



Социальные процессы в древней Евразии и развитие типов сплавов в металлургическом производстве

С.А. Григорьев

Институт истории и археологии УрО РАН, Челябинск, Российская Федерация

E-mail: stgrig@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются закономерности в изменениях типов легирования в эпоху бронзы Евразии. Целью статьи является показать причины и механизмы этих изменений. Статья основана на исследовании автором шлаков эпохи бронзы Евразии, что показало прямую связь использования определенных лигатур с типами руды и рудовмещающей породы. Отклонения от этого правила редки. В основе этих изменений лежали социальные процессы, стимулировавшие расширение потребления металла. Это вело к изменению рудной базы, что приводило к возникновению соответствующих технологий плавки руды, технологий и типов легирования и, в конечном счете, морфологии металлических изделий. Массовый переход к мышьяковым сплавам стал возможен с переходом от плавки относительно чистых кусков малахита к плавке руды с фрагментами рудовмещающей породы. Этот тип легирования осуществлялся при низкотемпературной плавке окисленных руд. С расширением ареалов и объемов производства в эпоху поздней бронзы начинается массовое использование руд из тугоплавких пород и сульфидных руд. Это вело к повышению температуры и делало невозможным легирование мышьяком, поскольку он испарялся. Создается необходимость в поиске иного легирующего компонента. Таковым становится олово. Но, поскольку, его месторождения редки, необходимы специфические условия для его широкого распространения и организации сети торговли и обмена. Такие условия в Северной Евразии были обеспечены миграциями с востока на запад сначала сейминско-турбинских, а потом федоровских племен, и формированием обширной зоны взаимодействия между различными андроновскими племенами. Но те же процессы имели место в Европе и на Ближнем Востоке, стимулируя новые социальные реальности.

Ключевые слова: эпоха бронзы, Северная Евразия, олово, мышьяк, технологии легирования, плавка руды, социальные процессы.

Введение

Проблема технологических изменений, связанных с выбором того или иного типа сплавов, используемых в медной металлургии, является одной из основных в археометаллургии. В принципе, если игнорировать некоторые редкие сплавы, использование чистой меди было заменено использованием мышьяковой меди, а затем оловянных бронз. Но причины этого повсеместного перехода от мышьяковой меди к оловянным бронзам остаются не вполне понятными (Pernicka, 1998, pp. 135-136).

В конце Среднего Бронзового Века (СБВ) на Урале возникли синташтинская и абашевская культуры (рис. 1), которые были основой культурогенеза в Позднем Бронзовом Веке (ПБВ) и рассматриваются в рамках первой фазы Евразийской металлургической провинции (см. о металлургических провинциях Евразии: Chernykh, 2014). И в этот период использовались мышьяковые сплавы. Второй этап начался с движения на запад по югу лесной зоны сейминско-турбинских племен, которые привнесли в регион оловянные сплавы (см.: Черных, 1966; 1970; Черных, Кузьминых, 1989а). На основе синташтинской и абашевской культур в степи и лесостепи Восточной Европы сформировалась срубная культура, а к востоку от Урала петровская и алакульская культуры. Затем с востока смещаются носители федоровской (или андроновской) культуры. В конце эпохи бронзы во всем регионе появились культуры валиковой керамики, в частности, саргаринская. Металл этих культур содержит уже очень высокие концентрации олова (подробнее о культурогенезе региона: Grigoriev, 2002). Таким образом, в Северной Евразии тенденция замены мышьяка оловом полностью соответствует тому, что мы видим в других частях Евразии; это означает, что она отражает универсальные процессы.



Рисунок 1. Карта Евразийской металлургической провинции и её основных культур.

1. Этапы технологического развития: $Cu \rightarrow Cu+As \rightarrow Cu+Sn$

1.1. Медно-мышьяковые сплавы

В эпоху энеолита и ранней бронзы в Северной Евразии за редкими исключениями доминировала чистая медь. То же самое можно сказать об энеолите Балкан и Анатолии, хотя в последнем регионе появились первые сплавы с мышьяком. Примечательно, что во всех этих регионах почти нет металлургического шлака, хотя следы горных работ хорошо известны. Исключением является фрагмент шлака с поселения Дуранкулак (Болгария), но он был очень маленьким (Glumac, Todd, 1990). Есть находки куска шлака с Тепе Гиссара (Thornton, Rehren, 2009, pp. 2701-2707) и ошлакованных тиглей в некоторых других местах. Это глобальное отсутствие шлака можно объяснить использованием относительно чистых кусков окисленной руды. В некоторых случаях руда могла содержать примеси мышьяка, но это не могло создать устойчивую технологическую тенденцию, а лишь приводило к случайному присутствию мышьяка в металле.

В Северной Евразии медно-мышьяковые сплавы широко представлены в Среднем Бронзовом Веке (СБВ) в катакомбной культуре степей Восточной Европы. В Анатолии и Иране это произошло раньше, уже в Раннем Бронзовом Веке (РБВ). Появление мышьяковых сплавов вполне объяснимо тем, что существует серия месторождений меди с рудой, содержащей высокие примеси мышьяка и/или с включениями мышьякосодержащих минералов. Последнее особенно важно. Только с началом плавки малахита вместе с рудовмещающей породой эти мышьякосодержащие минералы начали попадать в загрузку печи, и было оценено их влияние на свойства металла.

В районах с месторождениями медно-мышьяковых минералов, например, на Иберийском полуострове и в Иране, мышьяковые бронзы были типичны и сохранялись в течение длительного времени (Hunt Ortiz, 2003, pp. 323, 329-332; Palmieri, Sertok, Chernykh, 1993, p. 596; Zwicker, 1989, p. 192). Но имел место также специальный выбор руды и ее смешивание с мышьяковой рудой (Thornton, Lamberg-Karlovsky, 2004a, p. 267; Thornton, 2009, p. 317).

Закрепление этого сплава как технологической традиции имело, конечно, вполне рациональные причины. Эта лигатура оказывает благотворное влияние на качество металла: после литья его твердость та же, что у чистой меди, но после холоднойковки он становится заметно тверже; и уменьшается температура его плавления. После холоднойковки твердость меди с 2,6% мышьяка растет с 65-70 Hv до 150-160 Hv (Scott, 1991, p. 82). Кроме того, мышьяк играет роль деоксиданта, он улучшает механические свойства изделий (Равич, Рындина, 1984, с. 117-120; Budd, Ottaway, 1990, p. 95). Плавка окисленных руд в относительно небольших печах сталкивалась с серьезной проблемой: в них было трудно создать восстановительную атмосферу. Решение этой проблемы обеспечивалось рядом мер: подачей воздуха в печь без давления, чтобы он дольше реагировал с древесным углем; использованием смеси окисленной и сульфидной руды; предпочтением руд без примесей тугоплавкой породы; и этим использованием добавок мышьяка.

Вполне вероятно, что через некоторое время металлурги обратили внимание на то, что плавка была более успешной, и после добавления минералов мышьяка к руде металл обладал лучшими свойствами; и они начали сознательно добавлять их в печь. Поэтому эта грань между искусственными сплавами и использованием руд с примесью мышьяка довольно размытая. Все зависело от конкретной ситуации. В Анатолии, например, использовались как медно-мышьяковые, так и мышьяковые руды. В Северной Евразии синташтинские металлурги добавляли мышьяковые минералы на стадии плавки руды, и мышьяк присутствует в синташтинском шлаке (более подробно см.: Grigoriev, 2015, pp. 152-158).

Но независимо от того, как это легирование осуществлялось, преднамеренно или случайно (как плавка медной руды с мышьяком, в виде смеси руд или добавок мышьяковых минералов), ***все эти операции проводились на стадии плавки руды.***

Это понимание мышьяка как реагента, изменяющего качество металла, хорошо видно в металле синташтинской культуры, где обнаружена корреляция между типом изделия и содержанием мышьяка (Grigoriev, 2015, p. 159) (табл. 1). Среднее значение содержания мышьяка увеличивается в тех изделиях, которые подвергались большей динамической нагрузке. Исключением являются браслеты, но в них более высокое содержание мышьяка может быть вызвано либо технологическими (улучшение ковкости и жидкотекучести), либо эстетическими соображениями. В то же время, все типы изделий демонстрируют существенный разброс концентраций мышьяка, поскольку легирование проводилось на стадии плавки руды; кроме того, содержание мышьяка снижалось после переплавок.

Таблица 1. Диапазон содержания мышьяка и его среднее значение в отдельных типах изделий синташтинско-абашевского времени.

Тип	Диапазон содержания As (%)	Среднее значение (%)
стержень	0,009	0,009
клин	0,046	0,046
крюк	0,005-0,32	0,163
рыболовный крюк	0,202	0,202
слиток	0,005-0,39	0,21
скрепка	0,082-0,72	0,334
обкладка сосуда	0,81	0,81
серп	0,005-3,2	0,836
браслет	0,67-1,11	0,89
пробойник	0,011-4,9	1,042
стамеска	0,005-3,6	1,328
шило	0,063-6	1,838
гарпун	1,94	1,94
тесло	0,34-4,9	2,421
нож	0,01-5,4	2,85
наконечник копья	2,85	2,85

Схожая ситуация выявлена в Восточной Анатолии. На поселении Арслантепе наблюдается прямая корреляция между типами изделий и содержанием мышьяка. Так, наконечники копий содержали 2,5-3% мышьяка, а мечи 4,5-5% (Palmieri et al., 1994, p. 447). Следовательно, металлурги могли эмпирически определять свойства металла, даже при таких незначительных различиях в содержании мышьяка.

Как видим, дисперсия концентраций мышьяка в синташтинских изделиях более выражена, чем в изделиях Арслантепе. Возможно, синташтинские металлурги тоже могли более точно определить содержание мышьяка в меди, но они были вынуждены использовать металл, который был им доступен, поскольку у них был гораздо меньший выбор, чем у их анатолийских коллег. В этот период в Анатолии уже имело место рыночное производство с большими объемами. Это облегчало подбор металла для конкретных изделий.

