

УДК 902/904

<https://doi.org/10.24852/2587-6112.2024.6.209.222>

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ ГОРОДА ДЖУКЕТАУ

©2024 г. Ю.А. Семькин, Н.Г. Набиуллин

Статья посвящена общей характеристике черной металлургии и металлообработке города Джукетау. Технология кузнечного производства Джукетау исследовалась на основе метода археометаллографии, разработанного Б.А. Колчиным, и дополненного работами его учеников. Металлографические анализы были выполнены в археологической лаборатории Ульяновского государственного педагогического университета им. И.Н. Ульянова с использованием металлографического микроскопа МИМ-7, микротвердомера ПМТ-3. В результате были установлены характер и качество кузнечного сырья, номенклатура кузнечной продукции, набор технологических приемовковки различных изделий и качество выполнения кузнечных операций. В пределах исследованной выборки (55 ед., 54 предмета) было выделено две технологические группы, в их пределах – 11 технологических схем. Технологическая группа I (36 ед., около двух третей в выборке):ковка из простого кричного железа;ковка из сырцово-неравномерно науглероженной стали;цементация поверхности;ковка из цельностальных заготовок;ковка из заготовок пакетного металла. Технологическая группа II (20 ед., более одной трети в выборке):ковка из заготовок трехслойного пакета;вварка стальной лезы в основное тело, откованное из кричного железа, сырцово-неравномерно науглероженной стали или из пакетованной заготовки;торцовая наварка;ковка из двухполосных заготовок;ковка из трехполосных заготовок;V-образная наварка. Также в процессе исследования был проведен сравнительный анализ по технологическим группам синхронных памятников.

**Ключевые слова:** археология Среднего Поволжья, X–XIV вв., Волжская Булгария, Улус Джучи, Золотая Орда, Джукетау, черная металлургия, кузнечное производство, технология, археометаллография.

## NEW MATERIALS ON FERROUS METALLURGY AND METALWORKING IN THE CITY OF JUKETAU

Yu.A. Semykin, N.G. Nabiullin

The article is dedicated to the general characteristics of ferrous metallurgy and metalworking in the city of Juketaw. The Juketaw blacksmithing was studied on the basis of the archaeometallography method developed by B.A. Kolchin, and supplemented by the works of his students. Metallographic analyses were carried out in the archaeological laboratory of the Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov using a metallographic microscope MIM-7, microhardness tester PMT-3. As a result, the nature and quality of forging raw materials, the range of blacksmithing items, a set of technological methods for forging various products and the quality of forging operations were established. Within the studied samples (55 units, 54 items), two technological groups were identified, within them 11 technological schemes. Technological group I (36 units, about two thirds in the set): forging from simple bloomed iron; forging from raw unevenly carburized steel; surface cementation; forging from all-steel billets; forging from metal blanks. Technological group II (20 units, more than one third in the set): forging from blanks of a three-layer package; welding of a steel rod into the main body forged from bloomed iron, raw unevenly carburized steel or from packaged billets; end welding; forging from two-strip blanks; forging from three-strip blanks; V-shaped welding. Also, during the research, a comparative analysis was carried out on technological groups of synchronous sites.

**Keywords:** archaeology of the Middle Volga region, X–XIV centuries, Volga Bolgaria, Ulus of Jochi, Golden Horde, Juketaw, ferrous metallurgy, blacksmithing, technology, archaeometallography.

Известный археолог Т.А. Хлебникова отмечала, что не позже второй половины домонгольского периода город Джукетау превращается в экономический и культурный городской центр Нижнего Прикамья (Хлебникова, 1975, с. 249–250). Как и основная масса населе-

ния Волжской Булгарии, жители Джукетау занимались земледелием и скотоводством, а прибрежное расположение города предполагало занятие рыболовством. В вещевом комплексе Донауровского селища (в домонгольское время один из посадов, в золотоор-

дынское время – непосредственно территория города «открытого типа») достаточно весомо и разносторонне представлены орудия труда и предметы, характеризующие производственно-хозяйственную деятельность, в том числе – инструментарий и предметы труда ремесленников (Набиуллин, 2022, с. 293–304; Набиуллин, 2022а, с. 303–316). При этом из-за распаханности культурного слоя не всегда удается разделять материалы домонгольского и золотоордынского периодов.

Пока не выявлены производственные объекты, связанные с черной металлургией и металлообработкой, надежно датированные домонгольским временем. С территории городища<sup>1</sup>, функционирование которого приходится на домонгольское время, известна находка железной крицы (рис. 1: 3; 2: 1) в форме параллелепипеда размерами 110×70×45 мм, весом 0,7 кг, с продольным разрезом по средней части глубиной 4 мм) (Баранов и др., 2016, с. 163, рис. 22.1.7). Есть основания полагать, что абсолютное большинство изделий, видимо, является продукцией местных ремесленников (на что указывают и пока немногочисленные находки с признаками заготовок изделий).

Данных о времени Улуса Джучи на порядок больше. Расположенная непосредственно на берегу р. Кама северная оконечность Донауровского селища была связана с металлургическим производством. Золотоордынский слой здесь насыщен сажей, мелким углем, обожженной и сырой глиной, железным шлаком. По данным Ф.Ш. Хузина, к золотоордынскому времени относятся остатки металлургической наземной печи, с вертикальными стенками и округлым в плане дном. Диаметр в плане 100–105 см, сохранившаяся высота 75 см. Сохранилось десять рядов, сложенных на глинистом растворе: два нижних ряда из известнякового камня и восемь рядов – из обломков кирпичей (одна целая плинфа имела размеры 25×25×5 см) и известняковых камней. Заполнение сооружения состояло из рыхлой серой супеси с большим содержанием древесного угля, золы, мелкого шлака (Хузин, 1994, с. 139–142; Семькин, 2022, с. 514, 516, рис. 10, 11).

В центральной части селища Ф.Ш. Хузин выявил сооружение, интерпретированное им как остатки жилой или производственной постройки типа кузнечной мастерской (возможно, с каркасно-столбовой конструк-

