



(Russian translation)

Социальные процессы в древней Европе и изменения в использовании типов руды и сплавов в металлургическом производстве

С.А. Григорьев

Институт истории и археологии УрО РАН, г. Челябинск, Российская Федерация;

E-mail: stgrig@mail.ru

Аннотация

В археометаллургии хорошо изучены основные тенденции развития древних технологий. И обычно они рассматриваются в качестве двух трендов. Первый касается типа используемого минерального сырья: самородная медь – окисленные минералы – сульфидные минералы. Второй тренд связан с типами используемого металла: чистая медь – мышьяковая и сурьмяно-мышьяковая медь – оловянные бронзы. На базе материалов Северной Евразии нами было показано, что эти тренды взаимосвязаны (Grigoriev, 2017). Переход на новые типы минерального сырья вызывал переход на новые типы сплавов меди. Это обусловлено тем, что, например, как в случае с переходом с мышьяковых сплавов на оловянные, при изготовлении мышьякового сплава плавил руду с добавками мышьяковых минералов. Но с последующим переходом на более богатые руды из кварцевых пород или сульфиды, в печи создавались условия, когда мышьяк испарялся, что не позволяло получить легированный металл. Это и вызвало переход на оловянные сплавы, так как олово добавляется непосредственно в медь. В конечном счете, эта система зависела от социально-экономических процессов, поскольку именно они стимулировали рост потребления металла и необходимость использования иных типов минерального сырья. Олово же, чьи месторождения достаточно редки, создавало предпосылки к появлению широкой сети обмена и торговли.

Задачей настоящей работы было изучить эту систему на европейском материале. Проведенный анализ показал, что в общих чертах в европейском пространстве действуют все те же закономерности, что позволяет считать их универсальными. Существуют некоторые отличия, вызванные обилием в Европе блеклых руд, что позволило в ряде регионов получать сурьмяно-мышьяковые сплавы. Еще одной особенностью является более высокий уровень развития хозяйства, по сравнению с евразийской ситуацией, и близость Восточного Средиземноморья, где достаточно рано начали формироваться древние цивилизации. В результате, в Европе уже к периоду СБВ формируется глобальная сеть обменов и торговли.

Ключевые слова: Европа, эпоха бронзы, рудное сырье, типы сплавов, социально-экономические отношения.

Введение

В археологии давно известны закономерности развития металлургических технологий. Общая тенденция этого развития выглядит следующим образом: 1) сбор с поверхности и обработка ковкой, а позже литьем самородной меди; 2) плавка окисленных медных руд; 3) плавка сульфидных руд (причем в рамках этой стадии первоначально плавил вторичные сульфиды и их смесь с окисленными минералами, а потом происходит переход к плавке первичных медно-железных сульфидов); 4) плавка железной руды (Strahm, Hauptmann, 2009).

Существует отчетливое понимание того, что этот ряд связан с двумя факторами:

1) последовательность залегания минералов меди на месторождениях, где окисленные руды лежат сверху, ниже идет зона вторичного сульфидного обогащения с блеклыми и иными рудами, а под ней основной массив первичных медно-железных сульфидных руд. Существует множество отклонений от этого правила, но в данном случае мы обсуждаем основные тенденции.

2) развитие технологии. Так совпало, что строго в соответствии с этой геологической последовательностью, при обработке нижележащих минералов требуются все более высокие температуры и новые приемы в подготовке руды, развитии горного дела и т.д. И поэтому при выработке верхних зон месторождений производили чистую или мышьяковую медь, ниже добавляется эксплуатация блеклых руд с мышьяком и сурьмой. Последний металл не так летуч, как мышьяк, но месторождения с медно-сурьмяными минералами встречаются реже, что вело к внедрению оловянных сплавов (Tylecote, 1976, pp. 7, 9).

При этом, существует безусловное понимание того, что все это связано разными каналами с социальными процессами, так как совпадает с ростом потребления металла обществом. Особенность здесь такова, что при плавке большинства окисленных руд довольно трудно отделять шлак от металла. В результате образуются спекшиеся конгломераты с множеством включений восстановленной меди, которые было необходимо извлекать механически, и достаточно скрупулезно, а потом вновь переплавлять. Все это лимитировало объемы плавок этих руд (Strahm, Hauptmann, 2009, S. 123). Кроме того, окисленная зона беднее сульфидной, и объем руды в ней заметно меньше.

Существует иной процесс – развитие технологий легирования – от чистой меди к использованию мышьяковой меди и далее к оловянной бронзе. Это достаточно универсальная картина, которая зачастую рассматривается как независимый процесс технологического развития.

И существует безусловная социально-экономическая составляющая всей этой системы. Это роль металла в обществе, его место в формировании социальной иерархии, в создании сети обменов и т.д. Важным фактором здесь тоже является геология, а именно, неравномерное распределение месторождений различных полезных ископаемых.

Руды и сплавы

В прошлой статье, опубликованной в этом журнале, мы обсуждали связь рудной базы и типов легирования на материалах Северной Евразии (Grigoriev, 2017). Общая закономерность здесь такова: на первых этапах, при использовании самородной меди или относительно свободных от рудовмещающей породы карбонатов меди, доминировала

чистая медь. Затем, с началом использования менее чистых руд, в плавку стали попадать и некоторые иные минералы. Во многих районах мира медная минерализация сопровождается медно-мышьяковой и мышьяковой минерализацией, и в случае попадания таких минералов в плавку удавалось получить мышьяковую медь, которая после кузнечной обработки обладает более высокой твердостью, чем чистая медь. Правда, это требовало несколько иных технологий литейных и кузнечных операций. Мы уже обсуждали преимущества мышьяковой меди перед чистой медью (Grigoriev, 2017, pp. 19-21), но с учетом европейской проблематики, коснемся вновь основных аспектов, поскольку существует мнение, что свойства низкомышьяковых бронз мало отличаются от свойств чистой меди. Только с 4 % содержания мышьяка появляются резкие отличия в твердости (Northover, 1989, p. 113). Действительно, изделия из чистой меди при деформации 75 % могут достичь твердости 135 HV, а твердость меди с содержанием 2.6 % мышьяка после холоднойковки растет с 65-70 HV до 150-160 HV. Но даже в диапазоне 0.5-2 % пластичность и прочность этого металла заметно лучше, чем у чистой меди, так как мышьяк играл также роль деоксиданта (Scott, 1991, p. 82; Kienlin, 2008, S. 268; Budd, Ottawa, 1990, p. 95).

Следующий переход к оловянным сплавам менее понятен, так как олово при невысоких концентрациях имеет незначительные преимущества перед мышьяком (Kienlin, 2008, S. 180). Но на материалах Северной Евразии достаточно отчетливо видна зависимость между использованием легкоплавких руд и мышьяком и использованием тугоплавких руд и оловом (Grigoriev, 2017). Это объясняется тем, что мышьяк при высокотемпературной плавке в окислительных условиях формирует оксид, который улетучивается из металла. Эта летучесть и токсичность мышьяка спровоцировала даже идеи о переходе на оловянные сплавы по медицинским соображениям (Muhly, 1976, p. 90), и эта идея часто встречается в литературе. Но в древности до этого тысячи лет использовали мышьяк, и просто не знали об этом. Более того, в Северной Евразии руду с мышьяком плавил в жилищах, и только после отказа от этих руд, плавки в жилищах исчезают, что было вызвано тем запахом, который появляется при плавке сульфидной руды (Kienlin, 2008, S. 280; Grigoriev, 2017, p. 22). Поэтому более важно обсудить свойства этих металлов.

Безусловно, для древнего человека, в первую очередь, были важны рабочие свойства орудия. И преимущества высоколегированного металла очевидны. При низком содержании олова нет разницы в использовании топоров из оловянной бронзы и мышьяковой меди. Но при высоких содержаниях ситуация меняется. Топор без примесей олова надо затачивать через 15-30 минут работы, а топор с 6 % содержанием олова – через 250-310 минут (Kienlin, 2008, S. 184, 247). При низких концентрациях твердость оловянных бронз лишь незначительно выше мышьяковой меди. Только при деформации 50 % оловянная бронза становится тверже мышьяковой меди. Она повышается до 200 HV лишь в изделиях с содержанием свыше 6 % олова (Kienlin, 2008, S. 176, 180, 274, 275). Но даже при содержании легирующего агента 8 % после 50 % холодной деформации твердость оловянной бронзы менее чем на четверть выше твердости мышьяковой бронзы (Scott, 1991, p. 83). Однако проблема в том, что в древности было трудно создать мышьяковый сплав с содержанием выше 8 % (Northover, 1989, p. 113). В отличие от этого, олово дает возможность повышать его содержание до любых пределов независимо от исходной руды, что обеспечивало стабильность результата (Kienlin, 2008, S. 176).

Но на ранних стадиях металлургии не существовало высоколегированных бронз. В ПБВ Северной Евразии и в раннем РБВ Европы основная масса изделий имеет степень легированности недостаточную для эффективной конкуренции с мышьяковыми и сурьмяно-мышьяковыми сплавами. К тому же, месторождения олова сравнительно редки, его надо было транспортировать на значительные расстояния, поэтому даже оловянные сплавы с небольшим преимуществом над мышьяковыми могли быть не слишком рентабельны.

И мы вынуждены вновь вернуться к летучести мышьяка. В окислительных условиях он формирует триоксид, который испаряется (McKerrell, Tylecote, 1972; Sabatini, 2015). Это лимитировало плавки этого металла и отжиги при ковке. Не случайно в Иберии, где использовался именно этот металл, в течение всей эпохи бронзы, а в Центральной Европе в энеолите, доминировала холоднаяковка (Kienlin, 2008, S. 108, 109). Та же ситуация и на Урале: металлурги отжигали мышьяковую медь при низких температурах, литье было простым и использовалось очень ограничено (Дегтярева, 2010, с. 121, 123, 134, 138). Добавки никеля отчасти решают эту проблему и способствуют сохранению мышьяка в металле. Поэтому мы видим повсеместно примесь никеля в древней мышьяковой меди (Tylecote, 1976, p. 9). Причем, в ряде случаев это преднамеренные добавки (Рындина, Равич, 2012, с. 5-9). Естественно, при переиспользовании металла степень легированности постоянно снижалась. И при больших объемах это становилось проблемой. Вероятно, именно поэтому олово, не имеющее этого недостатка, способствовало широкому внедрению литейных технологий, а не потому, что оловянная бронза лучше заполняет литейные формы. Т. Кинлин показал, что на успешное литье металла его состав не оказывает решающей роли. Более важны иные факторы: температура металла и степень нагрева литейной формы. И даже на фоне чистой меди температура плавления металла с низким содержанием легирующего агента снижается незначительно: Cu – 1084 °C, 5 % Cu+As и Cu+Sn – 1000 °C. Заметное снижение ниже 1000 °C начинается лишь при содержании легирующих компонентов 8-10 % (Kienlin, 2008, S. 253, 262).

