

Научная статья
УДК 902/904
doi: 10.17223/2312461X/40/6

Инновации и технологический трансфер в древней металлургии

Станислав Аркадиевич Григорьев

*Институт истории и археологии УрО РАН, Челябинск, Россия,
stgrig@mail.ru*

Аннотация. Металлургическое производство является комплексом сложных взаимосвязанных технологических операций, поэтому инновации в нем тоже комплексные. В древности они возникали лишь в случае решения каких-то социально-экономических проблем. Основным стимулом этих инноваций был рост потребностей в металле. Однако большинство из них вовсе не были целенаправленными актами изобретений. Чаще они были сформированы случайными технологическими мутациями, и в случае, если эти мутации позволяли решать насущные проблемы, происходило закрепление новой технологической схемы как инновации. Трансфер технологий в иные ареалы зависел от их характера. В эпохи доминирования мышьяковых сплавов легирование было тесно связано с исходной рудой, технологиями ее плавки, последующими литейными и кузнечными операциями. В результате для передачи этого сложного комплекса требовались люди, носители этих знаний. С изобретением оловянных лигатур процессы металлообработки оказались оторваны от плавки руды. В новых условиях даже появление носителей новой технологии не приводило к ее неперемому внедрению. Обязательным условием в этом случае была включенность в систему торговли медью и оловом. Однако, несмотря на отчетливую зависимость развития технологий от общественных процессов, общая их направленность в развитии древней металлургии была обусловлена универсальными физико-химическими законами, которые обеспечили сравнительно сходную картину этих инноваций в разных регионах Евразии. Второй причиной этого сходства было то, что большая часть основных инноваций распространялась с Ближнего Востока.

Ключевые слова: древняя металлургия, технологии, инновации, технологический трансфер, плавка руды, сплавы

Для цитирования: Григорьев С.А. Инновации и технологический трансфер в древней металлургии // Сибирские исторические исследования. 2023. № 2. С. 125–140. doi: 10.17223/2312461X/40/6

Original article

doi: 10.17223/2312461X/40/6

Innovations and technological transfer in ancient metallurgy

Stanislav Arkadievich Grigoriev

*Institute of History and Archaeology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Chelyabinsk, Russian Federation
stgrig@mail.ru*

Abstract. Metallurgical production is a complex of interrelated technological operations, so innovations in it are also complex. In the Bronze Age, they arose only in the case of solving some socio-economic problems. The main impetus for these innovations was the growing demand for metal. However, most of them were not purposeful acts of invention at all. More often they were formed by random technological mutations, and if these mutations made it possible to solve some urgent problems, the new technological scheme was consolidated as an innovation. The transfer of technologies to other areas depended on their nature. In the period of dominance of arsenic alloys, alloying was closely related to the used ore, its smelting technologies, and subsequent foundry and forging operations. As a result, for the transfer of this entire complex, the coming of people, the bearers of this knowledge, was needed. With the invention of tin alloys, metalworking processes were separated from ore smelting. In these new conditions, even the coming of people with this new technology did not lead to its implementation. A prerequisite in this case was inclusion in the copper and tin trading system. However, despite the clear dependence of the development of technologies on social processes, their general direction in the development of ancient metallurgy was caused by universal physical and chemical laws, which provided a relatively similar picture of these innovations in different regions of Eurasia. The second reason for this similarity was that most of the major innovations came from the Near East.

Keywords: ancient metallurgy, technology, innovations, technological transfer, ore smelting, alloys

For citation: Grigoriev, S.A. (2023) Innovations and technological transfer in ancient metallurgy. *Sibirskie Istoricheskie Issledovaniia – Siberian Historical Research*. 2. pp. 125–140. (In Russian). doi: 10.17223/2312461X/40/6

Введение

Металлургия является, пожалуй, наиболее изученным древним производством. Множество работ посвящено различным ее аспектам. Естественно, это продуцировало массу обобщающих работ, где обсуждались закономерности ее развития, особенности передачи технологий и т.д. Однако в этих построениях отсутствуют некоторые совокупные штрихи, которые позволяют придать целостность и завершенность картине развития металлургического производства.

Общая динамика этого развития давно и хорошо известна. Ее можно описать в виде нескольких основных трендов:

1) постоянный рост потребления металла, при этом предполагается, что это был вполне естественный процесс, и (тоже по общему мнению) с началом бронзового века металлургия оказывала заметное влияние на развитие общества благодаря большей эффективности металлических орудий (Рындина, Дегтярева 2002: 20–25);

2) постепенная смена типов используемого сырья, от самородной меди к чистым окисленным рудам, далее к рудам с рудовмещающей породой, затем к вторичным сульфидам и, наконец, к первичным сульфидным рудам. Существует понимание того, что указанные два тренда связаны, так как рост потребления металла удовлетворялся именно этим переходом на все более массовые и богатые сырьевые источники;

3) развитие типов легирования – от использования чистой меди к использованию мышьяковых, а затем оловянных бронз. Этот тренд всеми рассматривался в качестве изолированного, обусловленного внутренним развитием технологии, причем данные переходы, вызывающие изобретение новых типов легирования, объясняются случайными явлениями, например сходством легирующего компонента с какой-либо медной рудой, что повлекло его использование в плавке; получение металла с новыми качествами и закрепление этого навыка после осознания его полезности. Для Северной Евразии в качестве объяснения существования этапа мышьякового легирования используется идея о случайном открытии соответствующих руд на Таш-Казгане, который и способствовал существованию поздней части этого этапа в Северной Евразии, в то время как для более ранних мышьяковых бронз Восточной Европы предполагается кавказское происхождение (Черных 2007: 69, 81, 82).