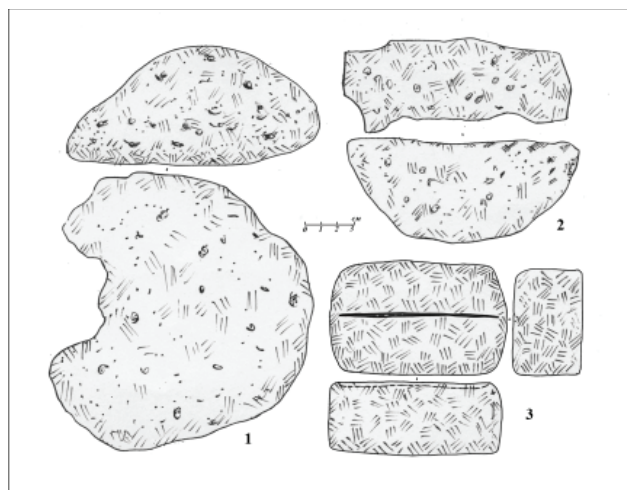


Рис. 1. Крицы из Джукетау.  
Fig. 1. Blooms from Juketaw

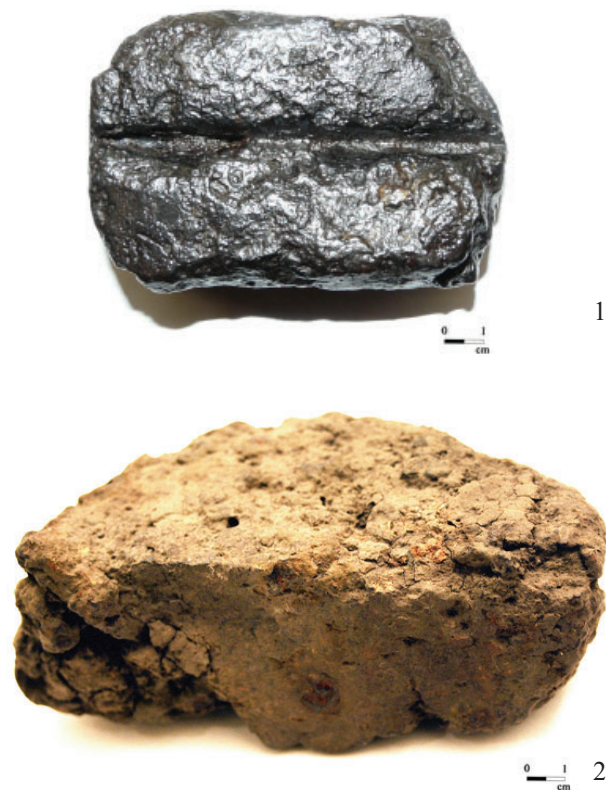


Рис. 2. Крицы из Джукетау.  
Fig. 2. Blooms from Juketaw

цией стен) с очагом на глиняной платформе. Оно подпрямоугольное в плане, ориентированное углами по сторонам света, размерами 5,2×4,6 м. Разнесенная распашкой верхняя часть сооружения выявилась в виде пестроцветного пятна с включениями глины, древесного угля и железного шлака, окаймленного полосой древесного тлена и угля шириной 10–15 см. Глиняный массив мощностью до 30

см подстилался тонкой прослойкой древесного угля. В пределах сооружения выделилось овальное пятно прокала из обожженной глины, шлака, угля, под ним – яма диаметром 140–160 см в устье и 80 см на дне со скошенными к центру ровными стенками и дном на глубине 60 см. Деревянная стена или ее часть (у очага) была, видимо, обмазана глиной, о чем свидетельствуют найденные здесь куски глиняной обмазки. Сооружение ограничено столбовыми ямками диаметром и глубиной 30–40 см. По периметру сооружения найдены железные скобы, гвозди, которые могут быть связаны с деревянной конструкцией (Хузин, 1994, с. 139–142).

Как и в прибрежной части, культурный слой центральной части Донауровского селища чрезвычайно насыщен железным шлаком, мелкими обломками кирпича. Здесь выявлены плохо сохранившиеся многочисленные следы объектов в виде ям, в заполнениях которых среди прочего найдены железные крицы. Наиболее многочисленны крицы и шлак в виде аморфных «лепешек» разных размеров, имеющие среднюю плотность и значительную пористость структуры. Есть крупные экземпляры, например, одна из «лепешек» весила 2,3 кг (рис. 1: 1). Среди готовых железных криц – обрезок (около половинки) цилиндрической крицы диаметром примерно 16 см, толщиной 4–5 см, весом 1,13 кг (рис. 1: 2; 2: 2). Пока остается открытым вопрос о чугунолитейном производстве в Джукетау (Набиуллин и др., 2017, с. 42–58; Shaykhutdinova etc., 2017, pp. 87–93).

К инструментарию кузнецов и ювелиров относятся бородки, пробойник, зубило, наковаленка (?), напильник и др. (рис. 3, 4) Большими информативными возможностями для характеристики ремесленной деятельности обладает конечная продукция – кузнечные изделия. Значительный интерес для определения особенностей кузнечной технологии представляют результаты металлографического анализа пока еще небольшой серии некоторых изделий (Семыкин, Набиуллин, 2007, с. 100–109; Семыкин, 2018, с. 292–298). К настоящему времени в археологической лаборатории Ульяновского государственного педагогического университета проведено металлографическое исследование серии кузнечных изделий из 54 предметов (55 анализов).

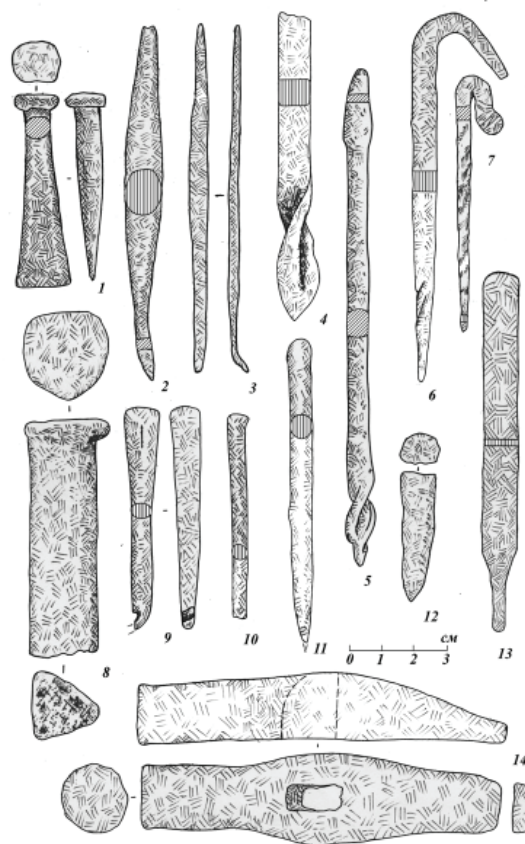


Рис. 3. Инструментарий ремесленников Джукетау  
Fig. 3. Tools of Juketaw craftsmen

В исследовании представлены следующие категории кузнечного инвентаря: ножи хозяйственного, производственного, а также боевого<sup>2</sup> назначения (38 экземпляров, анализы №№ 34, 35, 40–43, 878–885, 897, 900–902, 905–908, 910–917, 919–922, 925, 927, 928), топор-кельт (1 экземпляр, анализ № 896); коса-горбуша (1 экземпляр, анализ № 899), двулезвийное вытянуто-овальное кресало (1 экземпляр, анализ № 898); наконечники стрел (8 экземпляров, анализы №№ 887–893, 926), кольцо от кольчуги (1 экземпляр, анализ № 895) и заклепка от кольчужного кольца (1 экземпляр, анализ № 895а), скребница для ухода за лошадьми (1 экземпляр, анализ № 903); 8) ключ от пружинного замка (1 экземпляр, анализ № 894), 9) замок (1 экземпляр, анализ № 929), 10) слесарный напильник (надфиль) (1 экземпляр, анализ № 886) (рис. 5–7).

