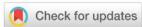


© 2025. Зиняков Н. М.

Микроструктурное исследование чугунных изделий



оригинальная статья

<https://elibrary.ru/xmrqhm>

## Микроструктурное исследование чугунных изделий средневековых ремесленников городов Южного Казахстана и Жетысу

Зиняков Николай Максимович

Кемеровский государственный университет, Россия, Кемерово

eLibrary Author SPIN: 8116-8975

<https://orcid.org/0009-0005-8258-8147>

Scopus Author ID: 57212142834

nmzinyakov@rambler.ru

**Аннотация:** Статья посвящена исследованию микроструктур чугунных изделий X–XIII вв., обнаруженных в процессе раскопок средневековых городов Тальхир (городище Талгар), Койлык (городище Антоновское), Оттар и городища Каракемер, расположенных на территории Жетысу и Южного Казахстана. Материалом для изучения послужила большая коллекция чугунных отливок (41 экз.), включающая различного рода котлы, жаровни, лемехи, а также ступку, светильник и чугунную чушку. В процессе изучения изделий использованы методы металлографического анализа, с помощью которых определен фазовый состав чугуна и его свойства, выявлены особенности чугунолитейного производства в данном регионе. Результаты исследования показали, что доминирующим материалом в изготовлении литых изделий выступал низкоуглеродистый доэвтектический белый чугун, из которого отлито 2/3 предметов настоящей коллекции. Реже мастера-литейщики использовали половинчатый чугун и эпизодически – серый, эвтектический и заэвтектический белый чугун. Основой технологии производства изученных изделий являлась отливка чугуна в формы. Этот метод позволял создавать объемную продукцию из чугуна различных размеров и конфигурации. Выплавка чугуна осуществлялась в небольших домницах вблизи железорудных месторождений. Получаемая готовая продукция в виде слитков поступала на городские рынки и в последующем использовалась мастерами-литейщиками.

**Ключевые слова:** микроструктурное исследование, чугун, металл, средневековый город, Южный Казахстан, Жетысу

**Цитирование:** Зиняков Н. М. Микроструктурное исследование чугунных изделий средневековых ремесленников городов Южного Казахстана и Жетысу. *СибСкрипт*. 2025. Т. 27. № 6. С. 973–982. <https://doi.org/10.21603/sibscript-2025-27-6-973-982>

Поступила в редакцию 21.09.2025. Принята после рецензирования 26.11.2025. Принята в печать 28.11.2025.

full article

## Cast-Iron Items Made by Urban Artisans in Medieval Southern Kazakhstan and Jetisu: Microstructural Study

Nikolay M. Zinyakov

Kemerovo State University, Russia, Kemerovo

eLibrary Author SPIN: 8116-8975

<https://orcid.org/0009-0005-8258-8147>

Scopus Author ID: 57212142834

nmzinyakov@rambler.ru

**Abstract:** The article describes the microstructure of cast-iron tools made between the 10th and the 13th centuries in the medieval cities of Talkhir (Talgar), Koylyk (Antonovka), Otrar, and Karakemer in the regions of Jetisu (*Semirechye*) and Southern Kazakhstan. The pool of cast-iron objects consisted of 41 pieces: cauldrons, braziers,

plowshares, etc., as well as a mortar, a lamp, and a cast-iron block. The method of metallographic analysis made it possible to reveal the phase composition and properties of the local cast iron. Two thirds of the items were made of low-carbon pre-eutectic white cast iron, followed by half-cast iron and, occasionally, gray, eutectic, and super-eutectic white iron. The production technology relied on casting iron into molds, which resulted in volumetric iron goods of various sizes and configurations. The iron was smelted in small blast furnaces located near iron ore deposits. The resulting ingots were sold on city markets and subsequently used by founders.

**Keywords:** microstructural study, cast iron, metall, medieval city, Southern Kazakhstan, Jetisu

**Citation:** Zinyakov N. M. Cast-Iron Items Made by Urban Artisans in Medieval Southern Kazakhstan and Jetisu: Microstructural Study. *SibScript*, 2025, 27(6): 973–982. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/sibscript-2025-27-6-973-982>

Received 21 Sep 2025. Accepted after peer review 26 Nov 2025. Accepted for publication 28 Nov 2025.

## Введение

За время многолетних раскопок средневековых городов на территории Казахстана собрана богатая коллекция изделий из железа, стали и чугуна, датируемая X–XIII вв., состоящая из бытовых предметов, орудий труда, вооружения, сырьевых материалов. Коллекция изделий из железа и железоуглеродистых сплавов уникальна с точки зрения ее количественного и качественного состава. Данное обстоятельство делает ее выдающейся и для археологии Казахстана, и для всего региона Центральной Азии. Особое место в коллекции занимают чугунные изделия, изучению которых посвящена настоящая статья.

Чугунами принято называть железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода свыше 2,14 %. Чугун отличается от стали не только высокой концентрацией углерода, но и специфическими технологическими свойствами: более низкой температурой плавления, хорошими литейными качествами, малой способностью к пластической деформации (не поддается ковке). Указанные свойства чугуна обусловили его основное использование – он стал важнейшим литейным материалом в эпохи Раннего и Зрелого Средневековья в металлообрабатывающем производстве городских обществ Среднего и Дальнего Востока, включая территории Южного Казахстана и Жетысу.