Однако эта картина вполне логична лишь на первый взгляд, она надежно не подкрепляется материалом и существует лишь до тех пор, пока не подвергается процессу рефлексии и более строгого анализа. Работы М. Бартельхайма показали, что в Иберии, на Кипре и в Центральной Европе до II тыс. до н. э. металл не влиял на развитие общества (Bartelheim 2007). В принципе, мы знаем, что майя и ацтеки создали известные сельскохозяйственные цивилизации при довольно примитивном уровне развития металлургии. Обилие шанского металла в китайских музеях тоже не должно вводить в заблуждение. В земледелии металл стали применять лишь в раннем железном веке, до этого использовались каменные, костяные и деревянные орудия, которые и лежали в основе экономики ранней китайской цивилизации (Chang 1980: 149–150; Wagner 1993: 97, 144). Даже в военном деле использовалась сравнительно скромная доля от всего объема металла. Основная его часть находила применение в престижном и ритуальном контексте.

В условиях Северной Евразии, заселенной на севере охотниками и рыбаками, а южнее – скотоводами, не существовало причин, которые

могли бы способствовать развитию металлургии, так как появление отдельных металлических изделий никак не меняло условий ведения базовых отраслей хозяйства. Собственно, не существовало даже условий, мотивировавших обязательное использование металлических предметов. Несмотря на это, мы наблюдаем здесь те же три тренда, которые являются общими для всего Евразийского континента. Подобная ситуация может иметь лишь два объяснения: 1) существование универсальных законов, обусловивших идентичное развитие технологий даже в совершенно различных социально-экономических ареалах, и/или 2) постоянное заимствование технологий из одного ареала, где их развитие шло в соответствии с этими тремя вышеописанными трендами. На решение этой проблемы и направлена настоящая статья.

Связи социально-экономических процессов и универсальных физико-химических законов

На фоне очень контрастных обществ Евразии наблюдаемая картина довольно унифицированной динамики развития металлургического производства заставляет полагать, что причина этого кроется не в общественных законах, а в физико-химических, имеющих универсальный характер. Тем самым, развитие технологий может рассматриваться в качестве фрагмента антропного принципа, предполагающего существование законов Вселенной, предопределивших появление разумной жизни. Кроме того, если мы отрываем закономерности развития технологии от закономерностей развития общества, мы вынуждены предполагать существование имманентных причин технологического развития, т.е. допускать, что технологии способны развиваться по собственной логике, без каких-то внешних побудительных мотивов. Как это ни парадоксально звучит, если первый тезис представляется диким любому читателю, то второй принимается большинством без особого обсуждения. Так каковы же реалии этих странных связей?

Они довольно хорошо изучены и продемонстрированы статистически на больших выборках: повсеместно мы видим строгую корреляцию роста потребления металла с переходами на новые типы руд и лигатур (Grigoriev 2017, 2018). Важным фактором является форма присутствия медных минералов в месторождениях. В их поверхностных зонах встречаются небольшие фрагменты самородной меди, но основная часть руд здесь представлена окисленными минералами, такими как малахит и азурит. Ниже идет зона вторичного сульфидного обогащения с богатыми и легкоплавкими рудами типа халькозина или ковеллина. Еще ниже следует основной массив первичных сульфидных руд (халькопирит, борнит). Различается генезис месторождений, а также их рудовмещающие породы. Например, руды в ультраосновных породах

встречаются реже, они обычно более рассеянные и бедные, зато эти породы легче плавятся по сравнению с кислыми породами, такими как кварц. С другой стороны, руды в кварцевых жилах могут быть богаче.

Рост потребления металла стимулирует переход ко все более богатым месторождениям. Первоначально люди собирали самородную медь, потом стали брать чистые окисленные минералы и плавить их в небольших объемах. С началом плавки руды с рудовмещающей породой объемы добычи резко увеличиваются, и в плавку иногда попадают сопутствующие мышьяковые минералы, что способствовало улучшению свойств металла. Понимание этого привело к тому, что их стали добавлять к руде, не содержащей примесей мышьяка. Однако это было возможно лишь с рудами, полученными из легкоплавких пород преимущественно основного и ультраосновного состава, главным образом оксидов и гидроокислов железа.

