
МЕТАЛЛОГРАФИЯ И ИЗУЧЕНИЕ ДРЕВНЕЙШЕГО МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА (ЭПОХА ЭНЕОЛИТА)

Н. В. Рындина, И. Г. Равич

В статье приведены данные результатов металлографических анализов материалов из энеолитических памятников второй половины IV тыс. до н. э. Балкано-Карпатской металлургической провинции.

Как известно, металлографический метод является наиболее традиционным в исследовании древнего металла. Первые опыты по его использованию в археологии относятся к рубежу XIX—XX вв., однако и в наше время он сохраняет ведущее значение при решении таких проблем, как реконструкция древних технологий по микроструктуре металла.

Простота металлографического метода, возможность быстро получить ответ при анализе массовых серий изделий обеспечивают его преимущества перед более сложными современными методами изучения микроструктуры, которые, как правило, дополняют результаты, полученные при металлографическом исследовании. Трактовка разнообразных микроструктур, наблюдаемых на древних изделиях, основана как на представлениях об общих закономерностях их формирования, так и на конкретных данных о строении различных металлов и сплавов, отраженных в современных атласах. Однако, многие составы и обработки древности в настоящее время не применяются, поэтому возникает необходимость создания подобных атласов для древних металлов и сплавов. Описание их физических и механических свойств, неразрывно связанное с анализом микроструктур после различных обработок, естественно, входит как составная часть в подобную работу. Таким образом, задача археологического металловедения на современном этапе формулируется как построение зависимостей типа «состав — структура — свойства» в применении к различным технологическим схемам, не отраженным в современных исследованиях. В приложении к массовому археологическому материалу эпохи энеолита подобный подход представляется достаточно плодотворным, что мы постараемся проиллюстрировать на ряде примеров, которые будут приведены ниже.

Наиболее яркий металл эпохи энеолита получен при раскопках памятников Юго-Восточной Европы, связанных с ареалом культур Гумельница, Винча-Плочник, Кукутени-Триполье, Тисаполгар-Бодрокрестур и др. Изумительные по многообразию и числу находок коллекции их металла представлены втульчатыми топорами-теслами, топорами-молотками, теслами-долотами, шильями, разного рода украшениями¹. Невиданное по масштабу горно-металлургическое производство носителей этих культур, основанное на разработке рудников Аи Бунара, Рудной Главы, поразительный взлет их технических знаний, виртуозное совершенство кузнечных и литейных навыков позволяют ставить достижения металлургии Балкано-Карпатского энеолита в ряд феноменальных историко-культурных явлений Старого Света. По справедливому заключению Е. Н. Черных, в Юго-Восточной Европе в IV тыс. до н. э. произошла «металлургическая революция» и возникла самая ранняя в истории первобытного общества Балкано-Карпатская металлургическая провинция (БКМП)². Она включала богатые рудными источниками Северные Балканы и Карпаты, а также безрудные области степной и лесостепной зоны Северного Причерноморья. Население этих областей использовало в своей металлообработке привозной металл, поступавший из фракийских, среднедунайских и трансильванских источников³.

© Н. В. РЫНДИНА, И. Г. РАВИЧ, 1996

На кафедре археологии МГУ было проведено металлографическое исследование 467 энеолитических изделий второй половины IV тыс. до н. э., связанных с культурами юго-восточной периферии БКМП (культуры Гумельница, Варна, культуры «переходного периода» Болгарии, Триполье А—В, новоданиловские, постмариупольские памятники Причерноморья, Хвалыинские могильники Поволжья). В итоге исследования установлено, что многообразные технологические схемы изготовления изделий энеолита в большинстве случаев связаны с ковкой: она является либо основной, формирующей операцией, либо вспомогательной, обеспечивающей доработку литой заготовки. Возникающие в процессе проведения ковки рекристаллизованные структуры, обусловленные промежуточными или сопутствующими деформации нагревами металла, оказались самыми массовыми в нашей коллекции. В наибольшей степени их различия определялись колебаниями размеров полиэдров и показателями разнородности. Расшифровка подобных структур, исходя из анализа величины зерна, весьма затруднительна, так как известно, что эта характеристика зависит от многих факторов: состава металла по примесям, степени деформации, исходной величине зерна, времени отжига и др. Однако, при изготовлении модельных образцов нами было установлено, что анализ величины зерна в сочетании с показателями микро- и макротвердости может привязать рекристаллизованную микроструктуру к определенным температурным интервалам, в которых проводились горячая ковка или отжиг изделия.