С точки зрения истории техники чугунолитейного производства чрезвычайно важен тот факт, что изделия из чугуна в виде котлов встречаются уже в раннем железном веке, а в эпоху Средневековья существенно расширяется их номенклатура и чугунные отливки становятся массовым явлением. И с этого времени чугунолитейное дело выступает одним из важнейших секторов городской экономики. Вместе с тем есть основания полагать, что высоко развитое чугунолитейное производство было одной

из важнейших предпосылок появления и развития на Среднем Востоке, включая территории Южного Казахстана и Жетысу, технологии знаменитой булатной стали, производимой до XVIII в. исключительно мастерами Востока.

До настоящего времени чугунолитейное производство древнего населения Казахстана остается малоизученным. Известны лишь несколько микроструктурных и химических анализов чугунных отливок саков Жетысу эпохи раннего железного века [Зиняков 1989], аналитические данные представительной коллекции чугунных котлов из Центральной Азии эпохи Шейбанидов [Зиняков 2023], ряда средневековых изделий археологических памятников северо-восточного Жетысу [Савельева и др. 1998], а также небольшая серия анализов химического состава и микроструктуры чугуна из коллекции городища Талгар, опубликованная корейским ученым Дж. С. Парком и соавторами [Park, Savelieva 2021; Park, Voyakin 2007].

В археологии сопредельных территорий известны публикации, посвященные частным проблемам развития чугунолитейной отрасли производства. Так, в статье Л. А. Солнцева и соавторов излагаются результаты технологических исследований нескольких фрагментов котлов, найденных в ходе раскопок греко-варварского поселения в Северном Причерноморье [Солнцев и др. 1969]. Аналитические данные чугунных котлов из раскопок Болгара опубликованы Е. М. Ефимовой [Ефимова 1958]. Итоги полевых исследований металлургических комплексов Болгарского городища и их научная интерпретация произведены Ю. А. Семыкиным [Семыкин 1996]. Отдельные сюжеты технологии чугунолитейного производства монголов на основании материалов Каракорума рассматриваются в работе

Зиняков Н. М.

Микроструктурное исследование чугунных изделий



Н. Н. Тереховой [Терехова 1974]. Деятельность дальневосточного металлургического центра исследовалась В. Д. Леньковым [Леньков 1974; 2022]. Материалы городов Золотой Орды представлены в научных трудах С. В. Рязанова [Рязанов 1997; 2009]. Аналитические данные чугунных котлов Поволжья и Прикамья VIII–XIV вв. опубликованы в монографии К. А. Руденко [Руденко 2000]. Результаты анализа чугунных находок, обнаруженных на ряде археологических памятников степной Евразии (на территории Республики Молдова, Донецкого региона, Пензенской области, Монголии), представлены в публикациях [Винничек, Винничек 2024; Кравченко 2022; Постики, Бакуменко-Пирнэу 2020; Park et al. 2020a].

Наконец, чугун являлся исходным компонентом шихты, используемой при плавке легендарной тигельной булатной стали [Зиняков 2024]. Связанные с этим сложным металлургическим процессом проблемы нашли отражение в статье [Park et al. 2020b].

Выяснение истории и механизмов перехода от сырого металлического процесса к доменному производству, установление специфики их на изучаемой территории требует достаточного количества аналитических данных. Определенным вкладом в создание такого банка данных служат материалы данной статьи.

## Методы и материалы

В настоящей работе металлографическому исследованию подвергнуто 41 изделие из чугуна X–XIII вв., происходящее из средневековых городов Тальхир (городище Талгар), Койлык (городище Антоновское), Отрап и городища Каракемер: котлы (33 предмета), жаровни (3 экз.), ступка (1 экз.), лемехи – наконечники пахотных орудий (3 экз.), один светильник и одна чугунная чушка (форма чугунного слитка, используемая как исходное сырье для переплавки при производстве различных изделий из чугуна).

В процессе исследования использованы методы металлографического структурного анализа образцов металла, взятых из представленных находок. Методы металлографии успешно используются в отечественной науке с середины XX в. [Колчин 1953]. Суть их состоит в изучении образцов под микроскопом, выявлении структуры металла и на этой основе – химического состава, физических и механических свойств изделий. Совокупность полученных данных позволяет в конечном счете определить исходный материал и технологию литейного производства.

Металлографический анализ включает три важнейших метода: макро- и микроструктурное исследования и измерение микротвердости металла. Для визуальной фиксации производилось фотографирование макро- и микроструктур при увеличении в 25, 100, 200 и 400 раз. Описание структур осуществляется с использованием принятой в металлографии терминологии. Металлографический анализ выполнен автором в лаборатории металлографии кафедры археологии Кемеровского государственного университета с использованием металлографического микроскопа Neophot 21 и микротвердомера ПМТ-3.

## Результаты

Результаты металлографических исследований рассмотрены отдельно по каждой категории изделий.

**Котлы.** Для микроструктурного анализа отобрано 33 экземпляра. Большая часть изделий сохранилась фрагментарно (рис. 1, 1–6). Среди фрагментов представлены обломки стенок, ножек, придонные части, венчики. Изученные находки – полусферической формы, на некоторых из них фиксируется по две ручки на плечиках. Верхний диаметр сосудов колеблется от 30 до 52 см. Толщина стенок составляет 3–4 или 4–6 мм. Стенки сосудов у венчика утолщены. На внешней поверхности прослеживаются вертикальные литейные швы, свидетельствующие об использовании составных литейных форм. Судя по сохранившимся следам, литниковый канал располагался у днища. Некоторые из сосудов украшены рельефным растительным и геометрическим орнаментом.