С ростом объемов производства было необходимо расширять рудную базу, переходить на разные типы месторождений, в том числе в кислых породах и на сульфидные руды. Но на большой выборке евразийских шлаков мы видим, что в этом случае температуры плавок из диапазона 1200–1300°C смещаются в диапазон 1300–1500°C (Grigoriev 2017: 7). В результате этого в условиях интенсивной подачи кислорода формировался триоксид мышьяка, который при таких температурах улетучивается. Это исключало возможность получения легированных мышьяком сплавов и стимулировало переход к использованию олова.

Последнее обстоятельство коренным образом изменило ситуацию. Внедрение олова сделало возможным эксплуатацию богатых сульфидных месторождений, которые прежде были менее интересны, так как при большей сложности извлечения меди из этих руд было невозможно получить легированный металл. Вторым важным фактором становится само олово, так как его месторождения довольно редки, и оно транспортировалось на огромные расстояния. В результате формировались обширные торговые сети, и для того, чтобы быть включенным в них, было необходимо предложить на рынок какие-то свои товары. Во многих районах начинают эксплуатироваться более богатые месторождения, прежние забрасываются из-за потери рентабельности в новых условиях, а вовсе не потому, что их запасы истощились. Это хорошо видно по возобновлению добычи в последующую эпоху. И это происходит не только в экономически развитых регионах Восточного Средиземноморья, но и на Британских островах (O'Brien 2004: 572; Sperber 2004: 329; Weisgeber 2004: 23).

Распространение инноваций в металлургии

При обсуждении инноваций в металлургии следует иметь в виду некоторые важные обстоятельства. Это достаточно сложный комплекс-

ный процесс, где характер исходной руды связан со способами ее поиска, добычи, подготовки и технологии плавки, последующими способами легирования, литья и кузнечной обработки, с формами конечного продукта. Существует множество иных компонентов, тоже тесно переплетенных с вышеназванными: выбор материала для литейных форм, абразивов и молотов, подготовка этих орудий, использование флюсов, подготовка тиглей и льячек, выжиг древесного угля. Соответственно, передача традиций в этом сложном производстве была возможна лишь путем обучающего процесса, т.е. путем длительного непосредственного контакта технологического донора и реципиента. Обсуждение неких абстрактных влияний представляется на этом фоне абсолютно бессмысленным.

Распространение мышьяковых сплавов

Сплав меди с мышьяком был наиболее древним в человеческой истории. Его производство базировалось на различных технологических процессах: 1) плавке руд с высокой примесью мышьяка; 2) совместной плавке медной руды с мышьяковыми минералами; 3) плавке черновой меди вместе с порошком мышьякового минерала. Ведущими были первые два способа. Первый характерен для Ближнего Востока, Ирана и Иберии, где были распространены соответствующие руды. Если в качестве варианта этого легирования рассматривать сплав с сурьмой или сурьмой и мышьяком, то это характерно для Европы в течение значительной части раннего бронзового века (РБВ). Второй способ легирования известен на Ближнем Востоке и в синташтинской культуре Зауралья. В обоих случаях получение мышьякового металла осуществлялось на стадии плавки руды. Соответственно, заимствование этой технологии неотрывно от заимствования всего комплекса горно-металлургических операций, поэтому требует довольно глубоких контактов. Ранее всего эта технология легирования появляется в энеолите Ближнего Востока. Уже в энеолите наблюдается ее проникновение в Южную Европу, но в Европе, благодаря особенностям рудников, очень скоро происходит переход на плавки блеклых руд, дававших сплавы меди с сурьмой и мышьяком.

В Северной Евразии медно-мышьяковые сплавы появляются в ямной культуре РБВ, но масштабно они присутствуют в среднем бронзовом веке (СБВ), в катакомбной культуре. На мой взгляд, появление катакомбной культуры связано с миграциями с Ближнего Востока, что могло способствовать и проникновению этого типа легирования. Однако у нас нет сегодня реальных оснований обсуждать природу металла евразийского СБВ, так как почти отсутствуют следы плавки этого времени. Принято считать, что катакомбный металл привозился с Кавказа,

но это сложно проверить. Можно допускать и использование каких-то месторождений Северного Кавказа, но это могла быть плавка лишь очень чистых кусков окисленной руды, не оставляющая шлака. Даже для Европы с ее массовым производством подобного металла следы таких плавок единичны. В силу этой неопределенности у нас нет возможности для обсуждения путей инноваций этого периода. Определенность в этом вопросе появляется лишь в синташтинское время, когда с Ближнего Востока привносится технология получения мышьякового металла путем добавок соответствующих минералов на стадии плавки руд из ультраосновных пород. Но это заимствование технологии сопровождалось резким изменением всего комплекса материальной культуры и даже появлением анатолийских генов (Григорьев 2020: 24–31). Соответственно, в этом случае мы имеем дело с переносом технологии путем миграции.