Но мышьяк испаряется. Добавки никеля к металлу способствуют его сохранению. Изучение химической термодинамической модели для древней переплавки меди показало, что тройная система As-Cu-Ni обеспечивает лучшее сохранение мышьяка по сравнению с бинарной системой As-Cu (Sabatini, 2015). И очень часто никель сопровождает медно-мышьяковые сплавы. Поэтому мы предположили, что легирование проводилось с помощью какого-то мышьяково-никелевого минерала с соотношением мышьяка к никелю 10:1 (Grigoriev, 2015, p. 155), но нам не удалось определить, насколько это было преднамеренно, хотя распространенный характер этого типа сплава свидетельствует о преднамеренности: он широко представлен на памятниках Анатолии, Леванта, Сирии, Египта, Луристана и Мохенджо-Даро (Tylecote, 1981, pp. 45, 50; Yener, Geckinly, Özbal, 1994, p. 378, Schmitt-Strecker, Begemann, Pernicka, 1991; Riederer, 1991, p. 89).

Тщательные исследования майкопского металла РБВ Северного Кавказа позволяют определенно говорить о целенаправленности этого сплава. Он был получен путем добавления в руду никелина, арсенида никеля. Это удерживало мышьяк в металле. При этом существенной разницы в твердости мышьяковых и мышьяко-никелевых сплавов нет, и вторые требуют лишь несколько отличных приемов обработки (Рындина, Равич, Быстров, 2008; Рындина, Равич, 2012, с. 5-9). В этом случае вероятно та же ситуация: длительный эмпирический опыт привел к пониманию некоторых зависимостей, возможно, неадекватно интерпретированных.

Следует только отметить, что испаряется не сам мышьяк, а его оксиды, и это зависит не только от температуры, но и от интенсивности поступления кислорода. В окислительных условиях мышьяк окисляется, и испаряется уже его триоксид (McKerrell, Tylecote, 1972; Sabatini, 2015).

1.2. Оловянные бронзы

Первые примеси олова в меди встречаются в разных регионах Европы и на Урале уже в энеолитическом контексте (Черных, 1970, с. 28, 108; Крижевская, 1977, с. 96-104; Radivojević et al., 2014, pp. 235-256; Grigoriev, 2015, p. 68, 73, 74), но источник этого легирования, а также его преднамеренный характер не ясны.

Чарльз предположил, что изначально начали использовать сульфид олова, станнин (Cu_2FeSnS_4), путая его с медной рудой с примесью мышьяка (Charles, 1980, p. 172). Некоторые куски станнина могут быть, в действительности, спутаны с халькопиритом. И надо сказать, что другие авторы тоже согласны с тем, что первые оловянные бронзы были изготовлены добавками к руде станнина (Roberts, Thornton, Pigott, 2009, p. 1017). Эта гипотеза, вероятно, верна, потому что эпизодическое появление олова совпадает с эпизодической плавкой халькопирита (Grigoriev, 2015, pp. 80-83), хотя после появления этого новшества в некоторых местах его могли использовать вполне сознательно.

Но первоначально сплавы с оловом не были широко распространены. И проблема заключается не в том, что изобретение этого типа сплава требовало опыта производства мышьяковой меди. Оловянные сплавы не были востребованы обществом. Возможно, только в Анатолии эта традиция едва теплится, начав развиваться только в РБВ и уже на основе использования металлического олова, выплавленного из касситерита (Yener, 2000, pp. 88, 100-123; Yener et al., 2003, pp. 181-186). Но быстрое внедрение оловянных сплавов на Ближнем Востоке произошло уже в СБВ (Avilova, 2008). В Северной Евразии распространение оловянных сплавов происходит в начале ПБВ, на рубеже III и II тыс. до н.э., и связано это с миграцией сейминско-турбинских племен, а затем этот процесс усилился в андроновское время (Chernykh, 1992). В Европе оловянные бронзы иногда встречаются в контексте III тыс. до н.э., но их массовое распространение произошло уже в первой половине II тыс. до н.э., и это совпадает с появлением бронзовых изделий, восходящих к сейминско-турбинской традиции. Это совпадение объясняется, по-видимому, миграцией с востока, с Алтая. Более того, появление сейминско-турбинской традиции на Алтае было вызвано южными миграциями (Grigoriev, 2002, pp. 207-210; 2015, pp. 495, 500-502).

Поэтому, на первый взгляд, этот процесс замены мышьяковых сплавов оловянными объясняется естественным ходом технологического совершенствования в развитых районах Ближнего Востока и последующим распространением более передовых технологий мигрирующими племенами или в форме технологических влияний и заимствований. Но

ситуация была более сложной. Сплав с оловом вовсе не был развитием сплава с мышьяком, и его значительные преимущества не очевидны.

1.3. Олово versus мышьяк

Технологически эти типы сплавов не связаны: легирование мышьяком проводилось на стадии плавки руды; а металлическое олово добавляли в медь (см., напр., Rehren, 2003, p. 209). В нашей огромной коллекции шлака ПБВ Северной Евразии практически нет образцов с высокой концентрацией олова. Сначала металлурги производили металлическое олово и медь, а затем сплавляли их вместе. В действительности, для Ирана реконструирован метод легирования меди шпейзой, арсенидом железа (Thornton, Lamberg-Karlovsky, 2004b, p. 51, 53; Thornton, Rehren, 2007, p. 316). Но это было не слишком широко распространено. Нельзя исключать, что этот метод привел к появлению принципа легирования «металлом в металл», характерного для легирования оловом. Но более вероятно, что последняя технология была развитием процессов плавки медной руды со станнином, когда металлурги обратили внимание на примеси касситерита, его поведение при плавке и т.д.

Порой даже предполагается, что замена мышьяка оловом произошла не из технологических, а из медицинских соображений, потому что пары мышьяка вредны для здоровья (Muhly, 1976, p. 90). Но следует помнить, что доктор Игнац Филипп Земмельвайс настаивал на необходимости мыть руки перед операциями всего 150 лет назад, и коллеги высмеивали его. Можно представить экологическую и гигиеническую компетентность людей бронзового века! А в Северной Евразии плавки руды в жилищах более типичны именно при производстве мышьяковой меди. Запах мышьяка никого не беспокоил. Только после начала плавки сульфидов запах стал невыносимым, и операции были вынесены из жилищ. Но по этой причине никто не менял технологию или сырье.

Оловянные бронзы несколько тверже мышьяковых, но разница не столь заметна, как при сравнении их с чистой медью. Но в случае переплавок изделия теряют мышьяк, и их твердость постепенно снижается. Однако этот металл можно было использовать для изделий других типов; а для изделий, требующих твердости, можно было использовать «свежий» металл, выплавленный из руды.

И необходимо обсудить твердость оловянных бронз. При низком содержании легирующего компонента мышьяковая медь тверже. И ее твердость постепенно увеличивается с увеличением содержания мышьяка, но только до содержания 3%. Выше твердость мышьяковой меди почти не увеличивается, а оловянная бронза с содержанием олова более 4% уже тверже, чем мышьяковая медь. Но даже при 8% легирующего вещества твердость мышьяковой меди после холоднойковки (деформация 50%) составляет 150 НВ, а твердость оловянной бронзы 195 НВ (Scott, 1991, p. 83). Это уже заметная разница, но, тем не менее, она недостаточна для того, чтобы стать причиной резкого изменения в системе производства и обмена. Кроме того, на ранних стадиях высокооловянная бронза не доминировала, в результате, большая часть этого металла не имела преимуществ по сравнению с мышьяковой медью. Например, в алакульской культуре Зауралья 63,5% бронз содержат 0,5-6% олова (Тигеева, 2013, с. 33). Ту же ситуацию мы наблюдаем в Эгейде. В СБВ большинство бронз содержали менее 8% олова, бронзы с содержанием олова выше 8% доминировали только с ПБВ (Paradimitriou, 2008, p. 280, 287).

В начальный период, когда массовые поставки олова на огромных пространствах еще не были организованы, это было сомнительным преимуществом. Следовательно, твердость не может быть причиной быстрого распространения оловянных бронз.

Разумеется, олово позволяет лучше контролировать степень легирования и получать металл с точно определенными свойствами. В процессе плавки медной руды с мышьяковыми минералами, добиться этого было практически невозможно (Northover, 1987, pp. 111-114), хотя, конечно, древние плавильщики оценивали степень легирования. Но я бы не преувеличивал значение этого фактора при выборе типа сплава, так как большая часть используемого металла переплавлялась повторно из лома. И после его переплавки, или даже после повторного горячего отжига, содержание мышьяка в изделии уменьшалось. Но и в случае совместного плавления разных кусков оловянных бронз содержание олова не оставалось неизменным. Эта проблема решалась иначе. Разумеется, были какие-то эмпирические способы понять, для каких типов изделий был оптимален тот или иной кусок металла.

В принципе, олово позволило делать более сложные отливки. Для мышьяковых бронз частые переплавки нежелательны, так как содержание мышьяка уменьшается. Поэтому мы видим, что при работе с мышьяковыми бронзами металлурги предпочитали отжиг при более низких температурах, а литье было относительно простым, и применялось ограниченно (Дегтярева, 2010, с. 121, 123, 134, 138). В конечном итоге, это была одна из причин, по которым в Северной Евразии доминировали пластинчатые изделия в СБВ и при переходе к ПБВ, то есть, во время доминирования мышьяковой меди; а с появлением олова распространилось более сложное литье. И мы видим постепенное увеличение роли литейных операций в металлообработке от более ранних до более поздних комплексов ПБВ (Тигеева, 2011, с. 72, 77; Дегтярева, Костомарова, 2011, с. 35). Конечно, потеря мышьяка при литье могла быть уменьшена, если металл был защищен от окисления, так как испаряется только его триоксид (см. выше). Можно было также ковать при низкой температуре. Это ограничивало возможности формовки изделия, но не было критичным.

Однако это испарение мышьяка была проблемой и при плавке руды. При высоких температурах мышьяк не оставался ни в металле, ни в шлаке. Олово, которое добавлялось в металл, таких проблем не создавало.

Таким образом, все вышеупомянутые причины (несколько лучшие свойства, возможность лучшего контроля степени легирования, неприятные запахи от испаряющегося мышьяка, более благородный цвет оловянных бронз) имели место, и сыграли, конечно, определенную роль в этом массовом переходе к олову, но их было недостаточно для глобальных процессов повсеместного и относительно быстрого внедрения этого легирования. Единственным серьезным ограничителем были высокотемпературные и окислительные условия при плавке руды, поскольку это нельзя было обойти, и с этим невозможно было смириться. Это действовало как **технологическая неизбежность**.