Но в Северной Евразии в рамках этой проблемы испарения мышьяка более важным был переход с бедных легкоплавких руд на тугоплавкие руды в кварце и на сульфиды. С началом их использования исчезла возможность производства мышьяковой меди (Grigoriev, 2017, pp. 23, 24). Особенно это относится к плавке халькопирита. Это резко окислительный процесс (Moesta u.a., 1989, S. 151), и в этих условиях мышьяк бы окислялся и испарялся. Но в евразийской металлургии плавки окисленной руды из кварцевых пород тоже велись в резко окислительной атмосфере.

И в контексте этой работы важно отметить, что та же закономерность прослежена на материалах Центральной Европы. В топорах из оловянной бронзы выявлены включения сульфидов, что указывает на использование сульфидных руд. И первоначально это происходит в тех районах, где медь содержит мало примесей мышьяка и сурьмы. В целом, этот процесс перехода от топоров типа Альтхайм из мышьяковой меди к топорам типа Нейруц с сурьмяно-мышьяковым легированием из блеклых руд, и далее к топорам типа Лангквайд из оловянных бронз позднего РБВ непосредственно связан с переходом на новые типы месторождений и новые технологии плавки руды, и с развитием межрегиональной сети обменов. Это провоцировало изменения и в технике металлообработки, а также создавало условия для дальнейшего динамичного развития производства (Kienlin, 2008, S. 235, 251, 276, 278).

Существует еще одна зависимость – между ростом металлопотребления и типом руды. Если говорить грубо, то тугоплавкие руды, такие как медно-железные сульфиды или руды в кварцевых породах шире распространены и более богаты. То есть, этот переход на использование новых типов руд был стимулирован социально-экономическими запросами, и он же вызывал изменение типов легирования. С этим были связаны также изменения технологий металлообработки и, в конечном счете, морфология металлических изделий. Но появившись, оловянное легирование способствует формированию широкой сети коммуникаций и обмена, так как необходимо было обеспечить его транспортировку на значительные расстояния, и всем участвовавшим в этом процессе агентам было необходимо обеспечивать производство каких-то продуктов для обмена на металл.

Все вместе это формирует очень сложный комплекс различных связей, которые определяли своеобразие металлургического производства в разных регионах. И поскольку в основе этой системы лежит геология месторождений и химические процессы, то следует ожидать, что вся эта картина достаточно универсальна, и должна себя проявлять повсеместно. В принципе, так и есть, и в большинстве районов мы видим эту последовательность использования чистой меди, мышьяковой и оловянной бронзы. И темой этого обсуждения является то, каким образом эта система работала в европейском пространстве.

Европейская периодизация эпохи раннего металла

Необходимо сказать несколько слов о периодизации эпохи раннего металла в Европе. Существует определенное терминологическое разнообразие в употреблении названия для первой эпохи, энеолита. Если в юго-восточной Европе это название было принято всегда, то в остальной части период культур с ранним металлом обозначается термином «поздний неолит», а впоследствии в обиход вошел и термин «медный век». Но мы будем придерживаться здесь единого термина «энеолит».

Существует серия периодизационных систем, которые сильно различаются, и которые направлены на выявление региональной специфики, но основной является периодизация П. Райнке для Южной Германии, актуальная для большей части Центральной Европы, и к которой, как правило, привязывают прочие региональные схемы. Эта периодизация делит бронзовый век на три периода: РБВ (Bz A), СБВ (Bz B, C) и ПБВ (Bz D, и На A, B). Наиболее интересный для нас РБВ делится на две части А1 и А2. При сопоставлении этой шкалы с евразийской следует иметь в виду, что под РБВ понимается период 2200-1500 гг. до н.э., соответствующий в Евразии переходному периоду между СБВ и ПБВ и развитому ПБВ; СБВ, в целом, соответствует развитому ПБВ (срубно-алакульскому периоду), а ПБВ – периоду финальной бронзы.

Рудная база древней европейской металлургии

Для понимания особенностей развития европейской металлургии, ее региональной специфики, и ее отличия от евразийской металлургии, в первую очередь необходимо коснуться проблемы рудной базы тех районов, которые обсуждаются в настоящем исследовании (Рисунок 1).

В Румынии, Сербии и Болгарии имеется много медных месторождений с выходом на поверхность богатых окисленных руд (малахит и др.), самыми известными из которых

являются Рудна Глава, Ждрело, Рудник, Бор и Майданпек в Сербии и Ай Бунар в Болгарии (Черных, 1978; Pernicka et al., 1993, p. 25; Pernicka, Anthony, 2010, p. 170; Radivojević et al., 2010, p. 2777).

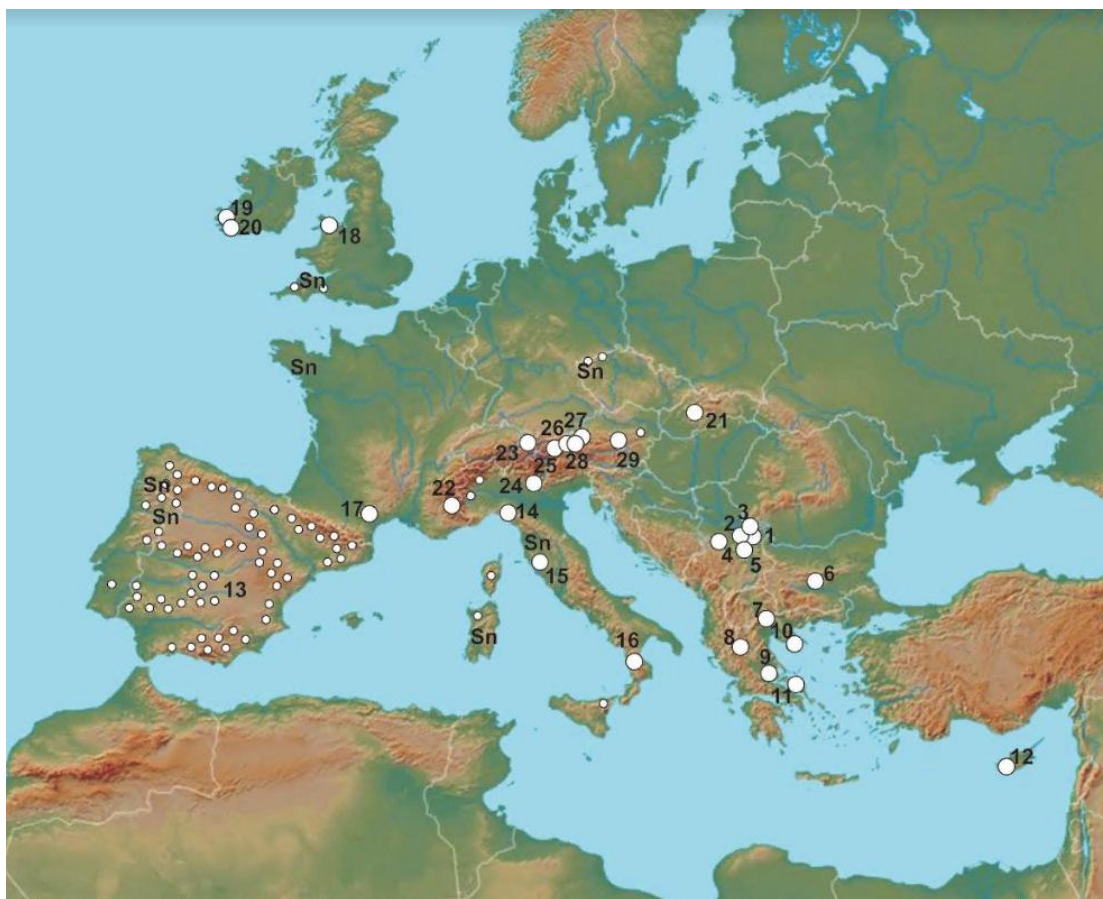


Рисунок 1. Карта основных медных месторождений Европы, упоминаемых в тексте: 1 – Рудна Глава, 2 – Ждрело, 3 – Майданпек, 4 – Рудник, 5 – Бор, 6 – Ай Бунар, 7 – Эвзони, 8 – Периволи, 9 – Отрис, 10 – Ситония, 11 – Эвбея, 12 – Кипр, 13 – основные зоны месторождения Иберии, 14 – Либьола, Монте Лорето, 15 – Поджио Малинверно, 16 – Гротта делла Монака, 17 – Кабриер, 18 – Грейт Орм, 19 – Росс Айлэнд, 20 – Маунт Габриэль, 21 – Старэ Хори, Шпанья Долина, 22 – Ст. Веран, 23 – Оберхальбштайн, 24 – Аква Фредда, 25 – Швац, 26 – Брикслегг, 27 – Миттерберг, 28 – Китцбюэль, Фихофен, 29 – Железорудные Альпы. Sn – основные месторождения олова.

Принято считать, что в материковой Греции и на островах медные руды редки и не слишком богаты. Поэтому и следы их плавок встречаются редко (в III тыс. до н.э. известно небольшое количество шлака на поселениях Хриокамино и Скуриэ) (Muhly, 2008, p. 72). Но это мнение об ограниченности ресурсов правомерно для относительно поздних стадий развития металлургии, а для самых ранних стадий ситуация с обеспечением рудой выглядит иначе, так как в это время были важны небольшие месторождения, выходящие на поверхность. И в Греции известны десятки таких небольших месторождений, как на островах, так и в материковой части. В первую очередь отметим серию месторождений в офиолитовых комплексах: Эвзони (у границы с Македонией), Периволи в горах Пинд, месторождения в горах Отрис и на полуострове Ситония (Халкидика). В Северо-восточной Греции известны и порфиоровые

месторождения. Существуют упоминания Страбона о крупном месторождении на Эвбее (Pernicka, 1987, S. 619-623, Abb. 5).

Одним из самых богатых медью ареалов древности является Кипр, где многочисленные и мощные месторождения приурочены к ультрабазитовым и базитовым магматитам. На этих месторождениях практически нет карбонатов меди, основное оруденение представлено халькопиритом с кварцем (Hauptmann, 2008, S. 60; Kassianidou, 2009, p. 57). Поэтому и расцвет кипрской металлургии начинается сравнительно поздно, в СБВ, когда появляется оловянное легирование и массовое производство из сульфидов. Но на ранних стадиях здесь было возможно ограниченное местное производство мышьяковой меди. В районе Лимассола есть месторождение арсенопирита. И неподалеку в Эпископи-Фанеромени в тигле обнаружено 1.5 % мышьяка. Находка шлака с мышьяком сделана и на востоке острова, в Троули. Это производство датируется около 2000 г. до н.э. (Zwicker, 1989, S. 196).

Другой богатый медью район, Иберия, находится в Западном Средиземноморье. Здесь, напротив, имеется огромное количество месторождений с окисленными медными рудами, и главной особенностью региона является то, что большинство руд имеет примеси мышьяка, реже встречаются месторождения с примесью сурьмы, и как исключение (в провинциях Авила и Толедо) с примесью олова. Лишь на юге известны месторождения с блеклыми рудами (Montero-Ruiz, de la Esperanza, 2004, S. 54-59).