Металлографические анализы были выполнены по методике, разработанной в конце 1950-х – начале 1960-х годов Б.А. Колчиным



Рис. 4. Инструментарий ремесленников Джукетау  
Fig. 4. Tools of Juketaw craftsmen

и применяемой в ряде археолого-металлографических лабораторий России и ближнего зарубежья (Колчин, 1953). Для исследования технологии изготовления кузнечных изделий образцы выпиливались преимущественно из рабочих частей инструментов. Выпиленные образцы по 5–10 экземпляров заливались в специальные пластиковые обоймы эпоксидной смолой. Образцам были присвоены номера по сквозной нумерации металлографических анализов, практикуемых в археологической лаборатории УлГПУ. Далее следовал этап абразивной обработки с последующей шлифовкой и полировкой поверхности шлифов на шлифовальном станке с помощью водного раствора окиси хрома. Следующим этапом было изучение макроструктуры шлифа на бинокулярном микроскопе МБС-9 при увеличении до 50 крат. После этого исследование переносилось на металлографический микроскоп МИМ-7. Кратность увеличения при этом достигала 120–240. На этом микроскопе вначале шлифы изучались в нетравленном состоянии. Затем поверхность шлифов подвергалась легкому

травлению 3–5% растворами азотной и пикриновой кислот в этиловом спирте. Микротвердость структур замерялась микротвердометром ПМТ-3.

Результаты металлографического исследования рассмотрим по отдельным категориям кузнечной продукции.

#### Технология изготовления ножей

Исследованные ножи (38 ед.), за исключением одного (анализ № 921), найденного на домонгольском городище, происходят в основном из пахотного и золотоордынского слоев Донауровского селища. Выявлено две технологические группы изготовления ножей, в пределах которых – следующие технологические схемы. К I технологической группе (22 ед.; рис. 5) отнесены изделия, откованные с применением простых технологий без использования сварных железо-стальных конструкций. Такие технологии были характерны для раннего этапа становления кузнечного производства. Ко II технологической группе (рис. 6) отнесены технологии с конструктивным соединением, в основном способом кузнечной сварки стальных рабочих частей на железную основу (16 ед.).

Четыре ножа (анализы №№ 880, 912, 914, 915) оказались изготовленными из заготовок обычного кричного железа без дополнительных операций по улучшению рабочих качеств инструмента. Об этом свидетельствуют выявленные на травленной поверхности шлифов ферритовые микроструктуры. Ковка лезвий ножей из кричного железа не может считаться практичной, так как железное острие лезвия быстро теряло остроту заточки в процессе эксплуатации. Не исключено, что в условиях товарного производства ремесленной кузнечной продукции часть изделий выпускалась и по самой простой технологии. Это объяснялось стремлением кузнецов сократить затраты дефицитного стального сырья, да и времени на изготовление подобной продукции требовалось значительно меньше, чем на производство качественных изделий. Такое объяснение наличию значительного числа железных изделий в материалах с древнерусских памятников давал Б.А. Колчин.

В восьми случаях на ножах Джукетау выделена технологическая схемаковки ножей (в том числе, предположительно, боевой (анализ № 928) из сырцової неравномерно науглеро-

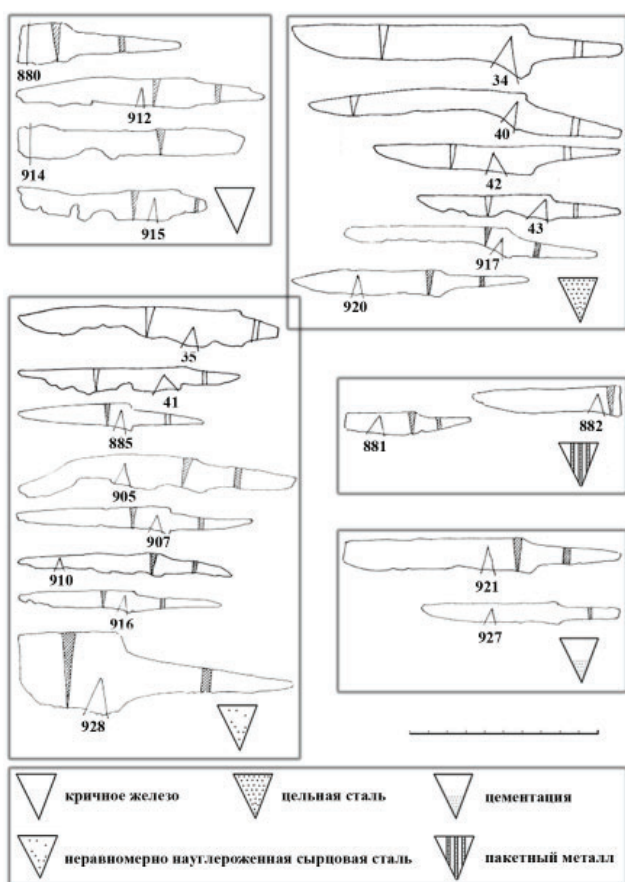


Рис. 5. Ножи из Джукетау. Технологическая группа I.  
Fig. 5. Knives from Juketaw. Technological group I.

женной стали (анализы №№ 35, 41, 885, 905, 907, 910, 916, 928).

Металл в основном средней степени кузнечной прокованности. На шлифах наблюдаются ферритовые и феррито-перлитовые микроструктуры с микротвердостью феррита 97–129–140–143–159 кг/мм<sup>2</sup>. Микротвердость феррито-перлитовых микроструктур на шлифах данной группы составляет 201–206 кг/мм<sup>2</sup>.

На шлифе с ножа ан. № 910 наблюдается сорбитовая микроструктура с микротвердостью 305–358 кг/мм<sup>2</sup>, свидетельствующая о мягкой закалке.

Технологическая схема цементации поверхности готового изделия<sup>3</sup> была прослежена в двух случаях (анализы №№ 921, 927). После цементации микротвердость феррито-перлитовой микроструктуры ножа ан. № 921 составила 221 кг/мм<sup>2</sup>. Микротвердость ферритовой микроструктуры на ноже ан. № 927 в пределах 159 кг/мм<sup>2</sup>, а феррито-перлитовых микроструктур – 201–212 кг/мм<sup>2</sup>.

Шесть ножей (анализы №№ 34, 40, 42, 43, 917, 920) были откованы из высокоуглеродистых специально подготовленных цельно-стальных заготовок с последующей мягкой закалкой. Качество проковки металла на ножах этой группы в основном среднее. На шлифах присутствуют мелкие шлаки и неметаллические включения. Микротвердость феррито-перлитовых микроструктур на ножах этой группы варьировала в пределах 178–263 кг/мм<sup>2</sup>, сорбитовой – 358 кг/мм<sup>2</sup> и мартенситовой (на ноже – ан. № 34) – 515 кг/мм<sup>2</sup>.

Таким образом, термообработка на цельно-стальных ножах свидетельствует о преднамеренном использовании качественного высокоуглеродистого сырья с целью получения твердого острого лезвия. Но применение мягкой закалки лезвия ножей свидетельствует о стремлении избежать поломки лезвия ножа с резкой закалкой.

В двух случаях (анализы №№ 881, 882) выделена технологическая схемаковки из заготовки пакетного металла, когда единый блок заготовки формовался способом кузнечной сварки из полос стали и кричного железа. В одном случае – на ноже (ан. № 881) металл заготовки ножа прокован был слабо, о чем свидетельствует сильная засоренность шлаками неметаллическими включениями. Заготовка другого ножа была прокована лучше.

Шестнадцать экземпляров металлографически исследованных ножей принадлежат ко II технологической группе (рис. 6).

