrobach świętokrzyskich na ziemiach Polski w okresie rzymskim

Metal (stopień nawęglenia)	Liczba okazów o zawartości fosforu, w granicach, w %										Razem	
	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85			
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90		
Stal bardzo twarda (0,8—1,2% C)	2	1										3
Stal twarda (0,5—0,8% C)	8	5	1									14
Stal półtwarda (0,3—0,5% C)	14	1	2									17
Stal miękka (ślady—0,3% C)	28	19	8	6	1	1	2					65
Żelazo (struktura ferrytyczna)	5	5	4	3	1	1						19
Razem	57	31	14	10	2	2	2					118

(lub żużłu) i w metalu, dane geologiczne o zasobach rudy i potencjalnych możliwościach produkcyjnych, dane archeologiczne o rozmiarach dawnej produkcji itp.³⁵. Dopiero po rozważeniu tych wszystkich danych można wyodrębnić grupę wyrobów z miejscowego ośrodka hutniczego i wyznaczyć wieloboki rozkładu cech dla tej grupy.

Tak np. na terenie Krakowa-Nowej Huty i okolic (Wyciąże, Igołomia) eksploatowano w okresie późnolateńskiego i rzymskiego miejscową rudę żelaza o wysokiej zawartości fosforu, lecz wśród 46 przedmiotów z tego terenu i tego okresu natrafiono na 7 tylko okazów (tj. 15,2%) z żelaza wysokofosforowego (nie zawierającego Ni i Cu)³⁶, które mogły być dziełem miejscowych hutników. Ten niski udział zgadza się całkowicie z archeologiczną oceną miejscowej produkcji, która była niewielka, o czym świadczą pozostałości kilku zaledwie dymarek ziemnych³⁷.

Dla ustalenia i weryfikacji cech wyrobów z pewnego ośrodka produkcyjnego stosuje się także badania kilku próbek wyciętych z poszczególnych przedmiotów należących do tej grupy, badania przedmiotów wieloczęściowych (tzw. przedmioty związane) i przedmiotów o identycz-

³⁵ Por.: J. Piaskowski, *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych* [...], s. 21.

³⁶ Por.: J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania przedmiotów żelaznych* [...] (praca cytowana w przypisie 11), s. 173.

³⁷ A. Krupkowski, T. Reymán, *op. cit.*, s. 59.

nym kształcie. Szczególnie duże znaczenie dla określeń cech miejscowych wyrobów mają badania fragmentów surowca (fragmenty łupki żelaznych, grąpie itp.)³⁸ oraz półfabrykatów³⁹.

C. GRUPOWA OCENA POCHODZENIA ZESPOŁU PRZEDMIOTÓW

Określając pochodzenie pewnego przedmiotu, porównuje się cechy tworzywa, technologii itd. z cechami wyrobów z poszczególnych ośrodków produkcyjnych, działających na danym terytorium; jest to indywidualna ocena pochodzenia badanego przedmiotu. Jeśli jednak bada się kilka (lub więcej) przedmiotów z tego samego stanowiska, można zastosować dodatkowe metody statystyczne, dostarczające dalszych danych o pochodzeniu przedmiotu; będzie to ocena grupowa. O ile przy tym z poszczególnych stanowisk bada się nieliczne tylko przedmioty (np. po jednym okazie), dla przeprowadzenia oceny grupowej można rozważać łącznie kilka lub więcej sąsiednich stanowisk.

Ocena grupowa pozwala ogólnie zorientować się w cechach zbadanych przedmiotów oraz przeprowadzić ich wstępną klasyfikację, dlatego też korzystnie jest przeprowadzić ją przed oceną indywidualną. W ten sposób bowiem zauważa się zjawiska, które mogą ująć uwagę przy ograniczeniu się do oceny indywidualnej.

Najprostszym przykładem oceny grupowej jest porównanie wieloboków rozkładu cech przedmiotów, pochodzących z badanego stanowiska, z rozkładami analogicznych cech wyrobów z pewnego ośrodka produkcyjnego. Pokrywanie się przynajmniej najistotniejszych wieloboków rozkładu lub podstawowych charakterystyk rozkładów (np. wielkość modalna i zakres rozrzutu) wskazuje, że większość, a może i wszystkie przedmioty z badanego stanowiska pochodzą z tego właśnie ośrodka.

Dla niektórych cech należy zwrócić uwagę na wpływ wielkości lub kształtu przedmiotu na wielkość cech. Przy ocenie np. zawartości węgla w przedmiotach z żelaza o nierównomiernym nawęgleniu trzeba uwzględniać także wielkość (grubość) przedmiotów, zaobserwowano bowiem, że cienkie wyroby świętokrzyskie z grobów ciepłopalnych wykazują przeciętnie nieco słabsze nawęglenie aniżeli przedmioty grube, co może być skutkiem powierzchniowego odwęglenia podczas przeróbki kowalskiej lub podczas wyżarzania w stosie ciepłopalnym.

Tak np. wielobok rozkładu nawęglenia przedmiotów żelaznych z Olsztyna i Choruli (stanowisko 8) z okresu rzymskiego⁴⁰, uwzględniający tylko okazy o niskiej zawartości fosforu (poniżej 0,13% P), wskazuje na słabsze nawęglenie (ryc. 15) aniżeli podobny wielobok dla wyrobów świętokrzyskich (ryc. 1), co można jednak wyjaśnić tym, że na 16 rozpatrywanych przedmiotów aż 9 ma grubość lub średnicę ok. 1 mm. Rozpatrywane zaś pozostałych cech wskazuje, że prawie wszystkie zbadane przedmioty z tych stanowisk wykonane z żelaza niskofosforo-