В Центральном Средиземноморье медные руды, которые использовались в древности, сравнительно редки. Основные рудные регионы Италии находятся в Альпах, западно-центральной Италии и на Сардинии, хотя есть мелкие месторождения в Калабрии, в Северо-восточной Сицилии и на Корсике. Минерализация очень различна: оксиды и медно-железные сульфиды, блеклые руды (Dolfini, 2013, p. 24). Лучше изучены энеолитические выработки в Восточной Лигурии (Либьола и Монте Лорето), где руда приурочена к контакту базальтов и серпентинитов (Pearce, 2009, p. 280, 281). На северо-западе Сардинии есть месторождения меди в офиолитах (Hauptmann, 2009, p. 449), хотя надежной информации об их эксплуатации нет. В Этрурии обнаружены редкие выходы окисленных минералов в известняках и кварце (напр. Поджио Малинверно), но надежно документированных доримских выработок там нет. Не ясна ситуация и с выработками в Калабрии (Гротта делла Монака) (Dolfini, 2013, p. 24; Giardino et al., 2014, pp. 655-657).

В Южной Франции медь представлена блеклыми рудами с примесью сурьмы и мышьяка, а также офиолитовой сульфидной минерализацией с повышенным содержанием мышьяка. Для энеолитического времени здесь выявлена древняя добыча на рудниках Рок-Финестре и Пьок-Фаррус 4 в массиве Кабриер (Mille, Carozza, 2009, pp. 148-151), а также работы в долине Ле Брюм на небольших жилах тетраэдрита в ассоциации с халькопиритом, малахитом и азуритом в доломитах, жилах кварца и кварцита (Ambert et al., 2009, pp. 285, 289).

На Британских островах известен ряд медных месторождений, но они отсутствовали в самой развитой в экономическом плане Южной Англии. Руды известны только в Ирландии, Шотландии, Уэльсе, Северной Англии и в Корнуолле (Rowlands, 1976, pp. 3, 4). Причем в последнем районе медное оруденение связано с оловянным. Одним из крупнейших является рудник Грейт Орм в Северном Уэльсе, где халькопирит, реже малахит, приурочен к доломитовым породам (Ixer, 2001). Предполагается, что здесь было добыто около 1760 тонн меди. На территории Британии это самый ранний из известных

рудников, но добыча здесь начата не ранее 1500 г. до н.э. (Parker Pearson, 2009, p. 105). До этого металл везли из Юго-западной Ирландии, где эксплуатировался рудник Росс Айлэнд. Минерализация в нем представлена халькопиритом, борнитом, арсенопиритом и теннантитом в известняках. После прекращения его эксплуатации около 1900 г. до н.э. была начата добыча на руднике на Маунт Габриэль в том же районе, где руда представлена уже преимущественно медно-железными сульфидами (O'Brien, 1994; 2004, pp. 40, 461-468, 572).

В ряде районов Центральной и Западной Германии известны лишь небольшие месторождения, часть с блеклыми рудами, но данные об их эксплуатации в древности отсутствуют (Krause, 2003, S. 32, 33). Нижняя Германия, Нидерланды и Скандинавия медных руд не имеют.

В Западных Карпатах, в Словакии, известны месторождения с малахитом, тетраэдритом и халькопиритом (Старэ Хори, Шпанья Долина), а в Циппс-Гемер в Рудных Горах – с сульфидными и окисленными рудами, но данных об их добыче нет (Krause, 2003, S. 41, 42).

Самым важным рудным регионом Европы были Альпы. Много лет назад была сформулирована их главная характеристика: для альпийских месторождений, в первую очередь, характерна минерализация халькопирита, который часто приурочен к кварцу (Pittioni, 1954, S. 524). Но существует ряд региональных особенностей. На западе, во Французских Альпах (Сен Веран), присутствует минерализация борнита (Maas, 2004, S. 117-119). В Западных Швейцарских Альпах (кантоны Берн и Валле) известна серия месторождений колчеданных и блеклых руд, которые эксплуатировались в ПБВ (Krause, 2003, S. 34). На юго-востоке, в районе Оберхальбштайн (Граубюнден) в ПБВ добывали первичные руды в офиолитах, блеклые руды там отсутствуют (Fasnacht, S. 108, 109; Krause, 2009, S. 52; Naef, 2014, S. 78). В прилегающем к нему району Трентино в Италии выявлена эксплуатация в ПБВ месторождения Аква Фредда, с халькопиритом в кристаллических сланцах, кварце и силикатах (Hohlmann, Hauptmann, Schröder, 2004, S. 263). Но наиболее многочисленные следы древних работ выявлены в Восточных Альпах, в Северном Тироле, Зальцбурге и Штирии. Большинство этих месторождений представлено халькопиритом, но встречаются борнит и блеклые руды (тетраэдрит с сурьмой и примесью мышьяка). Руды, как правило, приурочены к доломитам и кварцевой породе (Martinek, Sydow, 2004, S. 201, 202; Goldenberg, Rieser, 2004, S. 39; Goldenberg, 2004, S. 167; Primas, 2008, S. 120). Самыми важными были месторождения в осадочных породах Швац и Брикслегг в нижнем течении реки Инн с блеклыми рудами, и месторождения халькопирита в районах Китцбюэль, Фихофен в Глеммталь, в округе Миттерберг к югу от Зальцбурга, в Железорудных Альпах и Нижней Австрии (Lutz, Pernicka, 2013, p. 122, 123).

Из этого описания следует ряд важных **выводов**. На Северных Балканах была идеальная ситуация для плавок на ранних ступенях развития металлургии, с обилием месторождений с чистым малахитом. В Эгеиде и Италии, где достаточно рано возникают развитые общества, медная минерализация сравнительно небогата, и не могла обеспечить даже производство мышьяковой меди. И будущее развитие цивилизации здесь в значительной степени зависело от импорта сырья. Исключением являются офиолитовые месторождения в Греции, и вероятно, Лигурии и Сардинии, удобные для производства мышьяковой меди. Этого было достаточно для ранних стадий развития металлургии, но было недостаточно при резком росте потребления металла. Руды Кипра очень богаты, но

требуют уже достаточно развитых металлургических технологий, хотя ограниченное количество меди, в том числе мышьяковой, для местных нужд они могли обеспечить.

В Западном Средиземноморье, в Иберии, обилие медно-мышьяковых руд позволяло достаточно рано начать производство качественного металла, но именно это обеспечило большую долю этого металла в энеолите и РБВ региона, чем в других ареалах.

Огромные запасы альпийских руд приурочены, преимущественно, к Восточным Альпам. Окисленные минералы на этих месторождениях представлены слабо, но имеется хорошая минерализация блеклых руд, позволявших производить сурьмяно-мышьяковые бронзы. Основной рудой являются медно-железные сульфиды, причем залегающие в тугоплавких породах, что делало невозможным их использование на ранних стадиях развития металлургии. Сходная ситуация наблюдается на месторождениях меньшего объема в Южной Франции, Ирландии и Британии, где тоже преобладают блеклые руды и медно-железные сульфиды.

И огромные пространства Западной и Северной Европы вовсе не имели значительных медных источников, что на фоне раннего развития здесь сельскохозяйственных обществ, провоцировало втягивание этих районов в систему обмена.

База исследования

В настоящее время для Европы и ряда иных регионов создана, так называемая, Штутгартская база данных по древнему металлу, включающая в себя 35491 анализ (Krause, 2003). Если оставить в ней только европейские анализы энеолита и бронзового века, это составит 29707 (поздняя часть этого времени на некоторых территориях рассматривается как Ранний Железный Век). Это достаточно большой объем информации, позволяющий делать статистически достоверные выводы.

Необходимо сказать, что в европейской археометаллургии при обработке этой базы данных принято относить металл к более детальным группам на основании комбинации различных примесей, что позволяет судить о его связи с конкретными типами руды (напр. Junghans, Sangmeister, Schröder, 1960; Krause, 2003). Но нас здесь интересуют типы сплавов. Существуют проблемы с их оценкой. Для сплавов с оловом взят конвенционный порог 1 %. В качестве порога мышьяковых и сурьмяных сплавов здесь принят рассчитанный для синташтинской культуры 0.3 % (Grigoriev, 2015, p. 153). Но необходимо иметь в виду условность этого порога. Медно-мышьяковые сплавы могли получать различным путем – легированием мышьяковых минералов, плавкой специфических руд, например, блеклых, смеси этих руд с обычными рудами (не обязательно намеренной). Кроме того, мышьяк испаряется при повторных переплавках и при плавке руды. Поэтому этот порог условный и не универсальный для каждой ситуации. Он выбран лишь для первичной оценки. Условность присутствует и при хронологической группировке, так как объединение всех европейских материалов в какой-то один горизонт отражает разные исторические процессы. Например, металлургия Пиренейского полуострова в силу геологических и исторических причин была подвержена своим закономерностям, на которые иногда накладывались импульсы и процессы технологических изменений, происходившие в северных ареалах Европы. В Греции Бронзовый Век начинается раньше, уже в конце IV тыс. до н.э., но при обработке базы данных за основу была взята центральноевропейская периодизация. В результате,

материалы РБВ Греции попали в группу энеолитических материалов. И в Болгарии прото-Бронзовый Век начинается уже в первой половине IV тыс. до н.э. Поэтому ниже приводится достаточно размытая картина наиболее общих тенденций (Таблица 1).

Таблица 1. Типы сплавов в различные периоды эпохи раннего металла Европы

	Cu	Cu+As	Cu+Sb	Cu+As +Sb	Cu+Sn+ As	Cu+Sn +Sb	Cu+Sn+As +Sb	Cu+Sn	Всего
Энеолит	2265	1473	127	91	73	1	17	57	4104
%	55,19	35,89	3,09	2,22	1,78	0,02	0,41	1,39	100
РБВ	1877	2060	1144	6407	2401	412	2844	3022	20262
%	9,26	10,17	5,65	31,62	11,85	2,5	14,04	14,91	100
СБВ	62	14	5	11	792	67	234	648	1833
%	3,38	0,76	0,27	0,6	43,21	3,66	12,77	35,35	100
ПБВ	87	25	13	47	280	193	817	619	2081
%	4,18	1,2	0,62	2,26	13,46	9,27	39,26	29,75	100
I тыс. до н.э.	551	13	9	4	235	35	87	493	1427
%	38,61	0,91	0,63	0,28	16,47	2,45	6,1	34,55	100

Европейская металлургия в энеолите

В энеолите Европы данные по плавкам ограничены. Единичные небольшие фрагменты шлака выявлены в Селевач (Сербия), Зенгёвакони (Венгрия), Брикслегг и Гёченберг (Австрия), Монте Лорето (Италия), Ла Капитель дю Брюм (Франция), Серро-Виртуд (Испания), и менее определенные находки на Корсике и Сардинии. Как правило, это плавка относительно чистой окисленной, реже блеклой руды, в небольших печах в условиях низких температур и восстановительной атмосферы (Roberts, 2009, pp. 131-134).