На шести ножах была выявлена технологическая схема трехслойного пакета (№№ 878, 900, 901, 906, 908, 919). Эта технология была широко распространена в конце VIII – XII вв. В XIII–XIV вв. технология трехслойного пакета на ножах заменяется наварными. На всех нетравленных шлифах группы ножей с трехслойным пакетом присутствуют шлаки и неметаллические включения. После травления в центральных зонах четырех шлифов (анализы №№ 878, 901, 906, 919) выявлены микроструктуры закаленной стали. На шлифах анализов №№ 878, 906 присутствует микроструктура сорбитообразного феррито-перлита, на шлифе ан. № 919 – сорбит. На шлифе ан. № 901 присутствуют троостит с микротвердостью 476 кг/мм<sup>2</sup> и мартенсит с микротвердостью 515 и 805 кг/мм<sup>2</sup>. При этом в основном отмечена кузнечная сварка высокого качества.

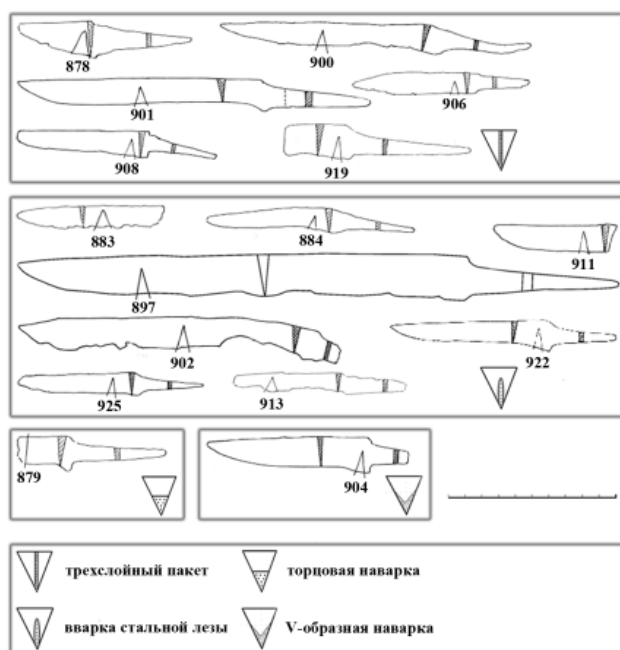


Рис. 6. Ножи из Джукетау. Технологическая группа II.  
Fig. 6. Knives from Juketaw. Technological group II.

На восьми ножах (в том числе на предположительно боевом; анализ № 897) была выявлена технологическая схема вварки стальной высокоуглеродистой пластины в основу, откованную либо из кричного железа, либо из пакетного металла (анализы №№ 883, 884, 897, 902, 911, 913, 922, 925). Ножи этой группы как средней степени прокованности, так и хорошей. Среди них четыре ножа (анализы №№ 883, 897, 911, 913) прошли мягкую закалку, три (анализы №№ 902, 922, 925) – резкую.

Микротвердость ферритовых микроструктур основы лезвия ножей в пределах 106–115–120–134 кг/мм<sup>2</sup>. Во вварных лезьях отмечены микроструктуры закаленной стали: сорбит с микротвердостью 206–248 кг/мм<sup>2</sup> (ан. № 883), 263–314 кг/мм<sup>2</sup>, 263–314–426 кг/мм<sup>2</sup> (ан. № 911).

На двух ножах заметна микроструктура мартенсита с микротвердостью 515–695 кг/мм<sup>2</sup> (ан. № 902) и 805 кг/мм<sup>2</sup> (ан. № 922). Качество кузнечной сварки основы ножей со стальными лезьями различное. Качественная сварка отмечена на одном ноже (ан. № 902), среднее качество сварки – на остальных ножах.

Технологическая схема торцевой наварки стальной пластины на железную основу встречается в одном случае на ноже (анализ № 879). На наварной торцевой пластине после мягкой закалки образовалась сорбитовая

микроструктура с микротвердостью 278 кг/мм<sup>2</sup>.

Технологическая схема V-образной наварки также встречена на одном ноже (анализ № 904). Здесь также была применена мягкая закалка, в результате на наварной пластине образовалась сорбитовая микроструктура с микротвердостью 305 кг/мм<sup>2</sup>.

#### Технология изготовления слесарного инструментария

К числу инструментов слесаря относится небольшой напильник (анализ № 886), по размерам приближающийся к надфилям (110×10 мм в рабочей части ×2 мм). Подъемный материал с территории Донауровского селища. Хотя на поверхности предмета и не сохранилось следов от насечек, характерных для напильников, тем не менее, на основании данных микроструктурного анализа можно уверенно предположить, что предмет являлся напильником. Он имеет форму плоского стержня с черешком с одной стороны и овальным закруглением с противоположной. Металлографический анализ показал, что все изделие целиком было отковано из высокоуглеродистой стальной заготовки, а заключительной операцией при его изготовлении была мягкая закалка на сорбит. После мягкой закалки с переходом в резкую в металле образовалась сорбито-трооститовая микроструктура с микротвердостью 270–346 кг/мм<sup>2</sup> – 410–426 кг/мм<sup>2</sup>.

Среди кузнечной продукции Волжской Булгарии такие инструменты пока единичны, и поэтому представляют большой интерес. Металлографический анализ инструмента типа надфиля с Семеновского селища показал, что его рабочая часть также была цельностальной и подверглась мягкой локальной закалке. Из цельностальной заготовки был откован также напильник с Муромского городка (Семыкин, Казаков, 1989, с. 123–132).

#### Технология изготовления топоров

«Топор-кельт» («мотыжка») втульчатый, с вертикальной трубицей с сомкнутыми (?) краями, общая длина 150 мм, в том числе длина лезвия до 90 мм, диаметр втулки 40–43 мм, длина лезвия в рабочей части 43 мм. Найден в золотоордынском слое Донауровского селища. Микроструктурный анализ лезвия топора-кельта (анализ № 896) показал, что он бы откован в технологииковки из пакетованной заготовки. На поверхности



Рис. 7. Кузнечные изделия из Джукетау.  
Fig. 7. Blacksmithing products from Juketaw

нетравленого шлифа заметны многочисленные шлаки и неметаллические включения. На травленном поле шлифа проявилась мелкозернистая ферритовая и феррито-перлитовая микроструктура с микротвердостью 129–159 кг/мм<sup>2</sup>. При этом для формовки блока заготовки кузнец выбрал полоски железа и сырцовую неравномерно науглероженную стали. Качество кузнечно-сварочных работ на данном топоре было средним. Кузнечной сваркой на этом экземпляре топора были соединены также две части инструмента – лезвие и втулка. Но втулка топора оказалась не цельной, а с разъемом. Возможно, в распоряжении мастера не было заготовки необходимого размера.

**Технология изготовления орудий уборки урожая**

Технология изготовления косы прослежена на одном фрагменте (анализ № 899). Сохранившийся обломок имел длину 145 мм, сечение лезвия – 35–40×3 мм. Фрагмент косы имеет широкую датировку по условиям нахождения, в пределах домонгольского

– золотоордынского времени. По результатам металлографического исследования коса была откована из простого кричного железа, значительно засоренного шлаковыми и неметаллическими включениями. На шлифе с косы прослежены микроструктуры феррита с микротвердостью 129 кг/мм<sup>2</sup>, и сорбитообразный феррито-перлит с микротвердостью 201–221 кг/мм<sup>2</sup>. Видимо, для улучшения рабочих качеств инструмента кузнец провел операцию локальной цементации рабочей части лезвия, в результате чего оно стало стальным – высокоуглеродистым, а значит более прочным и износостойчивым.