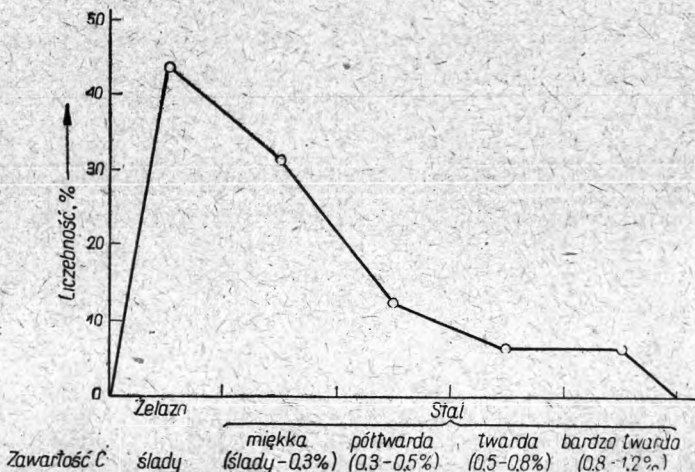
³⁸ W wypadku grąpi należy przy tym wyeliminować pewne ekstremalne zjawiska przypadkowe, nie występujące w wyrobach gotowych (wydzielenia grafitu lub cementytu eutektycznego, eutektyka fosforowa, wtrącenia żużla o bardzo różnorodnej strukturze).

³⁹ Szczegółowe dane o takich badaniach, w zastosowaniu przede wszystkim do cech starożytnych wyrobów świętokrzyskich, można znaleźć w pracy autora: *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych* [...], s. 22.

⁴⁰ J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania starożytnych przedmiotów żelaznych i próbek żużla z Górnego Śląska i Ziemi Częstochowskiej*. „Sprawozdania Archeologiczne” (w druku).

wego mogą być zaliczone do wyrobów świętokrzyskich. Wynik ten pokrywa się także z wnioskiem opartym na geograficznym rozkładzie (sekwencji) wyrobów świętokrzyskich, które w tym kierunku sięgają jeszcze dalej — na Dolny Śląsk i do Wielkopolski.

Przykładem określenia pochodzenia pewnej grupy przedmiotów w sensie negatywnym może być porównanie wieloboków rozkładu zawartości węgla w wyrobach świętokrzyskich z okresów zarówno halsz-



Ryc. 15. Wielobok rozkładu nawęglenia w starożytnych przedmiotach z żelaza niskofosforowego (poniżej 0,13% P) z Olsztyna, pow. częstochowski i Choruli, pow. krapkowicki (stanowisko 8) na podstawie 16 oznaczeń

Рис. 15. Многоугольник распределения науглероживания в древних предметах, выполненных из железа с небольшим содержанием фосфора (меньше 0,13%P), из Ольштына (Ченстоховского повята) и Хорули (Крапковицкого повята) на основании 16 обозначений

Fig. 15. Distribution polygon of case-hardening in ancient objects of low-phosphorus iron (below 0,13% P), found at Olsztyn, district of Częstochowa, and at Chorula, district of Krapkowice (stand No. 8), on the basis of 16 notations

tackiego i wczesnolateńskiego (ryc. 16), jak i rzymskiego (ryc. 1), znajdujących na ziemiach Polski oraz lateńskich i wczesnorzymskich przedmiotów żelaznych z Magdalensbergu (Austria), które — przynajmniej w przeważającej większości — pochodziły z Norikum⁴¹ (ryc. 16). Jakkolwiek i jedno, i drugie wyroby wykazują różne i nierównomierne nawęglenie, widoczna jest jednak zasadnicza różnica rozkładów nawęglenia, co wskazuje, że wyroby świętokrzyskie nie mogły być — ogólnie biorąc — importami z Norikum⁴².

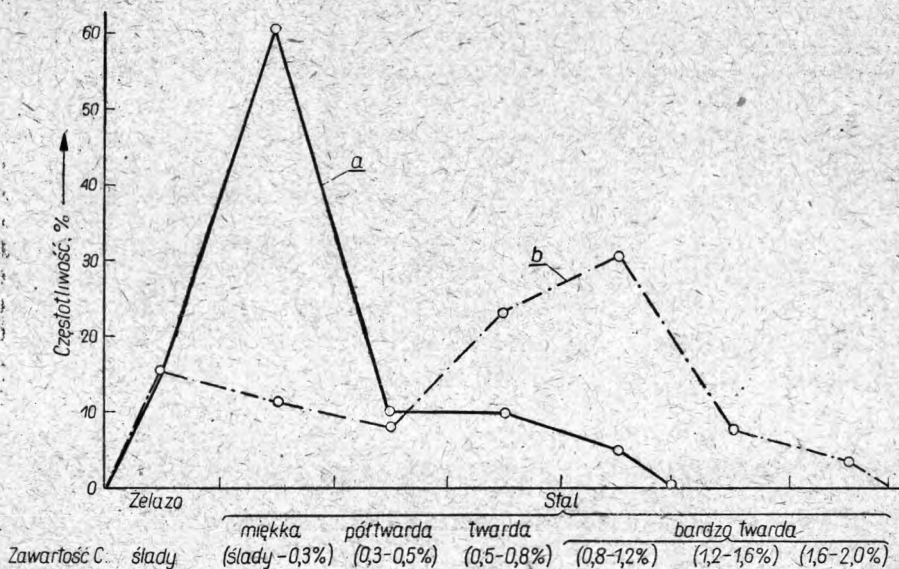
Przykładem określenia pochodzenia pewnej grupy przedmiotów w sensie pozytywnym jest hipoteza początków hutnictwa świętokrzyskiego w okresie halsztackim, sformułowana na podstawie stwierdze-

⁴¹ Por.: O. Schaaber, *Beiträge zur Frage des Norischen Eisens*. „Carinthia”, nr 1/1963, s. 129.

⁴² Przykład ten najdobitniej ilustruje możliwości metody statystycznej przy określaniu pochodzenia dawnych wyrobów. Już samo porównanie rozkładów nawęglenia pozwala tu rozróżnić wyroby z dwu ośrodków bez konieczności posługiwania się innymi cechami (nie określonymi zresztą w pracy O. Schaabera).

nia zgodności cech pewnej grupy przedmiotów z tego okresu i wyrobów żelaznych z okresu rzymskiego znalezionych w pobliżu Gór Świętokrzyskich⁴³.