Самым мощным металлургическим ареалом европейского энеолита были Северные Балканы. Раньше отсутствие шлака здесь производило впечатление, что изделия были получены из самородной меди. Но обилие массивных медных орудий провоцировало сомнения в этом. Сейчас на ряде поселений (Медведняк, Селевач, Винча, Анзанбегово IV, Стапари, Беловодэ) уже для первой половины V тыс. до н.э. установлена плавка малахита, и даже его связь с конкретными рудниками¹: малахит с поселений Селевач и Беловодэ идентичен малахиту из Рудна Глава (Pernicka et al., 1993, pp. 3, 5, 37; Pernicka, Anthony, 2010, pp. 168, 170; Radivojević et al., 2010, p. 2778). Редкость шлака объясняется тем, что при плавке чистого малахита шлак почти не образуется. Даже если в руде есть примесь породы, кусочки шлака невелики. Например, на поселении Беловодэ кусочки шлака были около 4 г, и сильно обогащены медью и купритом (Radivojević et al., 2010, p. 2778). Вскоре

¹ До установления этих фактов даже предполагалось, что такой крупный рудник как Рудна Глава был связан с добычей малахита для производства украшений, хотя для начальных стадий это вполне возможно (Borić, 2009, p. 237).

металлургия начинает распространяться из Юго-восточной Европы в Центральную Европу, где первоначально тоже используется сравнительно чистая медь.

И, вероятно, с Балкан металлургическое производство распространяется на юг, в Грецию, где ранний шлак выявлен на севере в Ситагри (ок. 4000 г. до н.э.), а позже, около 3000 г. до н.э., руду плавил на Кикладах (Pernicka, 1987, S. 614). Но не исключены и восточные импульсы. В Медном Веке Греции анализы показывают серию объектов с повышенным содержанием мышьяка и никеля (Pernicka, 1987, S. 695). Вероятно, это отражает плавку руд из офиолитовых массивов, удобных для производства мышьяковой меди.

И существовал, возможно, второй путь с Ближнего Востока через Средиземноморье. Когда этот поток влияния достигает Иберии и Италии², там появляется плавка руд с примесью мышьяка. Эти руды широко распространены на Иберийском полуострове. Но эта же традиция появляется и в ряде иных мест.

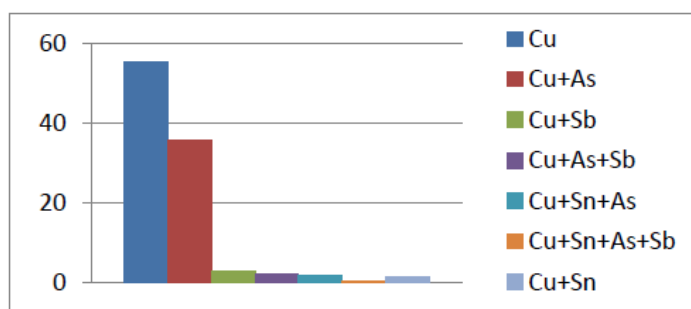


Рисунок 2. Типы сплавов в энеолите Европы (%)

Вся эта картина полностью соответствует тому, что мы видим в таблице (Таблица 1; Рисунок 2). В этот период явно доминировали чистая медь и медно-мышьяковые сплавы. В этой базе данных присутствует 148 изделий с оловом, что составляет около 3,6 % от всего металла. В некоторых из них содержание олова колеблется от 1,3 до 10,5 %. Правда, часть этих вещей происходит из контекста культур шнуровой керамики и колоколовидных кубков, и может быть синхронна раннему РБВ. Поэтому допускается, что имели место эксперименты с разными металлами, но настоящей металлургии бронзы не случилось (Krause, 2003, S. 210-212). И значительная часть находок с высоким содержанием олова происходит из Греции, т. е. относится уже к РБВ.

Вероятно, природа этого металла различна. В Греции это безусловно искусственный сплав. Возможно, находки этого времени из контекста прото-Бронзового Века Болгарии – тоже. В Корнуолле и Саксонии месторождения олова связаны с медью, поэтому их руды могли случайно выплавить вместе. Древний шлак из Ранис в Саксонии содержал 0,62 % меди и 0,05 % олова, но в частицах меди содержание олова достигало 1,2 %. В поздних (XIX в. н.э.) плавках руды из Корнуолла, получали медь с содержанием олова 0,7 %. Один фрагмент руды содержал 0,94 % олова и 12,3 % меди, что могло дать в меди до 7 % олова. Поэтому ранние оловянные бронзы могут быть результатом плавки такой руды (Tylecote, 1976, p. 14). Это подтверждается и находками из более позднего контекста эпохи бронзы Испании. В провинции Авила, на поселениях бронзового века Альдегордилло и Гравера дель Пуэнте Вьехо обнаружена медная руда со средним содержанием олова 2,63 %, но на

² В Италию, возможно, металлургия распространялась с Балкан через Восточные Альпы (Dolfini, 2013, p. 43).

руднике есть образцы до 4.99 % (Montero-Ruiz, de la Esperanza, 2004, S. 60). Поэтому в значительном ряде случаев это результат случайной плавки.

Но на Северных Балканах ситуация была, возможно, иной. Там известно 15 энеолитических изделий из оловянной бронзы с содержанием олова от 1 до 11 %. Их исследование показывает, что металлурги с V тыс. до н.э. знали свойство этого металла и намеренно выплавляли его из разных смесей оловянного сульфида станина с блеклой рудой, халькопиритом и иными рудами, что подтверждается и обнаружением медно-оловянного шлака на поселении Зенгёвакони в Венгрии. Но это было связано не столько с производством меди, сколько с золотом, так как цвет оловянной бронзы похож на цвет золота, т.е. речь идет об эпизодическом изготовлении престижного металла (Radivojević et al., 2014, pp. 237-247).

Эту картину и отражает таблица 2. Она требует только одного комментария. Относительно высокая доля бронз в Северной Италии и Франции может быть вызвана отчасти малой выборкой, отчасти неопределенностью контекста находок. Но последующая относительно высокая доля бронз в итальянском РБВ позволяет допускать и раннюю эксплуатацию местных источников олова.

Таблица 2. Находки оловянной бронзы в период энеолита.

	Северные Балканы	Греция	Северная Италия	Южная Италия, Сардиния и Сицилия	Иберия	Ирландия	Британия и Шотландия	Карпатский Бассейн	Южная Франция	Франция	Альпы	Южная Германия и Чехия	Центральная и Северная Германия, Польша и Скандинавия
Число анализов	1058	233	35*	1*	952	7*	1*	1029	9*	19*	247	212	299
Доля оловянных бронз (%)	4,73**	25,32**	8,57	0	1,47	0	0	0,49	0	10,53	0	1,89**	5,35**
Среднее содержание олова в оловянных бронзах (%)	5,31	6,24	6,07	–	7,55	–	–	5,68	–	4,5	–	4,8	7,49

* Статистически недостоверная выборка

** Часть находок может хронологически относиться к периоду РБВ

В других районах уже в энеолите начинается использование блеклых руд, которые при плавке давали металл с повышенным содержанием мышьяка, сурьмы и серебра. Самым ранним местом добычи и плавки блеклых руд является Брикслегг в Тироле, датируемый второй половиной V тыс. до н.э. (Hörpner et al., 2005). Более поздние следы плавки блеклых руд III тыс. до н.э. выявлены в Ла Капитель дю Брюм в Южной Франции, в массиве Кабриер (Mille, Carozza, 2009, p. 151). Руда здесь содержала до 20 % сурьмы, и в ходе плавки из руды полностью удалялся мышьяк и часть сурьмы, но повышалось содержание серебра. В результате получали медь с сурьмой (Ambert et al., 2009, p. 289).

Этот пример очень показателен. Даже при плавке относительно чистой руды происходит сокращение легирующего компонента. И только за счет его большого содержания в исходной руде удавалось получить легированный металл. Применительно к мышьяку об этом писал Р. Тайликот. Он указывал, что при плавке сульфидных руд происходят существенные потери мышьяка. Поэтому при их использовании нельзя получить такую же мышьяковую медь, как при плавке оксидов. Но сульфиды в зоне вторичного обогащения содержат больше мышьяка, и при всех потерях какое-то его количество остается в металле (Tylecote, 1976, pp. 6, 7).

Металл из этих руд в энеолите еще не занимал заметного места в общем объеме потребления (Таблица 1; Рисунок 2). Правда, в энеолите концентрация элементов в металле, выплавленном из блеклых руд, была ниже, чем в последующую эпоху (Krause, 2003, S. 133-137, 144, 145). Поэтому в этой таблице часть этого металла может фигурировать как чистая медь. Причиной этого перехода к блеклым рудам стало, помимо их широкого распространения в Европе, вероятно то, что по сравнению с мышьяком, сурьма менее летуча, и поэтому лучше сохраняется в металле.

Европейская металлургия в РБВ

В РБВ для большей части Европы характерен, так называемый, *Fahlerzmetal*, то есть металл, выплавленный из блеклых руд. Особенно это характерно для районов, где близки соответствующие рудные источники. В Восточных Альпах большинство металла этого времени выплавлено из блеклых руд районов Швац и Брикслегг (Lutz, Pernicka, 2013, pp. 122, 126). Это, конечно, сочетается и с использованием окисленной руды, причем на тех же поселениях. Так, на поселении РБВ Бухберг/Визинг (ок. XIX в. до н.э.) в Австрии найдена и окисленная и блеклая руда (Krause, 2003, S. 39). К сожалению, в Центральной Европе есть только несколько пунктов плавки в РБВ (Primas, 2008, S. 120). Отчасти это связано с недостаточной изученностью. Но не исключено, что малые объемы соответствующего шлака обусловлены тщательной сортировкой руды и удалением породы. Например, при плавке тетраэдрита из кварцевых и доломитовых пород в Визинг получали медь с высоким содержанием As и Sb. При этом в шлаке присутствует много оксидов железа (56.9 %), что не соответствует руде и породе. Поэтому предполагается, что их могли добавлять в шихту (Martinek, Sydow, 2004, S. 204-209). Но не исключено, что просто производилась тщательная сортировка руды, с удалением тугоплавких компонентов породы. Поэтому в плавку тоже старались отбирать более чистые куски руды. Тем не менее, анализ шлака из Брикслегг/Марияхильфбергг показывает, что какое-то количество примесей рудовмещающей породы в виде доломита и кварца в шихту попадали (Huijsmanns, Krauß, Stibich, 2004, S. 60-61). И при тщательном исследовании рудников и медеплавилен на Росс Айлэнд в Ирландии был сделан вывод о том, что руда максимально освобождалась от породы, плавка велась без использования флюсов, температуры были невысокими, а объемы невелики. Это и вызывало отсутствие больших объемов шлака (O'Brien, 2004, p. 471).

В некоторых районах, например, в Иберии или Эгеиде, более характерна мышьяковая медь. Для Эгеиды на фоне отсутствия подобной минерализации, это не вполне понятно, допускаются какие-то поставки легирующего сырья (Branigan, 1974, p. 58). Но для Иберии подобные месторождения с обилием мышьяковых примесей характерны.