Все остальные незначительные преимущества олова с лихвой ликвидировались тем, что это относительно редкий металл на нашей планете. В Северной Евразии его крупные месторождения расположены в Восточном Казахстане, и транспортировка этого металла на большие расстояния была серьезным предприятием. Однако в этом случае преимуществом олова была возможность его транспортировки в меньшем объеме, поскольку транспортировался металл. Но и в случае с мышьяком можно было транспортировать готовые медно-мышьяковые слитки, а не руду или мышьяковые минералы на относительно короткие расстояния. Таким образом, этот фактор был весомым, но только в случае транспортировки олова на огромные расстояния.

Таким образом, значимыми условиями замены мышьяка оловом были:

- 1) жесткая технологическая необходимость перехода к этому типу сплава,

а также

2) социальные условия, которые позволили широкомасштабную добычу олова в относительно небольших районах, а также организацию его стабильных поставок по всей Евразии.

2. Технологический фон победы олова

Из-за сложности и дороговизны исследований шлаков, их изучение обычно ограничивается несколькими образцами с одного (или нескольких) памятников, а шлаки относительно большого региона никогда не исследуются. Поэтому возникло ощущение, что шлаки (и, соответственно, типы плавки) зависели от типа руды, которая была поблизости. Кроме того, не делалось широкого обобщения данных разных анализов, поскольку их делали часто с использованием разных процедур и эти результаты не всегда сопоставимы. Но в Северной Евразии на протяжении многих лет лаборатория во главе с Е.Н. Черных изучила более 40 000 металлических изделий этого региона и определила их химический состав. А затем автор выполнил проект изучения шлаков. В его рамках было изучено 2300 образцов шлака и руды и сделано 2600 различных анализов (Grigoriev, 2015). Это позволяет нам статистически сравнить металл и шлак и выявить для Северной Евразии ряд совпадений.

Выше мы говорили о том, что в энеолите и РБВ использовалась чистая руда. В синташтинский период (переход от СБВ к ПБВ) в плавке использовалась, в основном, окисленная руда из ультраосновной породы, что совпадало с легированием мышьяком (более подробно см. ниже). Необходимо понимать, что руда в этих породах, как правило, бедная. В ПБВ наблюдается значительный рост рудной базы, и основными рудами становятся более богатые и тугоплавкие руды из кварцевых жил и песчаников, а также сульфидные руды.

При сравнении технологий мы видим еще одно поразительное различие: в синташтинское время плавки проводилось при температурах около 1200-1300 °С; в ПБВ температуры плавки часто смещаются в диапазон 1300-1500 °С. Причина этого в том, что использовалась руда из более тугоплавких пород; кроме того, плавка медно-железных сульфидов вызывает экзотермическую реакцию горения серы. Вероятно, увеличилась и продолжительность плавки, но этого пока невозможно рассчитать. Все это вело к удалению мышьяка на стадии плавки руды и к невозможности получения легированного металла. Соответственно, переход к этим типам руд предопределил конец использования мышьяковой меди (это стало технологически невозможно) и создал условия для распространения оловянных бронз.

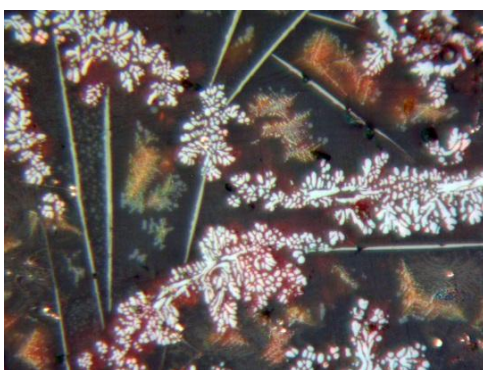


Рисунок 2. Шлак из поселения Покровское в Оренбургской области: дендриты куприта и иглы деафосфита, маркирующие окислительные условия плавки.

Необходимо отметить, что в случае использования окисленных руд из кварцевых жил и песчаников действовал еще один фактор. Для получения жидкого шлака плавильщики повышали температуру и интенсифицировали дутье. В результате, почти все шлаки демонстрируют сильную окислительную атмосферу (рис. 2). Таким образом, уже два фактора способствовали испарению мышьяка: относительно высокие температуры и окислительная атмосфера.

И мы можем показать эту строгую зависимость типа сплава от типа исходной руды на примере материалов из разных районов Северной Евразии.

2.1. Сравнение шлака и металла. Общие закономерности в Евразийской металлургической провинции

В дополнение к результатам спектрального анализа шлака и металла (как наших, так и взятых из публикаций) это исследование основано, главным образом, на 527 минералогических анализах шлака бронзового века (табл. 2).

Таблица 2. Распределение минералогических групп шлака по культурным группам: I – окисленные руды в ультраосновных породах, II – окисленные руды в кислых породах, III – окисленные руды в ультраосновных породах с примесями кислых пород, IV – окисленные шлаки, выплавленные из окисленных руд в кислых породах, V – шлак, выплавленный из чистого малахита, VI + VII – шлак, выплавленный из сульфидных руд.

Минералогическая группа	I	II	III	IV	V	VI+VII
Культура						
Синташта	45	12	17			
Синташта-Петровка	36	14	29	17		
Абашево Приуралья	8	6	3	7	4	
Всего, синташтинско-абашевский период	89	32	49	24	4	0
%	44,95	16,16	24,75	12,12	2,02	0
Срубная культура Приуралья	22	17	2	18		7
Оренбуржье, ПБВ	10	19		39		9
Срубная культура Подонья						12
Елунино		26		4		
Вишнево-одиновский тип						7
Петровка	3	1	2	15		2
Алакуль	2	2		20		1
Федоровка				1		21
Межовка	2					32
Андроновская КИО	3	5				3
Эпоха финальной бронзы	1	2		2		
ПБВ Азиатской зоны (Андроново/Саргары)	2	6				9
Всего, ПБВ	45	78	4	99		103
%	13,68	23,71	1,22	30,09	0	31,31

Проанализированные материалы раннего железного века не включены, потому что они не имеют отношения к рассматриваемой проблеме. Не рассматривается также большая серия материалов из Кызылкумов, которые были обнаружены, главным образом, на выветренных стоянках, и которые позволяют проследить только самые общие региональные тенденции. Их невозможно использовать в статистике. Тем не менее, это исследование включает в себя некоторые материалы с не вполне определенной культурной принадлежностью, в частности, шлаки из поселений, которые имеют как синташтинские, так и петровские слои. В таблице они помещаются в отдельную строку, но далее рассматриваются вместе с синташтинскими шлаками, потому что все они относятся к переходу от СБВ к ПБВ. Шлаки азиатской зоны Евразийской металлургической провинции определяются как «алакульские» или «федоровские» только в тех случаях, если их культурная принадлежность определена достоверно. В случае наличия на памятнике алакульских и федоровских материалов они помещались в таблицу как «Андроновские». Если присутствуют также материалы эпохи финальной бронзы, то шлаки обозначаются как ПБВ. Но в финальных таблицах все они рассматриваются как шлаки ПБВ.

Для большей ясности мы объединяем I и III группы, связанные с ультраосновными породами, а также группы II и IV, связанные с кислыми породами. В результате, получаем следующую картину рудной базы в переходный период к ПБВ и в собственно ПБВ (табл. 3):

Таблица 3. Соотношение шлака, выплавляемого из разных видов руды, в синташтинско-абашевский период и в ПБВ (%).

Тип руды Период	Малахит	Окисленная руда из ультраосновных пород	Окисленная руда из кислых пород	Сульфидная руда
Синташта- Абашево	2,02	71,57	28,28	0
ПБВ	0	14,89	53,80	31,31

В целом, эта картина точно соответствует переходу от использования мышьяковых сплавов в синташтинско-абашевский период к использованию оловянных сплавов в ПБВ. Но хронологические и пространственные сопоставления позволяют нам увидеть различные особенности этого процесса.

2.2. Сравнение шлака и руды первого этапа Евразийской металлургической провинции (переход СБВ - ПБВ)

На первом этапе мы видим безусловное доминирование окисленных руд из легкоплавких ультраосновных пород. Их доля составляет 71,57%. И, как мы увидим ниже, эта доля повторяется в металле этого времени.

В первой публикации анализов синташтинско-абашевского металла Е.Н. Черных разделил коллекцию уральского Абашево (в нее были включены и некоторые синташтинские изделия) на две группы: мышьяковую медь (55 предметов) и чистую медь (17 предметов) (Черных, 1970, с. 28). Следовательно, доли мышьяковой и чистой меди были 76,39% и 23,61% соответственно.

В более поздней работе (Черных, 2007, с. 80, 81) синташтинско-абашевский металл был разделен на две группы: общее количество проанализированных проб уже составило

770, из которых 240 представлено чистой медью. Это составляет 31,17%, поэтому доля мышьякового металла составляет 68,83%.

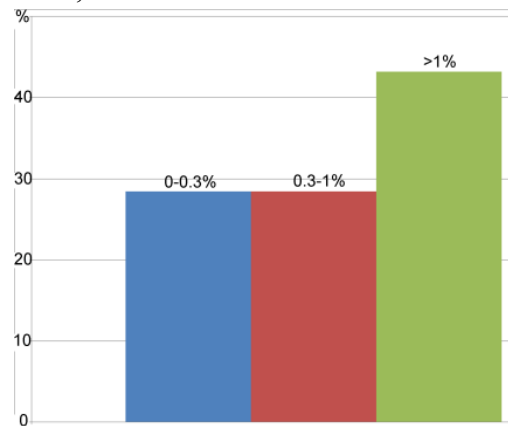


Рисунок 3. Распределение низко-мышьякового, средне-мышьякового и высоко-мышьякового металла синташтинско-абашевского времени.

Новые анализы синташтинского металла позволили разделить эти изделия на три группы: низко-мышьяковые (0-0,3%), средне-мышьяковые (0,3-1%) и высоко-мышьяковые (более 1%) (Grigoriev, 2015, p. 153) (рис. 3). Две первые группы включают 28,41% образцов, а третья – 43,18%. Соответственно, 71,59% анализируемых изделий соответствуют мышьяковой меди. А.Д. Дегтярева относит к группе, легированной мышьяком, около 80% металла, но она полагает, что нижний порог этой группы составляет 0,1% (Дегтярева, 2010, с. 83). Кроме того, она анализировала только изделия с синташтинских памятников в Зауралье, без уральского Абашево, где соотношение мышьяковых сплавов к чистой меди ниже.