В рассматриваемой коллекции особо выделяется импортный котел китайского производства, обнаруженный на городище Талгар (рис. 1, 2). Котел – плоскодонный, с прямыми невысокими стенками и слегка отогнутым венчиком. Сосуд снабжен двумя вертикальными прямоугольными ручками.

Металлографический анализ образцов металла котлов показал, что по микроструктуре они относятся к четырем видам.

Большая часть материала (26 экз., или 78,7 %) составляет группу белых доэвтектических (низкоуглеродистых) чугунов (рис. 2, 1). Весь углерод в сплавах находится в химическом соединении с железом ( $Fe_3C$ ). Белый чугун характеризуется значительной хрупкостью. Жидкий металл плохо заполняет литейные формы. Отливаемые изделия дают значительную усадку, а при остывании часто

образуются трещины. При анализе травленых шлифов выявлен характерный тип микроструктуры, состоящей из пластинчатого или тонкодисперсного перлита и цементита (17 экз.), реже – из пластинчатого или тонкодисперсного перлита и небольших участков ледебурита (9 экз.). К этому же виду чугуна относится и железоуглеродистый сплав импортного китайского сосуда (рис. 2, 2), хотя по химическому составу он выделяется наименьшей концентрацией углерода (около 2 %). Металл небольшого количества котлов (4 экз.) содержит включения сульфидов. Известно, что сера является вредной примесью, ухудшающей механические и литейные качества чугуна [Лахтин, Леонтьева 1980: 150]. В одном случае в структуре металла зафиксировано наличие незначительного количества фосфидной эвтектики. Принято считать, что фосфор относится к полезным примесям, улучшающим литейные качества чугуна [Там же].

Среди изученных котлов один, с городища Кара-Кемир, отлит из заэвтектического (высокоуглеродистого) белого чугуна. Концентрация углерода в нем составляет более 4,3 %. Структурные составляющие сплава: первичный цементит и ледебурит.

Третья группа – находки (5 экз.), состоящие из половинчатого, частично графитизированного чугуна. Структура половинчатого чугуна содержит и связанный углерод в виде цементита, и углерод в эвтектической смеси аустенита и цементита (в ледебурите), и свободный углерод в виде графита (рис. 2, 5). Микроструктуры металла этих находок представляют несколько вариантов. Вариант первый – микроструктура образцов металла состоит из перлита, ледебурита, цементита, пластинчатого, гнездообразного или розеточного графита. Другой вариант микроструктуры – перлит, цементит, пластинчатый и гнездообразный графит. Третий вариант – перлит, ледебурит и розеточный графит. В микроструктуре двух образцов зафиксировано наличие фосфидной эвтектики, что свидетельствует о повышенной концентрации фосфора в металле.

Наконец, четвертый вид – серый чугун, зафиксирован у одного котла из Койлыка. Металл имеет характерный серый излом, т.к. почти весь углерод в нем находится в форме свободного графита. Структурные составляющие железоуглеродистого сплава: феррит, графит, незначительное количество цементита и включения фосфидной эвтектики. Форма графитных включений – пластинчатая и гнездообразная (рис. 2, 6).

**Жаровни.** Микроструктурному анализу подвергнуто три больших фрагмента. Один из них представляет собой крупный фрагмент придонной части жаровни (рис. 1, 8). Дно жаровни – вогнутое, стенки – прямые, слегка отогнуты наружу. На поверхности стенки и на днище фиксируется литейный шов. Диаметр днища составляет 34 см. Толщина стенок – 3 мм. Другой фрагмент жаровни состоит из короткого, отогнутого наружу венчика, невысокого тулона и части дна. На внешней поверхности фиксируется вертикальный литейный шов. Срез венчика скошен внутрь. Диаметр жаровни – 28 см. Толщина стенок – 6 мм. Третий фрагмент – верхняя часть жаровни, состоящая из короткого венчика, уступом переходящего в тулоно. Венчик имеет небольшой козырек с внутренней стороны. Срез венчика – прямой. Диаметр жаровни – 38 см. Толщина стенок – 3–4 мм. Микроструктурное исследование образцов металла выявило однородную структуру доэвтектического белого чугуна, состоящую из пластинчатого перлита и цементита.

**Ступка.** Изделие имеет форму небольшой чаши с толстыми стенами и приплюснутым дном (рис. 1, 7). Внутренность дна – вогнутая. Венчик срезан горизонтально. Диаметр венчика – 12,5 см. Высота – 3,7 см. Микроструктура шлифа состоит из пластинчатого перлита и цементита.

**Лемехи.** Изучено три экземпляра. Отлитые из чугуна лемехи являлись наконечниками пахотных орудий (рис. 1, 11, 12). Их крепление производилось на конце деревянного полоза. Каждый лемех представляет собой мощную конусовидную втулку, занимающую почти всю длину изделия, и окаймляющее ее рабочее лезвие. Поперечное сечение втулок близко к овалу. Стенки основания втулок довольно массивные. Во втулках имеются отверстия для крепления. Конструкция изделия предопределяла использование рала с наклонным полозом. Расширяющаяся коническая втулка удерживала рабочее лезвие по отношению к почве под углом 25–30°, что обеспечивало необходимое рыхление почвы. Металлографический анализ показал, что два изделия отлиты из белого эвтектического и заэвтектического чугуна. Микроструктура одного из них (рис. 2, 3) состоит из ледебурита, другого (рис. 2, 4) – из ледебурита и первичного цементита. Третий лемех (анализ 1726) изготовлен из половинчатого чугуна. В структуре шлифа, наряду с перлитом, цементитом и ледебуритом, фиксируются отдельные зоны графита.