В Ирландию и Британию металлургическое производство проникает достаточно поздно, около середины III тыс. до н.э., вместе с континентальной культурой кубков (O'Brien, 2004, p. 1; Parker Pearson, 2009, p. 103). При этом для Британии добыча медных руд этого периода не установлена. Химические анализы металла показали, что все сырье сюда привозилось из Ирландии, где оно добывалось на рудниках Росс Айлэнд, и, как и на континенте, это были блеклые руды (O'Brien, 2004; Needham, 2004, p. 235). Этап преимущественного использования карбонатов меди здесь, как и во Франции, отсутствовал. Это является надежным показателем того, что металлургия была привнесена сюда мигрирующими коллективами, а не формировалась путем независимого развития.

Благодаря развитию этих процессов, в РБВ ситуация меняется: падает доля чистой меди и сплавов с мышьяком, но растут доли сплавов с мышьяком и сурьмой (Таблица 1; Рисунок 3). Этому выбору блеклых руд соответствовали и технологии металлообработки. В большинстве районов доминируют не слишком массивные изделия, хотя общее их количество достаточно велико. Ярким примером является унетичкая культура Центральной Европы с набором прекрасных украшений из фольги и проволоки, что типично и для культур в прилегающих регионах. Существуют клады массивных слитков, указывающих на широкую циркуляцию металла и наличие торговых связей между производящими и потребляющими регионами.

И заметно растет доля сплавов с оловом (Таблица 1; Рисунок 3). Оловом, при этом, могут быть легированы и мышьяково-сурьмяные сплавы. Общее количество оловянных сплавов достигает 43.3 %, но значительная часть этого металла приходится на младшую фазу РБВ (A2) (Krause, 1989, S. 27, 28).

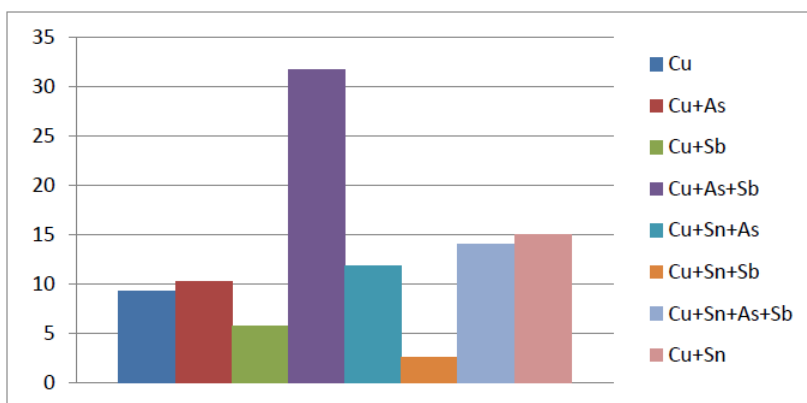


Рисунок 3. Типы сплавов в РБВ Европы (%)

В старшем РБВ Центральной Европы ситуация с оловянными бронзами мало меняется по сравнению с энеолитом. Лишь некоторые из них позволяют говорить о намеренном производстве. В могильнике Зинген, на границе Германии и Швейцарии, обнаружены три кинжала, легированные оловом, и имеющие атлантические параллели, что позволило сделать вывод об их импорте из Бретани или Британии (Krause, 1989, S. 27, 28). В могильнике Ремсек-Альдинген найден фрагмент проволоки (8.65 %), кинжал (5.75 %) и заклепка (1.8 %), а в могильнике Райстинг обнаружен кинжал с содержанием олова 4.7 %. Но в других изделиях эта примесь ниже 1 % (Krause, 2003, S. 213, 214). И показательна ситуация в могильнике Вичапи-Опатовце, где из 112 анализов, только два имеют содержание олова выше 1 %, остальные показывают гомогенный рассев от 0.1 до 1 %. Только с началом позднего РБВ ситуация меняется, и появляются изделия со

стабильно высоким содержанием олова (Krause, 2003, S. 216, 219, 220, Abb. 200; Kienlin, 2008, S. 184). Поэтому действительно, часть изделий периода A1 с высоким содержанием олова может рассматриваться как импорт или результат намеренного производства, но часть могла быть получена из саксонских медно-оловянных руд.

Импорт из Британии в это время был вполне возможен. Первые оловянные бронзы там появились около 2300/2200 гг. до н.э., а в Ирландии позже, около 2000 г. до н.э. (O'Brien, 2004, p. 1; Parker Pearson, 2009, p. 103). Учитывая наличие на Корнуолле медно-оловянных руд, часть этих изделий могла быть выплавлена из них, но уже в 2200/2100-2000 гг. до н.э. в Британии, наряду с бронзовыми изделиями, известно металлическое олово (бусы из Саттон Вени и Одурн, заклепки на ноже из Баргерутстёрвэлд, корродированное олово на краю украшения из Рэмэлдри (Needham, 2004, p. 217). То есть, технология эта была известна в полном объеме, но она не стала основой металлургического производства.

Таблица 3. Находки оловянной бронзы в РБВ

	Северные Балканы	Греция	Северная и Восточная Италия	Южная Италия, Сардиния и Сицилия	Иберия	Ирландия	Британия и Шотландия	Карнатский Бассейн	Южная Франция	Франция	Альпы	Южная Германия и Чехия	Центральная и Северная Германия, Польша и Скандинавия
Число анализов	432	155	652	59*	744	1,158	312	3,732	525	419	2,885	4,659	4,488
Доля оловянных бронз (%)	38,89	38,06	63,5	67,8	31,18	63,13	79,49	54,1	39,05	47,97	37,4	22,39	51,58
Среднее содержание олова в оловянных бронзах (%)	6,19	6,52	6,7	7,38	8,12	9,07	10,42	7,23	8,32	7,87	7,47	6,77	6,32

* Статистически недостоверная выборка

Но в РБВ не исключено и использование иных источников олова. Самыми крупными оловянными месторождениями Европы являются на Корнуолле, поэтому не удивительно, что высокую долю оловянных бронз в РБВ мы видим на Британских островах (Таблица 3). Но помимо этого, в Европе известны меньшие по масштабам источники олова в Тоскане и на Сардинии, в Бретани и Рудных Горах, небольшие на Северных Балканах, в Иберии (Garner, 2013, S. 16-18) (Рисунок 1). Поэтому относительно высокая доля этих бронз в Италии (63-68 %) позволяет допускать эксплуатацию собственных источников в Тоскане и на Сардинии. При этом из всех регионов самая малая доля оловянных бронз в этот период в Южной Германии и Чехии (22.23 %), хотя эти районы расположены непосредственно к югу от Рудных Гор. Но оловянные рудники там вполне могли эксплуатироваться, так как севернее мы видим уже достаточно высокую долю этих бронз

(51.58 %). Но в условиях формирующихся торговых связей расстояние до источников сырья не всегда эквивалентно итоговому результату. Тем не менее, данная картина не производит впечатления сложившейся глобальной торговой системы.

Трансформации в позднем РБВ и СБВ

Значительные изменения начинаются в младшей фазе РБВ (А2), когда происходит повсеместный переход на олово. В рамках калиброванных радиоуглеродных дат, начало периода относится приблизительно к XIX/XVIII в. до н.э.

Это довольно интересная и комплексная проблема. Характер этих процессов на европейском пространстве лишь внешне напоминает их в Северной Евразии. На первый взгляд, эти изменения обусловлены проникновением восточных производственных традиций. Выделение Райнеке фазы А2 основано на появлении новых типов металла, характеризующихся серией кладов, в первую очередь, кладом Лангквайд в Баварии. Особенностью этого клада является сочетание изделий, выполненных в традиционной унетичской традиции и присутствием копья, восходящего к восточным сейминско-турбинским прототипам. Но из таблицы 1 мы видели, что в европейском пространстве оловянное легирование появляется до появления изделий, наследующих сейминско-турбинские традиции, но только с их появлением оловянные бронзы становятся ведущим сплавом, причем, с высоким содержанием олова.

Р. Краузе относит это время позднего РБВ (XVIII-XVI вв. до н.э.) к 4 этапу развития металлургии Центральной Европы, когда преимущественная плавка халькопирита сопровождается повсеместным внедрением олова (Krause, 2003, S. 11, 84). Именно этому последнему этапу (точнее фазе А2b) соответствует проникновение сюда сейминско-турбинских бронз (Григорьев, 2018, с. 45). Поэтому появление олова с этими восточными импульсами не связано, но их влияния на широкое распространение этого сплава исключить нельзя.

Есть еще одна отчетливая тенденция в течение всей эпохи бронзы: неуклонное снижение содержания мышьяка в меди (Таблица 4), что делало эту лигатуру менее эффективной по сравнению с оловянными бронзами.

Таблица 4. Среднее содержание мышьяка в меди с повышенным его содержанием (более 0,3 %)

Энеолит	РБВ-1	РБВ-2	СБВ	ПБВ	I тыс. до н.э.
1,58 %	1,24 %	1,08 %	0,71 %	0,65 %	0,55 %

В чем причина этого снижения? На шлаковых материалах Северной Евразии мы отчетливо видим, что при переходе к ПБВ (что близко концу РБВ и началу СБВ Европы) идет переход на более богатые и широко распространенные руды из кислых пород или на сульфиды (Grigoriev, 2017). А их плавка вызывает испарение мышьяка, чем и можно объяснить снижение его содержания в металле. К сожалению, для Европы нет возможности проследить этот процесс на статистическом уровне, так как шлак на поселениях, практически, отсутствует. Но на уровне тенденции это прослежено.

Уже в конце РБВ добыча перемещается с месторождений блеклых руд на месторождения медно-железных сульфидов. Это не было чем-то неожиданным. Подобные технологии в рамках всего РБВ уже существовали. В некоторых районах Восточных Альп

(Восточный Трентино, долина Инна) уже ок. 2000 г. до н.э. (A1b) производилась добыча халькопирита (Stöllner *u.a.*, 2016, S. 76). Во французских Верхних Альпах (Сен Веран) выявлены шахты начала РБВ, где добывался и плавился борнит (Maas, 2004, S. 117-119).

Но массовый переход на эти руды происходит именно в конце РБВ. Это происходит в Тироле, где печи и шлаковые отвалы Миттерберга (Мюльбах на Хохкёниг) датируются с позднего РБВ (Primas, 2008, S. 121). Около 1900 г. до н.э. прекращается добыча блеклых руд на Росс Айлэнд в Ирландии и начинается добыча халькопирита на Маунт Габриэль (O'Brien, 1994; 2004, pp. 40, 461-468, 572). Позже, уже в СБВ, начинает эксплуатироваться рудник Грейт Орм в Уэльсе (Parker Pearson, 2009, p. 105).