Но, в любом случае, эта доля металла, легированного мышьяком, практически идентична доле шлака, выплавленного из окисленных руд в ультраосновных породах. Более того, только этот шлак содержит более высокие концентрации мышьяка и мышьяковые включения (рис. 4, 5; табл. 4).

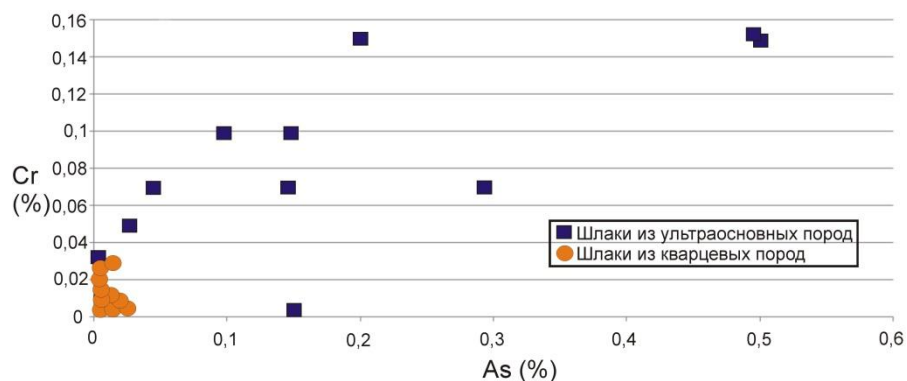


Рисунок 4. Концентрация мышьяка в различных типах шлака уральского Абашево.

Таблица 4. Включения мышьяка в синташтинском шлаке, выплавленном из ультраосновных пород.

Образец	Анализ	Материал	O	Cu	Fe	As
839	1	Оксид	36,06	6,91	44,47	10,5
751	3	Металл	6,36	9,88	38,29	44,81

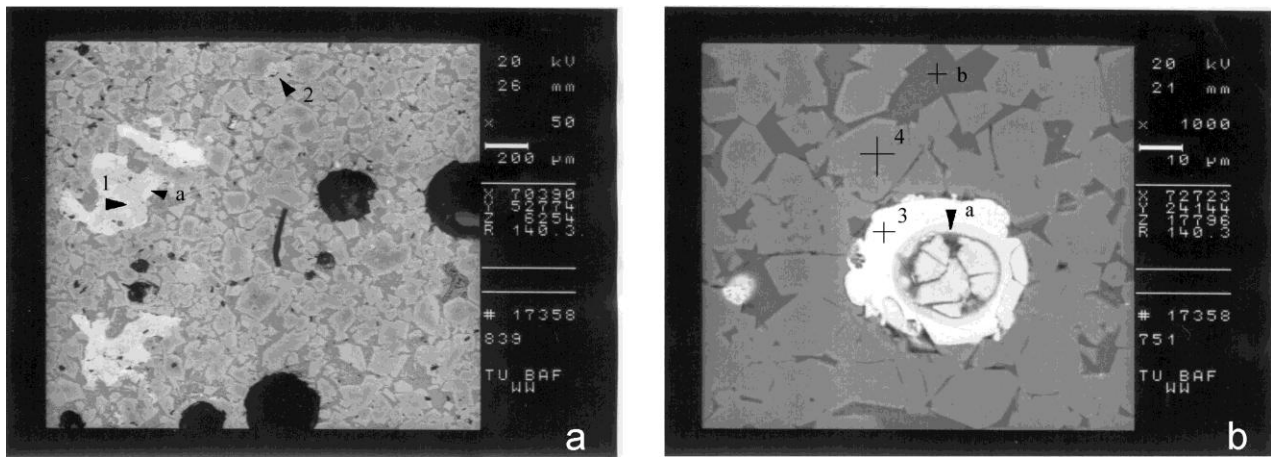


Рисунок 5. Включения мышьяка в синташтинском шлаке: а – образец 839; б – образец 751 (см. табл. 4).

Это указывает на *жесткую связь (как аналитическую, так и статистическую) именно руд из ультраосновных пород с производством мышьякового металла.*

2.3. Сравнение шлака и руды второго этапа Евразийской Металлургической Провинции (ПБВ)

В ПБВ количество шлаков, связанных с ультраосновными породами, уменьшается до 14,89%, причем, некоторые из них происходят с относительно ранних памятников, которые непосредственно сменили синташтинскую культуру или даже были ей синхронны. Доля окисленных руд из кислых пород, таких как кварцевые жилы и кварцевые песчаники, резко увеличилась (до 53,8%), кроме того, более активно стали использоваться сульфидные руды (31,31%).

К сожалению, обобщенные данные о металле ПБВ для всей Евразийской металлургической провинции отсутствуют. Даже обобщения, сделанные для отдельных культур, редки. Но поскольку доля шлака, выплавленного из руды в ультраосновных породах, здесь низка, это соответствует общей картине отказа от легирования мышьяком и перехода к легированию оловом.

2.3.1. Мышьяк и типы руды. Ситуация в Европейской зоне провинции (срубная культура)

Более подробные сравнения могут быть сделаны только для отдельных регионов. Показательна ситуация с металлургией срубной культуры (Поволжье и Приуралье). Согласно нашим данным (табл. 5), около 1/5 металла выплавлялось из руды в ультраосновных породах. Остальной металл – из окисленных руд в кислых породах и сульфидных руд, и их плавка не могла привести к получению мышьяковой меди. Это хорошо видно на примере шлаков Башкирского Урала (Grigoriev, 2015, p. 346), где шлак, выплавленный из сульфидной руды, а также из окисленной руды в кислых породах, не содержит мышьяка, а в шлаках из ультраосновных пород мышьяк присутствует в 19 случаях из 24, то есть, в 79% образцов. Но на западе, в Поволжье, на поселении Шигонское II, шлак этого типа не содержит мышьяка вовсе; вероятно, существовала проблема с легирующим компонентом.

Таблица 5. Типы руды, используемой металлургами срубной культуры (%).

Типы руды	Окисленные руды из ультраосновных пород	Окисленные руды из кислых пород	Сульфидные руды
%	21,94	60	18,06

Согласно данным Е.Н. Черных (2007, с. 93), в срубном металле около 9% изделий содержат мышьяк и сурьму (табл. 6), что ниже доли шлака из ультраосновных пород. Но, если мы пересчитаем эти данные, исключив олово, то есть, получив только данные о металле, выплавленном из руды, мы увидим, что срубные плавильщики производили 85% чистой меди и 15% меди с мышьяком, и небольшое количество изделий с мышьяком и сурьмой. Эта цифра ближе к той, которую мы получили для шлака. Однако некоторые из этих изделий могли быть получены в этот период из блеклых руд, таких как тетраэдрит (Cu_3SbS_3) и теннантит (Cu_3AsS_3). Они содержат много мышьяка и сурьмы, и их легко плавить. И хотя температуры могут быть относительно высокими, вероятно, часть мышьяка осталась в металле, хотя ее содержание, конечно, уменьшалось. Кроме того, не все срубные шлаки, выплавленные из ультраосновных пород, содержали мышьяк.

Таблица 6. Типы сплавов срубной культуры (Черных, 2007, с. 93)

Тип сплава	Cu+As, Cu+As+Sb	Cu+Sb	Cu	Cu+Sn, Cu+Sn+As
%	8,2	0,7	45,6	45,4
	8,9		91	

Поэтому доли шлака, выплавленного из ультраосновных пород, и доли мышьяковой меди также вполне сопоставимы. И, как и в случае синташтинско-абашевского шлака, срубные шлаки из ультраосновных пород обычно содержат более высокие концентрации мышьяка, хотя и не так часто. Таким образом, эта традиция постепенно отмирает.

2.3.2. Мышьяк и типы руды. Ситуация в Азиатской зоне провинции

Ситуация в Азиатской зоне изучена несравненно хуже. Наше исследование охватило ограниченное количество шлака, а химический состав андроновского металла хорошо изучен только в Притоболье. Только металл финальной стадии бронзового века изучался во всей Азиатской зоне.

Мы видим очевидные резкие изменения в шлаке по сравнению с предыдущими периодами: доля шлака, выплавленного из ультраосновных пород, уменьшается до 7%. Оставшееся сырье представлено окисленной рудой из кислых пород и сульфидной рудой (табл.7).

Таблица 7. Виды руды, используемые металлургами Азиатской зоны ЕАМП.

Типы руды	Окисленные руды из ультраосновных пород	Окисленные руды из кислых пород	Сульфидные руды
%	6,94	47,22	45,83

Поэтому, в принципе, можно было бы ожидать, что около 7% медных изделий региона должны содержать мышьяк, а остальные должны быть представлены медью или оловянной бронзой. И формально это так: согласно ранним данным Е.Н. Черных (1970, с. 21, 22), 8% андроновских изделий имеют примеси мышьяка и сурьмы, но некоторые из них были дополнительно легированы оловом. В целом, 2/3 изделий было легировано оловом. Более поздние исследования дали аналогичное число 8,7% для металла Cu + As + Sb в алакульской культуре Притоболья (Кузьминых, Черных, 1985, с. 346-366). Это полностью соответствует приведенной выше минералогии шлака и, на первый взгляд, должно иметь то же объяснение, но это не так. Как правило, здесь шлаки этой минералогической группы не содержат мышьяка. Но примеси мышьяка присутствуют в шлаках, выплавляемых из сульфидных руд, например, в шлаках межовской культуры с поселения Архангельский Прииск (Grigoriev, 2015, p. 538). Поэтому, вероятно, этот металл выплавлялся из блеклых руд или легированием в сульфидную руду. И часть его была дополнительно легирована оловом.

Таким образом, в ПБВ повсеместно наблюдается одна и та же ситуация: отказ от использования окисленных руд в ультраосновных породах, переход к окисленным рудам в тугоплавких кислых породах, а также к сульфидным рудам. Это хорошо коррелирует с отказом от мышьяковых сплавов и переходом к оловянным бронзам.