Зиняков Н. М.

Микроструктурное исследование чугунных изделий



МЕТАЛЛ В ДРЕВНИХ И СРЕДНЕВЕКОВЫХ КУЛЬТУРАХ ЕВРАЗИИ

Рис. 1. Чугунные изделия: 1 – котел, Талгар, анализ 1402; 2 – китайский котел, Талгар, анализ 1721; 3–6 – фрагменты котлов, Талгар, анализ 2256, 1401, 1722, 1760; 7 – ступка, Талгар, анализ 2255; 8 – фрагмент жаровни, Талгар, анализ 1761; 9 – светильник, Отрар, анализ 1970; 10 – слиток, Талгар, анализ 2327; 11, 12 – лемехи, Талгар, анализ 1726, 1396

Fig. 1. Cast iron products: 1 – a cauldron, Talgar, analysis 1402; 2 – a Chinese cauldron, Talgar, analysis 1721; 3–6 – cauldron fragments, Talgar, analyses 2256, 1401, 1722, 1760; 7 – a mortar, Talgar, analysis 2255; 8 – a brazier (fragment), Talgar, analysis 1761; 9 – a lamp, Otrar, analysis 1970; 10 – an ingot, Talgar, analysis 2327; 11, 12 – ploughshares, Talgar, analyses 1726, 1396

**Светильник.** В археологических коллекциях городов Южного Казахстана и Жетысу преобладают керамические светильники. Из числа металлических известен один чугунный светильник из слоя X–XII вв. города Отрап (рис. 1, 9). Он состоит из конусовидной емкости для жира и сообщающегося с ней невысокого желоба. В желобе размещался фитиль для горения. Аналитические данные свидетельствуют, что отлит светильник из белого доэвтектического чугуна. Структурные составляющие сплава: перлит, цементит и участки ледебурита.

**Чугунная чушка** – слиток металла, предназначенный для дальнейшей переработки. Обнаружена на городище Талгар (рис. 1, 10). Чугунный слиток – массивный, сложной формы. Внешняя поверхность – плоская, подчертываясь четырехугольная, слегка пузырчатая, с многочисленными раковинами. Нижняя поверхность состоит из двух блоков с округлыми краями, соединенных толстой перемычкой. Слиток отлит в специальной изложнице. Форма слитка рассчитана так, чтобы при необходимости он мог быть разделен пополам посредством простого удара посередине.

