DOI: 10.53737/2713-2021.2025.51.24.008

А.Е. Чотбаев, И.В. Горащук

ОРУЖИЕ САКСКОЙ ЭЛИТЫ: РЕКОНСТРУКЦИЯ ДЕКОРИРОВАННОГО КИНЖАЛА МЕТОДОМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ*

Сложные литые изделия из бронзы и железа, столь характерные для раннего железного века Евразийской степи, как правило, связывают с применением литья по восковой модели. В статье предложена альтернативная гипотеза о возможном изготовлении таких предметов. Предположение о литье в створчатые формы подвергнуто проверке с помощью метода экспериментального моделирования. При описании методики приведены современные представления об экспериментальном моделировании в науке и технике. Полученные результаты, не претендуя на безусловную истину, показывают иные способы отливки сложных предметов.

Ключевые слова: ранний железный век, кинжал, орнамент «бегущей волны», эксперимент, литье, моделирование.

Сведения об авторах: Чотбаев Айдос Ербулатович[1], докторант, Казахский национальный университет им. аль-Фараби; Горащук Игорь Владиславович[2], кандидат исторических наук, ООО НПЦ «Бифас».

Контактная информация: [1]050040, Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, д. 71, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, e-mail: archtopmail@mail.ru; [2]443045, г. Самара, Россия, ул. Гагарина, д. 86, ООО НПЦ «Бифас», e-mail: goraschuk@mail.ru.

Aidos Chotbaev, Igor Gorashchuk

WEAPONS OF THE SAKA ELITE: RECONSTRUCTION OF A DECORATED DAGGER USING THE METHOD OF EXPERIMENTAL MODELLING

Complex cast bronze and iron objects, so characteristic of the Early Iron Age of the Eurasian steppe, are generally associated with the use of the lost wax technique. In this article, an alternative hypothesis about the possible production of such artefacts is put forward. The assumption that they were cast in two-shell (two-part) moulds was tested by the method of experimental modelling. In the description of the modelling methodology, current perspectives of experimental modelling in science and technology are presented. Without claiming absolute certainty, the results obtained show alternative ways of moulding complex objects. In order to make an accurate and well-founded judgement on the production of a particular artefact, its thorough investigation is required.

Key words: Early Iron Age, dagger, “Running Wave" ornament, experiment, casting, modelling.

About the authors: [1]Aidos Chotbaev, PhD student, Al-Farabi Kazakh National University; [2]Igor Gorashchuk, PhD (History), Research and production center “Bifas”, Ltd, Samara, Russia

Contact information: [1]050040, Kazakhstan, Almaty, 71 Al-Farabi Ave., Al-Farabi Kazakh National University, e-mail: archtopmail@mail.ru; [2]443045, Samara, Russia, 86 Gagarin Street, Research and production center “Bifas”, Ltd, e-mail: [2]goraschuk@mail.ru.

---

*Статья подготовлена в рамках программно-целевого финансирования Комитета науки МНВО РК 2023—2025, ИРН проекта BR21882346.

Статья поступила в номер 5 мая 2025 г.
Принята к печати 22 мая 2025 г.

© А.Е. Чотбаев, И.В. Горащук, 2025.

Введение

Культура населения Казахстана, как всего степного пояса Евразии, в раннем железном веке характеризуется высокой мобильностью населения, связана с военными походами, захватом территорий в борьбе за лучшие пастбища. Саки также оставили свой заметный след в военной истории. Скифо-сакский период — «время новаций» в вооружении и управлении конём, которые быстро распространялись в Евразийских степях, эти трансформации начались ещё в эпоху бронзы. Археологический материал раннего железного века — это результат тысячелетних экспериментов в технологии изготовления предметов вооружения и конского снаряжения, их совершенствования, разработки методов ведения войны, о чём свидетельствуют многочисленные погребально-поминальные памятники, в которых еще сохраняются отголоски, характерные для позднебронзового периода (Маргулан и др. 1966). Новации в технике изготовления особенно ярко проявились в предметах воинской экипировки и оружии, демонстрируя их важность в среде, где воинственность ставится на первое место. Кроме того, эти предметы изначально были приспособлены под унификацию. Так, примитивные, в то же время эффективные для своего времени предметы вооружения эпохи бронзы используются на начальном этапе раннего железного века, претерпевая технологические изменения, коснувшиеся формы и функциональности оружия. Одним из видов оружия, показывающего быструю трансформацию, являются кинжалы, которые занимают важное место в комплексе вооружения.