Этот переход на медно-железные сульфиды и сокращение добычи блеклых руд происходит повсеместно, что совпадает с переходом на оловянное легирование (O'Brien, 2004, p. 561; 2013; Sperber, 2004, S. 304, 329; Pernicka, Lutz, 2015). Иногда можно встретить мнение о том, что это вызвано именно оловом, так как легирование им требовало чистого от примесей металла (Stöllner *et al.*, 2016, p. 76), но в действительности, металлографические исследования вещей этого периода показывают, что дополнительные легирующие компоненты не вредят оловянному легированию (см. Kienlin, 2008). И в СБВ и ПБВ существует значительная доля металла, легированного оловом, но имеющего примеси мышьяка и сурьмы (Таблица 1). Можно предположить, что интенсивное использование металла в пределах первой фазы РБВ привело к исчерпанию более ограниченных, по сравнению с первичными рудами, запасов блеклых руд. Но после прекращения добычи на руднике Росс Айлэнд в Ирландии добыча на нем была возобновлена в XIX в. н.э., и там было получено 5000 тонн руды (O'Brien, 2004, p. 572). В альпийском регионе мы видим полное прекращение добычи в период A2, и в эпоху СБВ она не возобновлялась. Но в ПБВ, около 1100 г. до н.э., здесь происходит возврат к использованию блеклых руд, наряду с использованием первичных сульфидов (Sperber, 2004, S. 329). Это означает, что, во всяком случае, в некоторых районах прекращение добычи было обусловлено не исчерпанием руды, а какими-то иными процессами.

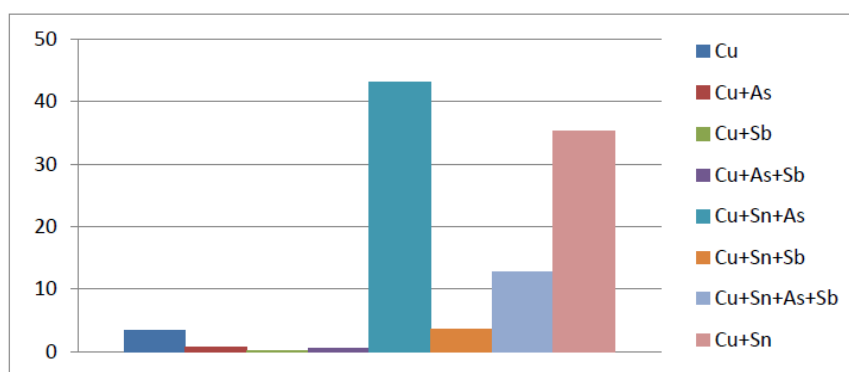


Рисунок 4. Типы сплавов в СБВ Европы (%)

В результате, мы видим (Таблица 1; Рисунок 4), что в целом в Европе почти нет меди из блеклых руд, легированной исключительно сурьмой и мышьяком. В некоторых районах она в плавку попадает, но легируется оловом. В районах, прилегающих к добыче халькопирита в Восточных Альпах, медь из блеклых руд, почти исчезает, и доминирует сырье, полученное при плавке халькопирита. Именно на этот период приходится пик в эксплуатации рудников в районе Миттерберга (Lutz, Pernicka, 2013, pp. 122, 124, 126; Pernicka, Lutz, 2015, S. 107-111).

В территориальном распределении оловянных бронз появляются отчетливые отличия от РБВ: практически везде (где выборка статистически достоверна) подавляющая часть металла представлена ими (Таблица 5). И это почти не зависит от расстояния до источников олова. В Евразии мы видели эту зависимость очень точную (Grigoriev, 2017, p. 29, 30). Отсутствие таковой в Европейском СБВ указывает на хорошо налаженный механизм торговли.

Таблица 5. Находки оловянной бронзы в СБВ

	Северные Балканы	Греция	Северная и Восточная Италия	Южная Италия, Сардиния и Сицилия	Иберия	Ирландия	Британия и Шотландия	Карпатский Бассейн	Южная Франция	Франция	Альпы	Южная Германия и Чехия	Центральная и Северная Германия, Польша и Скандинавия
Число анализов	68	34*	96	97	74	15*	61*	78	79	488	262	54*	416
Доля оловянных бронз (%)	97,06	17,65	96,87	80,41	100	100	100	93,59	97,47	99,59	96,18	100	94,95
Среднее содержание олова в оловянных бронзах (%)	7,49	6,5	7,5	7,22	11,59	8,77	14,1	7,81	9,76	12,49	8,07	7,5	8,32

Европейская металлургия в ПБВ

Первоначально в ПБВ сохраняются те тенденции, которые сформировались в СБВ. Во многих районах доминирует добыча и плавка медно-железных сульфидов. Это плавка борнита в Сен Веран (Верхние Альпы) (Maas, 2004, S. 117-119; Mille, Carozza, 2009, p. 158), продолжается эксплуатация халькопиритов Миттерберга (Lutz, Pernicka, 2013). Известны места плавки, где использовали только халькопирит, например, Ферзункене Рирхэ / Трибэн (около 1000 г. до н.э.) (Preßlingen, Eibner, 1989, S. 238, 239). Добыча и плавка халькопирита появляется и в новых районах: в Трентино (Аква Фредда) на северо-востоке Италии (Hohlmann, Hauptmann, Schröder, 2004, S. 265, 266), Граубюндене (Оберхальбштайн) в Юго-восточной Швейцарии (Naef, 2014, S. 83). Но в некоторых местах халькопирит плавится вместе с блеклыми рудами, например, в Палтенталь (Штирия в Восточных Альпах) (Presslingen, Eibner, 2004, S. 66). И это не было случайным эпизодом, а отражением важных закономерностей, помогающих понять механизмы в развитии металлургического производства.

В ПБВ и РЖВ в Восточных Альпах вновь появляется металл из блеклых руд районов Швац и Брикслегг, и только четверть металла ПБВ выплавлена из халькопирита, что объясняется, вероятно, тем, что халькопирита, расположенного близко к поверхности, стало не хватать (Lutz, Pernicka, 2013, pp. 122, 126; Stöllner et al., 2016, p. 77). А в изделиях наблюдается смесь металла двух этих источников, возможно, для снижения содержания мышьяка и сурьмы и для улучшения ковкости (Lutz, Pernicka, 2013, p. 124). Но, вероятно, это естественный результат циркуляции металла и неоднократной переплавки лома.

Те же процессы происходят в Швейцарии, где в середине XI в. до н.э. опять начинают использоваться блеклые руды (Primas, 2008, S. 124).

В Восточных Альпах известны и медеплавильни, которые отражают этот процесс, например, Маук А (XII-XI вв. до н.э.), расположенный недалеко от месторождения блеклых руд Брикслегг. В этом месте плавил блеклые руды. Это не позволяло, вероятно, хорошо отделяться шлаку от металла. Поэтому шлак измельчали до состояния песка и потом, вероятно, промывали, чтобы извлечь частицы меди. Но помимо блеклых руд здесь плавил и халькопирит (Goldenberg, Rieser, 2004, S. 45, 49; Töchter u. a., 2013, S. 4). То есть в это время не происходит полный переход на блеклые руды. Прежняя технологическая традиция сохраняется, и металл из блеклых руд легируют оловом, просто несколько меняется соотношение источников руды (Таблица 1; Рисунок 5).

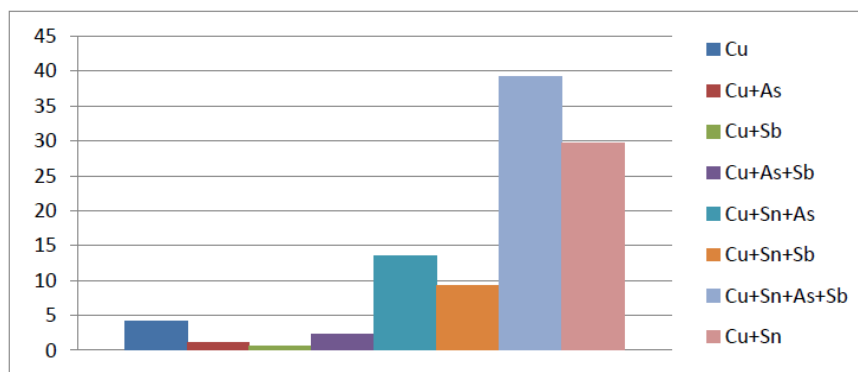


Рисунок 5. Типы сплавов в ПБВ Европы (%)

А в территориальном отношении ситуация с оловянными бронзами является той, что мы видели в СБВ: они составляют подавляющую часть металла во всех регионах, независимо от расстояния до оловянных источников (Таблица 6).

Для объяснения всех этих переходов на иные типы сырья необходимо обратиться к проблеме объема потребления металла.

Таблица 6. Находки оловянной бронзы в ПБВ.

	Северные Балканы	Греция	Северная и Восточная Италия	Южная Италия, Сардиния и Сицилия	Иберия	Ирландия	Британия и Шотландия	Карпатский Бассейн	Южная Франция	Франция	Альпы	Южная Германия и Чехия	Центральная и Северная Германия, Польша и Скандинавия
Число анализов	483	6*	48	9*	55*	9*	7*	442	134	8*	763	32*	85
Доля оловянных бронз (%)	92,55	100	100	88,89	85,45	100	100	88,91	90,3	87,5	92,92	87,5	92,94
Среднее содержание олова в оловянных бронзах (%)	6,14	6,8	8,91	7,37	9,25	10,48	11,29	6,77	7,77	8,5	7,67	10,14	6,24

* Статистически недостоверная выборка.

Динамика изменения потребления металла

Металл

В первую очередь, обращает на себя внимание рост потребления металла. Оценить этот рост достоверно сложно. Например, в Штутгартской базе данных присутствует 4104 анализа энеолитического времени и 20262 времени РБВ, то есть, наблюдается рост почти в 5 раз (Рисунок 6, а).

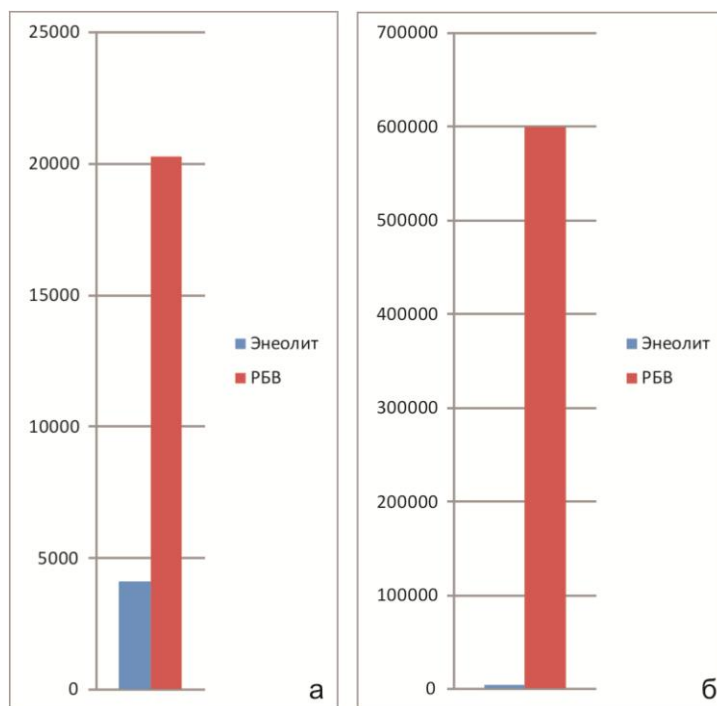


Рисунок 6. Рост производства металла в энеолите и РБВ: а – количество металлических изделий в Штутгартской базе данных; б – возможное реальное соотношение металлопроизводства в энеолите и РБВ.