Przy grupowej ocenie pochodzenia dawnych przedmiotów mogą być pomocne i inne metody rachunku prawdopodobieństwa, polegające m. in. na rozpatrywaniu częstości przypadkowego występowania tej samej wielkości pewnej cechy w przedmiotach z różnych ośrodków, charakteryzujących się różnym prawdopodobieństwem wystąpienia cechy o tej wielkości.



Ryc. 16. Wielobok rozkładu nawęglenia: a) w wyrobach świętokrzyskich z okresu halsztackiego i wczesnolateńskiego, znalezionych na ziemiach Polski, na podstawie 138 oznaczeń; b) w przedmiotach żelaznych i półfabrykatak, z okresu lateńskiego i wczesnorzymskiego z Magdalensbergu (wyroby z Norikum), na podstawie 26 oznaczeń

Рис. 16. Многоугольник распределения науглероживания: а) в свентокршиских изделиях гальштатского и раннелатенского периодов из территории Польши, на основании 138 обозначений; б) в предметах из железа и полуфабрикатах, датируемых латенским и раннеримским периодами, из Магдаленсберга (изделия из Норикума), на основании 26 обозначений

Fig. 16. Distribution polygon of case-hardening: a) in the Holy Cross manufactures from the Hallstatt and the Early La Tène periods, found on Polish territory, on the basis of 138 notations; b) in iron objects and half-finished products from the La Tène and the Early Roman periods, Magdalensberg (manufactures from Noricum), on the basis of 26 notations

Wiadomo np., że w żelazie wytopionym z niskofosforowej rudy występuje niewielka ilość fosforu. Jednakże i w żelazie z rud darniowych, bagiennych itp., zawierających przeciętnie dużą ilość tej szkodliwej domieszki, można niekiedy natrafić na fragmenty o mniejszej koncentracji fosforu i analiza próbki pobranej z takiego fragmentu wykaże

⁴³ Por.: J. Piaskowski, T. Różycka, *op. cit.*, s. 388.

Tablica 5

Udział analiz wykazujących niską zawartość fosforu w przedmiotach żelaznych uzyskanych najprawdopodobniej z rud powierzchniowych o wysokiej zawartości fosforu

Lp.	Stanowisko	Datowanie, wiek	Liczba analiz	Udział analiz z domieszką fosforu, w %			
				poniżej 0,05% P	poniżej 0,10% P	poniżej 0,15% P	poniżej 0,20% P
1	Mieżany i Sudata	V—VI	25	8,0	20,0	24,0	32,0
2	Szeligi	VI—VIII	32	6,3	18,8	30,6	37,5
3	Łazy	VI—VIII	7	0,0	0,0	0,0	42,9
4	Czeladź Wielka	VI—XII	17	11,8	29,4	41,2	58,8
5	Biskupin	VI—XII(?)	39	0,0	2,5	10,3	23,1
6	Górny Śląsk*	VI—XIV	11	18,2	27,3	27,3	54,6
7	Czerchów	IX—X	21	0,0	4,7	9,4	9,4
8	Buczek	XI	10	0,0	0,0	10,0	20,0
9	Młodzikowo	XI—XII	23	4,4	17,4	34,8	47,8
10	Tum pod Łęczycą	XII—XIII	50	2,0	6,0	14,0	18,0
11	Sieradz	XIII	20	10,0	15,0	25,0	40,0
12	Piekary*	XIII	83	4,8	14,5	32,6	41,0
Razem		VI—XIV	338	4,7	11,3	23,7	36,7

* Prawdopodobnie na stanowisku wystąpiły także nieliczne wyroby z osrodków eksploatujących niskofosforową rudę żelaza.

dość niską zawartość fosforu. W tabl. 5 przedstawiono udział takich analiz w przedmiotach żelaznych z 12 stanowisk archeologicznych⁴⁴, dla których można przyjąć, że prawie wszystkie znalezione przedmioty zostały wykonane z żelaza uzyskanego z rudy wysokofosforowej (choć mogły się tu znaleźć przypadkowo także i nieliczne okazy z żelaza z rudy niskofosforowej). Podane w tabl. 5 wielkości charakteryzują więc maksymalny udział przypadkowych analiz wykazujących niską zawartość fosforu w żelazie wysokofosforowym. W zestawieniu tym nie rozróżniono żelaza od stali, co ma wpływ na zawartość fosforu w metalu: dla żelaza o strukturze ferrytycznej występującego na ziemiach Polski we wczesnym średniowieczu na 408 analiz tylko 4,4% wykazuje zawartość poniżej 0,10% P, a 11,7% — poniżej 0,20% P, są to więc wielkości znacznie jeszcze niższe od średnich, uzyskanych w tabl. 5.

Znając prawdopodobieństwo p natrafienia na niską zawartość fosforu (np. poniżej 0,1% P) w zbiorze obejmującym wyroby z żelaza wysokofosforowego, można wyliczyć prawdopodobieństwo $p_{(k)}$ natrafienia na k analiz niskofosforowych w próbie o liczebności n . Prawdopodobieństwo to jest równe:

$$p_{(k)} = \binom{n}{k} \cdot p^{(k)} (1-p)^{n-k} \quad [5]$$

⁴⁴ Analizy materiałów z Młodzikowa zaczerpnięto z pracy: Z. Głowacki, W. Łosiński, *Badania metaloznawcze noży z wczesnośredniowiecznego cmentarzyska w Młodzikowie, pow. Sroda*. „Fontes Archaeologici Posnanienses”, 1960, t. 11, s. 166. Pozostałe wyniki pochodzą z badań autora.

Przeprowadzając wyliczenia dla $p = 0,1$ i liczebności próby (liczby analiz) $n = 10$, uzyskuje się:

$$\begin{array}{ll} p_{(0)} = 0,3484 & p_{(3)} = 0,0575 \\ p_{(1)} = 0,3871 & p_{(4)} = 0,0112 \\ p_{(2)} = 0,1940 & p_{(10)} = 0,010 \cdot 10^{-8} \end{array}$$

Prawdopodobieństwo natrafienia przy 10 analizach na 1 analizę „niskofosforową” jest więc największe, dość wysokie jest jeszcze prawdopodobieństwo natrafienia na 2 analizy „niskofosforowe” lub nienatrafienia na taką analizę. Prawdopodobieństwo natrafienia na trzy lub więcej analiz wskazujących na niską zawartość fosforu jest już bardzo małe.