Кинжал — оружие колющего и режущего действия. Самый ранний, зафиксированный по археологическим материалам, датируется неолитическим временем (Черников 1956: 5, рис. 37). В эпоху бронзы бытовали массивные кинжалы с широким обоюдоострым лезвием. В раннесакское время этот тип оружия меняется, клинок сужается, становится вытянутым, появляются канавки и желобки вдоль лезвия. На оружии появлется декор в виде протом зверей и растительного орнамента. В основном для украшения оружия использовались образы хищных зверей (кабан, волк, барс и т.д.), а для декора рукояти колющего оружия — образы травоядных (олень, лошадь, горные козлы, архары и т.д.). Видимо, для украшения оружия выбирали животных по их природным качествам. Оружейники освоили технику декорирования оружия и с мастерством совмещали форму и декор изделий с сохранением функциональности.

Таким образом, кинжалы становятся одним из основных маркеров развития общества в раннем железном веке. А для понимания и реконструкции производства оружия нам необходим разносторонний подход в изучении предметов вооружения с привлечением комплексных методов. Одним из важных направлений в этом аспекте является экспериментальная археология, результаты которой сделают возможным получить знания об особенностях технологии и методах производства не только кинжалов, но и комплекса оружия в целом.

Аспекты технологии литья, как и вообще металлообработки раннего железного века, изучены крайне слабо. Для исследования древней металлообработки, отмечает Р.С. Минасян, чаще всего используются параллели из современного промышленного производства, а также из данных этнографии. Но в обоих случаях технологические процессы могут отличаться от древних, понять которые можно лишь изучая сами археологические находки. Основой их технического изучения является трасологический метод. Впрочем, такой подход применим также к изделиям, сделанным из других материалов. Тщательное изучение предмета позволяет определить его точные координаты на исторической карте производства. Неправильная же техническая экспертиза и оценка древней металлообработки, не подтверждающаяся фактическими данными, искажает историю производства у разных народов (Минасян 2014: 8).

Поэтому возникает вопрос: не станет ли наша работа продолжением дискуссии, которая длится уже не одно десятилетие и до сих пор не привела к однозначному результату? Тем не менее, считаем необходимым прокомментировать следующее утверждение: «В чём же заключается различие между литьём в каменную и металлическую форму? Почему при

наличии избытка бронзы в эпоху бронзы формы для отливки большинства предметов были преимущественно каменными или глиняными? В каменной, так же как и в глиняной форме, невозможно отлить достаточно сложное изделие. Для этого во все эпохи использовалось литьё по выплавляемой модели. И в каменной, и в глиняной форме сложнее получить восковую модель изящного и тонкого изделия» (Дараган 2015).

На наш взгляд, это высказывание требует уточнения по двум причинам. Во-первых, археологический материал показывает более разнообразную картину. Во-вторых, сама постановка вопроса звучит слишком категорично и допускает необходимость более гибкой интерпретации.

В этом аспекте рассмотрим кинжал из села Песчаное близ Павлодара (рис. 2: 1). Кинжал обнаружен в 1949 г. на берегу озера Объездное при рытье силосной ямы на кургане (Грязнов 1956: 11; Хабдулина 1994: 128, табл. 52: 6). Изделие изготовлено из бронзы. Рукоять декорирована мотивом «бегущей волны». Клинок имеет перекрестие, близкое к «сломанному» под углом, и сравнительно широкую рукоять. Навершие рукояти отличается своеобразной формой — оно выполнено в виде сплюснутой грибовидной шляпки, датировка — V в. до н.э.

Аналогичные кинжалы известны на территории Северного Казахстана: побережье р. Шидерты (Чидерты по М.П. Грязнову); на левом берегу Иртыша, среди разрушенного костяка в «калмыцкой могиле»; а также близ г. Кокшетау, в селе Маринское вместе с бронзовым зеркалом. Еще один подобный кинжал был найден в кургане у г. Змеиногорска — он находился в деревянных ножнах (Грязнов 1956: 11).