Модельные образцы обрабатывали согласно следующей схеме. Для выплавки образцов использовали промышленную электролитическую медь марки М1 состава: Cu — 99,9%, Bi — 0,002%, As — 0,002%, Fe — 0,005%, Ni — 0,002%, Pb — 0,005%, Sn — 0,002%, S — 0,005%, O — 0,08%, Zn — 0,005%, всего примесей — 0,1%. Медь расплавляли в угольных тиглях в электрической муфельной печи под слоем древесного угля и при температуре 1100°C разливали в стальную изложницу диаметром 15 мм и высотой 100 мм. Полученные цилиндры ковали в горячую при температуре 800—900 °C до пластин толщиной 4 мм. В этом состоянии медь имела крупное зерно (0,09 мм), твердость по Виккерсу 55 кГ/мм², микротвердость 68 кГ/мм² (состояние 1). Для получения еще более крупного зерна часть пластин отжигали при 1000 °C в течение 30 мин., что приводило к образованию структуры с зерном диаметром 0,15 мм, твердостью по Виккерсу 55 кГ/мм², микротвердостью 65 кГ/мм² (состояние 2). Необходимость изготовления образцов с исходной крупнозернистой структурой была связана с тем, что подобная микроструктура характеризовала изучаемые нами изделия, а данные, связанные с исследованиемковки при температуре или отжига исходно крупнозернистой меди, крайне скудно представлены в литературе. Из пластин вырезали образцы размером 4×4 мм, которые ковали в холодную и при температуре 400—1000 °C со степенью обжатия 50% (что часто встречается в кованых археологических изделиях). После холоднойковки образцы отжигали в электрической муфельной печи при интервале температур 200—1000 °C, выдержка при температуре составляла 15 мин. На образцах измеряли твердость по Виккерсу, микротвердость при нагрузке 200 Г как среднее из 10 измерений, а также оценивали величину зерна по стандартным таблицам⁴ и разнородность по методике⁵. Полученные данные показаны на рис. 1. Результаты по температурным интервалам рекристаллизации меди в состояниях 1 и 2, а также по величине зерна после рекристаллизации мы сопоставляли с имеющимися в литературе данными, относящимися к меди различного состава с разным исходным зерном⁶. Полученные в итоге выводы можно в кратком виде сформулировать следующим образом. 1. Деформированная волокнистая структура с твердостью 130—110 кГ/мм² может существовать в интервале температур 20—400 °C. 2. Частично рекристаллизованные структуры можно условно разделить на три типа. Первый тип структуры: доля рекристаллизованного объема очень мала, твердость 120—100 кГ/мм², температурный интервал существования 200—450 °C. Второй тип структуры: доля рекристаллизованного объема занимает около половины поля зрения, диаметр рекристаллизованных зерен 0,02—0,05 мм, твердость 80—90 кГ/мм², температур-