2.3.3. Оловянные бронзы в Евразийской Металлургической Провинции

В алакульской культуре Притоболья половина металла представлена чистой медью, а другая половина – оловянными бронзами (Кузьминых, Черных, 1985, с. 346-366; Тигеева, 2011, с. 69, 70). В принципе, обе эти группы меди соответствуют ситуации со шлаком, которая отражает преобладающую плавку руды из кислых пород в алакульской культуре. Разница в группах объясняется только наличием олова. Но прежняя традиция сплавов с мышьяком исчезает даже в тех редких случаях, когда использовалась руда из ультраосновных пород.

И эта тенденция сохранилась в федоровской культуре, где доля оловянных бронз выросла до 72,7%, и они дополнены оловянно-свинцовыми бронзами (9,1%). Остальные изделия были сделаны из чистой меди (18,2%) (Дегтярева, Костомарова, 2011, с. 35). Это вполне нормально для этой культуры с ее восточными корнями.

Как мы уже говорили выше, на западе, в срубной культуре, доля оловянной бронзы составляет 45,4%, что близко к алакульским показателям, но намного меньше, чем количество медно-оловянных сплавов в федоровской культуре. Таким образом, родство культур могло сыграть определенную роль в этом распределении металлов; хотя расстояние, конечно, также было важно, так как доля оловянных бронз в срубной металлообработке самого западного Донского региона была заметно ниже – около четверти (Черных, Кузьминых, 1989б, с. 11).

В эпоху финальной бронзы в Азиатской зоне ЕАМП сохраняется преобладание оловянных бронз, и присутствуют некоторые территориальные различия, вызванные увеличением расстояния до алтайских источников олова: 68,7% легированного металла в Северном Казахстане, 80,5% – в Центральном Казахстане и 88,5% – в Восточном Казахстане. Примечательно также, что на Алтае, где добывалась большая часть олова, мы видим много изделий с высоким содержанием олова, около 12-26%. Но в степях Восточной Европы доля оловянных бронз составляет всего 12,5% (Агапов, Дегтярева, Кузьминых, 2012, с. 56) (рис. б).

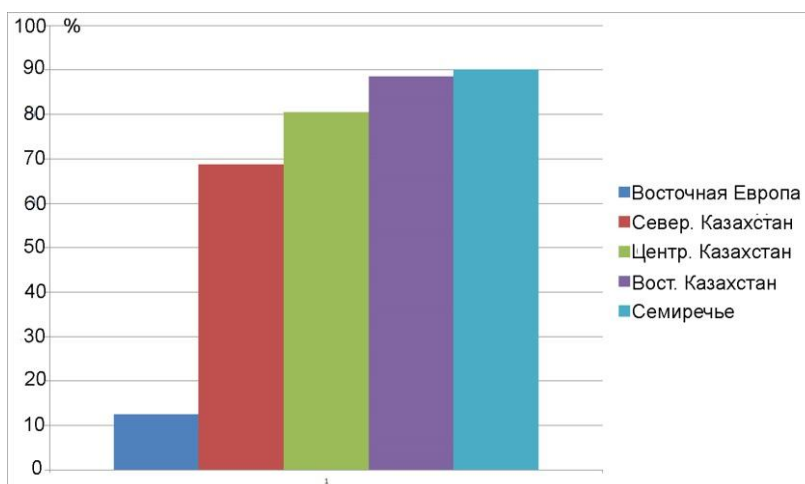


Рисунок 6. Оловянные бронзы в эпоху финальной бронзы в Восточной Европе и в разных районах Азиатской зоны Евразийской Металлургической Провинции.

Это означает, что, хотя мы видим небольшое снижение доли оловянных бронз с востока на запад в Азиатской зоне, что связано с увеличением расстояния транспортировки, этот фактор был не единственным значимым. Резкое падение доли оловянных бронз в Европейской зоне указывает на то, что эффективность поставок зависела не только от расстояния, но и от социальных и этнокультурных контекстов, от участия территорий в единой системе отношений и обмена. Это означает, что ситуация федоровской, алакульской и срубной металлообработки, о которой мы говорили выше, повторилась.

Таким образом, соотношение оловянных бронз и чистой меди зависит от наличия легирующих компонентов. Поэтому доля оловянных бронз уменьшается с востока на запад, но на это влияют не только расстояние, но и наличие родственных племен на путях оловянной торговли и степень включенности в эту систему обмена.

3. Отклонения от тренда

Конечно, в чистом виде эта типологическая последовательность «медь –мышьяковая медь – оловянная бронза» никогда не существовала. Различные типы металлов могли сосуществовать одновременно, даже в рамках одной археологической культуры, а их сосуществование на разных территориях было скорее стандартной ситуацией. И в некоторых случаях это можно объяснить наличием определенного сырья, как описано выше.

Ситуация в Центральной и Западной Европе несколько отличалась от описанной выше для Северной Евразии. Уже в энеолите металлурги начали использовать вторичные сульфиды, как правило, блеклые руды, такие как тетраэдрит (Cu_3SbS_3) и теннантит (Cu_3AsS_3), плавка которых позволяла получить такие сплавы, как $Cu+As$ или $Cu+As+Sb$. С распространением культуры кубков в середине III тыс. до н.э. эта традиция была перенесена из Центральной Европы и Восточных Альп в Северную Италию, Францию, Иберию, Великобританию и Ирландию. Использовались относительно чистые руды, без примеси породы; и это был низкотемпературный процесс без формирования шлака. Но в этом процессе происходило резкое сокращение доли мышьяка. Теннантит содержал около 20% мышьяка, а медь этого периода содержит лишь 1-3% мышьяка (O'Brien, 1999; 2011; 2013).

Затем, около 1800 г. до н.э., объемы производства значительно расширились, а количество руд и типов использованной руды увеличилось. В то же время произошел переход на плавку медно-железистых сульфидов, таких как халькопирит и борнит. И это

соответствует распространению повсюду оловянных бронз и сокращению добычи блеклых руд (O'Brien, 2013; Craddock, 1999, p. 183). Это означает, что в Европе мы видим ту же логику технологического развития, что и в Евразии, но стадия мышьяковой меди была реализована иначе, хотя это тоже был низкотемпературный процесс.

Но мы знаем и ряд парадоксов. Например, в Китае первоначально использовались оловянные сплавы, а затем их заменили мышьяковыми сплавами, что резко контрастирует с основными тенденциями, выявленными в Евразии (Mei, 2003, p. 31, 34; Mei et al., 2012, pp. 37-41, Grigoriev, 2015, pp. 554-556). Но тот же процесс имел место и в Южной Сибири в период формирования металлургии карасукской, ирменской и лугавской культур, базирующейся на медно-мышьяковых сплавах (Бобров, Кузьминых, Тенейшвили, 1997, с. 58, 59, 69; Grigoriev, 2015, pp. 541-543). Культуры, сформированные на основе предшествующей андроновской традиции (еловская и корчажнинская), сохранили технологию оловянного легирования (рис. 7).

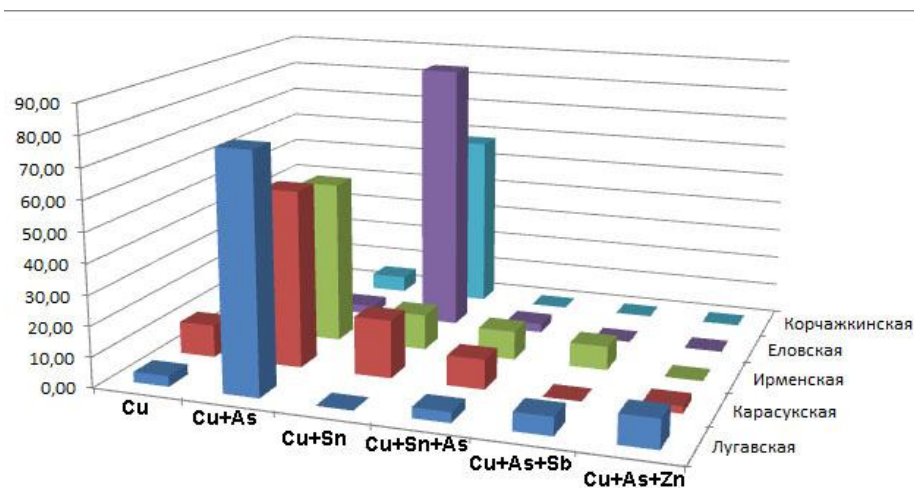


Рисунок 7. Типы сплавов в Южной Сибири в эпоху финальной бронзы.

И, судя по присутствию карасукских изделий, ситуация в Китае была просто отражением ситуации в Южной Сибири. Кроме того, существует гипотеза о южных корнях карасукской и ирменской культур (Членова, 1972, с. 131-135; Grigoriev, 2002, pp. 288-294), а в Иране использование мышьяковой меди доминировало вплоть до раннего железного века, и мышьяковые минералы типичны для иранских месторождений (Pigott, 2004, p. 29; 2009, p. 371; Oudbashi, Emami, Davami, 2012, p. 158). Соответственно, тип легирования зависел не только от наличия того или иного сырья, но также от процессов культурогенеза и некоторых иных традиций. Информация о плавке руды этого времени в Южной Сибири пока слишком ограничена, но имеющиеся данные указывают на возвращение к плавке окисленных руд, без заметных включений породы.

Примечательно, что для одновременных саргаринских памятников Казахстана эта лигатура не характерна даже в тех районах, которые наиболее близки к территории карасукской и ирменской культур. Там были сохранены оловянные сплавы, хотя в некоторых местах выявлены и олово-мышьяковые сплавы (Ситников, 2006, с. 157; Агапов, Дегтярева, Кузьминых, 2012, с. 49). Но затем, в начале раннего железного века, сплавы с оловом вернулись на Урал, но не из Казахстана. Скорее всего, процесс начался на востоке, в

Забайкалье, где близость развитых китайских металлургических центров способствовала сохранению оловянных бронз.

Таким образом, если исключить эти отклонения в эпоху финальной бронзы, основной тенденцией в Северной Евразии было следующее: 1) плавка относительно чистой окисленной руды и производство чистой меди в энеолите – РБВ; 2) плавка окисленной руды с легкоплавкой ультраосновной породой и производство медно-мышьяковых сплавов (переход СБВ-ПБВ); 3) плавка сульфидных руд и руд из кварцевых и других тугоплавких пород и легирование оловом, поставляемым издалека (ПБВ). И эта тенденция была характерна для древней металлургии.