Орнамент в виде рядов волют — «бегущей волны» известен в Казахстане ещё с бронзового века. Мотив из парных волют активно применялся в андроновской культуре, преимущественно в геометрически-прямоугольной технике, и являлся характерным элементом декора глиняных сосудов андроновской, особенно карасукской культур. В раннем железном веке этот орнамент в криволинейной технике широко использовался на Алтае при украшении деревянных, кожаных и войлочных изделий (Грязнов 1956: 73).

В Казахстане раннего железного века подобный орнамент в основном применялся для декорирования изделий из мягких материалов, а не металлических предметов. Однако, как отмечал М.П. Грязнов, в степях Северного Казахстана ряды волют «бегущей волны» получили широкое распространение именно для украшения рукоятей бронзовых кинжалов раннего железного века.

На первый взгляд подобный декор трудно соотнести с технологией литья в створчатые формы, поэтому подобные находки традиционно интерпретируются как изделия, изготовленные по восковой модели. Однако детальное изучение орнамента демонстрирует неоднородность пропорций, толщины линий, конфигурации и глубины элементов. Подобные особенности позволяют поставить под сомнение версию о применении исключительно восковой модели. В то же время использование створчатых форм в этом случае не исключается и требует экспериментальной проверки.

Цель эксперимента, описанного в предлагаемой статье, заключается в том, чтобы определить возможность получения аналогичного изделия методом литья в створчатой форме и оценить технические пределы данной технологии.

Методика. Экспериментальное моделирование в науке и технике

Создание моделей экспериментальными методами в науке и технике получило широкое распространение как способ адекватного описания разнообразных природных и технологических процессов, а также как инструмент построения новых теоретических концепций. Под моделью понимается «искусственно созданный объект — в форме схемы, чертежа, логико-математической формулы, физической конструкции и т. п., — который, будучи аналогичен (схож, подобен) исследуемому объекту, воспроизводит в упрощённом и уменьшенном виде его структуру, свойства, взаимосвязи и отношения между элементами, прямое изучение которых затруднено» (Кондаков 1975). Сам процесс исследования

посредством модели называется моделированием. Именно в этом значении данные термины применяются в научной литературе.

Важно отметить, что модель никогда не является полной копией объекта, а представляет собой его идеализированную схему, задача которой — адекватно описывать отдельные структурные связи и взаимодействия. Такая условность отражает антиномию познавательной деятельности: «невозможность описания реальных объектов вне формально-логических средств и принципиальная неполнота любого такого описания» (Шрейдер, Шаров 1982: 35). Авторы предлагают решать эту проблему не через отказ от логических методов или их абсолютизацию, а путём развития такого логического аппарата, который способен отразить противоречие. Следуя этому подходу, неизбежно приходим к понятию множественности моделей одного и того же явления как на уровне теорий, так и на уровне структурных элементов и способов их реализации. Ведь природа моделирования может варьировать: физическая, математическая, компьютерная и др. «Из того, что два объекта являются моделями одной теории, следует лишь сходство их структуры, но не тождественность их природы» (Шрейдер, Шаров 1982: 36).

Именно этот принцип множественности лежит в основе различных классификаций моделей, существующих в науке. В обобщённом виде их можно представить следующим образом.

Структура. На данном уровне можно различить универсальные модели, которые описывают явление или процесс в целом, и частные модели, фиксирующие взаимодействие отдельных структурных элементов данного явления (процесса).

Форма представления. Речь идёт о способах передачи модели. Так, процесс отливки можно описать текстовым изложением, алгоритмической схемой или графико-технологическим изображением. В первом случае речь идёт о лингвистической модели, во втором — о формально-логической, в третьем — о визуально-технологической. Очевидно, что при корректном описании в любом из этих случаев будут выделены адекватные структурные компоненты, соответствующие ключевым этапам процесса.

Теоретический аспект. Одно и то же явление может быть интерпретировано с разных теоретических позиций, исходя из целей исследования. При анализе определённого археологического памятника, например, поселения эпохи бронзы, может быть использована статичная временная модель, если цель исследования заключается в выявлении специфических характеристик данного объекта. Если же задача состоит в изучении его исторического значения или в прослеживании процессов развития хозяйственной деятельности и культурных традиций, то более уместным будет применение динамической модели, позволяющей фиксировать изменения и реконструировать эволюцию исследуемого явления. Если же цель — проследить её культурное наследие или динамику формирования определённых социальных отношений, более продуктивной будет динамическая модель, акцентирующая внимание на изменениях и традициях. Таким образом, выбор модели зависит от поставленных задач. Подобные различия классифицируются как теоретические.