**Технология изготовления инвентаря по уходу за домашними животными**

Металлографически исследована технология изготовления скребницы – железного инструмента для ухода за гривой и хвостом лошадей. Это изделие длиной 11 см в виде согнутой «лапы» с «пальцами». Она найдена в пахотном слое Донауровского селища. Микроструктурное исследование образца металла с боковой грани скребницы (анализ № 903) показало, что она была откована из простого кричного железа, плохо прокованного, сильно засоренного шлаками и неметаллическими включениями. На шлифе выявлена однородная ферритовая микроструктура с микротвердостью 106 кг/мм<sup>2</sup>. Но заготовка при этом формовалась пакетованием однородного металла. Качество кузнечной сварки металла было недостаточно высоким. Однако к такому простому предмету, как скребница высоких требований по прочности не предъявлялось, поэтому ожидать здесь наличие следов высо-

ких технологий не приходится. Для сравнения укажем, что одна исследованная конская скребница, происходящая с Билярского городища, оказалась откованной из пакетованной заготовки при высоком качестве кузнечной сварки (Семыкин, 2015, с. 160).

#### **Технология изготовления предметов быта**

Ключ от навесного кубического цилиндрического замка с продольной ключевой щелью (тип А по Б.А.Колчину) (Колчин, 1982, рис. 3). Найден в прибрежной части Донауровского селища в золотоордынском слое (переотложен). Исследованный металлографически экземпляр ключа (анализ № 894) представляет собой прямоугольный стержень (103 мм) с прямоугольной лопатковидной рабочей площадью. На этой площадке имеются четыре фигурные паза для зажимания пружинных узлов. На конце ключа установлено свободное подвижное кольцо. Рукоять ключа была изготовлена способом наварки металлических полосок, о чем свидетельствуют отслоившиеся в результате коррозии слои металла. В Древней Руси такие замки и ключи были известны уже в IX–X вв., эксплуатировались на протяжении XI–XII вв., в середине XIII в. начали выходить из употребления. На территории Волжской Булгарии являются одними из наиболее ранних.

Металлографический анализ показал, что ключ от замка был откован из заготовки сырцово-неравномерно науглероженной стали средней степени прокованности. Выявлена феррито-перлитовая микроструктура с микротвердостью 105–129–201 кг/мм<sup>2</sup>.

Навесной двухцилиндровый замок (тип В по Б.А.Колчину), с квадратным в поперечном сечении большим цилиндром, с донным вводом ключа (высота 40 мм, ширина 34–38 мм). Найден на территории Донауровского селища, в золотоордынском слое. В Древней Руси такие замки датируются в целом второй половиной XII – началом XV вв. (Колчин, 1982, с. 156–177). По данным металлографического анализа (№ 929), изготовлен из хорошо прокованной сырцово-неравномерно науглероженной стали с микротвердостью 129 кг/мм<sup>2</sup>.

Из числа предметов быта исследована технологияковки кресала (анализ № 898). Кресало двулезвийное, вытянуто-овальное, размеры 127х32х4 мм. Подъемный материал

с территории Донауровского селища. Такие кресала были широко распространены в XII–XIII вв. (Колчин, 1959, с. 100). Как и предполагалось, оно было отковано с применением стальной рабочей части. В данном случае была выявлена технологическая схема наварки стальной высокоуглеродистой пластины на основу из обычного кричного железа (такой вариант наварки принято называть торцовой). На шлифе выявлены микроструктуры феррито-перлита, троостита и мартенсита с микротвердостью соответственно 223–441–805 кг/мм<sup>2</sup>. Обращает на себя внимание высокое качество выполнения кузнечно-сварочных работ. Наличие на рабочей стальной плоскости инструмента отдельных участков мартенситовой структуры свидетельствует о том, что кресало подверглось резкой закалке, но побывало в огне, и поэтому произошел отпуск стали.

#### **Технология изготовления предметов вооружения**

Из числа предметов вооружения были исследованы восемь наконечников стрел и одно звено от кольчуги с заклепкой. Наконечники стрел найдены на площадке раскопа V на территории Донауровского селища, в пахотном и золотоордынском слое. Все наконечники стрел черешковые, один плоский (тип 48; здесь и далее по А.Ф. Медведеву, 1966) (анализ № 889), остальные граненые, бронебойные.

Пять наконечников стрел откованы с применением технологий, условно отнесенных к I технологической группе.

Долотовидный наконечник (анализ № 891), близок к типу 100, но отличается заостренным завершением боевой головки в обеих сечениях, что делает его похожим на наконечники типа 83 (Медведев, 1966, с. 81). Шейка и черешок круглые в сечении. Наконечник откован из простого кричного железа с микротвердостью ферритовой микроструктуры 106 кг/мм<sup>2</sup>. Металл заготовки был значительно засорен шлаковыми и неметаллическими включениями.

Из сырцово-неравномерно науглероженной стали было отковано два наконечника. Первый (анализ № 888) – бронебойный в виде кинжалчика ромбического сечения с перехватом типа 97 (вид 4); датируются широко – X–XIV вв. (Медведев, 1966, с. 85). Микротвердость феррито-перлитовой микроструктуры составляет 201 кг/мм<sup>2</sup>. Второй (анализ



№ 926) – наконечник типа 83, с массивной боевой головкой ромбовидных очертаний и ромбического (подовально-ромбического) сечения, с шейкой. Металл наконечника сильно засорен шлаками. Наконечники данного типа очень характерны для XI в. Они наиболее многочисленны на Джукетау.

На одном наконечнике (анализ № 892) была прослежена технологическая схема цементации. Наконечник пирамидальной формы с массивной короткой боевой головкой ромбического сечения, с перехватом у черешка. Наконечник имеет широкий хронологический диапазон бытования – с X по XIV в. (Медведев, 1966, с. 83). Микротвердость ферритовой микроструктуры на шлифе с этого наконечника составляет 89,4–106 кг/мм<sup>2</sup>, а феррито-перлитовой – 143 кг/мм<sup>2</sup>. Среди металлографически исследованных наконечников болгарских памятников цементованных изделий встречено крайне мало (Семькин, 1991, с. 79–108).

Следующий наконечник стрелы – плоский ромбический с упором – тип 48 по А.Ф. Медведеву (анализ № 889). Пропорции пера 1:2,5. Такие наконечники были в употреблении с IX по XIV вв. (Медведев, 1966, с. 68–69). Откован из заготовки пакетного металла. Качество кузнечной сварки железных и сырцовых стальных полос высокое.

Три наконечника стрел откованы с применением технологий, условно отнесенных к II технологической группе.