Третий способ получения мышьяковых сплавов менее распространен. Он задокументирован в конце III тыс. до н.э. в культуре Сичэньи в провинции Ганьсу в Китае, но не исключено, что эта традиция присутствовала и на востоке Синьцзяна (Сяхэ). Возможно, в начале II тыс. до н.э. она проникает на восток в бассейн Хуанхэ, и я допускаю, что она существовала в окуневской культуре, хотя доказательств в этом случае уже нет (Григорьев 2022: 34–36, 38). Поэтому сложно обсуждать способы попадания данной традиции в Китай, но распространение ее из Ганьсу на Центральную Равнину могло сопровождаться некоторыми миграционными процессами, поскольку в это время в бассейне Хуанхэ появляются новые виды домашних животных (овцы), указывающие на западные импульсы, и происходят существенные культурные трансформации, когда на смену классическому неолиту Луншань приходят яркие комплексы типа Таосы и ранних слоев Эрлитюу.

Таким образом, распространение технологий мышьяковых сплавов является в действительности распространением всего комплекса взаимосвязанных металлургических операций. Поэтому его первичное появление в каком-то регионе обычно связано с приходом населения из региона, где этот комплекс существовал прежде.

Распространение олова

Распространение оловянного легирования имеет важное отличие. Оно производилось в металл, поэтому не было связано с определенной технологией плавки руды или с типом руды. Появление этой лигатуры вовсе не приводит к тому, что она начинает быстро распространяться. Примером является то, что оловянные лигатуры появились в Европе уже на стадии A1, по П. Райнеке, но широкое их распространение и увеличение степени легирования начинается лишь после того, как на

стадии A2b в Карпатский бассейн, а затем по всей Европе, распространилась с востока сейминско-турбинская традиция металлообработки. Следовательно, это проникновение не привело к первому появлению оловянного легирования, но способствовало созданию дополнительных условий, которые содействовали распространению данной технологии. Что-то подобное мы наблюдаем в этот период и в Китае. Первое появление оловянных сплавов фиксируется на западе, в провинции Ганьсу в конце III тыс. до н.э., вскоре они проникают в бассейн Хаунхэ, где подобный сплав единично отмечен в слое Эрлитоу II. Но лишь после проникновения сейминско-турбинской традиции в начале периода Эрлитоу III оловянные бронзы становятся массовыми (Григорьев 2022: 38). При этом они не становятся массовыми в Восточной Европе, где после появления сейминско-турбинской традиции многие изделия были изготовлены из чистой меди или мышьяковых сплавов, что справедливо объясняется удаленностью от оловянных источников (Черных, Кузьминых 1989: 189–192). То есть сама по себе сейминско-турбинская традиция не была чем-то таким, что предопределило широкое использование оловянных бронз, хотя ее распространение явно этому способствовало.

Реальные процессы были устроены гораздо сложнее. В предшествующую эпоху массовое использование оловянных бронз наблюдается только на Ближнем Востоке, и огромные караваны доставляли олово с востока в Ашшур, а оттуда в Анатолию, где торговлю металлами тоже осуществляли ассирийские купцы, привозившие в Анатолию также ткани и зерно. Олово было, в первую очередь, стратегическим товаром, обеспечивавшим поддержание отношений с анатолийскими правителями. Главным товаром, который везли в Месопотамию, было серебро, необходимое для торговых операций (Barjamovic 2011: 11–14). Поэтому в тот период олово и иные металлы, практически, не распространялись за пределы Ближнего Востока. Ситуация изменилась в XVIII в. до н.э., когда в результате блокировки горными племенами торговых путей через перевалы Загроса потоки олова стали направляться по южному пути через Сиппар в Мари, а оттуда в Левант, осуществлявший торговлю в Восточном Средиземноморье (Muhly 1973: 293, 294, 301). Это сделало осмысленным широкую эксплуатацию медно-колчеданных месторождений на Кипре, так как эту медь стало возможно легировать оловом (Grigoriev 2018: 22). Новая ситуация приводит к расцвету Кипра и Крита, через который осуществлялись торговые операции с Грецией, главным образом с Пелопоннесом (Wiener 2020: 281, 284, 285). Эти микенские влияния завершились в Среднеэлладском III формированием микенской цивилизации, которая с начала Позднеэлладского I вступает в интенсивные связи с Карпатами, куда перед этим проникла сейминско-турбинская традиция, и именно через Карпаты осуществляются микенские связи с широкими ареалами вплоть до Южной Англии и Се-

верной Европы, откуда на юг идут потоки янтаря. В последующий период в Европе формируется разветвленная система торговых связей, в результате которой количество металла и степень его легирования совершенно не зависели от расстояния до месторождений, везде доля оловянных бронз достигала почти 100%, хотя основные направления хозяйственной деятельности и стиль жизни принципиально не менялись с конца неолита. В это время в Европе происходят заметные социальные изменения с появлением укрепленных поселений, выделением элиты, и наблюдается резкий рост потребления металла. То есть мы имеем дело с двумя встречными взаимосвязанными процессами: появление оловянного легирования сделало возможным увеличение производства металла, а новая социальная реальность стимулировала рост потребления металла и внедрение новых типов руд и оловянных лигатур (Grigoriev 2018: 14–18).