Предлагаемая схема в данной работе и будет применена. По сравнению с развёрнутыми классификациями она упрощена, однако это оправдано: рассматриваемые модели вполне могут быть охарактеризованы с её помощью.

Важно подчеркнуть, что любое построение в археологии является моделью. Моделирование используется тогда, когда прямое изучение объекта невозможно или существенно ограничено. Поскольку непосредственное исследование древнего общества недостижимо, археологические реконструкции всегда выступают в роли моделей. Более того, в археологии существуют специальные направления моделирования, одним из которых является экспериментальное моделирование.

Экспериментальное моделирование — один из наиболее убедительных и распространённых методов построения теоретических конструкций и описания процессов. В теории науки его роль принципиальна. Согласно Б.М. Стёпину: «…на ранних стадиях научного познания, когда осуществляется переход от эмпирического описания объектов к их

теоретическому освоению, конструкции теоретических моделей создаются посредством непосредственной схематизации опыта. В дальнейшем они начинают выполнять функцию средств для формирования новых моделей, и этот метод становится ведущим. Прежние же приёмы сохраняются лишь в рудиментарной форме и используются преимущественно в тех случаях, когда наука сталкивается с объектами, для которых ещё не выработаны адекватные теоретические средства. Тогда объекты исследуются экспериментально, и на этой основе постепенно формируются необходимые идеализации для построения первых теоретических моделей» (Стёпин 2000: 30).

Со временем теория эксперимента оформилась в математическую дисциплину и стала частью статистики. Одним из перспективных направлений стало планирование эксперимента**,** возникшее в 1920—1930-е гг. на основе работ Р. Фишера, а позднее развитое Дж. Боксом и его школой (Fisher 1935; Box, Hunter 1957). Эксперименты, поставленные с использованием этого математического аппарата, дали значимый практический результат. Существенный вклад внёс В.В. Федоров (1971), который чётко сформулировал ключевые теоретические положения: понятие плана эксперимента, критерии его оптимальности и алгоритмы проведения. Это позволило повысить эффективность исследований и расширить возможности экспериментальной деятельности (Федоров 1971: 17—63).

Сегодня в большинстве областей науки и техники экспериментальные исследования строятся именно на базе статистических моделей оптимального эксперимента (Федоров 1971: 70).

Экспериментальное моделирование павлодарского кинжала

На начальном этапе был составлен план эксперимента. Тип необходимой нам модели — физическая модель. Основная гипотеза, подлежащая проверке, заключалась в следующем: возможно ли отлить кинжал, рукоять которого украшена орнаментом, аналогичным декору археологического оригинала, но при этом, не прибегая к восковой модели, а используя створчатую форму. В данном случае принципиальное значение имели два момента: эквивалентность орнамента и сам факт его воспроизведения именно в створчатой форме.

Как известно, объект моделирования и его модель никогда не идентичны. Экспериментальное моделирование, даже материальных предметов, всегда предполагает определённые упрощения и компромиссы с реальностью. В нашем случае также были допущены некоторые послабления. Так, материалом для формы выбран пенодиатомитовый кирпич (рис. 1). Диатомит для него добывают в России (Инзенское месторождение), где он отличается минимальным количеством примесей и может использоваться без предварительной очистки. В его составе содержатся оксиды: кремния (85%), алюминия (6%), железа (3%), а также около 6% кальция, титана, натрия, магния и калия. Кирпич получают смешиванием с глиной и обжигом вспененной массы в формовочных печах.

Материал обладает и достоинствами, и недостатками. Его низкая прочность — несомненный плюс, так как блок легко поддаётся резке, а повреждённую створку можно быстро заменить. Кроме того, при отливке в пенодиатомите отсутствуют газовые включения, что положительно сказывается на чистоте металла. Однако мягкость и пористая структура не позволяют достичь высокой точности отливки. Это означает, что орнамент придётся дорабатывать вручную, что допустимо, если доработка не сводится к его повторной прорезке. Мы знаем случаи полного прорезания и чеканки орнамента, например, на кинжале с грифонами VI—V вв. до н.э. (Бейсенов и др. 2023). Но в нашем случае задача усложняется: орнамент изначально невозможно воспроизвести в литой форме на должном уровне детализации.