Двухполосные заготовки пошли на поковку двух наконечников (анализы №№ 890 и 893). Первый – наиболее многочисленный на Джукетау наконечник типа 83, очень характерный для XI в. (Медведев, 1966, с. 81), с массивной боевой головкой ромбовидных очертаний и ромбического (подовально-ромбического) сечения, с шейкой. Второй – наконечник типа 88 (X–XIV вв.), пирамидальный квадратного сечения с желобками на гранях боевой головки, сечение черешка квадратное (Медведев, 1966, с. 82). Качество кузнечной сварки на наконечнике № 890 признано неудовлетворительным, так как сварочный шов оказался с трещиной. Это же можно сказать и о качестве выполнения кузнечной сварки на другом наконечнике (анализ № 893). Здесь сварочный шов также забит шлаками. Но в тоже время качество внешней отделки наконечников можно оценить как весьма высокое, особенно это

касается наконечника № 893. Один наконечник стрелы (анализ № 890) подвергся мягкой закалке на сорбит.

Один из наконечников (анализ № 887) был откован из трехслойной заготовки металла (двух стальных и одной железной пластин). Это долотовидный наконечник типа 100, широко распространенный в домонгольское время, начиная с середины XI в. (Медведев, 1966, с. 86). Отличаются по решению боевой головки по одному из продольных сечений. Данный экземпляр расширяется в верхней части и имеет незаостренное завершение, черешок имеет квадратное сечение. Для изготовления блока заготовки были применены две стальные и одна железная пластина. Кузнечная сварка при подготовке блока была выполнена на среднем уровне. Для придания наконечнику большей пробивной силы его подвергли термообработке – мягкой закалке. Надо сказать, что такая технологическая схема в домонгольских коллекциях встречена впервые.

Завершая рассмотрение технологии изготовления наконечников стрел, отметим, что на восьми наконечниках стрел аналитически были выявлены шесть технологических схем. При этом на наконечниках стрел одного типа присутствуют разные технологические схемы изготовления.

К числу предметов вооружения относится фрагмент кольчуги, от которой сохранилось 6 плоских соединенных друг с другом круглых и подовальных колец диаметром 12–14 мм и средней толщиной 0,5 мм. Фрагмент кольчуги найден в пахотном слое Донауровского селища.

Аналитически были исследованы один поперечный срез такого колечка (анализ № 895) и заклепочка от него (анализ № 895а). Микроструктурный анализ показал, что и кольчужное кольцо, и заклепка были откованы из очень тщательно прокованного кричного железа. При этом для получения круглого и тонкого в диаметре профиля проволоки заготовки применялась операция волочения, то есть протаскивания разогретого участка проволоки через ряд стальных калибров с уменьшающимся диаметром отверстия. В результате этой операции происходило образование очень мелкозернистой ферритовой микроструктуры, практически не содержащей неметаллических и шлаковых вклю-

чений. Сборка колец в кольчужное полотно производилось с применением операции клепки специально изготовленными железными клепочками с грибовидной шляпкой. Для выполнения этой операции использовалось специальное оборудование, состоящее из наковаленки с гнездом для головки клепки и специального обжимника. Металлографический анализ этой категории защитного доспеха представляет интерес в том отношении, что такое исследование было выполнено пока впервые.

Таким образом, всего в пределах исследованной выборки (55 ед., 54 предмета) было выделено две технологические группы, а в их пределах – 11 технологических схем. Технологическая группа I (35 ед., около двух третей в выборке): ковка из простого кричного железа (8 ед.): ножи (4 ед.), наконечник стрелы (1 ед.), кольцо и заклепка от кольчужного кольца (по 1 ед.), скребница (1 ед.); ковка из сырцово-неравномерно науглероженной стали (12 ед.): ножи (8 ед.), наконечники стрел (2 ед.), ключ (1 ед.), замок (1 ед.); цементация поверхности (4 ед.): ножи (2 ед.), коса-горбуша (1 ед.), наконечник стрелы (1 ед.); ковка из цельносталей заготовок (7 ед.): ножи (6 ед.), напильник (1 ед.); ковка из заготовок пакетного металла (4 ед.): ножи (2 ед.), топор-кельт (1 ед.), наконечник стрелы (1 ед.). Технологическая группа II (20 ед., более одной трети в выборке): ковка из заготовок трехслойного пакета (6 ед. – ножи); сварка стальной лезы в основное тело, откованное из кричного железа, сырцово-неравномерно науглероженной стали или из пакетованной заготовки (8 ед. – ножи); торцовая наварка (2 ед.): нож (1 ед.), кресало (1 ед.); ковка из двухполосных заготовок (2 ед. – наконечники стрел); ковка из трехполосных заготовок (1 ед. – наконечник стрелы); V-образная наварка (1 ед. – нож).

Распределение технологических схем по отдельным категориям изделий в исследованной коллекции представлено в таблице 1. Широкий хронологический диапазон бытования большинства находок и их происхождение из смешанных напластований не всегда позволяет проводить корректные сравнения. В картину соотношения технологических групп и особенно схем вносят погрешность единичная или невысокая (ножи) представленность большинства категорий изделий,

да и в целом пока относительно небольшая имеющаяся общая выборка.

Вместе с тем, на примере наиболее представленной категории находок – ножей (см. выше) – имеются основания предварительно соотнести материалы Джукетау с коллекциями других синхронных памятников. Как было указано, в металлографически проанализированной серии ножей из Джукетау (38 ед.) к технологической группе I отнесены 22 ед., к технологической группе II – 16 ед. Сопоставимое соотношение технологических групп наблюдается в представительных выборках из памятников как золотоордынского, так и домонгольского времени. 22 из 58 проанализированных ножей домонгольского Биляра отнесены к технологической группе I, 36 – к технологической группе II (Семыкин, 2015, с. 119, табл. 12). Среди ножей из Болгара (73 экз.), которые, по данным исследователей, в основной массе относятся к золотоордынскому периоду, к технологической группе I отнесены более половины изделий, к технологической группе II – около половины (Средние века., 2022, с. 517). Близкое соотношение технологических групп наблюдается в статистически представительных выборках русских городов золотоордынского времени – Пскове, Твери, Торжке (Завьялов и др., 2007, с. 38, табл. 3, с. 45, табл. 4, с. 80, табл. 9); в то же время в крупнейшей выборке кузнечных изделий Новгорода (300 ед.) технологическая группа II представлена в 2,3 больше, чем группа I (Завьялов и др., 2007, с. 31, табл. 2).

Представленность технологических схем ожидаемо более пестрая в небольших выборках. Например, как и в Джукетау, в распределении ножей Болгара практически не наблюдается выраженности определенных технологических схем: в технологической группе I – цементация (12 ед.); ковка из заготовок пакетного металла (10 ед.); ковка из простого кричного железа и сырцово-неравномерно науглероженной стали (7 ед.)<sup>4</sup>; ковка из цельносталей заготовок (5 ед.); в технологической группе II – боковая наварка (13 ед.), варианты V-образной наварки (9 ед.); трехслойный пакет, сварка стальной лезы, торцовая наварка (по 3 ед.) (по убыванию количества в пределах технологических групп) (Семыкин, 1996, с. 101). Следует отметить, что в коллекции ножей из Джукетау не отмечена распространенная в золотоордын-

Таблица 1. Технологические схемы кузнечной продукции Джукетау  
 Table 1. Technological diagrams of forging products from Juketaw

Категории изделий	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ													Всего
	кричное железо	сырцовая неравномерно науглероженная сталь	цементация поверхности	цельная сталь	пакетный металл	трехслойный пакет	сварка стальной лезы	торцовая наварка	двухслойная железо-стальная сварка	трехслойная железо-стальная сварка	V-образная наварка	Всего		
Ножи	4	8	2	6	2	6	8	1			1		38	
Слесарные надфили / напильники				1									1	
Топоры-кельды					1								1	
Косы-горбуши			1										1	
Скребицы	1												1	
Ключи		1											1	
Замки		1											1	
Кресала								1					1	
Наконечники стрел	1	2	1		1					1			8	
Кольца от кольчуги	1												1	
Заклепки от кольчужных колец	1												1	
Всего	8	12	4	7	4	6	8	2	2	1	1		55	
Всего по технологическим группам			35					20						

ское время технологическая схема боковой наварки стальной пластины на основу из кричного железа или из сырцової стали.