4. Исторические и социальные процессы и последствия

Переход к новым сплавам совпадает с территориальным расширением металлопроизводства (Черных, 1989, с. 17, 18). Кроме того, это совпадает с ростом потребления металла. На Ближнем Востоке с переходом к каждому последующему периоду количество металла увеличивается в пять раз, а в Анатолии в среднем бронзовом веке в 100 раз (табл. 8) (Avilova, 2008).

Таблица 8. Количество находок металла в разных районах Ближнего Востока и в Восточной Европе в эпоху энеолита, ранней и средней бронзы (по: Avilova, 2008).

	Энеолит	РБВ	СБВ
Восточная Европа	60	878	4 678
Анатолия	71	360	36 586
Месопотамия	6	580	14 307
Левант	4	701	4 795
Иран	160	952	2 174

Таблица 9. Типы сплавов в разных районах Ближнего Востока и в Восточной Европе в эпоху энеолита, РБВ и СБВ (по Avilova, 2008).

%	Энеолит			РБВ			СБВ		
	Cu	Cu+As	Cu+Sn	Cu	Cu+As	Cu+Sn	Cu	Cu+As	Cu+Sn
Восточная Европа	100	0	0	46	54	0	10	90	0
Анатолия	62	31	2	15	74	8	13	51	32
Месопотамия	100	0	0	14	74	8	16	38	45
Левант	0	0	0	39	57	1	20	38	39
Иран	44	53	0	29	70	1	1	69	28

В то же время на Ближнем Востоке в начале III тыс. до н.э. мы видим общий переход к шлаковым технологиям, что означает расширение рудной базы (Craddock, 1999, p. 183). В Северной Евразии подобные процессы фиксируются в начале II тыс. до н.э., когда потребление металлов увеличилось, площадь металлосодержащих культур расширилась, металлические изделия становятся более массивными, и они чаще встречаются в слоях поселений. И это совпадает с изменением типов руд и расширением рудной базы. В сущности, в Европе реконструируются те же процессы: во II тыс. до н.э. зависимость от металла возросла, изменились типы руды, и были внедрены оловянные бронзы. В Ирландии

2500 медных изделий известно только для периода между 1600 и 1300 гг. до н.э. (O'Brien, 2011, p. 346; 2013, p. 433).

Этот рост числа металлических изделий соответствует изменению набора сплавов (табл. 9, рис. 8).

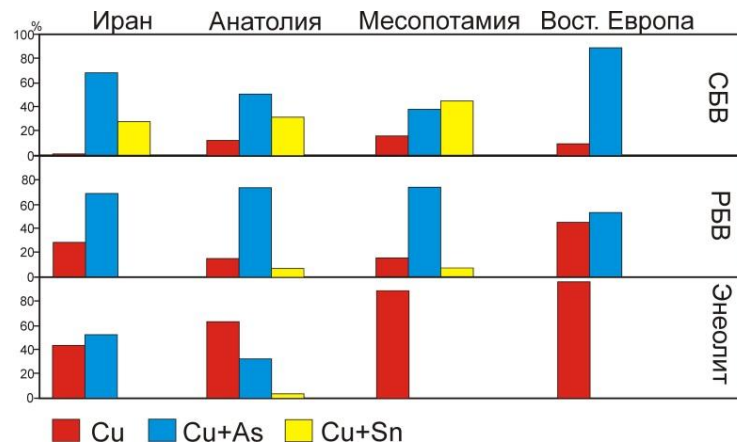


Рисунок 8. Типы сплавов в разных районах Ближнего Востока и в Восточной Европе в эпоху энеолита, ранней (РБВ) и средней (СБВ) бронзы.

Таким образом, повсеместно внедрение оловянных сплавов совпадает с резким увеличением потребления металла, изменением рудной базы, расширением площади металлопотребляющих культур и появлением системы торговли и обмена. Это была общая ситуация, но особенно ярко она проявилась в тех случаях, когда возникали ранние цивилизации и сложные иерархические общества. На Ближнем Востоке распространение легирования оловом с III тыс. до н.э. совпадает с наиболее впечатляющим ростом потребления металла. В это время Анатолия начинает функционировать как важный производственный центр, поставляющий металл в Месопотамию. В начале II тыс. до н.э. за 50 лет с востока в Месопотамию было перевезено около 80 тонн олова. Из этого количества можно было получить около 800 тонн бронзы (Muhly, 1980, p. 33). Предлагаются очень отдаленные источники в Иране или Узбекистане (Pigott, 2004, pp. 29, 34; Thornton et al., 2005, p. 395). Этот вариант противоречит тому, что в Иране, через который эти перевозки должны были выполняться, оловянные сплавы широко распространялись только в эпоху раннего железа.

Но есть и более близкие Луристанские источники в Западном Иране (Pigott, 2009, pp. 371-374). И вышеупомянутый конфликт не является неразрешимым, оба варианта возможны, но в любом случае мы должны обсуждать создание сложной системы торговли и обмена, которая охватывала огромные пространства.

В Джезказгане, в Центральном Казахстане, длина выработок составляла несколько сотен метров, там произведено около 10000 тонн меди (видимо, это преувеличение, но масштабы производства были огромными), а на коммерческий характер производства указывают находки слитков весом до 5 кг (Маргулан, 2001, с. 50, 52, 54, 60, 65, 75). И, если бы не было олова, этот самый мощный металлургический центр Северной Евразии не мог бы успешно функционировать. Оловянная торговля и обмен здесь тоже осуществлялись на большие расстояния, из Восточного Казахстана. И процессы в Европе в этот период были сходными.

Таким образом, внедрение оловянных сплавов совпадает с резким увеличением потребления металла, расширением площади металлопотребляющих культур и появлением торговых и обменных систем, охватывающих огромные пространства.

Исторический фон этого перехода от мышьяковых к оловянным сплавам в Северной Евразии тоже вполне очевиден. Когда металлургические технологии распространились вместе с синташтинской культурой и ее потомками далеко за пределами первичного ареала, в некоторых местах металлурги сначала были вынуждены использовать нелегированную медь. Ярким примером является металлургия петровской культуры, где доля чистой меди достигает 60% (Виноградов, Дегтярева, Кузьминых, 2013, рис. 5).

Но затем, после сейминско-турбинской миграции и, особенно, после появления федоровской культуры, начинают функционировать восточные центры, производящие олово. И в Северной Евразии формируются социальные условия, которые позволяют организовать торговлю оловом на огромных пространствах, поскольку эти пространства оказались населены родственными племенами.

Но поставки олова через огромные пространства создали возможность использовать те богатые месторождения, эксплуатация которых раньше могла быть ограничена, поскольку плавка их руды не позволяла получить легированный металл. В результате, формируются колоссальные горнодобывающие центры, например, в районе Каргалов и в Центральном Казахстане. И они тоже включаются в сложные системы этого обмена.

Таким образом, эти особенности евразийского культурогенеза и новых социальных структур повлияли на природу производства в огромном регионе. С другой стороны, сформировавшись, эти металлургические технологии и металлургические торговые связи оказали дополнительное цементирующее воздействие на эти системы, но они также стали факторами для дальнейшего развития этих систем. Вероятно, что-то подобное произошло в Европе, где олово добывалось, главным образом, на Британских островах, откуда оно перевозилось не только в континентальную Европу, но даже в Средиземноморье. С другой стороны, в Восточном Средиземноморье, на Кипре, появился мощный центр производства меди. Металл этого центра проникал далеко на запад. И если бы поставки олова не были налажены, эти мощные горнодобывающие и металлургические центры не могли бы успешно функционировать, поскольку они не могли бы производить легированный металл.

Но что-то нужно было получать в обмен на олово и медь. И если раньше торговые отношения были необязательными в большинстве регионов (за исключением Месопотамии и других центров древних цивилизаций), то переход на оловянные бронзы привел к включению иных товаров в торговую сеть, образованную металлом; в конечном счете, это вело к дальнейшему развитию региональной специализации. Лучшим примером этой первой мировой торговой системы являются остатки кораблекрушения у Улубуруна, произошедшего около 1300 г. до н.э. вблизи анатолийского берега (Pulak, 2000). В составе груза этого корабля находилось 10 тонн медных слитков, одна тонна олова (из двух разных источников), одна тонна смолы терпентинного дерева в глиняных кувшинах, дисковидные стеклянные слитки, зубы бегемота и бивень слона, скорлупа яиц страуса и бревна эбенового дерева. Здесь обнаружены артефакты, которые происходят из Ханаана, Микен, Кипра, Египта, Нубии, Балтии, Северных Балкан, Вавилона, касситские, из Ассирии, восточной части Ближнего Востока и Сицилии.

В результате вся Евразия оказалась пронизана сложной сетью торговли и обменов, и это стало дополнительным (хотя и не единственным) фактором в формировании с этого времени сложных иерархических обществ.

Заключение

В заключение статьи необходимо выделить основные факторы, влиявшие на технологическое и отчасти социальное развитие в эпоху бронзы. Технологический аспект проблемы фундаментален, поскольку первичный выбор типа руды стимулировал технологию ее плавки, технологию и тип легирования, технологию металлообработки и, в конечном счете, морфологию металлических изделий (рис. 9). Но последовательность изменений сплавов, рассмотренная выше, верна только в контексте наиболее общих процессов. В каждом отдельном ареале могли быть существенные отклонения от этой схемы, обусловленные влиянием какого-то регионального фактора, который неожиданно оказался особенно значимым: наличие сырья и торговых коммуникаций, местные культурные и технологические традиции, внутренние инновации и технологические заимствования. К этим факторам можно также отнести особенности культурогенеза, которые мы обсудили выше на примере Китая и Южной Сибири, или фактор расстояния до оловянных источников, как это имело место в Восточной Европе, и некоторые иные.