Jeśli więc w wyrobach żelaznych ze stanowiska, w którym wytapiało się żelazo z rudy wysokofosforowej, wystąpi większa liczba przedmiotów o niskiej zawartości fosforu (cztery lub więcej na 10 zbadanych okazów przy jednej analizie na każdy przedmiot), należy rozpatrzyć, czy przynajmniej niektóre z nich nie były importami z innego ośrodka hutniczego, gdzie eksploatowano rudę niskofosforową. Jeśli natomiast natrafi się tylko na nieliczne okazy o niskiej zawartości fosforu, a wszystkie inne cechy metalu, technologii itd. są te same, nie można tych przedmiotów uznać za pochodzące z innego ośrodka hutniczego.

Uznanie nielicznych analiz wykazujących niską zawartość fosforu za przypadkowe analizy żelaza wysokofosforowego zależy jednak — i to w dużym stopniu — od tego, jak niską zawartość fosforu wykazują te analizy i jak duża ilość tej domieszki występuje w grupie wyrobów wysokofosforowych. Tak np. we wczesnośredniowiecznym skarbie z Nowej Huty-Mogily obok 5 narzędzi rolniczych zawierających 0,378—0,770% P występuje siekiera zawierająca 0,013% P⁴⁵. Różnica jest tu zbyt duża, można więc uważać, że siekiera pochodzi z innego ośrodka hutniczego aniżeli narzędzia rolnicze. Natomiast zawartość 0,05—0,10% P może w wyjątkowych wypadkach wystąpić w metalu silniej nawęglonym (tj. w stali), wytopionym z rudy wysokofosforowej. Np. w przedmiotach żelaznych z Szeligów, gdzie przetapiano wysokofosforowe rudy żelaza o dość wysokiej zawartości fosforu (zawartość P₂O₅ w 12 zbadanych próbkach żużła mieściła się w granicach 0,40—6,21%, z czego tylko w 2 próbkach ilość tego składnika była mniejsza niż 1%), natrafiono wśród 34 analiz na 4 analizy wykazujące 0,04—0,07% P, głównie w metalu silniej nawęglonym⁴⁶.

D. INDYWIDUALNA OCENA POCHODZENIA PRZEDMIOTÓW

Indywidualna ocena pochodzenia dawnego przedmiotu jest równoznaczna z określeniem zbieżności cech, jakie posiada ten przedmiot (cechy tworzywa, technologii itd.), z cechami wyrobów z poszczególnych ośrodków produkcyjnych, zwłaszcza działających na tym samym terenie, tzn. z określeniem prawdopodobieństwa przynależności do zbioru charakteryzującego pewien ośrodek hutniczy.

⁴⁵ Por.: J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania narzędzi rolniczych znalezionych w Krakowie-Nowej Hucie*. „Wiadomości Archeologiczne”, nr 1/1962, s. 13.

⁴⁶ Por.: J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania przedmiotów żelaznych i żużła z Szeligów i Cekanowa, pow. Płock i Cieślina, pow. Sierpc* (w opracowaniu).

Można więc przyjąć, że prawdopodobieństwo $p_{k(i)}$ należenia przedmiotu k o danej wielkości cechy X_k do zbioru i , tj. do wyrobów z określonego ośrodka produkcyjnego o wyznaczonej krzywej rozkładu tej cechy, jest odwrotnie proporcjonalne do pewnej funkcji różnicy pomiędzy wielkością danej cechy i wielkością \bar{X}_i , najbardziej prawdopodobną dla rozkładu, np. że:

$$p_{k(i)} = \frac{C}{|X_k - \bar{X}_i|} \quad [6]$$

gdzie C jest współczynnikiem proporcjonalności.

Jeśli natomiast różnica $|X_k - \bar{X}_i|$ jest bardzo duża, prawdopodobieństwo, że przedmiot k pochodzi z ośrodka produkcyjnego i jest tak małe, że przedmiot może być uznany za import z innego ośrodka (por. wyżej przykład z siekierą z wczesnośredniowiecznego skarbu z Nowej Huty-Mogiły).

Dla oceny pochodzenia przedmiotu w sensie pozytywnym trzeba porównać wszystkie określone cechy przedmiotu (a powinny to być wszystkie cechy, jakie mogą mieć istotne znaczenie) z wielobokami rozkładu prawdopodobieństwa cech dla poszczególnych ośrodków produkcyjnych. Zgodność cech tego przedmiotu z zakresem dość dużego prawdopodobieństwa rozkładów odpowiednich cech z pewnego ośrodka pozwala uznać, że przedmiot pochodzi z tego ośrodka.

Natomiast przy określaniu pochodzenia w sensie negatywnym wystarczy rozbieżność jednej cechy, mającej istotne znaczenie, aby ocenić prawdopodobieństwo pochodzenia przedmiotu z tego ośrodka jako bardzo małe, a więc uznać, że przedmiot z tego ośrodka nie pochodzi.

Określenie dopuszczalnej różnicy $|X_k - \bar{X}_i|$, pozwalającej na powiązanie przedmiotu z pewnym ośrodkiem produkcyjnym, jest niekiedy trudne i wymaga dłuższych badań. Przy decyzji o takim powiązaniu trzeba również brać pod uwagę, w jakim stopniu inne cechy przedmiotu pokrywają się z rozkładem prawdopodobieństwa cech dla ośrodka produkcyjnego, i dlatego trudno podać jakieś wielkości bezwzględnie obowiązujące.