Но надо отметить, что, в первую очередь анализировался древний металл. Для энеолита доля проанализированного металла составляет 90 %, а для РБВ 70-80 % (Krause, 2003, S. 52). Кроме того, увеличивается размер изделий, следовательно, реальный рост был в 10-15 раз. Необходимо также учитывать, что период энеолита длился более 2000 лет, а РБВ не более 700 лет, что увеличивает этот прирост в металлопотреблении еще в 2 раза (Рисунок 6, б). И в еще большей степени все это касается всех последующих периодов. В частности, о резком росте потребления металла на рубеже III/II тыс. до н.э. писала М. Примас (Primas, 1997).

Но самые крупные изменения происходят около 1600/1500 гг. до н.э. (Radivojevic et al., 2018, p. 22), что отчетливо проявляет себя и на региональном уровне. В Ирландии для периода 2400-2100 гг. до н.э. известно 700 медных изделий, для периода 2100-1500 гг. до н.э. – 1700 изделий, а для периода 1600-1300 гг. до н.э. – около 2500 бронзовых изделий (O'Brien, 2004, pp. 1, 5) (Рисунок 7, а). Но с учетом того, что диапазон 2100-1500 гг. до н.э. в два раза длиннее двух других, реальное потребление металла в этот период не растет. Взрыв происходит уже в следующую эпоху (Рисунок 7, б).

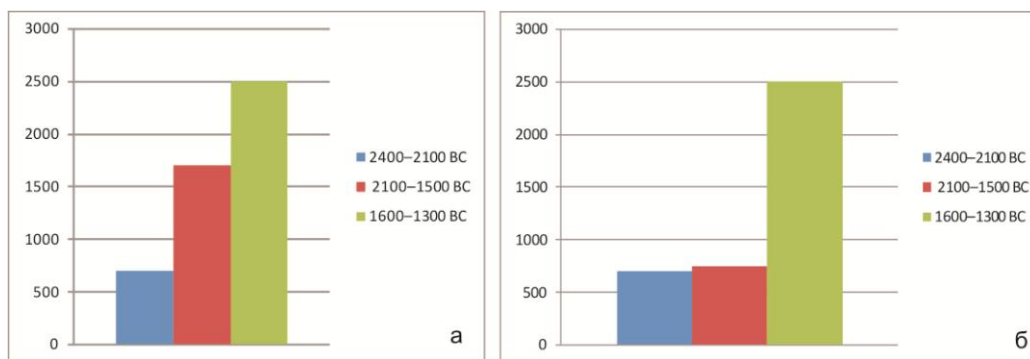


Рисунок 7. Рост потребления металла в Ирландии: а – количество металла; б – реальная динамика роста потребления.

В Скандинавии между 2350 и 1500 гг. до н.э. постоянно растет потребление металла, но в период Северного Бронзового века IB (1600-1500 гг. до н.э.) этот рост приобретает взрывной характер (Таблица 7; Рисунок 8) (Vandkilde, 2010/11).

Таблица 7. Рост количества металлических изделий в Скандинавии от периода Поздний неолит I (LN I) до периода Северный Бронзовый Век IB (NBA IB) (по Vandkilde, 2010/11, fig. 2A).

LN I	LN II	NBA IA	NBA IB
23	186	275	1044

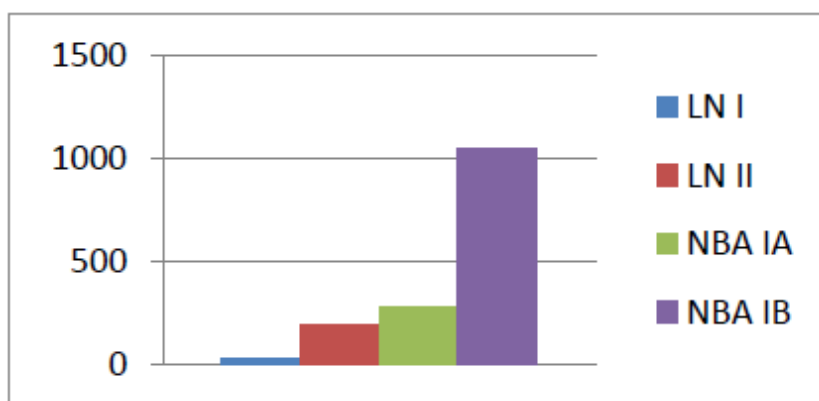


Рисунок 8. Рост потребления металла в Скандинавии.

Печи

Резкий рост объемов производства виден и на таком объекте, как печи. В энеолите и РБВ их количество исчисляется единицами. Но для СБВ и ПБВ известно уже множество печей, особенно в Восточных Альпах. Они исследованы на поселении Мюльбах, Миттерберг (Зальцбург) (Herdits, Löcher, 2004, S. 188). В Санкт Йоганн в Понгау (Зальцбург) раскопано 50 круглых печей диаметром 80-130 см (Moosleitner, 2004, S. 213). И для СБВ и ПБВ Альпийского региона мы знаем уже несколько плавильных площадок с батареями стоящих вплотную друг к другу печей, что указывает на заметный рост объемов производства: Хехенберг (Северный Тироль); Обершвэрцен и Айзенэрцер Рамсау (Штирия); Аква Фредда (Трентино); Палтенталь (Верхняя Штирия); Китцбюэль (Тироль) и т.д. (Preßlingen, Eibner, 1989, S. 236; Goldenberg, 2004, S. 168; Presslingen, Eibner, 2004, S. 68; Cierny u.a., 2004, S. 158-159; Klemm, 2004, S. 192, 193; Primas, 2008, S. 121). В

Восточных Альпах у печей повсеместно исследованы ямы для обжига руды, которые были нужны не для производства штейна, а чтобы перевести железные карбонаты в оксиды и облегчить образование шлака (Moesta, Ruffler, Schnau-Roth, 1989, S. 149-151).

Шлаковые и рудные отвалы

Рост производства хорошо прослеживается и благодаря изучению древних выработок и шлаковых отвалов. По подсчетам Е.Н. Черных на энеолитическом руднике Ай Бунар в Болгарии было добыто 2000-3000 тонн руды и произведено около 500 тонн меди (Черных, 1978; Pernicka, Anthony, 2010, p. 170). В Восточной Лигурии, в Монте Лорето, в энеолите было добыто около 2250 тонн руды, и, вероятно, на расположенном неподалеку руднике Либьола столько же. Среднегодовое производство меди составляло 515 кг (Pearce, 2009, p. 281).

В РБВ в Альпах добывалось уже 10-14 тонн меди в год, но эти цифры, вероятно, завышены (Primas, 2008, S. 117, 120), хотя они еще не контрастируют так резко, как последующие.

Ситуация коренным образом меняется в младшем РБВ и в следующие эпохи. В Сен-Веран (Верхние Альпы) в ПБВ добыто около 2000 тонн руды (Mille, Carozza, 2009, p. 157). Но особенный бум наблюдается в Восточных Альпах. Это время знаменуется появлением колоссальных шлаковых куч, в больших количествах и в различных местах региона (Preßlingen, Eibner, 1989, S. 235; Goldenberg, 2004, S. 165; Fasnacht, 2004, 108; Wyss, 2004, S. 113-119; Herdits, Löcher, 2004, S. 188; Primas, 2008, S. 122; Krause, 2009, S. 52). Эта многочисленность дополняется объемами. В Швейцарии у Оберхальбштайн, Граубюнден, общий вес шлаковых куч ПБВ составляет 76,5 тонн (Naef, 2014, S. 80). В Аква Фредда (Трентино) обнаружено 800-1000 тонн шлака (XIII-XI вв. до н.э.) (Cierny u.a., 2004, S. 158). На плавильной площадке Маук А (XII-XI вв. до н.э.) вес шлаковых отвалов составляет 100 тонн, следовательно, было получено 5-10 тонн меди (Töchter u.a., 2013, S. 4). Считается, что в Миттерберге между 1700 и 1000 гг. до н.э. было добыто 7000 тонн меди, т.е. около 10 тонн в год (Krause, 2003, S. 206 со ссылкой на Eibner, 1982). Эти факты позволили сделать вывод о том, что ПБВ в Восточных Альпах производство приобретает индустриальный масштаб (Presslingen, Eibner, 2004, S. 64).

Но куда девалась вся эта масса металла? В СБВ и ПБВ археологические данные указывают на резкий рост его потребления. Если в РБВ основным потребителем металла были элиты, то в ПБВ он уже широко распространен в обществе. Подсчеты показали, что только в Данию в СБВ и ПБВ ввозили ежегодно более 1 тонны меди. Для обеспечения этих потоков должны были существовать хорошо организованные торговые экспедиции (Radivojevic et al., 2018, p. 32, 33, 36).

Но даже на этом фоне впечатляют масштабы выплавки на Кипре, где шлаковые кучи датируются с СБВ. Всего на острове обнаружено 4 миллиона тонн шлака (Hauptmann, 2008, S. 60). Вероятно, значительная его часть относится к античному времени, но объемы поразительные.

Социальные процессы

Таким образом, мы видим, что, как и в Евразии, в Европе существует безусловная связь между типами руды и металла. Этап использования чистой меди связан с относительно чистыми окисленными рудами, в первую очередь, малахитом. Следующий

этап мышьяковых и сурьмяно-мышьяковых сплавов связан с использованием соответствующих легкоплавких окисленных и сульфидных руд. Наконец, широкое использование оловянных бронз связано с плавкой медно-железных сульфидов. При этом легировать оловом можно медь, выплавленную из любых источников. Но этот переход на плавку халькопирита и оловянные сплавы сопровождается отказом от плавки блеклых руд по той причине, что они не могли обеспечить больших объемов производства. При всей легкости плавки блеклых руд, это производство без шлака. Соответственно, металл не полностью отделяется, и необходимо дробление и сортировка выплавленной массы, как и в случае с плавкой окисленной руды. И каждый раз переход на новые типы руды сопровождается ростом объемов производства. Но имеет место и очень точная корреляция между ростом потребления металла и оловянными лигатурами (O'Brien, 2011, p. 346; 2013, p. 433).

И мы видим, что корни этих процессов лежат вовсе не в развитии металлургических технологий. Олово появляется уже в энеолите. Часть ранних оловянных сплавов энеолита и раннего РБВ могла быть результатом случайной плавки, но в ряде случаев мы видим целенаправленное получение этого металла, однако оно не закрепляется как устойчивая технологическая схема. И ранние плавки медно-железных сульфидов в начале РБВ не привели к их повсеместному использованию. Отказ от блеклых руд и переход на халькопирит не везде был вызван истощением ресурсов, а это был достаточно резкий разрыв с прежней технологической традицией. Любые технологии могут эпизодически возникать достаточно рано, но они становятся устойчивыми лишь тогда, когда они востребованы рынком. Поэтому именно обсуждавшийся рост потребления металла и был в основе всех этих технологических изменений.

Очевидным является и то, что это совпадает с существенными социальными изменениями, но не металлургия была в основе этого. В Иберии в течение всей эпохи бронзы металл циркулировал внутри региона, товарного производства не было, и объемы были ограниченные. Товарное производство появляется лишь с проникновением сюда финикийцев, и основано это было на производстве серебра. Здесь, как и везде, рост металлургии происходит только после появления рынка для этой продукции (Bartelheim, 2007, S. 75, 81, 85, 174, 257).