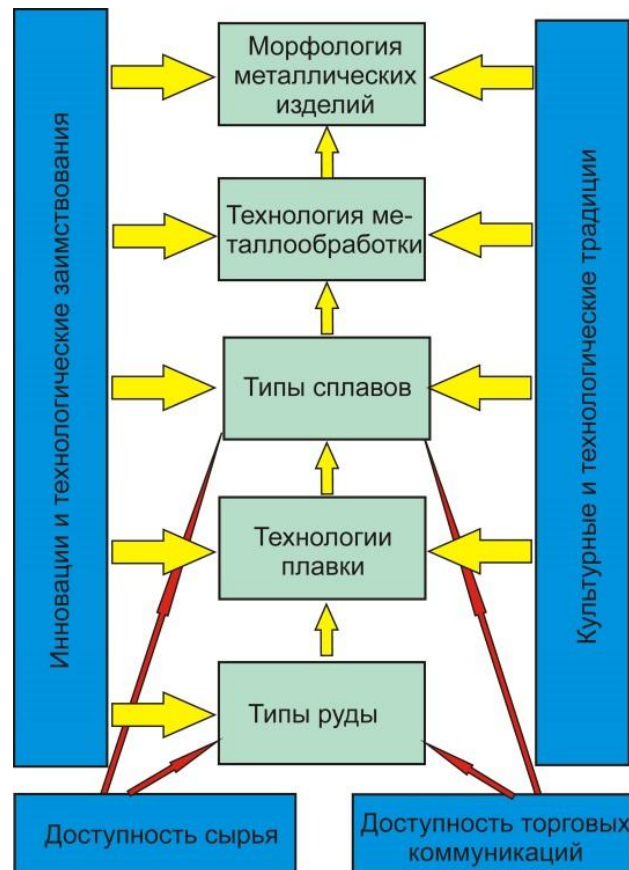


Рисунок 9. Факторы технологического развития.

Но в целом, мы можем обсудить следующую закономерность: при плавке окисленных руд и руд из легкоплавких пород было возможно и технологически желательно добавлять мышьяковые минералы на стадии плавки руды. После расширения рудной базы и перехода на сульфидные руды и руды из тугоплавких пород исчезла возможность производства медно-мышьякового сплава. Это стимулировало использование оловянных сплавов, распространение которых вскоре было обеспечено миграциями восточных племен с соответствующей технологией. Конечно, в какой-то степени этот процесс был основан на том, что окисленные руды залегают выше, а сульфидные ниже, что и образует эту хронологическую последовательность (Strahm, Hauptmann, 2009, p. 122, 123).

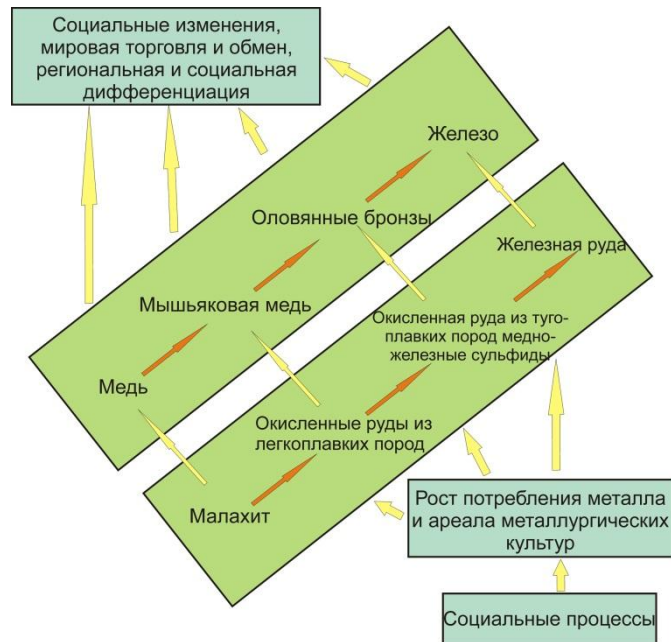


Рисунок 10. Социальные процессы и этапы развития металлургических технологий.

Тем не менее, эти процессы следует рассматривать и в социокультурном контексте (Roberts, Thornton, Pigott, 2009, pp. 1016-1019) (рис. 10). Стимулом для технологических изменений стал рост потребления металла, то есть, социальные процессы. Однако эти технологические изменения сами оказали значительное влияние на эти социальные процессы. В результате, во многих случаях это формирует новую социальную реальность, первую систему мировой торговли и интенсификацию социальной и региональной дифференциации.

Благодарности: Я очень признателен Е.Н. Черных, под руководством которого была написана моя первая работа по археометаллургии, и чей принцип анализа большого количества образцов и их статистическое изучение лежит в основе настоящей работы.

Финансирование: отдельные части этой работы были поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 04-06-96008, 2004-2006), Российским гуманитарным научным фондом (грант № 05-01-85112а/У, 2005-2006) и Фондом Александра фон Гумбольдта (3.3-RUS/1068050STP, 2000-2001).

Литература

- Агапов, Дегтярева, Кузьминых, 2012 – Агапов С.А., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В. Металлопроизводство восточной зоны общности культур валиковой керамики // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2012. – 3 (18). – С. 44-59.
- Бобров, Кузьминых, Тенейшвили, 1997 – Бобров В.В., Кузьминых С.В., Тенейшвили Т.О. Древняя металлургия Среднего Енисея. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 1997.
- Виноградов, Дегтярева, Кузьминых, 2013 – Виноградов Н.Б., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В. Металлургия и металлообработка в жизни обитателей укрепленного поселения Устье 1 // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2013. – 3 (22). – С. 4-30.

- Дегтярева, 2010 – Дегтярева А.Д. История металлопроизводства Южного Зауралья в эпоху бронзы. – Новосибирск: Наука, 2010.
- Дегтярева, Костомарова, 2011 – Дегтярева А.Д., Костомарова Ю.В. Металл позднего бронзового века лесостепного Притоболья // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2011. – 1 (14). – С. 30-45.
- Крижевская, 1977 – Крижевская Л.Я. Раннебронзовое время в Южном Зауралье. – Л.: Наука, 1977.
- Кузьминых, Черных, 1985 – Кузьминых С.В., Черных Е.Н. Спектроаналитическое исследование металла бронзового века лесостепного Притоболья // Потемкина Т.М. Бронзовый век лесостепного Притоболья. – М.: Наука, 1985. – С. 346-367.
- Маргулан, 2001 – Маргулан А.Х. Сарыарка. Горное дело и металлургия в эпоху бронзы. Джекказган – древний и средневековый металлургический центр (городище Милыкудук). – Алматы: Дайк-Пресс, 2001.
- Равич, Рындина, 1984 – Равич И.Г., Рындина Н.В. Изучение свойств и микроструктуры сплавов медь – мышьяк в связи с их использованием в древности // Художественное наследие. Вып. 9 (39). – М.: Искусство, 1984. – С. 114-124.
- Рындина, Равич, 2012 – Рындина Н.В., Равич И.Г. О металлопроизводстве майкопских племен Северного Кавказа (по данным химико-технологических исследований) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2012. – 2 (17). – С. 4-20.
- Рындина, Равич, Быстров, 2008 – Рындина Н.В., Равич И.Г., Быстров С.В. О происхождении и свойствах мышьяко-никелевых бронз майкопской культуры Северного Кавказа (ранний бронзовый век) // Археология Кавказа и Ближнего Востока. – М.: Таус, 2008. – С. 196-221.
- Ситников, 2006 – Ситников С.М. К вопросу о горном деле и металлургическом производстве саргаринско-алексеевского населения Алтая // Алтай в системе металлургических провинций бронзового века. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2006. – С. 150-157.
- Тигеева, 2011 – Тигеева Е.В. Технология изготовления металлических изделий Чистолепяжского могильника // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2011, 2 (15). – С. 66-78.
- Тигеева, 2013 – Тигеева Е.В. Химико-металлургическая характеристика металла алакульской культуры Среднего Притоболья // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2013. – 3 (22). – С. 31-39.
- Черных, 1966 – Черных Е.Н. История древнейшей металлургии Восточной Европы. – М.: Наука, 1966.
- Черных, 1970 – Черных Е.Н. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья. – М.: Наука, 1970.
- Черных, 1989 – Черных Е.Н. Металл и древние культуры: Узловые проблемы исследования // Естественнонаучные методы в археологии. – М.: Наука, 1989. – С. 14-30.
- Черных, 2007 – Черных Е.Н. Каргалы. Том V. Каргалы: феномен и парадоксы развития; Каргалы в системе металлургических провинций; Потаенная (сакральная) жизнь древних горняков и металлургов. – М.: Языки славянской культуры, 2007.
- Черных, Кузьминых, 1989а – Черных Е.Н., Кузьминых С.В. Древняя металлургия Северной Евразии. – М.: Наука, 1989.

- Черных, Кузьминых, 1989б – Черных Е.Н., Кузьминых С.В. Металл Мосоловского поселения (по данным спектрального анализа) // Пряхин А.Д. Поселения срубной общности. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1989. – С. 5-14.
- Членова, 1972 – Членова Н.Л. Хронология памятников карасукской эпохи. – М.: Наука, 1972.
- Avilova, 2008 – Avilova L.I. Regional models of metal production in Western Asia in the Chalcolithic, Early and Middle Bronze Ages // *Trabajos de Prehistoria*. – 2008, 65(1). – P. 55-73.
- Budd, Ottaway, 1990 – Budd P., Ottaway B. Eneolithic arsenical copper: chance or choice? In: *Ancient mining and metallurgy in Southeast Europe*. Archaeological Institute Beograd monographs №27. – Belgrade: Archaeological Institute, 1990. – P. 95-101.
- Charles, 1980 – Charles, J.A. 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, 1980. – P. 151-182.
- Chernykh, 1992 – Chernykh E.N. *Ancient Mining and Metallurgy in the USSR: The Early Metal Age*. – Cambridge: University Press, 1992.
- Chernykh, 2014 – Chernykh E.N. Metallurgical Provinces of Eurasia in the Early Metal Age: Problems of Interrelation. In: *ISIJ International 2014*. V. 54, № 5. – P. 1002-1009.
- Craddock, 1999 – Craddock P.T. Paradigms of metallurgical innovation in prehistoric Europe. In: *The beginnings of metallurgy: proceedings of the International Conference "The Beginnings of Metallurgy"*. – Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 1995. – P. 175-192.
- Glumac, Todd, 1990 – Glumac P.D., Todd J.A. Eneolithic Copper Smelting Slags from the Middle Danube Basin. In: *Archaeometry'90. Proceedings of the 27th Symposium on Archaeometry held in Heilderberg*. – Basel, Boston: Birkhäuser Verlag, 1990. – P. 155-164.
- Grigoriev, 2002 – Grigoriev S.A. *Ancient Indo-Europeans*. – Chelyabinsk: Charoid, 2002.
- Grigoriev, 2015 – Grigoriev S.A. *Metallurgical Production in Northern Eurasia in the Bronze Age*. – Oxford: Archaeopress, 2015.
- Hunt Ortiz, 2003 – Hunt Ortiz M.A. *Prehistoric Mining and Metallurgy in South West Iberian Peninsula*. – Oxford: Archaeopress, 2003.
- McKerrell, Tylecote, 1972 – McKerrell H., Tylecote R.F. The working of copper-arsenic alloys in the Early Bronze Age and the effect on the determination of provenance. In: *Proceedings of the Prehistoric Society* 38. 1972. – P. 209-218.
- Mei, 2003. – Mei J. Qijia and Seima-Turbino: the question of early contacts between Northwest China and the Eurasian steppe. In: *Bulletin of the museum of Far Eastern antiquities*, 75. – P. 31-54.
- Mei et al., 2012 – Mei J., Xu J., Chen K., Shen L., Wang H. Recent research on early bronze metallurgy in Northwest China. In: *Scientific research on ancient Asian metallurgy*. V. 2. – London: Archetype Publications Ltd., 2012. – P. 35-44.
- Muhly, 1976 – Muhly J.D. Supplement to copper and tin. The distribution of mineral resources and the nature of metal trade in the Bronze Age. In: *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*. V. 46. Hamden: Archon books, 1976. – P. 77-136.
- Muhly, 1980 – Muhly J.D. The Bronze Age Setting. In: *The Coming of the Age of Iron*. – New Haven, London: Yale University Press, 1980. – P. 25-68.