Przykładem trudności, na jakie się natrafia, może być ocena przynależności do wyrobów świętokrzyskich sprzączki (kabłąka) z Tarnowa (powiat opolski), w której stwierdzono zawartość niklu 0,32% Ni⁴⁷, podczas gdy pozostałe cechy pokrywają się dobrze z charakterystyką starożytnych wyrobów świętokrzyskich (niskofosforowych). Jednakże — w świetle dotychczasowych badań — prawdopodobieństwo zawartości niklu w wyrobach świętokrzyskich powyżej 0,10% Ni jest bardzo małe, a maksymalna znana ilość niklu w tych wyrobach wynosi 0,23% Ni (ryc. 5). Wobec tego należy wstrzymać się z włączeniem sprzączki do wyrobów świętokrzyskich aż do chwili, gdy w sąsiedztwie Gór Świętokrzyskich zostaną znalezione choćby nieliczne przedmioty o cechach wyrobów świętokrzyskich, w których jednak ilość niklu sięgać będzie do ok. 0,3% Ni.

W niektórych wypadkach prawdopodobieństwo pochodzenia przedmiotu z pewnego ośrodka produkcyjnego może być określone liczbowo. Zakładając, że rozkład pewnej cechy charakteryzującej ośrodek jest

⁴⁷ Por.: J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania wyrobów żelaznych [...]* (praca cytowana w przypisie 11), s. 137.

normalny, można obliczyć prawdopodobieństwo wystąpienia wielkości tej cechy w zakresie, w jakim występuje ona w rozpatrywanym przedmiocie. W ten sposób wyliczono, że prawdopodobieństwo natrafienia na zawartość fosforu poniżej 0,05% P dla wyrobów żelaznych ze starożytnego ośrodka hutniczego w Krakowie-Nowej Hucie i okolicach — gdzie eksploatowano rudę o wysokiej zawartości fosforu — wynosi zaledwie 0,0005⁴⁸ i dlatego kęs z Witowa zawierający 0,041% P niesłusznie został ongi uznany⁴⁹ za wyrób hutników w Igołomii. Ponieważ zaś wszystkie cechy metalu (stopień nawęglenia, zawartość fosforu, niklu i miedzi, struktura wtrąceń żużla), a także kształt okazów z Witowa jest taki sam jak niskofosforowych kęsów z Nadrenii⁵⁰, półfabrykaty te należy uznać za importowane z tego wielkiego ośrodka hutniczego.

Na ogół jednak liczbowe wyznaczenie prawdopodobieństwa przynależności okazu do określonego zbioru (tj. ośrodka produkcyjnego) jest trudne i dlatego też, rozpatrując pochodzenie dawnych przedmiotów, trzeba często ograniczyć się do jakościowej jedynie oceny tego prawdopodobieństwa, posługując się wykreślonym przedstawieniem wieloboków rozkładu cech dla danego ośrodka produkcyjnego.

Dla oceny pochodzenia przedmiotu w sensie negatywnym korzystne jest, jeśli w tym przedmiocie występują dwie niezależne od siebie cechy, mało prawdopodobne dla danego ośrodka produkcyjnego, gdyż prawdopodobieństwo p pochodzenia przedmiotu z tego ośrodka, stanowiąc iloczyn prawdopodobieństw wystąpienia wielkości rozpatrywanych dwu cech:

$$p = p_A \cdot p_B \quad [7]$$

przy małych p_A i p_B osiągnie p wielkość znacznie jeszcze mniejszą.

Tak np. w nożu nr 6 z Nowej Huty-Mogily⁵¹ stwierdzono zawartość 0,132% P, co jest wielkością już dość rzadko występującą w niskofosforowych wyrobach świętokrzyskich, a ponadto w okazie tym stwierdzono zawartość 0,06% Ni, co też należy do wielkości rzadziej spotykanych w tych wyrobach. Ta zbieżność dość rzadko występujących wielkości dwóch cech obniża prawdopodobieństwo pochodzenia noża nr 6 ze świętokrzyskiego ośrodka hutniczego. Przeciw temu pochodzeniu przemawiają zresztą i inne cechy: znaczna domieszka miedzi (0,06% Cu) i kształt noża (mała szerokość, dość duży kąt ostrza). Obecność zaś podwyższonej zawartości niklu i miedzi wyklucza także miejscowe pochodzenie noża, gdyż w wysokofosforowym żelazie wytapianym w okresie późnolateńskim i rzymskim w okolicach Nowej Huty i Igołomii domieszki te występują jedynie w ilościach śladowych, wykrywanych spektrograficznie.

Rozpatrując pochodzenie indywidualnych przedmiotów, trzeba również uwzględnić wszystkie dotyczące ich dodatkowe wiadomości a także informacje o występowaniu wyrobów z różnych ośrodków produkcyjnych na danym terenie.

⁴⁸ Por.: J. Piaskowski, *Starożytne kęsy z Witowa, pow. Kazimierza Wielka (dawniej Pińczów) w świetle powtórnych badań metaloznawczych*. „Sprawozdania Archeologiczne”, 1962, t. 14, s. 327.

⁴⁹ A. Krupkowski, T. Reyman, *op. cit.*, s. 48.

⁵⁰ Por.: W. Rädcker, F. Naumann, *Untersuchung der vor- oder frühgeschichtlichen Spitzbarren*. „Archiv für das Eisenhüttenwesen”, nr 9/1961, s. 587.

⁵¹ Por.: J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania przedmiotów żelaznych [...]* (praca cytowana w przypisie 11), s. 173.

Istotne znaczenie mają tu dane archeologiczne. Na przyporządkowanie okazu do określonego zbioru, np. do wyrobów miejscowych, może mieć w szczególności pewien (choć nie decydujący) wpływ to, czy przedmiot został znaleziony obok materiałów świadczących o miejscowej produkcji, czy też pochodzi z zespołu zawierającego w większości importy.

Dodatkowych wiadomości ułatwiających indywidualną ocenę pochodzenia przedmiotu mogą dostarczyć uzyskane już dane o rozchodzeniu się wyrobów z poszczególnych ośrodków produkcyjnych współczesnych temu przedmiotowi. Można tu zaproponować ogólną formułę określającą prawdopodobieństwo p_g znalezienia okazu pochodzącego z pewnego ośrodka produkcyjnego w odległości r od tego ośrodka:

$$p_g = p_0 \frac{Q}{r^n} \quad [8]$$

gdzie p_0 , n są to współczynniki, a Q — wielkość produkcji ośrodka (np. przeciętna produkcja roczna). Wzór (8) ma charakter ogólnej, raczej jakościowej zależności (penetracja wyrobów może być np. w pewnych kierunkach zatrzymana z przyczyn gospodarczych, politycznych itp.) i wyraża zasadę sekwencji geograficznej wyrobów⁵².