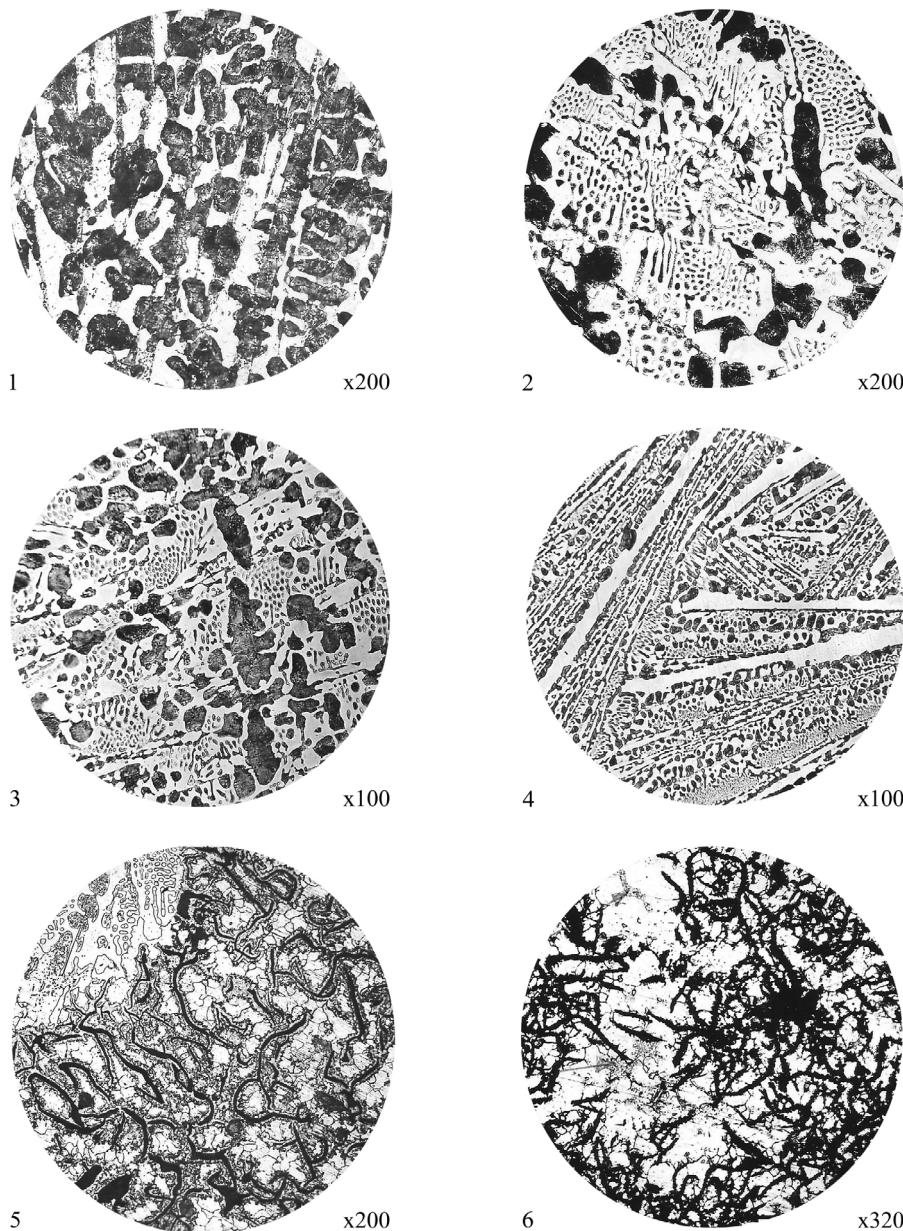


Рис. 2. Микроструктуры:  
1 – фрагмент котла, Талгар,  
анализ 1722; 2 – китайский  
котел, Талгар, анализ 1721;  
3 – лемех, Талгар, анализ  
1395; 4 – лемех, Талгар,  
анализ 1396; 5 – фрагмент  
котла, Койлык, анализ 1849;  
6 – фрагмент котла, Койлык,  
анализ 1959

Fig. 2. Microstructures: 1 –  
a cauldron (fragment), Talgar,  
analysis 1722; 2 – a Chinese  
cauldron, Talgar, analysis 1721;  
3 – a ploughshare,  
Talgar, analysis 1395;  
4 – a ploughshare, Talgar,  
analysis 1396; 5 – a cauldron  
(fragment), Koylyk, analysis  
1849; 6 – a cauldron  
(fragment), Koylyk, analysis  
1959

Зиняков Н. М.

Микроструктурное исследование чугунных изделий



Длина внешней поверхности – 24 см, ширина – 20 см, высота – 6 см. Микроструктурный анализ выявил, что материалом слитка является половинчатый чугун, структура которого состоит из сорбитаобразного перлита (около 50 %), пластинчатого графита, колоний ледебурита и цементита. По данным химического анализа, концентрация углерода в металле составляет 4,33 %.

Для характеристики химического состава чугунов шесть образцов были подвергнуты стилюскопическому анализу. Результаты анализа свидетельствуют, что по химическому составу изученные образцы относятся к нелегированным чугунам. Содержание таких легирующих элементов, как марганец, хром, никель, фиксируется лишь в виде следов. В двух образцах отмечена повышенная концентрация кремния – около 1 %. В прочих образцах содержание кремния представлено также в виде следов.

## Обсуждение

Изучение микроструктур чугунных изделий городов Казахстана X–XIII вв. показало, что их основная масса (75,6 %) изготовлена из белого доэвтектического (низкоуглеродистого) чугуна. Эти данные хорошо согласуются с исследованиями Дж. С. Парка, химический анализ 5 образцов которого показал концентрацию углерода в чугунах в пределах от 2,87 до 4 % [Park, Voyakin 2007: tab. 1]. Интересно отметить, что аналогичную структуру имеет и импортный котел китайского производства. Незначительную группу (17 %) составляют находки, отлитые из половинчатого чугуна. Встречающиеся в коллекции иные модификации структур металла, отличные от основных типов, единичны, их появление, скорее всего, носит случайный характер, связанный со сбоями в технологии производства.

Проведенные металлографические исследования железоуглеродистых сплавов, а также данные других археологических источников позволяют реконструировать процесс получения чугуна и отливки изделий. Известно несколько способов получения чугуна: 1) прямое получение сплавов в ходе восстановления железа из руд в металлургическом горне; 2) в результате двухстадийного процесса (на первой – восстановление железа, на второй – науглероживание и плавка в специальных тиглях); 3) переплавка чугунного лома.

Есть основания полагать, что на изучаемой территории первый способ имел доминирующее значение. Прямое получение чугуна непосредственно

в ходе восстановительного металлургического процесса, по имеющимся данным, технологически было близко обычному сыродутному способу получения железа. В пользу этого свидетельствуют не только логика развития металлургической техники и технологии, но и известные этнографические материалы Якутии [Струминский 1948] и Индии [Перси 1869].

Согласно теории прямого получения железа из руд, металлургическая доменная печь, служившая для выплавки чугуна, явилась конечным этапом эволюции сыродутного горна [Байков 1948: 340]. Сущность указанной эволюции состояла в следующем. Сыродутный процесс получения железа протекал в невысоких (до 1 м) печах. Небольшой объем рабочей камеры обусловливал на всем рабочем пространстве температуру около 1000 °C. Под влиянием этих условий в восстановительной атмосфере составные части железной руды (окислы железа и пустая порода) претерпевали химические превращения: значительная часть окислов железа восстанавливалась до металлического железа, другая же часть соединялась с пустой породой, превращаясь в легкоплавкий железистый шлак [Там же]. В техническом отношении сырдутный способ получения железа очень несовершенен. Одним из главных его недостатков был малый масштаб производства металла. Это предопределяло дефицит железа и его дороговизну. Стремления мастеров изменить неблагоприятные обстоятельства привели к увеличению размеров сырдутных печей, главным образом высоты. Это с неизбежностью повлекло за собой трансформацию физико-химических процессов, происходивших в рабочей камере. При увеличении высоты печи температурные режимы верхних и нижних ее частей стали значительно различаться. При достаточной высоте в верхней части печи температура падала (на значительном протяжении) ниже 1000 °C. Так как механизм восстановления окислов железа происходит при нагреве более 700 °C, а процедура шлакования может совершаться только при температуре выше 1100–1200 °C, то с увеличением шахтных печей произошло разделение процессов восстановления железа и шлакования: они стали протекать на различных горизонтах печи и в разные периоды времени: сначала в верхних частях рабочей камеры происходили процессы восстановления, с течением времени в нижних горизонтах активизировались процессы шлакования. Восстановленное