Дополнительным упрощением стало использование современной электрической плавильной печи Graficarbo для плавки металла. Для отливки применялась стандартная советская литейная бронза ОЦС 555 (сплав на основе меди с 5% олова, 5% цинка и 5%

свинца). Химический состав исходного археологического предмета нам, к сожалению, неизвестен, поскольку сам объект утрачен.

Критерием успешности эксперимента стал конечный результат: если орнамент на заготовке максимально близок к археологическому образцу, опыт можно считать удачным.

Изготовление форм. Пенодиатомитовый кирпич имел стандартные размеры 246 × 122 × 64 мм. При рассчитанной длине кинжала в 290 мм общая длина формы должна была составлять 320—350 мм с учётом литниковой системы. Поэтому форма оказалась составной. Кирпич распиливался и укреплялся на деревянной основе, после чего створки притирались (рис. 1).

Мастер-модель была максимально упрощена: изображение кинжала в натуральную величину распечатывалось, вырезался орнамент, который затем переносился на створки (рис. 1: А). Сначала вырезались основные элементы — лезвие и гарда. Затем на 1—2 мм углублялся контур рукояти (рис. 1: Б), создавая «дно» орнамента. Для прорезки применялись железные резцы для работы по дереву (рис. 1: Б, В, Г), что оправдано исторически: железные инструменты в эпоху раннего железа уже существовали. Заглаживание проводилось наждачной бумагой, что также имеет археологические аналоги (следы шлифовки известны с мезолита: Жилин 2022).

Последнее, что было сделано — прорезана система литника — выпаров (рис. 1: В). Кроме того, при отливке сложных предметов очень важна продольная и поперечная симметрия створок. Точнее, их соответствие. В противном случае — створки сместятся, и отливка будет несимметрична. Естественно, идеального смыкания сложной формы добиться практически невозможно. Однако примерную точность прилегания створок достичь необходимо. Для этого существует система рисок крайних точек по вертикали и диагонали. То, что эта система действительно применялась на практике у древних металлургов, показали створки поселения Талдысай, где один из авторов такие риски подгонки видел. Таким образом, система рисок для точного совмещения створок имеет бóльшую древность, чем ранний железный век. Система эта, как покажут удачная и неудачная отливка, действуют весьма успешно.

Отливки. При правильном совмещении створок можно переходить к процессу отливки (рис. 2: 3—5). Основная сложность заключается в точном расчёте необходимого объёма металла. Для получения полноценного изделия требуется тщательно просчитанное количество сырья, что приходит только с практическим опытом. Первая попытка оказалась неудачной из-за недостатка металла — удалось отлить лишь рукоять и часть лезвия.

Так как форма разрушилась, возникла необходимость изготовить её заново. Трудозатраты, необходимые для изготовления формы, составляют 29 часов 45 минут. Из них 45 минут требуется на распиловку и разметку кирпича; 24 часа уходит на склеивание двух частей створок; около часа — на подгонку и только четыре часа — на полный цикл изготовления обеих створок.

Первая отливка в новую форму прошла неудачно из-за того, что створки были скреплены неплотно, металл пролился. Пострадала верхняя часть одной из створок. Поэтому третья, удачная отливка, получилась не без брака: в двух местах орнамент пришлось прорезать заново.

Итак, отливка предмета удалась с третьего раза. В целом, она удачна, за исключением описанного брака и некоторой несимметрии в поперечной плоскости, которая тоже может быть выправлена слесарной обработкой (рис. 2: 6, 7).

Следующий этап — слесарная обработка заготовки. Первый шаг — обрезка литника и «облоя». «Облоем» в терминологии литейщиков называется частный случай залива дефекта в виде металлического прилива или выступа, возникающего вследствие проникновения жидкого металла в зазоры по разъёмам формы. Причины его возникновения следующие: дефекты и загрязнения поверхностей смыкания пресс-формы; давление в пресс-форме превышает усилия замыкания в процессе дожимания и выдержки; низкая вязкость расплава

материала из-за выхода за пределы рекомендуемого производителем материала диапазона температур; смещение элементов пресс-формы в процессе заполнения; недостаточный отвод газов. В настоящее время это считается дефектом, в древности, по всей вероятности, было нормой. В древнейшие времена (ранний бронзовый век) с ним боролись просто: их загибали и проковывали (Богданов 2004). И только в более поздние периоды удаляли.