Według tej zasady w kierunkach eksportu wyrobów z pewnego ośrodka produkcyjnego liczba tych przedmiotów zmniejsza się wraz z odległością od tego ośrodka w sposób na ogół ciągły. Prawdopodobieństwo zaś znalezienia wyrobów z wielkich ośrodków hutniczych, jak Nadrenia, Norikum czy Góry Świętokrzyskie, może być duże nawet w znacznych odległościach od tych ośrodków (np. 100 czy 200 km), podczas gdy prawdopodobieństwo znalezienia wyrobu z niewielkiej dorywczej produkcji prowadzonej w wielu osadach w okresie wpływów rzymskich (np. w Igołomii) może być znaczne jedynie w promieniu kilkunastu kilometrów. Ilustracją wzoru (8) jest np. rozpowszechnienie kęsów żelaznych z Nadrenii w Europie zachodniej i środkowej, zestawione przez O. Kleemanna⁵³.

ZAKOŃCZENIE

Opisane metody identyfikacji pochodzenia przedmiotów na podstawie analizy cech posiadają różne zalety i wady.

Najprostsza jest metoda H. Kleina i S. Junghansa, zwłaszcza dla stopów miedzi, gdzie klasyfikacja metalu została już opracowana i każdy badany przedmiot może być na podstawie wyników analizy od razu skierowany do odpowiedniej grupy. Metoda ta jest jednak skuteczna tylko w wypadkach, gdy liczba określonych cech (ilościowych) jest duża a ich zakres zmienności — dość szeroki. Podstawowym brakiem metody H. Kleina i S. Junghansa jest trudność powiązania klas metalu z określonymi ośrodkami produkcyjnymi. Ilościowe wyniki analiz zostały bo-

⁵² Wzór (8) jest pewną formą ogólnie znanej w archeologii metody kartografowania danych. Na uwzględnienie tej metody zwróciła uwagę N. W. Ryndina, opisując określenie cech starożytnego żelaza świętokrzyskiego przez autora niniejszej pracy; por.: N. W. Ryndina. *Metallografija w archieologii*, w pracy zbiorowej cytowanej w przypisie 12, s. 122.

⁵³ O. Kleemann, *Stand der archäologischen Forschung über die eisernen Doppelpyramiden-Spitzbarren*. „Archiv für das Eisenhüttenwesen”, nr 9/1961, s. 581.

wiem przez klasyfikację sprowadzone do cech jakościowych, które mogą różnić się od cech surowca (tj. rudy, z której metal został wytopiony). Obecnie nie ma jeszcze sposobu pozwalającego na rozwiązanie tego zagadnienia, tym bardziej że jednolity podział na klasy nie pokrywał się na ogół z rozrzutem wielkości cech wyrobów z poszczególnych ośrodków, które mogą niejednokrotnie znaleźć się w dwóch lub nawet więcej klasach. Poza tym podstawą tej metody jest założenie, że krzywe zawartości poszczególnych domieszek mają rozkład normalny, co nie jest bynajmniej pewne i ma charakter subiektywny.

Pod tym względem dogodniejsza jest metoda autora, szczególnie dla wypadków, gdy liczba rozpatrywanych cech (ilościowych) jest niewielka, a zakres ich zmienności — wąski (oczywiście im więcej cech i im szerszy zakres ich zmienności, tym korzystniejsze są warunki identyfikacji pochodzenia wyrobów). Dla skompensowania tych niedogodności metoda autora wymaga większej liczby zbadanych przedmiotów (zwłaszcza gdy chodzi o określenie charakterystyki cech wyrobów z ośrodków o niezbyt dużej produkcji) oraz znacznie szerszego stosowania metod statystycznych i rachunku prawdopodobieństwa dla oceny wyników. Metoda autora nie wymaga żadnych założeń *a priori* o kształcie krzywych rozkładu.

Nie zawsze jednak różnice wielkości cech dla różnych ośrodków produkcyjnych są dostatecznie duże, aby można było rozróżnić wykonane tam przedmioty. Poza tym przy metodzie autora dyskusyjny i do pewnego stopnia subiektywny może być problem włączenia do zbioru (tj. do grupy przedmiotów pochodzących z danego ośrodka produkcyjnego) tych wyrobów, dla których różnica $|X_k - \bar{X}_i|$ jest znaczna, a przyjęta graniczna wielkość tej różnicy nie jest jakąś wielkością bezwzględnie i obiektywną. Jednakże liczba wypadków, kiedy indywidualne różnice oceny mogą wystąpić, jest — jak wynika z kształtu wieloboków rozkładu — niewielka.

Istotną zaletą metody autora jest możliwość — przynajmniej w pewnych warunkach — ustalenia zespołu cech przedmiotów pochodzących z określonego ośrodka produkcyjnego na podstawie analizy wieloboków rozkładu cech przedmiotów znalezionych na terenie tego ośrodka (lub w najbliższej okolicy) a także na podstawie dodatkowych badań (surowca oraz produktów odpadu procesu wytwórczego, jak np. żużel przy wytopie lub przetopie metali), danych archeologicznych, geologicznych itp. Metoda ta pozwala również na łatwe powiązanie cech określonej grupy przedmiotów z cechami surowca (np. rudy), a więc na ustalenie pochodzenia tych przedmiotów bez żadnych innego rodzaju wskázówek.

Nie jest to możliwe na podstawie metody Krugów, jedynej zresztą metody określania pochodzenia przedmiotów na podstawie cech jakościowych; do ułożenia równania korelacyjnego trzeba tu mieć dane z innych źródeł o pochodzeniu pewnej grupy przedmiotów. Jeśli jednak danymi takimi dysponujemy oraz jeśli istnieją odpowiednie różnice zespołu cech jakościowych dla poszczególnych ośrodków produkcyjnych, metoda ta jest bardzo prostym sposobem identyfikacji pochodzenia wyrobów.