- Northover, 1987 – Northover P. Properties and Use of Arsenic-Copper Alloys. In: *Archäometallurgie der Alten Welt. Beiträge zum Internationalen Symposium “Old World Archaeometallurgy”*. – Bochum: Deutschen Bergbau-Museums, 1987. – P. 111-118.
- O’Brien, 1999 – O’Brien W. Arsenical copper in early Irish metallurgy. In: *Metals in Antiquity. Proceedings of the 1995 Harvard Conference*. – Oxford: Archaeopress, 1999. – P. 33-42.
- O’Brien, 2011 – O’Brien W. Prehistoric copper mining and metallurgical expertise in Ireland. In: *Povoamento e Exploracao dos Recursos Mineiros*. – Braga, 2011. – P. 337-357.
- O’Brien, 2013 – O’Brien W. Bronze Age copper mining in Europe. In: *Oxford Handbook of the Bronze Age*. – Oxford: Oxford University Press, 2013. – P. 433-449.
- Oudbashi, Emami, Davami, 2012 – Oudbashi O.O., Emami S.M., Davami P. Bronze in Archaeology: A Review of the Archaeometallurgy of Bronze in Ancient Iran. In: *Copper Alloys – Early Applications and Current Performance – Enhancing Processes*. TechOpenBook, 2012. – P. 153-178.
- Palmieri, Sertok, Chernykh, 1993 – Palmieri A.M., Sertok K., Chernykh E. From Arslantepe metalwork to arsenical copper technology in Eastern Anatolia. In: *Between the rivers and over the Mountains. Archaeologica Anatolica et Mesopotamica Alba Palmieri dedicata*. – Roma: Universita di Roma La Sapienza, 1993. – P. 573-599.
- Palmieri et al., 1994 – Palmieri A., Hauptmann A., Hess K., Sertok K. The Composition of Ores and Slags found at Arslantepe, Malatya. In: *Archaeometry’94. Proceedings of the 29th International Symposium on Archaeometry*. – Ankara: Tübitak, 1994. – P. 447-449.
- Papadimitriou, 2008 – Papadimitriou G. The Technological Evolution of Copper Alloys in the Aegean during the Prehistoric Period. In: *Aegean Metallurgy in the Bronze Age*. – Athens: Ta Pragmata, 2008. – P. 271-287.
- Pernicka, 1998 – Pernicka E. Die Ausbreitung der Zinnbronze im 3. Jahrtausend. In: *Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas Man und Environment in European Bronze Age*. – Kiel: Oetker-Voges Verlag, 1998. – P. 135-147.
- Pigott, 2004 – Pigott V.C. On the Importance of Iran in the Study of Prehistoric Copper-Base Metallurgy. In: *Persia’s Ancient Splendour, Mining, Handicraft and Archaeology*. – Bochum: Deutsches Bergbaumuseum, 2004. – P. 28-43.
- Pigott, 2009 – Pigott V.C. “Luristan bronzes” and the development of metallurgy in the West-Central Zagros, Iran. In: *Metals and societies*. – Bonn: Habelt, 2009. – P. 369-382.
- Pulak, 2000 – Pulak C. The copper and tin ingots from the Late Bronze Age shipwreck at Uluburun. In: *Anatolian Metal I*. – Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 2000. – P. 137-157.
- Radivojević et al., 2014 – Radivojević M., Rehren Th., Kuzmanović-Cvetković J., Jovanović M., Northover J.P. Why are there tin bronzes in the 5th mill BC Balkans? In: *Archaeotechnology: Studying Technology from Prehistory to the Middle Ages*. – Belgrade: Prosveta, 2014. – P. 235-256.
- Rehren, 2003 – Rehren Th. Crucibles as reaction vessels in ancient metallurgy. In: *Mining and metal production through the ages*. – London: British museum press, 2003. – P. 207-215.
- Riederer, 1991 – Riederer J. Die frühen Kupferlegierungen im Vorderen Orient. In: *Handwerk und Technologie in Alten Welt*. – Mainz: Plilip v. Zabern, 1991. – P. 85-93.
- Roberts, Thornton, Pigott, 2009 – Roberts B.W., Thornton C.P., Pigott V.C. Development of metallurgy in Eurasia. In: *Antiquity* 2009, 83. – P. 1012-1022.

- Sabatini, 2015 – Sabatini B.J. The As-Cu-Ni System: A Chemical Thermodynamic Model for Ancient Recycling. In: JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society. 2015, 67. – P. 2984-2992.
- Schmitt-Strecker, Begemann, Pernicka, 1991 – Schmitt-Strecker S., Begemann F., Pernicka E. Untersuchungen zur Metallurgie der Späten Uruk- und Frühen Bronzezeit am oberen Euphrat. In: Handwerk und Technologie in Alten Welt. – Mainz: Philip v. Zabern, 1991. – P. 97-98.
- Scott, 1991 – Scott D.A. Metallography and microstructure of ancient and historic metals. Metallography and microstructure of ancient and historic metals. – Los Angeles: The J. Paul Getty Trust, 1991.
- Strahm, Hauptmann, 2009 – Strahm Ch., Hauptmann A. The metallurgical developmental phases in the Old World. In: Metals and societies. – Bonn: Habelt. – P. 116-128.
- Thornton, 2009 – Thornton C.P. The emergence of complex metallurgy on the Iranian Plateau: Escaping the Levantine Paradigm. In: Journal of World Prehistory 2009, 22(3). – P. 301-327.
- Thornton et al., 2005 – Thornton C.P., Lamberg-Karlovsky C.C., Liezers M., Young S.M.M. Stech and Pigott revisited: New evidence for the origin of tin bronze in light of chemical and metallographic analyses of the metal artifacts from Tepe Yahya, Iran. In: Proceedings of the 33rd International Symposium on Archaeometry, 22-26 April 2002, Amsterdam. Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 3. – Amsterdam: Vrije Universiteit, 2005. – P. 395-398.
- Thornton, Lamberg-Karlovsky, 2004a – Thornton C.P., Lamberg-Karlovsky C.C. Tappeh Yahya und die prähistorische Metallurgie in Südostiran. In: Persiens Antike Pracht. Bochum: Deutsches Bergbaumuseum, 2004. – P. 264-273.
- Thornton, Lamberg-Karlovsky, 2004b – Thornton, C.P., Lamberg-Karlovsky, C.C. A new look at the prehistoric metallurgy of Southeastern Iran. In: Iran, 2004, XLII. – P. 47-59.
- Thornton, Rehren, 2007 – Thornton C.P., Rehren Th. Report on the first Iranian prehistoric slag workshop. In: Iran, 2007, XLV. – P. 315-318.
- Thornton, Rehren, 2009 – Thornton C.P., Rehren Th. A truly refractory crucible from fourth millennium Tepe Hissar, Northeast Iran. In: Journal of Archaeological Science, 2009, 36(12). – P. 2700-2712.
- Tylecote, 1981 – Tylecote R.F. Chalcolithic metallurgy in the Eastern Mediterranean. In: Chalcolithic Cyprus and Western Asia. British Museum Occasional Paper. № 26. 1981. – P. 41-51.
- Yener, 2000 – Yener K.A. The domestication of metals. The rise of complex metal industries in Anatolia. – Leiden, Boston, Köln: Brill, 2000.
- Yener, Geckinly, Özbal, 1994 – Yener K.A., Geckinly E., Özbal H. A Brief Survey of Anatolian Metallurgy prior to 500 BC. In: Archaeometry'94. Proceedings of the 29th International Symposium on Archaeometry. (Demirci Ş., Özer A.M., Summers G.D. Eds.). Ankara: Tübitak, 1994. – P. 373-392.
- Yener et al., 2003 – Yener K.A., Adriaens A., Earl B., Özbal H. Analyses of metalliferous residues, crucible fragments, experimental smelts, and ores from Kestel tin mine and the tin processing site of Göltepe, Turkey. In: Mining and metal production through the ages. – London: British museum press. – P. 181-197.
- Zwicker, 1987 – Zwicker U. Untersuchungen zur Herstellung von Kupfer und Kupferlegierungen im Bereich des östlichen Mittelmeeres (3500-1000 v. Chr.). In:

Archäometallurgie der Alten Welt. Beiträge zum internationalen Symposium “Old World Archaeometallurgy”, Heidelberg. – Bochum: Deutsches Bergbaumuseum. – P. 191-203.

Список сокращений

ВГУ – Воронежский госуниверситет

ЕАМП – Евразийская Metallургическая Провинция

КИО – Культурно-историческая общность

МВ – Медный Век (энеолит)

ПБВ - Поздний Бронзовый Век

РБВ - Ранний Бронзовый Век

СБВ - Средний Бронзовый Век