Следующий шаг — общая шлифовка поверхности изделия. Эта операция необходима. Она выравнивает верхний рельеф орнамента. Действительно, глубину линий орнамента трудно контролировать при вырезании негатива орнамента на форме. Для его выравнивания и нужна такая шлифовка (рис. 2: 2). Далее следует окончательная шлифовка поверхности, заточка лезвия и тонкая доводка орнамента.

Заключение

Несмотря на то, что подобный декор чаще встречается на керамике и изделиях из мягких материалов, находки из Северного Казахстана свидетельствуют о его применении и на оружии. Традиционно такие кинжалы трактуются как изделия, отлитые по восковой модели. Однако выявленные особенности рисунка — неодинаковая глубина и толщина линий, а также вариативность конфигурации элементов — позволяют усомниться в данной версии и допустить возможность использования створчатых форм. Экспериментальное моделирование показало, что воспроизведение павлодарского кинжала методом литья в створчатую форму принципиально возможно. Несмотря на ограничения, связанные с мягкостью и пористостью материала формы, а также необходимостью последующей слесарной обработки, удалось получить изделие, близкое к археологическому оригиналу. Серия неудачных и удачных отливок продемонстрировала, что орнамент типа «бегущей волны» может быть воспроизведён без применения восковой модели, хотя качество требует дополнительной доработки. Тем самым эксперимент подтвердил техническую осуществимость подобной технологии и позволил уточнить её пределы и характерные особенности в применении к оружейным изделиям раннего железного века.

Литература

Бейсенов и др. 2023: Бейсенов А.З., Паничкин А.В., Горащук И.В., Шашенов Д.Т. 2023. Кинжал Иссыкского типа из Темирши, Центральный Казахстан: результаты металлографического, химического и трасологического анализов. *Stratum plus* 3, 1—11.

Богданов С.В. 2004. *Эпоха меди степного Приуралья*. Екатеринбург: УрО РАН.

Грязнов М.П. 1956. Северный Казахстан в эпоху ранних кочевников. *КСИИМК*, 61, 8—16.

Дараган М.Н. 2015. Бронзовые литейные формы для изготовления наконечников стрел VIII—IV вв. до н.э. В: Бейсенов А.З. (отв. ред.). *Сакская культура Сарыарки в контексте изучения этносоциокультурных процессов Степной Евразии.* Алматы: ИА; НИЦИА «Бегазы-Тасмола», 100—112.

Кондаков Н.И. 1975. *Логический словарь-справочник*. Москва: Наука.

Жилин М.Г. 2022. Результаты трасологического анализа Большого Шигирского идола. *КСИА* 266, 40—50.

Краснощеков П.С., Петров А.А. 1983. *Принципы построения моделей.* Москва: МГУ.

Маргулан и др. 1966: Маргулан А.Х., Акишев К.А., Кадырбаев М.К., Оразбаев А.М. 1966. *Древняя культура Центрального Казахстана*. Алма-Ата: Наука.

Минасян Р.С. 2014. *Металлообработка в древности и средневековье*. Санкт-Петербург: Государственный Эрмитаж.

Хабдулина М.К. 1994. *Степное Приишимье в эпоху раннего железа*. Алматы: Ракурс, 1994.

Степин В.С. 2000. *Теоретическое знание.* Москва: Прогресс—Традиция.

Федоров В.В. 1971. *Теория оптимального эксперимента.* Москва: Наука.

Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. 1982. *Системы и модели.* Москва: Радио и Связь.

Черников С.С. 1956. О работах Восточно-Казахстанской экспедиции. *КСИИМК* 64, 43—60.

Box G.E.P., Hunter J.S. 1957. Multi-Factor Experimental Designs for Exploring Response Surfaces. *Ann. Math. Statist* 28 (1), 195—241.
Fisher R.A. 1935. *The design of experiment.* Edinburgh: Oliver and Boyd.