Pomimo pozorów obiektywizmu w metodzie Krugów subiektywny jest jednak do pewnego stopnia wybór uwzględnionych cech i pominięcie — dla uproszczenia — innych. Sprowadzenie zaś — w wyniku ko-

dowania — cech ilościowych do jakościowych zmniejsza dokładność klasyfikacji.

Rozpatrując pochodzenie dawnych przedmiotów na podstawie analizy cech, można więc — dla poszczególnych cech — wykorzystywać takie metody, które dla danych warunków są najbardziej odpowiednie dla uzyskania najdokładniejszych wyników.

Opisane tu metody o charakterze statystycznym prowadzą do określenia, przynajmniej jakościowo, prawdopodobieństwa pochodzenia dawnych przedmiotów; prawdopodobieństwo to może być mniejsze lub większe, w pewnych zaś warunkach można mówić nawet o pewności określenia tego pochodzenia, takiej przynajmniej pewności, jaka jest możliwa w badaniach naukowych.

Oczywiście, może się zdarzyć przypadkowa zbieżność zespołu cech, występujących w pewnym przedmiocie, z cechami ośrodka, z którego przedmiot wcale nie pochodzi; może się także zdarzyć, że takiej przypadkowości powiązania nie uda się wyeliminować na podstawie dodatkowych danych (np. archeologicznych, geograficznych itp.). Dlatego przy ewentualnych wnioskach i uogólnieniach należy opierać się nie na pojedynczych wynikach, lecz na znaczniejszej ilości przypadków wykazujących dany zespół cech. Wielkość prawdopodobieństwa, z jakim można powiązać poszczególne przedmioty z określonymi ośrodkami produkcyjnymi, zależy od zróżnicowania wielkości cech w wyrobach z różnych ośrodków, od tego też zależy powodzenie stosowania opisanych metod.

Pomimo jednak takich czy innych niedogodności lub niedociągnięć opisane metody pozwolą w wielu wypadkach określić pochodzenie dawnych przedmiotów, dostarczając historykowi kultury materialnej i historykowi techniki nowych cennych wiadomości. Są to zresztą jedyne możliwości nauki rozwiązania tego zagadnienia w chwili obecnej.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДРЕВНИХ ПРЕДМЕТОВ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ПРИЗНАКОВ

Определение происхождения древних предметов имеет важное значение как для истории техники, так и для истории материальной культуры. Этой проблемой первыми занялись исследователи медных сплавов древности, а прежде всего Г. Клейн, С. Юнгас и их сотрудники, но они разработали лишь классификацию свойств этих сплавов. Исследования автора, посвященные древним изделиям из железа (1959—1961), привели к созданию другого метода определения первичного происхождения предметов древности. С помощью этого метода впервые были идентифицированы металлические изделия, изготовленные древним металлургическим центром в районе Свентокшских гор.

В 1965 г. была опубликована работа Г. К. Круга и О. Ю. Круга, посвященная установлению генезиса древних изделий на основании анализа комплекса качественных признаков; они составили характерное уравнение корреляции для черняховской керамики.

Определение происхождения предмета может быть положительным, т.е. если оно указывает на принадлежность этого предмета определенному производственному центру, или — чаще всего — отрицательным, т.е. когда оно исключает те центры, в которых он не мог быть изготовлен.

Происхождение предмета устанавливается на основании его отличительных признаков (точнее говоря, комплекса признаков), причем различаются качественные и количественные признаки.

Одни производственные центры выпускали сырье или полуфабрикаты, другие изготовляли готовые изделия, третьи занимались переработкой полуфабрикатов, выпущенных другими производствами. О происхождении предмета свидетельствуют свойства сырья или полуфабриката либо технологические особенности и отличительные черты готового изделия, связанные с производственным профилем того или иного центра.

Методы установления происхождения древних предметов являются результатом статистических рассуждений. Чтобы использовать эти методы, надо предварительно исследовать известное количество такого рода предметов, рассматриваемых как статистическая проба. Пробу можно считать представительной, если она носит случайный характер и получена в результате выполнения необходимого числа измерений.

Для установления происхождения предметов на основании качественных признаков практически единственным методом является метод, предложенный Г. К. Кругом и О. Ю. Круг. Следуя этому методу, надо разделить предел изменчивости каждого признака или свойства на два взаимоисключающих класса, обозначаемые условными символами „+1” и „-1”, а потом вычислить корреляцию этих признаков и принадлежности определенному производственному центру, которую обозначаем символом +1 (предмет был произведен данным центром) или -1 (предмет не был изготовлен данным центром).

Затем с помощью вычислительной машины надо исчислить уравнение корреляции, которое на основании комплекса признаков предмета позволяет констатировать, можно ли его отнести к изделиям, выпускавшимся данным производственным центром. Г. К. Круг и О. Ю. Круг применили этот метод для установления различий между черняховской керамикой и другими сортами керамики и получили в 97,5% случаев правильный результат. Но чтобы использовать этот метод, надо располагать известным числом предметов, о которых заранее известно, в каких центрах они были изготовлены, и предварительно вычислить для них уравнение корреляции.

Для определения происхождения предметов на основании количественных признаков можно применить метод статистической классификации свойств, разработанный Г. Клейном, С. Юнгансом и их сотрудниками для исследования медных сплавов. Они разделили эти сплавы на группы, отличающиеся содержанием Bi, Sb, Ag, Ni и As. Однако в целом отдельные группы еще не удалось связать с определенными производственными центрами. Этот метод полезен при наличии большого числа признаков и широком диапазоне их изменчивости.

Если мы имеем дело с немногочисленными признаками, варьирующими мало, то наиболее эффективные результаты дает применение метода автора статьи. Он заключается в сопоставлении величины признаков одного исследуемого предмета (индивидуальная оценка) или целого комплекса предметов, найденных вместе (групповая оценка) с кривыми распределения вероятностей (многоугольниками распределения) признаков, характерных для отдельных производственных центров. Отсюда очень важное значение имеет составление кривых (многоугольников) распределения признаков. Эти кривые можно получить путем исследования предметов, найденных на территории древнего производственного центра (или по соседству с ним), и сопоставления с возможностями изготовления этим центром предметов, характеризующимися такими признаками, например, исходя из взаимозависимости между сортом руды и выплавленного из нее металла и т.п.