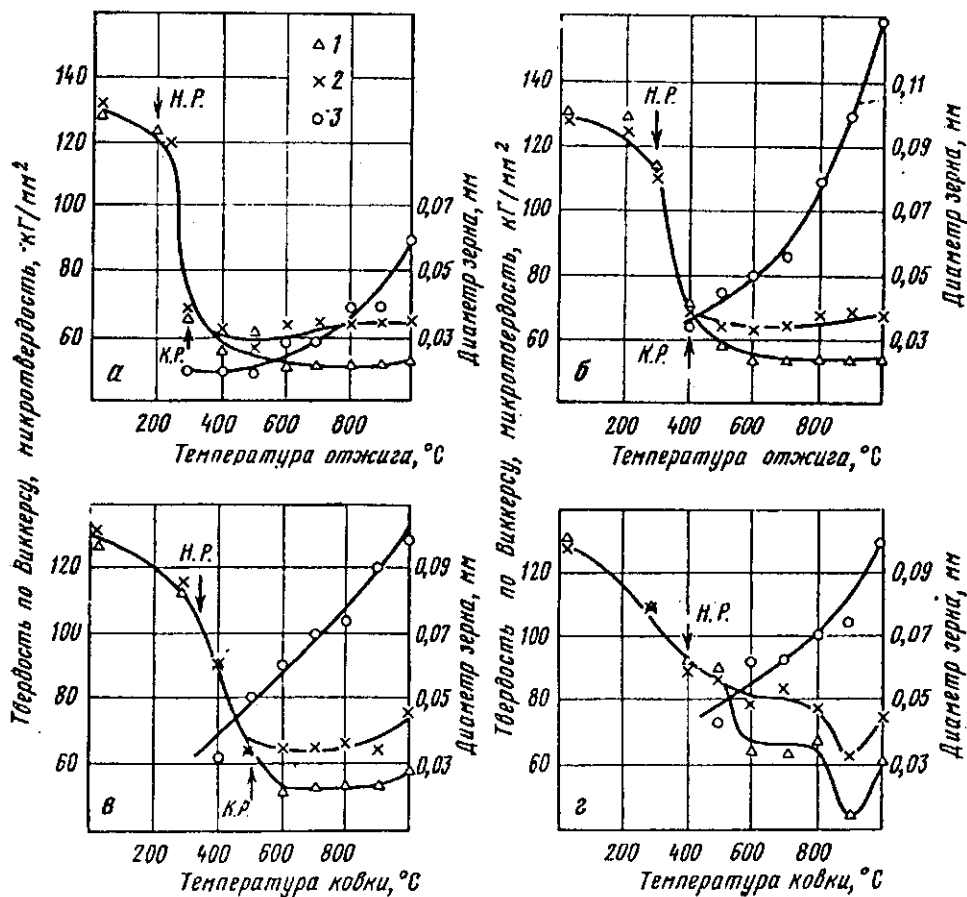


Рис. 1. Изменение твердости по Виккерсу, микротвердости и диаметра зерна меди после холоднойковки и отжига (а, б) иковки при различных температурах (в, г): 1 — твердость по Виккерсу; 2 — микротвердость; 3 — диаметр зерна; б, г — диаметр исходного зерна 0,15 мм; а, в — диаметр исходного зерна 0,09 мм. Стрелками отмечены начало и конец рекристаллизации.

ный интервал существования 300—500 °С. Третий тип структуры: зерна почти полностью рекристаллизованы, диаметр их колеблется в пределах 0,02—0,05 мм, микротвердость и макротвердость совпадают и равны 65—70 кг/мм², область существования 300—550 °С. 3. Полностью рекристаллизованная структура с зерном 0,05—0,08 мм, макротвердостью 55—65 кг/мм² и микротвердостью 65—75 кг/мм² встречается в интервале температур 600—800 °С. Структура с той же твердостью, но более крупным (до 0,2 мм) зерном, характерна для температур 900—1000 °С.

Перенесем заключения о температурных интервалахковки, полученные на модельных образцах, на конкретный археологический материал БКМП. Обращает на себя внимание обилие примеров использования предплавленных температур (900—1000 °С) в практике мастеров, действовавших в гумельницком и варненском очагах металлопроизводства. Эти температуры применялись при кузнечной доработке литых заготовок тесел-долот, топоров-молотков, топоров-тесел, а также при ковке некоторых крупных украшений-булавок и браслетов. На рис. 2, 1 показана микроструктура топора-молотка типа Видра из гумельницкого поселения Понево (рис. 3, 1). Она состоит из очень крупных полиэдрических зерен (диаметром 0,09—0,15 мм). На их фоне различимы включения закиси меди, образующие вытянутые цепочки. Местами по их расположению угадываются контуры чрезвычайно крупных кристаллов исходной литой заготовки изделия (диаметром 0,15 мм). Очевидно, что она подвергалась деформации с обжатием 50—60%. Микротвердость металла — 75 кг/мм², макротвердость — 60 кг/мм². Как видно