В Северной Евразии эти процессы происходят медленнее, и в ослабленных формах, что, впрочем, не меняет их сути. Несмотря на то что технология оловянного легирования распространяется сейминско-турбинскими группами уже в синташтинское время, вероятно, формируются и связи с источниками олова на востоке, в степную среду эти новшества не проникают. То есть сама по себе возможность перехода на более передовые технологические принципы и в этом случае ни к чему не ведет. Расширение производства на огромные территории, охват им множества культур и разных типов месторождений привели к невозможности получения мышьяковых бронз тем же способом, как это имело место в синташтинское время. Но принципиальным стало продвижение с востока федоровских популяций, которые от Алтая доходят до Урала, способствуя формированию серии культур по лесостепной и лесной зонам Урала и Сибири, и влияния эти распространяются даже в Волго-Камский регион. Тем самым формируются массивы родственного населения, благодаря чему легирующие компоненты или легированный металл поступали далеко на запад, а также южнее в степь. Но в Северной Евразии в течение всего позднего бронзового века (ПБВ) мы наблюдаем иную картину, чем в Европе: доля легированного металла уменьшается по мере удаления от оловянных месторождений, но это уменьшение не пропорционально расстоянию. Оно зависит также от родства тех или иных культур, что показывает, что обмен носил племенной характер (Grigoriev 2017: 11, 12). Интересно то, что в ПБВ Восточной Европы, наиболее удаленной от алтайских источников олова, доля легированного металла колеблется от 0 до 25%, и из этого вовсе не следует, что данные сообщества были беднее, чем алакульское население Казахстана, скорее наоборот. Поскольку основным богатством, обеспечивавшим уровень жизни в евразийском бронзовом веке, был скот, восточноевропейские сообщества, владевшие богатейшими

пастбищами, были более зажиточными. Характер металла на это повлиять никак не мог, кроме тех случаев, когда какой-то коллектив занимался его массовым производством. И действительно, во многих случаях мы видим доминирование чистой меди в достаточно развитых обществах, например в иткульском, и это нисколько не сказывалось на его благополучии.

Однако этому противоречит то обстоятельство, что при исчезновении возможности получать мышьяковые сплавы население Северной Евразии стало переходить на оловянные. И по возможности это старались делать везде, хотя для базовой экономики общества такой переход был абсолютно несущественен. Это объясняется тем, что люди, познакомившиеся с удобствами легированного металла (орудия из него, действительно, более производительны), предпочитали использовать его, редко от него отказываясь. Но это возможно лишь в том случае, если затраты на данный металл не были чрезмерны, его производство и транспортировка были достаточно рентабельными. Должен был существовать еще один фактор: сообщества, чтобы быть включенными в эту сеть торговли металлами, должны были производить что-то для обмена. Соответственно, втягивание в торговлю даже с целью получения какого-то иного продукта, способствовало распространению олова и соответствующих технологий.

Тем самым, в обоих регионах мы видим парадоксальную ситуацию: широкому распространению какой-то инновации в металлургии способствовало вовсе не ее появление и не изменение экономической или социальной структуры отдельных сообществ, а формирование масштабных сетей торговли и обмена, в которые данные сообщества втягивались. При этом трудно назвать первопричину такого явления. С одной стороны, мы видим резкий рост потребления металла. Поэтому мы вправе выстраивать все ту же логическую цепочку связей: рост металлопотребления – использование более богатых месторождений – переход на оловянные лигатуры. Однако в ряде случаев цепочка связей явно обратная, поскольку только с внедрением олова, благодаря формированию глобальных сетей обмена, металлургия начинает оказывать влияние на развитие общества. Существует даже термин, претендующий на то, чтобы быть эквивалентом современному термину «глобализация» – «бронзовизация» (Vandkilde 2016: 103–123).

Рождение инноваций в металлургии

Приступая к обсуждению проблемы, каким образом новые технологии не распространялись, а впервые внедрялись в металлургическое производство, мы должны различить понятия «изобретение» и «инновация». Под первым следует понимать появление любой новой вещи

или технологии, а под вторым – лишь те из них, которые, благодаря реальным социально-экономическим потребностям общества, оказались внедрены и получили дальнейшую жизнь. В ходе любой металлургической операции вполне возможны отклонения, которые приводят к появлению чего-то нового. Например, при обсуждении изобретения мышьяковых или оловянных лигатур многие исследователи допускали случайное использование минералов, имеющих сходство с медными (Charles 1980: 172; Roberts, Thornton, Pigott 2009: 1017). Вполне возможно, что переход отковки к переплавке меди был связан со случайным попаданием ее в очаг. Но уже в этом случае мне представляется более логичным путь через использование технологий холодной, а затем горячейковки или сочетание случайной переплавки с этим путем. В принципе, подобные ситуации случайных изобретений возможны в любом регионе. Это отклонение от нормы, произвольная мутация, но ее закрепление как новой нормы является уже инновацией. Подобные мутации встречаются в истории металлургии неоднократно. Сюда можно отнести единичные случаи экзотических сплавов: латунь в неолитическом Китае или сплав меди с оловом в энеолите на Балканах (Fan et al. 2012: 821, 822; Radivojević et al. 2014: 237–247), и эти сплавы оказались на том этапе невостребованными.