металлическое железо, находясь длительное время в соприкосновении с углем, успевало значительно науглеродиться, превращаясь в сравнительно легко-плавкий чугун с содержанием углерода более 2 %, находившийся в расплавленно-жидком состоянии [Там же: 341–343]. Таков был механизм преобразования сыродутного процесса в доменный процесс, использование которого привело к открытию и последующему употреблению чугуна, т. е. железо-углеродистого сплава, содержащего более 2,14 % углерода и имеющего специфические физические свойства. Первоначально домницы были не очень высокими: металлурги получали доэвтектический (низкоуглеродистый) белый чугун, а при определенных (исключительных) условиях (избыток угля, медленное дутье) – и другие виды чугуна.

Несмотря на то что открытие чугуна в Средней Азии относится к эпохе раннего железного века [Массон 1947: 23], однако обыденным материалом, наравне с железом и сталью, он стал только в развитом Средневековье, когда нашел широкое применение в изготовлении лемехов для пахотных орудий, котлов, ступ, жаровень, светильников, а также литой булатной стали.

Достаточно распространенным способом получения чугуна ввиду его простоты и дешевизны являлась переплавка чугунного лома, и средневековые ремесленники при наличии необходимого сырья им не пренебрегали.

Процесс производства изделия начинался с изготавления литейной формы. Она представляла собой полость, повторяющую форму планируемого изделия, в которую заливали расплавленный чугун, чтобы он затвердел и приобрел необходимую конфигурацию. Этнографические материалы Средней Азии свидетельствуют, что формы делались из глины и песка разного состава [Джаббаров 1971: 79]. Готовая форма, как правило, состояла из двух полуформ – верхней и нижней. При изготовлении изделий сложной конфигурации, таких как котлы, светильники и т. п., использовали составную верхнюю полуформу. Количество створок литейной формы определяется по так называемым литейным швам и обычно колеблется от двух до четырех.

Чугунное литье предполагало серийное производство изделий, поэтому ремесленники уделяли достаточно много внимания изготовлению необходимых партий рабочих форм и последующему длительному процессу их сушки. После подготовки форм мастера приступали к отливке

продукции. Температура расплава (по диаграмме состояния сплавов железо – углерод) при литье котлов превышала 1300–1400 °С, а лемехов – 1130–1300 °С [Гуляев 1963: 115]. Жидкий чугун подводился со стороны днища сосудов и со стороны втулки лемехов, где обычно располагался литник, служивший для подачи расплавленного металла.

## Заключение

Металлографический анализ чугунных изделий средневековых городов Жетысу и Южного Казахстана позволяет прийти к следующим выводам. В чугунолитейном городском производстве мастера использовали преимущественно доэвтектический белый чугун с содержанием углерода от 2,14 до 4,3 %. Найдены, отлитые из этого вида чугуна, составляют 75,6 % всей коллекции. В число отливок этой категории входят 26 котлов (23 талгарских, один китайский, по одному котлу из Койлыка и городища Каракемер), ступка из городища Талгар и светильник из Отара. Небольшую группу (17 %) составляют изделия, изготовленные из половинчатого чугуна. К ним относятся 3 котла и лемех из Талгара, 2 котла из Койлыка и чугунная чушка из Талгара. Редкие (в одном экземпляре), вероятно, случайные находки отлиты из серого чугуна (котел из Койлыка), эвтектического белого чугуна (лемех из городища Талгар) и заэвтектического белого чугуна (котел из городища Каракемер).

Выплавка чугуна осуществлялась в небольших металлургических печах (домницах). В ходе одностадийного процесса плавки железной руды металлурги (чугунщики) сразу получали чугун, минуя стадию переплавки кричного железа. Температура плавления металла зависела от содержания углерода и достигала рабочего уровня в диапазоне 1130–1400 °С. Производство осуществлялось вблизи железорудных месторождений. Готовая продукция в виде чугунных чушек поставлялась на городские рынки. В процессе производства чугуна металлурги использовали определенные апробированные эмпирические знания, позволявшие получать запланированные железоуглеродистые сплавы. Отклонения от проектируемого качества получаемого чугуна могли происходить от непредвиденных изменений ключевых параметров доменной плавки: количества и качества подаваемой в печь шихты, интенсивности дутья, температуры нагрева печи, химического состава продуктов плавки, состояния металлургической печи.

Зиняков Н. М.

Микроструктурное исследование чугунных изделий



**Конфликт интересов:** Автор заявил об отсутствии потенциальных конфликтов интересов в отношении исследования, авторства и / или публикации данной статьи.