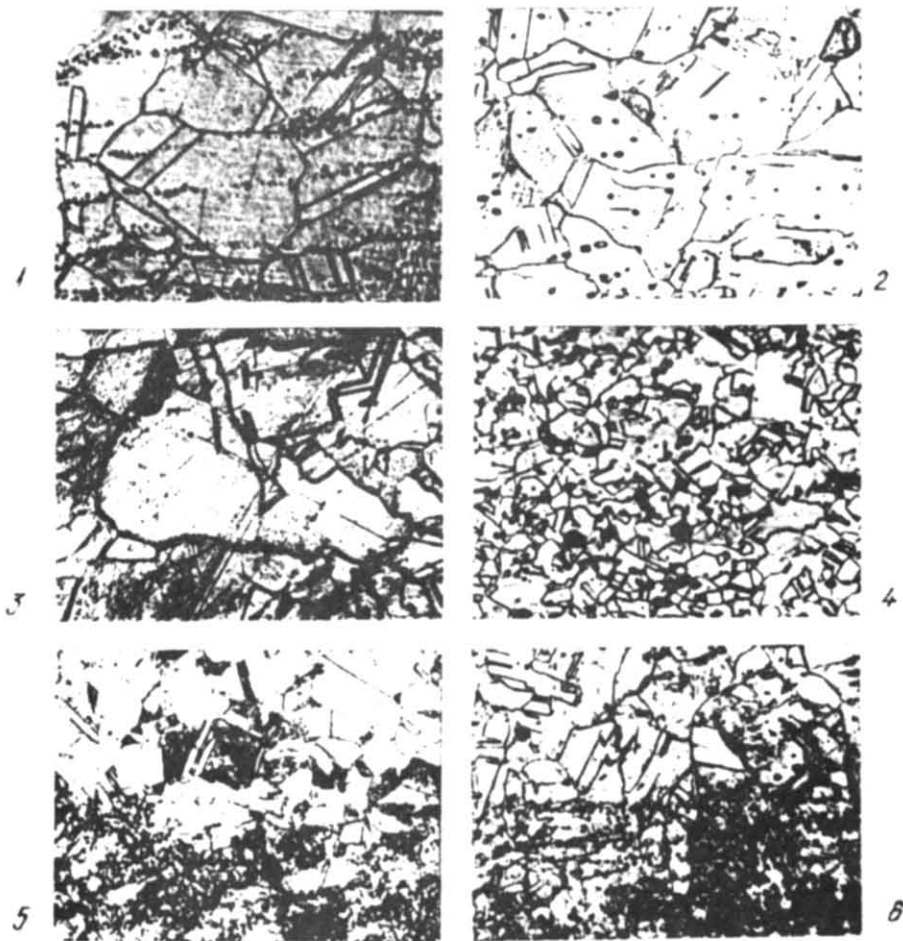


Рис. 2. Микроструктура изделий культур Гумельница и Варна ($\times 120$): 1 — топор-молоток типа Видра, поселение Цонево, ан. 1379; 2 — топор-молоток типа Варна, могильник Девня, ан. 1368; 3 — браслет, могильник Дуранкулак, ан. 1482; 4 — булавка, поселение Старозагорские минеральные бани, ан. 1417; 5 — браслет, могильник Дуранкулак, ан. 1484; 6 — браслет, могильник Дуранкулак, ан. 1915.

из рис. 1 в, г, сочетание крупного зерна с высокими для отожженной меди показателями микро- и макротвердости характерно для металла, который ковали при температуре около 1000°C .