Мы можем также предполагать, что переход к плавкам руды с рудовмещающей породой или от окисленных к сульфидным рудам мог иметь вполне эволюционный характер, когда по мере выработки месторождения менялся характер руды. И подобная инновация могла иметь место в любом регионе. Осознанным процессом являлось в данном случае лишь закрепление новых технологий в качестве инноваций. То же происходило и с внедрением мышьяковых сплавов. Почти наверняка первые такие сплавы имели случайный характер, т.е. мы можем рассматривать их в качестве технологических мутаций. Однако дальнейшее закрепление этой технологии было вполне целенаправленным. С внедрением олова металлургии получили возможность плавить руду различного типа. Поэтому в любом регионе эта новая технологическая традиция имела возможность закрепиться и стать инновацией. Равным образом, в любом регионе, куда была привнесена технология плавки руды, в силу определенной специфики рудной базы или любых иных причин могла осуществляться ее модификация, изменение конструкции печей и т.д. Главным вопросом в закреплении этих технологических «мутаций» в качестве инновации была именно необходимость этого для общества.

В некоторых случаях мы вполне можем допускать и более творческий подход, когда какое-то изобретение возникало не в результате случайного отклонения от технологической нормы, а в результате целенаправленного поиска решения какой-то проблемы. Очевидно, что к

подобной группе относятся инновации в металлообработке: создание новых типов литейных форм, изменение состава лигатур и способов кузнечной обработки. Вероятно, иногда целенаправленные коррекции технологии происходили и при плавке руды, когда приходилось использовать руды иного типа, например из кварцевых жил вместо более привычных руд из ультрабазитов. К сожалению, показать целенаправленность тех или иных инноваций в этом случае довольно сложно.

Подобные технологические изменения могли иметь место везде. Однако в большинстве регионов мы крайне редко наблюдаем появление инноваций, которые до этого не появились на Ближнем Востоке. В Северной Евразии к таким местным инновациям можно смело отнести переход к использованию руд в кислых породах, что позволило в ПБВ эксплуатировать более широкий спектр месторождений. Не исключено, что начало применения оксидов железа в качестве флюсов вытекало из опыта более легких плавок руд из основных и ультраосновных пород. И в этом случае мы тоже можем иметь дело с вполне осмысленной инновацией, которая могла независимо появиться в любом регионе. Но базовые технологии, такие как использование ультрабазитов в сочетании с мышьяковым легированием и оловянные лигатуры, прежде существовали на Ближнем Востоке и были явно привнесены оттуда. Роль Ближнего Востока как инкубатора передовых металлургических технологий была чрезвычайно высока. Это объясняется рядом причин. Количество плавок и объем металлургических операций были там колоссальны. Это обеспечивало большое число «мутаций», которые могли быть использованы для решения актуальных проблем. Важнейшим фактором было и то, что в III – начале II тыс. до н.э. ближневосточная торговля была частным и высококонкурентным предприятием. Поэтому проблема конкуренции и рационализации производства касалась всех отраслей, с ней связанных, что приводило к закреплению полезных мутаций и разработке каких-то иных изобретений, что в конечном счете завершалось появлением инноваций, распространявшихся в иные регионы.

Заключение

Основной причиной внедрения инноваций в древнем металлургическом производстве был рост металлопотребления, что стимулировало переход на новые типы руды, сплавов и внедрение новых технологий. Однако в большинстве случаев этот процесс не был целенаправленным, и мы можем выделить феномен «технологических мутаций», когда случайное отклонение от стандартной схемы вело к появлению чего-то нового (сплава, плавки иного типа руды и т.д.). В случае, если это отклонение соответствовало социально-экономическим потребностям

общества, происходила доработка и закрепление этого как технологической инновации.

Для древней металлургии мы можем выделить два основных типа трансфера технологий. Первый – это распространение технологий получения мышьяковых сплавов. Поскольку это было тесно связано с плавкой руды, выбором рудного сырья, последующими литейными и кузнечными операциями, речь идет о заимствовании сложного взаимопереплетенного технологического комплекса. Поэтому передача его в иные регионы могла осуществляться в результате непосредственных длительных контактов, как правило, миграций. С появлением оловянного легирования ситуация меняется. Передача навыков плавки новых типов руды могла осуществляться непосредственно в среде контактирующих или мигрирующих групп или разрабатываться на месте. Способы легирования и последующей кузнечной обработки легированного металла, вероятно, требовали обучающего процесса. Они могли передаваться вместе с передачей оловянного сырья, и это требовало прямых контактов¹. Но даже проникновение большого числа носителей этой традиции было недостаточно для ее утверждения в новом регионе в качестве технологической инновации. Обязательным условием было включение региона в сложную систему межрегионального обмена медью и оловом.

Универсальность для разных регионов Евразии основных трендов в развитии металлургии обусловлена обоими обсуждавшимися во введении факторами: универсальностью физико-химических законов, на которых базируется металлургия, и распространением большинства технологий с Ближнего Востока, где разработка инноваций была наиболее интенсивной.