**Conflict of interests:** The author declared no potential conflict of interests regarding the research, authorship, and / or publication of this article.

## Литература / References

- Байков А. А. Прямое получение железа из руд. In: Байков А. А. *Собрание трудов*. Л.: АН СССР, 1948. Т 2. С. 339–355. [Baykov A. A. Direct extraction of iron from ores. In: Baykov A. A. *Collected works*. Leningrad: AS USSR, 1948, vol. 2, 339–355. (In Russ.)]
- Винничек В. А., Винничек К. М. Изучение чугунных котлов и шлаков с Саловского I селища. *Поволжская археология*. 2024. № 2. С. 61–67. [Vinnichek V. A., Vinnichek K. M. Study of cast iron pots and slags from Salovsk I settlement. *Povolzhskaya Arkheologiya*, 2024, (2): 61–67. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24852/pa2024.2.48.61.67>
- Гуляев А. П. Металловедение. 4-е изд., перераб. М.: Оборонгиз, 1963. 464 с. [Gulyaev A. P. *Metallurgy*. 4th ed. Moscow: Oborongiz, 1963, 464. (In Russ.)]
- Джаббаров И. М. Ремесло узбеков Южного Хорезма в конце XIX – начале XX века. (Историко-этнографический очерк). *Занятия и быт народов Средней Азии*. Л.: Наука, 1971. Вып. 3. С. 72–146. [Dzhabbarov I. M. The craft of the Uzbeks of southern Khorezm at the end of the 19th – early 20th century. (Historical and ethnographic essay). *Occupations and life of the peoples of Central Asia*. Leningrad: Nauka, 1971, iss. 3, 72–146. (In Russ.)]
- Ефимова Е. М. Черная металлургия города Болгары. *МИА*. 1958. № 61. С. 292–335. [Efimova E. M. Ferrous metallurgy of the city of Bolgar. *MIА*, 1958, (61): 292–335. (In Russ.)]
- Зиняков Н. М. Чугунолитейное производство саков Семиречья. *Маргулановские чтения*, отв. ред. К. М. Байпаков. Алма-Ата, 1989. С. 129–131. [Zinyakov N. M. The foundry production of the Sakas in Jetisu. *Margulan Readings*, ed. Baupakov K. M. Alma-Ata, 1989, 129–131. (In Russ.)]
- Зиняков Н. М. Чугун Искера – столицы Сибирского Ханства как источник по истории ремесла и торговли Центральной Азии эпохи Шейбанидов. *Маргулановские чтения – 2023*: науч.-практ. конф. (Алматы, 30–31 марта 2023 г.) Алматы: Институт археологии им. А. Х. Маргулана, 2023. Т. 1. 294–305. [Zinyakov N. M. The cast iron of Isker – the capital of the Siberian Khanate as a source on the history of crafts and trade in Central Asia of the Shaybanid era. *Margulan Readings – 2023*: Proc. Sci.-Prac. Conf., Almaty, 30–31 Mar 2023. Almaty: IA Margulan, 2023, vol. 1, 294–305. (In Russ.)]
- Зиняков Н. М. Глава «О железе» минералогического трактата ал-Бируни как источник для интерпретации микроструктур тигельных (булатных) сталей эпохи Средневековья. *Археология Казахстана*. 2024. № 4. С. 343–358. [Zinyakov N. M. Chapter "On Iron" of al-Biruni's mineralogical treatise as a source for interpretation of microstructures of crucible (bulat) steels of the medieval epoch. *Kazakhstan Archeology*, 2024, (4): 343–358. (In Russ.)] <https://doi.org/10.52967/akz2024.4.26.343.358>
- Колчин Б. А. Черная металлургия и металлообработка в Древней Руси (домонгольский период). М.: АН СССР, 1953. 260 с. [Kolchin B. A. *Ferrous metallurgy and metalworking in Ancient Russia (pre-Mongol period)*. Moscow: AS USSR, 1953, 260. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/rxzzgd>
- Кравченко Э. Е. Новые сведения о находках чугуна на золотоордынских памятниках Донецкого региона. *Археология евразийских степей*. 2022. № 4. С. 198–205. [Kravchenko E. E. New findings of cast iron in the Golden Horde monuments of the Donetsk region. *Arkheologiiia Evraziiskikh Stepei*, 2022, (4): 198–205. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24852/2587-6112.2022.4.198.205>
- Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1980. 493 с. [Lakhtin Yu. M., Leontyeva V. P. *Materials Science*. 2nd ed. Moscow: Mashinostroenie, 1980, 493. (In Russ.)]
- Леньков В. Д. Металлургия и металлообработка чжурчженей в XII веке (по материалам исследований Шайгинского городища). Новосибирск: Наука, 1974. 170 с. [Lenkov V. D. *Metallurgy and metalworking of the Jurchens in the XII century: Shaiginskij settlement*. Novosibirsk: Nauka, 1974, 170. (In Russ.)]
- Леньков В. Д. Черная металлургия Бохая. К вопросу организации и технологии производства. *Россия и АТР*. 2022. № 1. С. 55–67. [Lenkov V. D. Bohai iron and steel industry. On the organization and technology of production. *Russia and the Pacific*, 2022, (1): 55–67. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24412/1026-8804-2022-1-55-67>