В качестве дополнительных примеров высокотемпературнойковки могут быть приведены крупнозернистые рекристаллизованные структуры топора-молотка типа Варна из могильника Девня и поперечно-пластинчатого браслета из могильника Дуранкулак (рис. 2, 2, 3; 3, 2, 5). Оба изделия культуры Варна дают показатели микро- и макротвердости, характерные для деформирующих воздействий при предплавильных температурах. Что же обусловило необходимость применения столь высоких температур в практике кузнечных работ, проводившихся мастерами Гумельницы и Варны? Обращаясь к кривой изменения твердости в зависимости от температурыковки (рис. 1, г) можно видеть, что рекристаллизация меди с исходным крупным зерном $0,15\text{ мм}$ происходит замедленно: в интервале температур $600\text{--}800^{\circ}\text{C}$ сохраняются отдельные нерекристаллизованные участки, отчетливо заметные при рассмотрении микроструктуры и приводящие к сохранению высоких значений твердости. Подобные участки создают неоднородность структуры, которая в этом случае содержит малопластичные области деформированного металла. В свя-

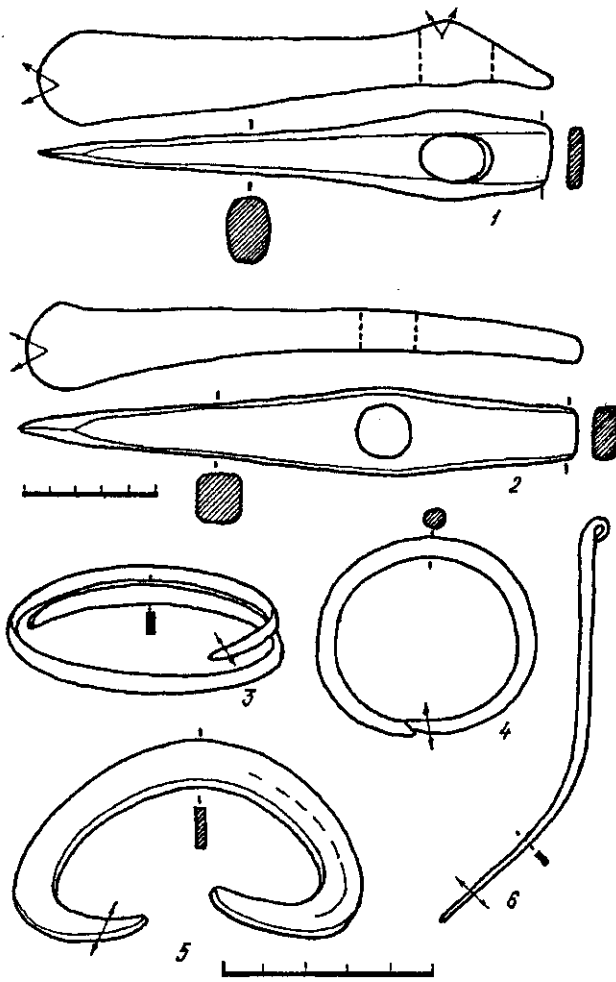


Рис. 3. Изделия культур Гумельница и Варна, структуры которых приведены на рис. 2: 1 — ан. 1379; 2 — ан. 1368; 3 — ан. 1484; 4 — ан. 1915; 5 — ан. 1482; 6 — ан. 1417. Сечками показаны места среза для изготовления шлифа.

женных температурах (300—500 °С), либо при температурах красного каления меди (600—800 °С). Предплавильные температурыковки (900—1000 °С) осваиваются позднее и связываются с появлением устойчивых серий крупных орудий ударного действия и крупных, сложных по форме украшений. Однако, хронологические рамки использования определенных температурных режимовковки индивидуальны в каждом очаге металлопроизводства. Так, в гумельницком очаге низкие температурыковки характерны для узкого отрезка времени (первая фаза Гумельницы), высокие температуры ассоциируются со второй и третьей фазами культуры. Таким образом, феноменально высокий температурный потенциал формовки металла приурочен в гумельницком очаге почти ко всей протяженности его существования. Иная картина вырисовывается применительно к раннетрипольскому очагу (Триполье А—ВІ). Период кузнечной формовки металла при 300—800 °С оказался здесь затяжным и регулярное использование высоких температур проявляется лишь на позднем этапе сложения среднетрипольского очага (Триполье VII—СІ). Хвалынский очаг металлообработки дает примеры использования только температур 300—800 °С, за их рамки местные мастера так и не выходят. Обобщение этих наблюдений позволяет предположить, что становление нового центра металлообработки предполагает некоторый период ученичества,