В то же время в проанализированной небольшой серии ножей из Хмелевского I селища второй половины XIII–XIV вв. 21 из 23 ножей отнесены к технологической группе I, в которой 12 экземпляров были откованы из цельностаальной заготовки (Недашковский и др., 2024, с. 159, табл. 17). Доминирование определенной технологической группы и выраженность одной из технологических

схем в пределах этой небольшой выборки может быть и не случайностью, а объективным отражением особенностей конкретного ремесленного центра – что демонстрируется в представительных выборках городских центров (Завьялов и др., 2007, с. 31, табл. 2, с. 38, табл. 3, с. 45, табл. 4). В контексте изучения сельского ремесла, в том числе влияния городских ремесленных центров на ремесло сельской округи, значительный интерес представляют и материалы исследований сельских поселений (Завьялов и др., 2024, с. 69–93).

### Примечания:

<sup>1</sup> Происхождение этой находки требует уточнения. Во всяком случае, нахождение крицы в данном случае вряд ли стоит увязывать именно с производственной деятельностью.

<sup>2</sup> Между хозяйственно-универсальными и предполагаемыми боевыми ножами (которые традиционно выделяются в основном по размерам) нет четкой границы, поэтому последние рассматриваются вместе, а не среди предметов вооружения. Возможно, боевыми являются два ножа с выраженным переходом черешка к лезвию (клинку). Первый имеет общую длину 40 см, ширину лезвия до 28 мм и толщину до 9 мм (анализ № 897); второй обломан и имеет ширину лезвия до 43 мм и толщину до 5 мм (анализ № 928).

<sup>3</sup> Некоторые исследователи выделяют в самостоятельную технологическую группу III.

<sup>4</sup> Посчитаны вместе.

### ЛИТЕРАТУРА

Баранов В.С., Бугров Д.Г., Ситдииков А.Г. Музей Болгарской цивилизации. Т. 2. История тюрко-болгарской цивилизации. Казань: Главдизайн, 2016. 254 с.

Колчин Б.А. Черная металлургия и металлообработка в Древней Руси (Домонгольский период) / МИА. № 32. М.: Наука, 1953. 260 с.

Завьялов В.И., Розанова Л.С., Терехова Н.Н. Русское кузнечное ремесло в золотоордынский период и эпоху Московского государства. М.: Знак, 2007. 280 с.

Завьялов В.И., Терехова Н.Н., Щербаков В.Л. Металлургия и железообработка на сельских поселениях Древней Руси. М.: Таус, 2024. 216 с.

Набиуллин Н.Г. Город Джукетау // Средние века (VIII – начало XIII вв.). Волжская Болгария. Финно-угорский мир. Кочевники Восточной Европы / Археология Волго-Уралья. Т. 5 / под общ. ред. А.Г. Ситдиикова; отв. ред. Ф.Ш. Хузин, Т.Б. Никитина. Казань: АН РТ, 2022. С. 293–304.

Набиуллин Н.Г. Джукетау и прилегающие территории // Средние века (вторая треть XIII – первая половина XV вв.). Эпоха Золотой Орды (Улуса Джучи) / Археология Волго-Уралья. Т. 6 / под общ. ред. А.Г. Ситдиикова; отв. ред. В.С. Баранов. Казань: АН РТ, 2022а. С. 303–316.

Набиуллин Н.Г., Беляев А.В., Храмченкова Р.Х., Шайхутдинова Е.Ф., Янбаев Р.М. Чугунная посуда Джукетау: результаты междисциплинарных исследований // Поволжская археология. 2017. № 2 (20). С. 42–58.

Недашковский Л.Ф., Шигапов М.Б., Аськеев И.В., Егорьков А.Н., Кочанова М.Д., Семькин Ю.А., Спиридонова Е.А., Шаймуратова Д.Н. Материальная культура золотоордынских селищ центральной части Саратовского Поволжья. М.: Наука, 2024. 239 с.

Семькин Ю.А. Технология кузнечного производства Биляра // Биляр – столица домонгольской Болгарии / Отв. ред. Ф.Ш. Хузин. Казань: ИЯЛИ АН РТ, 1991. С. 79–108.

Семькин Ю.А. Черная металлургия и металлообработка на Болгарском городище // Город Болгар: ремесло металлургов, кузнецов, литейщиков / Отв. ред. Г.А. Федоров-Давыдов. Казань: ИЯЛИ им. Г. Ибрагимова АН Татарстана, 1996. С. 89–153.

Семькин Ю.А. Черная металлургия и кузнечное производство Волжской Болгарии в VIII – начале XIII вв. / Археология евразийских степей. Вып. 21. Казань: Отечество, 2015. 168 с.

Семькин Ю.А. Технология кузнечного производства у населения Среднего Поволжья золотоордынского периода // Археология Евразийских степей. 2018. №. 4. С. 292–298.

Семыкин Ю.А. Черная металлургия и кузнечное дело. Чугунолитейное производство // Средние века (вторая треть XIII – первая половина XV вв.). Эпоха Золотой Орды (Улуса Джучи) / Археология Волго-Уралья. Т. 6 / под общ. ред. А.Г. Ситдикова; отв. ред. В.С. Баранов. Казань: АН РТ, 2022. С. 508–525.

Семыкин Ю.А., Казаков Е.П. Технология кузнечного производства на сельских памятниках домонгольской Волжской Булгарии // Краеведческие записки. 1989. Вып. 8. С. 123–132.

Семыкин Ю.А., Набиуллин Н.Г. Технология изготовления кузнечной продукции с городища Джукетау по данным металлографическим анализам // Краеведческие записки. 2007. Вып. 13. С. 101–109.

Хлебникова Т.А. К истории Жукотина (Джукетау) домонгольской поры (по работам 1970-1972 гг.) // СА. 1975. № 1. С. 234–251.

Хузин Ф.Ш. Новые исследования на Джукетау // Археологические открытия Урала и Поволжья / Отв. ред. В.В. Никитин. Йошкар-Ола: МарГУ, 1994. С. 139–142.

Shaykhutdinova E., Khramchenkova R., Belyaev A., Yanbaev R., Sitdikov A. Interdisciplinary research of iron casting technologies in the town of Juketaw during the golden horde period // Acta IMEKO. 2017. Vol. 6, Is. 3. P. 87–93.