- Массон М. Е. К истории metallurgии Узбекистана. Ташкент: Госиздат УзССР, 1947. 65 с. [Masson M. E. *On the history of metallurgy in Uzbekistan*. Tashkent: Gosizdat UzSSR, 1947, 65. (In Russ.)]
- Перси Д. Руководство к metallургии. Т. 2. История железного дела. Физические и химические свойства железа. Его сплавы. Железные руды. Плавка руд прямо на железо. СПб.: Тип. А. И. Траншеля, 1869. 554 с. [Percy J. *Metallurgy. Vol. 2. History of ironmaking. Physical and chemical properties of iron, alloys, and iron ores. Smelting ores directly into iron*. St. Petersburg: Tip. A. I. Transhelia, 1869, 554. (In Russ.)]
- Постицэ Г. И., Бакуменко-Пырнэу Л. В. Чугунные котлы Шехр Ал-Джедида (Орхейул Векь – Старый Орхей, Республика Молдова). *Поволжская археология*. 2020. № 2. С. 181–199. [Postică G. I., Bacumenco-Pîrnău L. V. Cast iron cauldrons uncovered in Shehr Al-Djedid (Orheiul Vechi / Old Orhei, Republic of Moldova). *Povolzhskaya Arkheologiya*, 2020, (2): 181–199. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24852/pa2020.2.32.181.199>
- Руденко К. А. Металлическая посуда Поволжья и Прикамья в VIII–XIV вв. Казань: Репер, 2000. 157 с. [Rudenko K. A. *Metal tableware of the Volga region and the Kama region in the 13th–14th centuries*. Kazan: Reper, 2000, 157. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/kzgmrk>
- Рязанов С. В. Производство железа и чугуна на Юном Урале в XIV–XVI вв. *Золотоордынское наследие*: Междунар. науч. конф. (Казань, 17 марта 2009 г.) Казань: Фэн, 2009. Вып. 1. С. 479–487. [Ryazanov S. V. Production of iron and pig iron in the Young Urals in the 14th–16th centuries. *The Golden Horde heritage*: Proc. Sci. Conf., Kazan, 17 Mar 2009. Kazan: Fen, 2009, iss. 1, 479–487. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/tcyfln>
- Рязанов С. В. Чугунолитейное производство в городах Золотой Орды (итоги предварительного исследования). Уфа: УНЦ РАН, 1997, 68 с. [Ryazanov S. V. *Iron foundry in the cities of the Golden Horde: A preliminary study*. Ufa: UNC RAS, 1997, 68. (In Russ.)]
- Савельева Т. В., Зиняков Н. М., Воякин Д. А. Кузнецное ремесло Северо-Восточного Семиречья. Алматы: Гылым, 1998. 228 с. [Savelyeva T. V., Zinyakov N. M., Voyakin D. A. *Blacksmithing in the Northeastern Jetisu region*. Almaty: Gylym, 1998, 228. (In Russ.)]
- Семыкин Ю. А. Черная metallургия и металлообработка на болгарском городище. *Город Болгар: ремесло металлургов, кузнецов литециков*, отв. ред. Г. А. Федоров-Давыдов. Казань: ИЯЛИ им. Г. Ибрагимова, 1996. С. 88–146. [Semykin Yu. A. Ferrous metallurgy and metalworking at the Bolgar Settlement. *The city of Bolgar: The craft of metallurgists, blacksmiths, and foundry workers*, ed. Fedorov-Davydov G. A. Kazan: G. Ibragimov Institute of History, Language, and Literature, 1996, 88–146. (In Russ.)]
- Солнтsev L. A., Степанская R. B., Fomin L. D., Shramko B. A. О появлении изделий из чугуна в Восточной Европе. *Советская археология*. 1969. № 1. С. 69–78. [Solntsev L. A., Stepanskaya R. B., Fomin L. D., Shramko B. A. First cast iron items in Eastern Europe. *Sovetskaia arkheologija*, 1969, (1): 69–78. (In Russ.)]
- Струминский М. Я. Кустарный способ добычи руды и выплавки из нее железа якутами. *Сборник материалов по этнографии якутов*. Якутск: Якут. гос. изд-во, 1948. С. 49–59. [Struminsky M. Ya. Artisanal method of mining ore and smelting iron from it by the Yakuts. *Studies on the ethnography of the Yakuts*. Yakutsk: Iakut. gos. izd-vo, 1948, 49–59. (In Russ.)]
- Терехова Н. Н. Технология чугунолитейного производства у древних монголов. *Советская археология*. 1974. № 1. С. 69–78. [Terekhova N. N. The technology of iron foundry production among the ancient Mongols. *Sovetskaia arkheologija*, 1974, (1): 69–78. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/yswiqx>
- Park J.-S., Honeychurch W., Chunag A. Technologies and complexities as reflected in small cast iron fragments recovered from medieval sites in eastern Mongolia. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2020a, 12. <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01030-4>
- Park J.-S., Rajan K., Ramesh R. High-carbon steel and ancient sword-making as observed in a double-edged sword from an Iron Age megalithic burial in Tamil Nadu, India. *Archaeometry*, 2020b, 62(1): 68–80. <https://doi.org/10.1111/arcm.12503>
- Park J.-S., Savelieva T. The implication of technology and chronology reflected in a group of iron objects from the archeological site at Talgar in southeast Kazakhstan. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2021, 13(8). <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01414-0>
- Park J.-S., Voyakin D. Cast iron technology at Medieval Talgar in Kazakhstan. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Social Sciences*, 2007, (1): 223–230.