References

Beisenov et al. 2023: Beisenov, A.Z., Panichkin, A.V., Gorashchuk, I.V., Shashenov, D.T. 2023. In *Stratum plus* 3, 1—11 (in Russian).
Bogdanov, S.V. 2004. *Epokha medi stepnogo Priuralya (The Copper Age of the Ural Steppe)*. Ekaterinburg: Ural Branch of RAS (in Russian).
Griaznov, M.P. 1956. In *Kratkie soobshcheniya Instituta istorii material'noy kul'tury (Brief reports of the Institute of the History of Material Culture)* 61, 8—16 (in Russian).
Daragan, M.N. 2015. In: Beisenov, A.Z. (ed.). *Sakskaya kultura Saryarki v kontekste izucheniya etnosotsiokulturnyh protsessov Stepnoy Evrazii (Saka culture of Saryarka in the context of the study of ethno-sociocultural processes of Early Eurasia).* Almaty: Margulan Institute of Archaeology; Research Center for the History and Archaeology "Begazy-Tasmola", 100—112 (in Russian).
Kondakov, N.I. 1975. *Logicheskiy slovar'-spravochnik (Logical dictionary-reference).* Moscow: Nauka (in Russian).
Zhilin, M.G. 2022. In *Kratkie soobshcheniya Instituta Arkheologii (Brief communications of the Institute of Archaeology)* 266, 40—50 (in Russian).
Krasnoshchekov, P.S., Petrov, A.A. 1983. *Printsipy postroeniya modeley (The principle of building models).* Moscow: Moscow State University (in Russian).
Margulan et al. 1966: Margulan, A.Kh., Akishev, K.A., Kadyrbayev, M.K., Orazbayev, A.M. 1966. *Drevnyaya kultura Tsentralnogo Kazahstana (Ancient culture of Central Kazakhstan)*. Alma-Ata: Nauka (in Russian).
Minasyan, R.S. 2014. *Metalloobrabotka v drevnosti i srednevekovie (Metalworking in antiquity and the Middle Ages)*. St. Petersburg: The State Hermitage Museum (in Russian).
Khabdulina, M.K. 1994. *Stepnoe Priishim'e v epohu rannego zheleza (The Steppe of the Ishim river region in the Early Iron Age)*. Almaty: Rakurs (in Russian).
Stepin, V.S. 2000. *Teoreticheskoe znanie (Theoretical knowledge)*. Moscow: Progress—Tradition (in Russian).
Fedorov, V.V. 1971. *Teoriya optimalnogo experimenta (Theory of the optimal experiment).* Moscow: Nauka (in Russian).
Shrader, Yu.A., Sharov, A.A. 1982. *Sistemy i modeli (Systems and model).* Moscow: Radio and Communication (in Russian).
Chernikov, S.S. 1956. In *Kratkie soobshcheniya Instituta istorii material'noy kul'tury (Brief reports of the Institute of the History of Material Culture)* 64, 43—60 (in Russian).
Box, G.E.P., Hunter, J.S. 1957. Multi-Factor Experimental Designs for Exploring Response Surfaces. *Ann. Math. Statist* 28 (1), 195—241.
Fisher, R.A. 1935. *The design of experiment.* Edinburgh: Oliver and Boyd.