Список источников

- Анкушев М.Н., Артемьев Д.А., Блинов И.А. Металлургия бронзового века на поселении Талдысай: руды, шлаки, легирование // Талдысай – поселение древних металлургов позднебронзового века в Улытауской степи / отв. ред. Ж. Курманкулов. Алматы: ИА КН МОН РК, 2020. С. 72–93.
- Григорьев С.А. Миграционные процессы на Южном Урале при переходе к позднему бронзовому веку // Уральский исторический вестник. 2020. № 4. С. 24–31.
- Григорьев С.А. Развитие металлургии меди и медных сплавов в Китае во II тыс. до н.э. // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2022. № 2 (57). С. 31–43.
- Рындина Н.В., Дегтярева А.Д. Энеолит и бронзовый век. М.: МГУ, 2002.

¹ Интересное отклонение от этого мы наблюдаем в Центральном Казахстане на поселении Талдысай, где зафиксирована поэтапная смена мышьякового легирования оловянным. Причем первоначально легирование минералами олова осуществлялось на стадии плавки руды (Анкушев, Артемьев, Блинов 2020), что совершенно не характерно для легирования оловом, но было типично для легирования мышьяком.

- Черных Е.Н. Каргалы. Т. V: Каргалы: феномен и парадоксы развития. Каргалы в системе металлургических провинций. М.: Наука, 2007.
- Черных Е.Н., Кузьминых С.В. Древняя металлургия Северной Евразии. М., 1989.
- Barjamovic G.A. Historical Geography of Anatolia in the Old Assyrian Colony Period. Copenhagen: Museum Tusculanum Press, 2011.
- Bartelheim M. Die Rolle der Metallurgie in vorgeschichtlichen Gesellschaften. Sozioökonomische und kulturhistorische Aspekte der Ressourcennutzung. Ein Vergleich zwischen Andalusien, Zypern und Nordalpenraum. Rahden/Westf.: Marie Leidorf Verlag, 2007.
- Chang K.C. Shang Civilization. New Heaven, London: Yale University Press, 1980.
- Charles J.A. The Coming of Copper and Copper-Base Alloys and Iron: A Metallurgical Sequence // The Coming of the Age of Iron. New Haven, London: Yale University Press, 1980.
- Fan X., Harbottle G., Gao Q., Zhou W., Gong Q., Wang H., Yu X., Wang Ch. Brass before bronze? Early copper-alloy metallurgy in China // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 2012. № 27. P. 821–826.
- Grigoriev S. Social processes in Ancient Eurasia and development of types of alloys in metallurgical production // Archaeoastronomy and Ancient Technologies. 2017. № 5(2). P. 17–44.
- Grigoriev S. Social processes in ancient Europe and changes in the use of ore and alloys in metallurgical production // Archaeoastronomy and Ancient Technologies. 2018. № 7(2). P. 1–30.
- Muhly J.D. Copper and tin. The distribution of mineral resources and the nature of the metals trade in the Bronze Age. Hamden: Archon Books, 1973.
- O'Brien W. Ross Island. Mining, Metal and Society in Early Ireland. Galway: National University of Ireland, 2004.
- Sperber L. Zur Bedeutung des nördlichen Alpenraumes für die spätbronzezeitliche Kupferversorgung in Mitteleuropa mit besonderer Berücksichtigung Nordtirols // Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17. Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. S. 303–345.
- Radivojević M., Rehren T., Kuzmanovic-Cvetkovic J., Jovanović M. Why are there tin bronzes in the 5th mill. BC Balkans? // Archaeotechnology: Studying Technology from Prehistory to the Middle Ages. Prosveta: Belgrade: Prosveta, 2014. P. 235–256.
- Roberts B.W., Thornton C.P., Pigott V.C. Development of metallurgy in Eurasia // Antiquity. 2009. № 83. P. 1012–1022.
- Vandkilde H. Bronzization: The Bronze Age as Pre-Modern Globalization // Praehistorische Zeitschrift. 2016. № 91(1). P. 103–123.
- Wagner D.B. Iron and steel in ancient China. Leiden: Brill, 1993.
- Weisgeber G. Schmelzanlagen früher Kupfergewinnung – ein Blick über die Alpen // Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17. Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. S. 15–36.
- Wiener M.H. Helladic Greece from the Middle Bronze Age to c. 1350 BCE // From Past to Present. Studies in Memory of Manfred O. Korfmann. Bonn: Rudolf Habelt Verlag, 2020. P. 279–332.

References

- Ankushev M.N., Artemyev D.A., Blinov I.A. (2020) In: *Taldysay – poselenie drevnih metallurgov pozdnebronzovogo veka v Ulytauskoy stepi (Taldysai – the settlement of ancient metallurgists of the Late Bronze Age in the Ulytau steppe)*. Almaty: Margulan Institute of Archaeology, pp. 72–93.
- Barjamovic G.A. (2011) *Historical Geography of Anatolia in the Old Assyrian Colony Period*. Copenhagen: Museum Tusculanum Press.