### Информация об авторах:

**Семыкин Юрий Анатольевич**, кандидат исторических наук, доцент, Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова (г. Ульяновск, Россия), semiku@mail.ru

**Набиуллин Наиль Гатиятулович**, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник, Институт археологии им. А.Х. Халикова АН РТ (г. Казань, Россия); NabiullinNG@gmail.com

### REFERENCES

Baranov, V. S., Bugrov, D. G., Sitdikov, A. G. 2016. *Muzei Bolgarskoi tsivilizatsii. Istoriiia tyurko-bolgarskoi tsivilizatsii (Museum of Bulgarian Civilization. History the Turkic-Bulgarian civilization) 2*. Kazan: Glavdizain Publ. (in Russian).

Kolchin, B. A. 1953. *Chernaia metallurgiiia i metalloobrabotka v drevnei Rusi (Domongol'skii period) (Iron and Steel Metallurgy and Metal Processing in Early Rus' (Pre-Mongol Period))*. Series: Materialy i issledovaniia po arkheologii SSSR (Materials and Research in the USSR Archaeology) 32. Moscow: "Nauka" Publ. (in Russian).

Zavyalov, V. I., Rozanova, L. S., Terekhova, N. N. 2007. *Russkoe kuznechnoe remeslo v zolotoordynskii period i epokhu Moskovskogo gosudarstva (Russian blacksmithing in the Golden Horde and Moscow state periods)*. Moscow: "Znak" Publ. (in Russian).

Zavyalov, V. I., Terekhova, N. N., Shcherbakov, V. L. 2024. *Metallurgiya i zhelezoobrabotka na sel'skikh poseleniyakh Drevney Rusi (Metallurgy and ironworking in rural settlements of Old Rus)*. Moscow: "Taus" Publ. (in Russian).

Nabiullin, N. G. 2022 In Sitdikov, A. G., Khuzin, F. Sh., Nikitina, T. B. (eds.). *Srednie veka (VIII – nachalo XIII vv.). Volzhskaya Bolgariya. Finno-ugorskiy mir. Kochevniki Vostochnoy Evropy (Middle Ages (VIII – beginning of the XIII centuries). Volga Bulgaria. Finno-Ugric world. Turkic-speaking nomads)*. Series: Arkheologiiia Volgo-Uralia (Archaeology of the Volga-Urals) Vol. 5. Kazan: Institute of Archaeology named after A. Kh. Khalikov, Tatarstan Academy of Sciences, 293–304 (in Russian).

Nabiullin, N. G. 2022. In Sitdikov, A. G., Baranov, V. S. (eds.). *Srednie veka (vtoraya tret' XIII – pervaya polovina XV vv.). Epokha Zolotoy Ordy (Ulusa Dzhuchi) (Middle Ages (the second third of the XIII – first half of the XV centuries). Juchi Ulus period)*. Series: Arkheologiiia Volgo-Uralia (Archaeology of the Volga-Urals) Vol. 6. Kazan: Institute of Archaeology named after A. Kh. Khalikov, Tatarstan Academy of Sciences, 303–316 (in Russian).

Nabiullin, N. G., Belyaev, A. V., Khramchenkova, R. Kh., Shaikhutdinova, E. F., Yanbaev, R. M. 2017. *Povolzhskaya arkheologiya (Volga River Region Archaeology) 20 (2)*, 42–58 (in Russian).

Nedashkovsky, L. F., Shigapov, M. B., Askeev, I. V., Egorkov, A.N., Kochanova, M. D., Semykin, Yu. A., Spiridonova, E. A., Shaimuratova, D. N. 2024. *Material'naya kul'tura zolotoordynskikh selishch tsentral'noy chasti Saratovskogo Povolzh'ya (Material culture of the Golden Horde settlements in the central part of the Saratov Volga region)*. Moscow: "Nauka" Publ. (in Russian).

Semykin, Yu. A. 1991. In Khuzin, F. Sh. (ed.). *Biliar – stolitsa domongol'skoi Bulgarii (Bilyar – Capital of Pre-Mongol Bulgaria)*. Kazan: Institute for Language, Literature, and History, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 79–108 (in Russian).

Semikin, Yu. A. 1996. In Fedorov-Davydov, G. A. (ed.). *Gorod Bolgar. Remeslo metallurgov, kuznetsov, liteishchikov (City of Bolgar. Craft of Metallurgists, Smiths, Founders)*. Kazan: Institute for Language, Literature and History Institute named after G. Ibragimov, Academy of Sciences of Tatarstan, 89–153 (in Russian).

Semikin, Yu. A. 2015. *Chernaya metallurgiya i kuznechnoe proizvodstvo Volzhskoy Bulgarii v VIII – nachale XIII vv. (Ferrous metallurgy and blacksmithing of Volga Bulgaria in the 8th - early 13th centuries)*. Series: *Arkheologiya Evraziiskikh stepei (Archaeology of Eurasian Steppes)* 21. Kazan: “Otechestvo” Publ. (in Russian).

Semykin, Yu. A. 2018. In *Arkheologiya Evraziiskikh stepei (Archaeology of Eurasian Steppes)* 4, 292–298 (in Russian).

Semykin, Yu. A. 2022. In Sitdikov, A. G., Baranov, V. S. (eds.). *Srednie veka (vtoraya tret' XIII – pervaya polovina XV vv.). Epokha Zolotoy Ordy (Ulusa Dzhuchi) (Middle Ages (the second third of the XIII – first half of the XV centuries). Juchi Ulus period)*. Series: *Arkheologiya Volgo-Uralia (Archaeology of the Volga-Urals)* Vol. 6. Kazan: Institute of Archaeology named after A. Kh. Khalikov, Tatarstan Academy of Sciences, 508–525 (in Russian).

Semykin, Yu. A., Kazakov, E. P. 1989. In *Kraevedcheskie zapiski (Local history notes)* 8, 123–132 (in Russian).

Semykin, Yu. A., Nabiullin, N. G. 2007. In *Kraevedcheskie zapiski (Local history notes)* 13, 101–109 (in Russian).

Khlebnikova, T. A. 1975. In *Sovetskaia Arkheologiya (Soviet Archaeology)* (1), 234–251 (in Russian).

Khuzin, F. Sh. 1994. In Nikitin, V. V. (ed.). *Arkheologicheskie otkrytiia Urala i Povolzh'ia (Archaeological Discoveries in the Urals and Volga Region)*. Yoshkar-Ola: Mari State University, 139–142 (in Russian).

Shaykhutdinova, E., Khamchenkova, R., Belyaev, A., Yanbaev, R., Sitdikov, A. 2017. In *Acta IMEKO*. Vol. 6, Is. 3, 87–93.

#### About the Authors:

**Semykin Yuriy A.** Candidate of Historical Sciences, Ulyanovsk State Pedagogical University after named I.N. Ulyanov, V.I. Lenin 100th Anniversary Square, 4, Ulyanovsk, 432071, Russian Federation; semiku@mail.ru

**Nabiullin Nail G.** Candidate of Historical Sciences, Institute of Archaeology named after A. Kh. Khalikov, Tatarstan Academy of Sciences. Butlerov Str., 30, Kazan, 420012, the Republic of Tatarstan, Russian Federation; NabiullinNG@gmail.com



Статья поступила в журнал 01.10.2024 г.  
Статья принята к публикации 01.12.2024 г.  
Авторы внесли равноценный вклад в работу