зи с этим понятно стремление древних мастеров избежать подобного температурного интервала неполной рекристаллизации и перейти в область безопасных с точки зрения пластичности температур 900—1000 °С. Это особенно важно при перековке крупных заготовок, которые требуют применения значительных усилий при ковке.

Приложение полученных на модельных образцах микроструктурных наблюдений к металлу БКМП позволило выделить ряд общих закономерностей в развитии древней металлообработки, а также установить некоторые характерные приемы, свойственные металлопроизводству конкретных очагов и регионов, входивших в состав провинции. Так, материалы регионов, металлообработка которых развивается длительно и независимо (фракийско-нижнедунайский, карпато-поднепровский), показывают, что у истоков эволюции кузнечной техники стоитковка металла при пони-

связанный с использованием низких температур при ковке металла. Высокие температуры используются в кузнечном деле на более поздней стадии его развития. Отсутствие признаков такого ученичества свидетельствует об ином неместном характере становления металлообработки.

В этой связи можно высказать некоторые соображения о происхождении Балкано-Карпатской металлургии. Металлографический и спектральный анализы болгарских находок, предшествующих по времени Гумельнице, связанных с культурой Марица-Караново V, обнаружил поразительно совершенные методы металлургического плавления меди, литья и последующей кузнечной обработки в предплавильных режимах (900—1000 °С). Эти наблюдения делают обоснованной гипотезу о переднеазиатском импульсе, сыгравшем решающую роль в становлении балканской металлургии позднего неолита в первой трети IV тыс. до н. э.⁸ Однако, революционный скачок в последующем развитии металлопроизводства энеолита был совершенно независимым, обусловленным местными поисками и открытиями. Независимо от восточных и южных влияний у носителей балкано-дунайских энеолитических культур Гумельница, Варна, Винча-Плочник, Тисаполгар, Бодрокерестур возникают древнейшие в Старом Свете проушные топоры и тяжелые комбинированные орудия, новые способы литья в двух и даже трехсоставные формы, невиданные по уровню совершенства кузнечные приемы, проводившиеся при нагреве металла до предплавильных температур.

Апофеозом металлургических достижений энеолита Юго-Восточной Европы явилось открытие графитовых литейных форм. Их использование мастерами западного ареала БКМП документируется результатами металлографического изучения гумельницких и варненских медных находок⁹.

До сих пор археологов поражал факт почти полного отсутствия литейных форм в поселениях балкано-дунайского энеолита, факт, казавшийся парадоксальным при гигантском скоплении здесь сотен крупных литых изделий. В процессе микроструктурного изучения медных орудий возникло предположение, что материалом литейных форм являлся графит, который сгорал после нескольких циклов использования изложниц. В лабораторных условиях был проведен эксперимент по отливке меди в специально изготовленную из графита литейную форму плоского топора. В итоге эксперимента удалось подтвердить высказанную в литературе точку зрения о том, что графит способен растворяться в наружных слоях медных отливок. Растворимость эта проявляется в случае, если медь насыщена кислородом. За счет диффузии углерода в медь начинается его реакция с кислородом, которая из-за медленной кинетики процесса протекает только по поверхности раздела литейной формы с металлом. В итоге образуется раскисленная зона наподобие той, которая наблюдалась в изделиях Гумельницы и Варны (рис. 2, 5, 6; 3, 3, 4), а также на опытных отливках в графит. Месторождения графита широко представлены в Юго-Восточной Европе, а знакомство населения с местами его выходов подтверждается использованием графита в росписях гумельницкой и варненской керамики. Таким образом, известные в настоящее время преимущества графитовых форм (предохранение металла от окисления, возможность получения гладких отливок) были открыты еще в IV тыс. до н. э., утрачены и вновь открыты лишь в XX в. (в связи с литьем титановых сплавов).