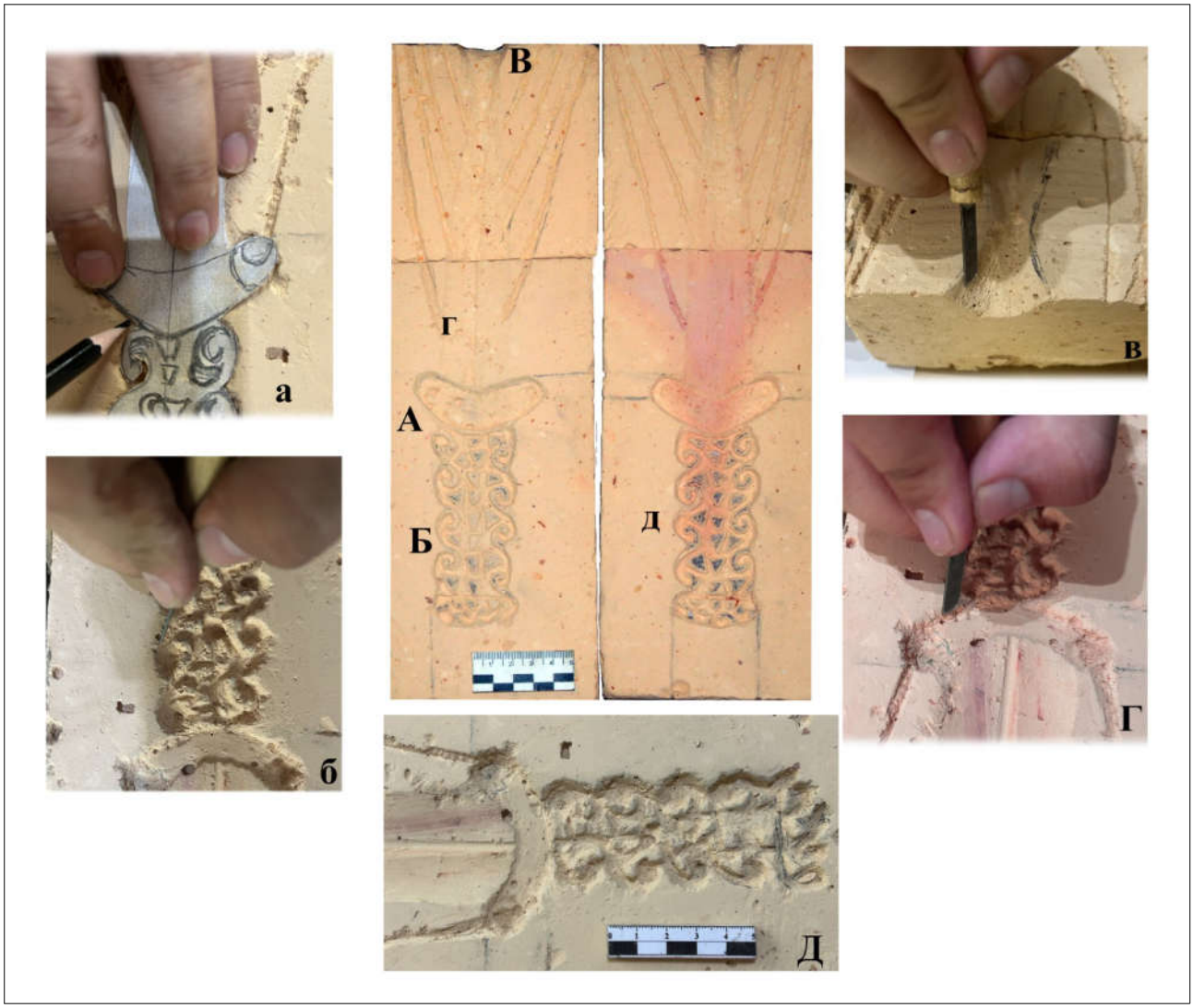

Рис. 1. Подготовка формы кинжала: *А* — вычерчивание образца кинжала; *Б* — вырезание орнамента на рукояти; *В* — вырезание створки; *Г* — углубление клинка; *Д* — орнамент два ряда волют «бегущей волны».

Fig. 1. Preparation of the form of a dagger: *А* — drawing the dagger outline; *Б* — carving the ornament on the handle; *В* — cutting out the mold flaps; *Г* — deepening the blade cavity; *Д* — ornament of double-row wave-volute motifs (“running wave” pattern).



Рис. 2. Археологический кинжал и экспериментальный кинжал: *1* — археологический образец; *2* — экспериментальный кинжал с двух сторон; *3* — подготовка к литью, вставлен тигель; *4* — бронза ОЦС 555 в тигле; *5* — расплавленный металл в створке; *6* — отлитый экспериментальный кинжал после остывания металла; *7* — готовое изделие до чистки.

Fig. 2. Archaeological dagger and experimental dagger: *1* — archaeological specimen; *2* — experimental dagger, double-sided; *3* — preparation for casting, crucible inserted; *4* — bronze alloy TZL 555 (Sn — 5%; Zn — 5%; Pb — 5%) in the crucible; *5* — molten metal poured into the mold; *6* — cast experimental dagger after the metal has cooled; *7* — finished piece before cleaning.