Для определения первичного происхождения предмета в положительном аспекте надо сравнить все главные признаки этого предмета с многоугольниками расположения таких признаков, относящимися к данному производственному центру, и установить, что вероятность существования такой величины признака не слишком мала. Чтобы определить происхождение предмета в отрицательном аспекте, достаточно констатировать несоответствие одного признака.

При определении происхождения предмета необходимо учитывать все данные об этом предмете, например, археологические и геологические сведения (касательно связи между местом, в котором был найден изучаемый предмет, и расположением отдельных производ-

ственных центров). На основании этих сведений можно путем дедукции установить отличительные признаки местных изделий, изготовлявшихся в районе тех или иных древних производственных центров, опираясь на изученные (или предполагаемые) свойства сырья, добываемого в этих центрах.

С помощью этого метода были установлены признаки металлических изделий, изготовленных в древних производственных центрах черной металлургии, находившихся в частности в районе Свентокшиских гор, на территории Нижней Силезии, в окрестностях Кракова—Нова Гута и др.

В заключение автор анализирует преимущества и недостатки описанных методов определения первичного происхождения древних предметов. В зависимости от условий можно выбрать один из методов, но можно применить их вместе, что позволит получить еще более полные и точные результаты.

THE DETERMINATION OF THE ORIGIN OF ANCIENT OBJECTS ON THE BASIS OF AN ANALYSIS OF THEIR FEATURES

The determination of the origin of ancient objects is of great significance both for the history of technology and for the history of material culture.

The investigators of ancient alloys of copper, chiefly H. Klein, S. Junghans and their co-workers, were the first to undertake works in that direction. Their investigations, however, ended in a mere classification of these alloys regarding their chemical composition. The present author's works on iron products (1959—1961) led to the development of another method of determination of the origin of ancient objects, by means of which method the products originating from the large ancient metallurgical centre in the region of the Holy Cross Mountains were for the first time identified.

In 1965, there appeared G. K. Krug's and O. J. Krug's work adapted to the determination of ancient objects on the basis of a complex of their qualitative features; the said scientists formulated the characteristic correlation equation for the Czerniachow ceramics.

The origin of the object can be defined in a positive sense, when we indicate the production centre where it was manufactured, or — in more cases — in a negative sense when we exclude the centres where it could not be manufactured.

The origin of the object is determined on the basis of its properties (and more strictly on the basis of a set of features), a distinction being made between qualitative and quantitative ones.

The production centres sometimes prepared raw materials or half-finished products (production centres of half-finished products) or finished products (production centres of finished products); in some cases, a half-finished product of foreign origin was processed (processing centre). According to the kind of the centre, the origin of the objects is determined by the properties of the raw material, of the half-finished product or by the properties of technology and those of finished products.

The methods of determining the origin of ancient objects are a result of statistical considerations; they require a certain quantity of tested materials to be considered as a statistical sample. The sample is a representative one when being of casual character and consisting of a sufficiently great number of measurements.

For qualitative properties, the practically unique is the method of G. K. Krug and O. J. Krug, which consists in dividing the scope of each property's variability into two mutually exclusive classes, conventionally designated with numbers "+1"

and "—1"; the correlation is then computed for the properties thus determined and for the belonging to a definite production centre, designated with the symbol +1 (the specimen in question is a product of the given centre) or —1 (the specimen is not a product of the given centre).

By means of a computer, one calculates then the correlation equation which, on the basis of the aggregate of the object's properties, enables one to ascertain whether this object may be numbered among the manufactures originating from the given production centre. G.K. Krug and O.J. Krug followed that method with a view to distinguishing the Czerniachow ceramics from other kinds of ceramics, and obtained a correct result in 97,5 per cent of cases. The method requires, at the beginning, a certain quantity of objects with a previously determined origin from the particular production centres. For these objects a correlational equation is to be computed.

In the case of quantitative properties, applicable is the statistical method of their classification as worked out by H. Klein and S. Junghans for copper alloys which they divided into groups differing by the content of Bi, Sb, Ag, Ni and As. In general, however, one has not managed, thus far, to connect the particular groups with definite production centres. This method is convenient if the properties are numerous and the range of their variability rather wide.

In case of quantitative properties with a narrow range of variability being not very numerous, more convenient is the present author's method which consists in comparing the magnitudes of a given object's properties (individual estimate) as well as those of a whole aggregate of jointly-found objects (group estimate) with the curves of probability distribution (distribution polygons) of properties for the particular production centres. That is why the determination of these curves (polygons) of distribution is of capital importance for that method. We obtain the said determination by examining the objects found within the given production centre (or in its vicinity), and by studying the possibility of producing there the objects with such properties, for instance, by making advantage of the interdependence between the kind of ore and that of the metal smelted from this ore, and so forth.

In order to estimate the origin of the object in a positive sense, it is necessary to compare all its essential properties with the distribution polygons of those properties for a given production centre, and to ascertain that the property of such a magnitude is not very unlikely to occur. On the contrary, the ascertainment of one property's divergence is quite sufficient to determine the origin in a negative sense.

When determining the origin of an object, one should take into account all the relevant data, for example, the archeological and geographical ones (that is, concerning the place where the object had been found with respect to the site of particular production centres). Owing to the above data, the properties of local products within the particular ancient production centres can be deduced on the basis of established (or presumed) properties of the raw material having been extracted at those centres.

The author's method resulted in the determination of iron products' properties in a number of ancient metallurgical centres, among others, in the region of the Holy Cross Mountains, in the Opole Silesia, in the environs of Cracow-Nowa Huta, and so on.

In conclusion, the advantages and disadvantages of the above-described methods of determining the ancient objects' origin have been discussed. According to the circumstances, the most appropriate method may be followed. There may be followed even all of them simultaneously with the view of obtaining more precise and detailed results.