Еще одно важное изобретение удастся теперь вписать в пределы энеолита. Металлографическое изучение штейновых включений в медных изделиях (рис. 2, 4; 3, 6) и шлаковых настывлей на стенках тиглей поздней Гумельницы показало, что медь получали восстановительной плавкой руд смешанного характера — оксидносульфидных. Этот процесс был освоен, видимо, вскоре после плавки чистых окисленных руд. Эксперимент по лабораторному воспроизведению прямой металлургической плавки куприта с халькозином прошел успешно. За счет взаимодействия закиси меди (Cu_2S) при нагреве смеси до 1200 °С в восстановительной среде удалось получить жидкую медь, перекрытую штейном. В готовой меди сульфидные примеси оказывались близкими по концентрации и составу меди энеолитической, когда соотношение закиси и сульфида в опытной шихте было равным¹⁰.

Металлографический анализ древнейшего металла Юго-Восточной Евро-

пы позволил не только обосновать феноменально высокий уровень местного производства, но и показать сложные формы его социальной организации. По результатам аналитического исследования металлическая продукция мастеров БКМП распадается на две большие группы, различающиеся как по набору изделий, так и по технологии их обработки. Крупные орудия и крупные сложные по форме украшения отличаются стабильностью типов и единообразием технологических схем их формовки. Мелкие орудия и украшения характеризуются и многообразием форм, и вариантностью технологических схем, дающих себя знать даже в пределах единой типологической их разновидности. Это отражает, по-видимому, наличие в системе местной металлообработки двух различных по уровню технической культуры структурных ячеек производства: клановой и индивидуально-семейной. Клановые объединения мастеров, обитавшие, по-видимому, в специализированных поселках, имели очень узкую профессиональную специализацию. Судя по материалам гумельницкого очага, в них действовали горняки, металлурги, кузнецы, литейщики и резчики литейных форм. Единственной фигурой индивидуально-семейного ремесла был мастер-универсал, освоивший все виды металлургических занятий. В одном очаге могли совмещаться разные формы объединений мастеров. Так в очагах западного ареала БКМП (гумельницком, раннетрипольском, среднетрипольском и др.) существовали и индивидуально-семейные, и кланово-производственные организации металлургов. Напротив, в очагах восточного ареала провинции (новоданиловском, хвалынском и др.) металлообработка выступала исключительно в индивидуально-семейной форме¹¹.

В заключение несколько слов о существующих системах периодизации древнейших металлургических знаний. Многие исследователи пытались построить «родословное древо» металлургии и проследить ее развитие во времени (Х. Коглен, К. Ламберг-Карловский, Ф. Форбс¹² и многие другие). Создаваемые в итоге системы периодизации считались универсальными, всеобщими для всех регионов Старого Света, хотя базировались они по большей части на аргументах логического характера. Аналитические доказательства, хотя и привлекались, выглядели весьма скромно. Вписать в периодизационные схемы такого рода наши конкретные технологические характеристики, свойственные металлопроизводству энеолита, можно лишь с большой натяжкой. Очевидно, что все ныне существующие схемы дают лишь грубое, упрощенное представление о реальной последовательности металлургических знаний. Понимание действительного процесса их развития немислимо без создания региональных систем периодизации, основанных на широком привлечении новых металлографических наблюдений. Вычленение из них общих технологических достижений надрегионального значения позволит в дальнейшем выйти на уровень обобщенных оценок в построении родословного древа металлургии.

Примечания

¹ Рындина Н. В. О периодизации древнейшего металлообрабатывающего производства Юго-Восточной Европы // Вестник Московского Университета. Серия 4. История.— 1992.— № 6.— С. 68—70.