- Bartelheim M. (2007) *Die Rolle der Metallurgie in vorgeschichtlichen Gesellschaften. Sozioökonomische und kulturhistorische Aspekte der Ressourcennutzung. Ein Vergleich zwischen Andalusien, Zypern und Nordalpenraum*. Rahden/Westf.: Marie Leidorf Verlag.
- Chang K.C. (1980) *Shang Civilization*. New Heaven, London: Yale University Press.
- Charles J.A. (1980) The Coming of Copper and Copper-Base Alloys and Iron: A Metallurgical Sequence. In: *The Coming of the Age of Iron*. New Haven, London: Yale University Press, pp. 151–182.
- Chernykh E.N. (2007) *Kargaly, tom V: Kargaly: fenomen i paradoksy razvitiya; Kargaly v sisteme metallurgicheskikh provincij* [Kargaly, Volume V: Kargaly: phenomenon and paradoxes of development; Kargaly in the system of metallurgical provinces]. Moscow: Yazyki slavyanskoj kultury.
- Chernykh E.N., Kuzminykh S.V. (1989) *Drevnyaya metallurgiya Severnoy Evrazii (seyminsko-turbinskiy fenomen)* [Ancient metallurgy of Northern Eurasia (Seima-Turbino phenomenon)]. Moscow: Nauka.
- Fan X., Harbottle G., Gao Q., Zhou W., Gong Q., Wang H., Yu X., Wang Ch. (2012) Brass before bronze? Early copper-alloy metallurgy in China, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, no. 27, pp. 821–826.
- Grigoriev S.A. (2017) Social processes in Ancient Eurasia and development of types of alloys in metallurgical production, *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*, vol. 5, no. 2, pp. 17–41.
- Grigoriev S. (2018) Social processes in ancient Europe and changes in the use of ore and alloys in metallurgical production, *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*, no. 7(2), pp. 1–30.
- Grigoriev S.A. (2020) Migracionnye processy na Yuzhnom Urale pri perekhode k Pozdnemu Bronzovomu Veku [Migration processes in the southern Urals at the transition to the Late Bronze Age], *Ural Historical Journal*, no. 4, pp. 24–31.
- Grigoriev S.A. (2022) Razvitie metallurgii medi i mednyh splavov v Kitae vo II tys. do n.e. [Development of metallurgy of copper and copper alloys in China in the 2nd millennium BC], *Vestnik arkeologii, antropologii i etnografii – Bulletin of Archaeology, Anthropology and Ethnography*, no. 2 (57), pp. 31–43.
- Muhly J.D. (1973) *Copper and tin. The distribution of mineral resources and the nature of the metals trade in the Bronze Age*. Hamden: Archon Books.
- O'Brien W. (2004) *Ross Island. Mining, Metal and Society in Early Ireland*. Galway: National University of Ireland.
- Sperber L. (2004) Zur Bedeutung des nördlichen Alpenraumes für die spätbronzezeitliche Kupferversorgung in Mitteleuropa mit besonderer Berücksichtigung Nordtirols. In: *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17. 122*. Bochum: Deutsche Bergbaumuseum, pp. 303–345.
- Radivojević M., Rehren Th., Kuzmanović-Cvetković J., Jovanović M. (2014) Why are there tin bronzes in the 5th mill BC Balkans? In: *Archaeotechnology: Studying Technology from Prehistory to the Middle Ages*. Belgrade: Prosveta, pp. 235–256.
- Roberts B.W., Thornton C.P., Pigott V.C. (2009) Development of metallurgy in Eurasia, *Antiquity*, no. 83, pp. 1012–1022.
- Ryndina N.V., Degtyareva A.D. (2002) *Eneolit i bronzovyy vek* [Eneolithic and Bronze Age]. Moscow: Moscow University press.
- Vandkilde H. (2016) Bronzization: The Bronze Age as Pre-Modern Globalization, *Præhistorische Zeitschrift*, no. 91(1), pp. 103–123.
- Wagner D.B. (1993) *Iron and steel in ancient China*. Leiden: Brill.
- Weisgeber G. Schmelzanlagen früher Kupfergewinnung – ein Blick über die Alpen. In: *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17. 122*. Bochum: Deutsche Bergbaumuseum, pp. 15–36.
- Wiener M.H. (2020) Helladic Greece from the Middle Bronze Age to c. 1350 BCE. In: *From Past to Present. Studies in Memory of Manfred O. Korfmann*. Bonn: Rudolf Habelt Verlag, pp. 279–332.

Сведения об авторе:

ГРИГОРЬЕВ Станислав Аркадиевич – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник, Институт истории и археологии УрО РАН (Челябинск, Россия). E-mail: stgrig@mail.ru

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Information about the author:

Stanislav A. Grigoriev, Institute of History and Archaeology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Chelyabinsk, Russian Federation). E-mail: stgrig@mail.ru

The author declares no conflict of interests.

*Статья поступила в редакцию 19 декабря 2022 г.;
принята к публикации 22 июня 2023 г.*

*The article was submitted 19.12.2022;
accepted for publication 22.06.2023.*