² Черных Е. Н. Горное дело и металлургия в древнейшей Болгарии.— София, 1978.— С. 263—265; Черных Е. Н. О юго-восточной зоне Балкано-Карпатской металлургической провинции эпохи энеолита // *Studia Prachistorica*.— София, 1978.— № 1—2.— С. 175; *Cernych E. N. Periodisierung der Fruhmetallzeit: allgemein oder regional?* // *Atti del X Simposio Internazionale sulla fine del Neolitico e gli inizi dell'Eta del Bronzo in Europa*.— Verona, 1982.— S. 30—34.

³ *Cernych E. N. Fruhestes Kupfer in der Steppen - und Waldsteppen — Kulturen Osteuropas* // *Die Kupferzeit als historische Epoche. Teil 2, Saarbruckener Beitrage zur Altertumskunde*.— Bonn, 1991.— Band 55.— S. 581—588.

⁴ Рындина Н. В. Древнейшее металлообрабатывающее производство Юго-Восточной Европы (истоки и развитие в неолите-энеолите) // Научный доклад, представленный в качестве диссертации на соискание уч. степени докт. ист. наук.— М., 1993.— С. 13.— Табл. 1.

- ⁵ *Смирязин А. П.* Промышленные цветные металлы и сплавы.— М., 1956.— С. 554.
- ⁶ *Горелик С. С.* Рекристаллизация металлов и сплавов.— М., 1980.— С. 317.
- ⁷ *Равич И. Г., Рындина Н. В.* Методика металлографического изучения древних кованных изделий из меди // *Естественнонаучные методы в археологии.*— М., 1989.— С. 91—100.
- ⁸ *Рындина Н. В.* Новые данные о древнейшей металлургии Болгарии // *Pulpudeva, Sofia.*— 1993, № 6.— С. 138—151.
- ⁹ *Рындина Н. В.* О периодизации...— С. 72, 73.
- ¹⁰ *Рындина Н. В., Колосова В. С., Инденбаум Г. В., Бойных Н. М.* К проблеме использования сульфидных медных руд в энеолите Балкан // *Комплексные методы исследования археологических источников. Материалы к V Совещанию 21—23 ноября 1989 г.*— М., 1989.— С. 41, 42.
- ¹¹ *Рындина Н. В.* Древнейшее металлообрабатывающее производство Юго-Восточной Европы...— С. 33, 34.
- ¹² *Coghlan H. H.* Notes on the Prehistoric Metallurgy of Copper and Bronze.— Oxford, 1951.— P. 28—33; *Lamberg-Karlovsky C. C.* Historical Continuity, Stage and Process; the Development of a Metallurgical Technology // *Зборник народног музеја у Београду. Том VI.*— Београд, 1970.— С. 344—359; *Forbes R. S.* Studies in Ancient Technology.— Vol. VIII, Leiden, 1971.— P. 25.

Н. В. Рындина, І. Г. Равич

МЕТАЛОГРАФІЯ Й ВИВЧЕННЯ СТАРОДАВНЬОГО МЕТАЛООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА (ДОБА ЕНЕОЛІТУ)

У результаті металографічного аналізу найдавнішого металу Південно-Східної Європи вдалося не тільки обґрунтувати феноменально високий рівень місцевого виробництва, але і показати складні форми його соціальної організації. У продукції майстрів Балкано-Карпатської металургійної провінції виділяються дві групи, що різняться як набором виробів, так і технологією їх обробки. На думку автора це могло б відобразити наявність в системі місцевої металообробки двох різних за рівнем технологічної культури структурних осередків виробництва: кланової та індивідуально-сімейної.

N. V. Ryndina, I. G. Ravich

METALLOGRAPHY AND STUDYING THE MOST ANCIENT METAL-WORKING PRODUCTION

As a result of metallographical analysis of the most ancient metal of South-Eastern Europe it managed not only to base a phenomenon of the high level of a local production, but also to show complicated forms of its social organization. Two groups, distinguished both in article set, and in their working method, are singled out among the output of foremen in the Balkan-Carpathian metallurgical province. In the authors' mind, it might reflect a presence of two structural production centers with different levels of the technological culture (of a clan and of an individual family) in the system of a local metal-working.