В Центральной Европе появление богатых погребений в развитой фазе унетицкой культуры не было связано с развитием металлургии, оно было основано на развитии сельского хозяйства и добыче соли. Лишь в конце РБВ происходят существенные изменения в хозяйстве и социальных структурах: появляются центры крупных лидеров, иерархия поселений и укрепленные поселения, многочисленная металлообработка на поселениях и оловянные бронзы, что было связано с культурой Мадьяровце и группой Бохаймкирхе (Krause, 2003, S. 260, 261; 2009, S. 64). В Альпах, где мало плодородных земель, постоянные поселения возникают в основном с периода А2, с XVIII в. до н.э., когда в других районах растет потребность в металле. А до этого объем производства был мал, имели место лишь сезонные походы за рудой (Kienlin, Stöllner, 2009, pp. 67, 82-89). Растущий спрос в конце РБВ удовлетворяется именно за счет первичных сульфидных руд. Это уже производство, основанное на отделении шлака от металла, позволяющее нарастить объемы выплавки.

Следующий всплеск производства в Центральной Европе в эпоху культуры полей погребальных урн обусловлен тем, что улучшается климат, увеличиваются эксплуатация

сельскохозяйственных ресурсов и население, и это вызывает рост потребности в металле (Bartelheim, 2007, S. 211, 213). Недостаточность сырья заставляет подключать все возможные источники ресурсов, включая те, от которых отказались раньше.

Но был еще один важный фактор.

Торговля и циркуляция металла

Неравномерность распределения медных месторождений в Европе всегда приводила к определенной циркуляции металла. Уже в энеолите и раннем РБВ в безрудные районы Северной Германии и Скандинавии проникает медь Северных Альп. Но резкий рост потоков этого металла происходит не тогда, когда начинается рост объемов добычи в Альпах, а позже. В Скандинавии взрыв в потреблении металла приходится на период Северного Бронзового века IV (1600-1500 гг. до н.э.) (Vandkilde, 2010/11). И это обусловлено не предложением, а спросом. С этого времени Дания (где найдена основная масса металлических предметов) втягивается в систему мировой торговли, и в погребениях здесь даже исчезает янтарь, который был необходим для обеспечения этой торговли и обмена на металл (Kristiansen, Larsson, 2005, p. 122). Эти процессы связи мировой и региональной торговли с металлом прекрасно описаны Мьюли (Muhly, 1973).

То же происходило в Британии и Ирландии. Из руды Росс Айленд (металл А с повышенным содержанием мышьяка и сурьмы) изготовлено 95 % металлических объектов в Ирландии и 80 % в Британии (O'Brien, 2004, pp. 5, 7, 546). Но около XIX в. до н.э. происходит отказ от этого рудника, и начинает добываться халькопирит на Маунт Габриэль. В Британии начало эксплуатации медно-железных сульфидов рудника Грейт Орм происходит позже, в период Уэссекс II, когда остров оказывается втянут в широкие торговые связи, простиравшиеся до Балтики и Восточного Средиземноморья.

Еще более ярко это проявляется в более развитых районах Восточного Средиземноморья. На Крите уже в СБВ наблюдается рост потребления металла, обусловленный тем, что общество богатеет, и втягивается в торговлю с Левантом и Италией (Branigan, 1974, p. 65). Но с расцветом минойской цивилизации возрастает потребность в металле, которая не могла быть обеспечена бедными критскими рудами. Поэтому уже в позднеминойский период сюда привозится олово и слитки меди с Кипра (Muhly, 2008, p. 72).

Взлет производства на Кипре и связан с этими процессами. Он тоже не был обусловлен внутренним технологическим развитием, а спросом в иных регионах. Эта торговля металлом начинается лишь в среднекиприотский III период (1700-1600 гг. до н.э.), но интенсивное производство и торговля датируются с позднекиприотского I (1600-1450/1400 гг. до н.э.), когда торговля металлом стала играть важнейшую роль в экономике, и это оказывает влияние на социальные структуры (Bartelheim, 2007, S. 159, 162, 164, 248). Прежде кипрские руды были мало востребованы, так как халькопирит требует более сложных плавильных операций. Но он удобен для массового производства, и теперь кипрские медные слитки распространяются по всему Средиземноморью, есть даже одна находка в Германии, а их анализы показывают присутствие включений сульфидов (Kassianidou, 2009, pp. 57, 58; Lo Schiavo, 2009, p. 170). Но особенно массовыми были поставки с Кипра в Левант и Египет. Тексты из Мари и Египта позволяют относить начало этих поставок к XVIII в. до н.э. В архивах Амарны (XIV в. до

н.э.) содержится информация о поставленных из Алашья (Кипра) 26 тоннах меди (Muhly, 1973, pp. 186, 194-196; Knapp, Kassianidou, 2008, p. 135; Kassianidou, 2009, p. 58).

В плане этой тесной связи между потреблением и типом руды очень интересным примером является Сардиния. В СБВ здесь возникает яркая нурагская культура, и наблюдается бум в производстве и потреблении металла. Известно около 100 кладов металла этого времени. По артефактам реконструируются связи с Восточным Средиземноморьем (например, триподы и фигурки с Кипра). Известны находки множества бронзовых изделий и сотен кипрских слитков (oxide ingots). Их здесь найдено больше, чем в любом ином районе, включая сам Кипр. Поэтому исследователи ставят совершенно справедливые вопросы: почему надо было везти такую массу металла на остров, где есть своя руда? И откуда такое большое количество оловянных бронз? Не указывает ли это на то, что Сардиния играла роль промежуточного звена в этой средиземноморской торговле между востоком и западом (Hauptmann, 2009, pp. 500, 501; Lo Schiavo, 2009)? Но выше мы обсуждали, что руды Сардинии в офиолитах, и сравнительно бедные. Этим они, вероятно, схожи с синташтинскими рудами на Урале. Они не могли обеспечить массовое производство, хотя, судя по шлаку из Дженна Мария, некоторое количество меди из местной руды производили (Hauptmann, 2009, p. 509).

Еще более ярко это проявилось в Восточном Средиземноморье, где в результате массовых поставок меди в Левант и Египет в ряде старых производящих центров региона производство затухает, не выдержав конкуренции (Weisgeber, 2004, S. 23). Оно возобновится потом, в эпоху финальной бронзы, в связи с резким изменением политической ситуации на Ближнем Востоке.

И здесь тоже есть связь между этим массовым производством кипрской меди из халькопирита и оловом. Именно торговля оловом позволила добиться огромных масштабов производства на кипрских месторождениях, которые ранее представляли меньший интерес, так как не были способны произвести легированный металл. Важную роль в этом сыграло изменение политической ситуации на Ближнем Востоке, когда в старовавилонский период, в XVIII в. до н.э., олово через сеть торговцев начало поступать через Сиппар в Мари, а оттуда в Левант (Muhly, 1973, pp. 293, 294, 301). Сходную ситуацию мы наблюдаем в Европе. Для бронзового века хорошо известны отношения обмена между Атлантическим комплексом и северными Альпами, когда из Атлантической зоны в сторону Альп двигалось олово, а ему навстречу шла медь (Brun, 1993, pp. 171, 173). И заметен резкий рост производства и потребления около XVI в. до н.э., чему отчасти способствовали те обширные торговые связи, которые установили микенцы.

То есть, развитие экономики вело к росту спроса на металл, и это запускало механизмы массового производства меди из сульфидных руд и торговли оловом. Но мы видим и обратное воздействие от легатуры на выбор типов руды (возможность плавить руды, не дающие легированного металла) и на социальные процессы, так как формирующиеся элиты начинают контролировать торговлю (Kristiansen, Larsson, 2005, pp. 104, 112-114, 123; Bartelheim, 2007, S. 258). Есть еще один показательный пример этого. Выше, обсуждая возврат в рудный ассортимент блеклых руд, мы приводили мнение исследователей о необходимости компенсировать нехватку халькопирита из-за роста объемов потребления. Не исключено, что для некоторых регионов это лишь часть правды.

Если посмотреть на таблицу среднего содержания олова в оловянных бронзах (Таблица 8), то мы видим его постоянный рост.

Таблица 8. Среднее содержание олова в бронзах с содержанием более 1 % Sn.

Энеолит	РБВ-1	РБВ-2	СБВ	ПБВ	I тыс. до н.э.
6,1 %	6,6 %	7,6 %	9,7 %	7,2 %	8,7 %

Но в этот период происходит спад, который начинает затем медленно восстанавливаться³. Некоторые авторы объясняют это проблемами с оловянными лигатурами (Sperber, 2004, S. 329). Помимо общего скачка в потреблении металла, на Ближнем Востоке в это время наблюдается ослабление системы ближневосточной торговли, вызванное разрушительными политическими событиями. И это сказывалось отчасти даже на периферийных ареалах, хотя в значительной степени этот процесс был стимулирован, все же, ростом потребления, так как некоторое снижение содержания олова в бронзах могло быть вызвано тем, что часть из них содержала в этот период иные легирующие компоненты – сурьму и мышьяк из блеклых руд.

В результате всех этих процессов мы получаем обширные взаимосвязанные системы, которые авторы описывают в терминах «мировая система» (Edens, Kohl, 1993) или «бронзовизация», как эквивалент глобализации, обусловленные внедрением оловянных лигатур (Vandkilde, 2016).

Заключение

Таким образом, та схема развития древней металлургии, которую мы обсуждали на примере Северной Евразии (Grigoriev, 2017), является актуальной и для Европы, но открывает перспективы к некоторой детализации. Здесь тоже рост потребностей в металле был стимулирован социально-экономическим развитием общества. Это вызывало переход на плавки все более богатых и более распространенных руд и технологические инновации в их плавке, а затем переход на новые типы сплавов. В результате мы видим те же принципиальные соответствия: плавка относительно чистой окисленной руды – производство чистой меди, плавка легкоплавких руд – производство мышьяковой и сурьмяно-мышьяковой меди, плавка медно-железных сульфидов – производство оловянных бронз. Важным отличием здесь в ряде районов была фаза широкого использования сурьмяно-мышьяковых сплавов из блеклых руд, что было обусловлено двумя факторами: наличием больших запасов этих руд и меньшей летучестью сурьмы, по сравнению с мышьяком.

Но здесь отчетливо проявляется еще и зависимость металлургических технологий от развития общества и рынка металла. В Евразии это тоже наблюдается: при переходе от абашевско-синташтинского периода к срубно-алакульскому резко увеличивается количество населения, использующего металл, и объем металлопотребления. Но в Европе, благодаря развитой земледельческой экономике и близости культур Восточного Средиземноморья, все это проявляется в большей степени, а с переходом от РБВ к СБВ формируется уже широкий рынок металлов.

³ Эти цифры получены для Европейского ареала в целом. В некоторых районах ситуация еще более показательна. Например, в Северном Тироле в меди ПБВ содержится 1.5-6,5 % олова, в то время как в СБВ среднее содержание олова колебалось в пределах 8-8,6 % (Sperber, 2004, S. 330).

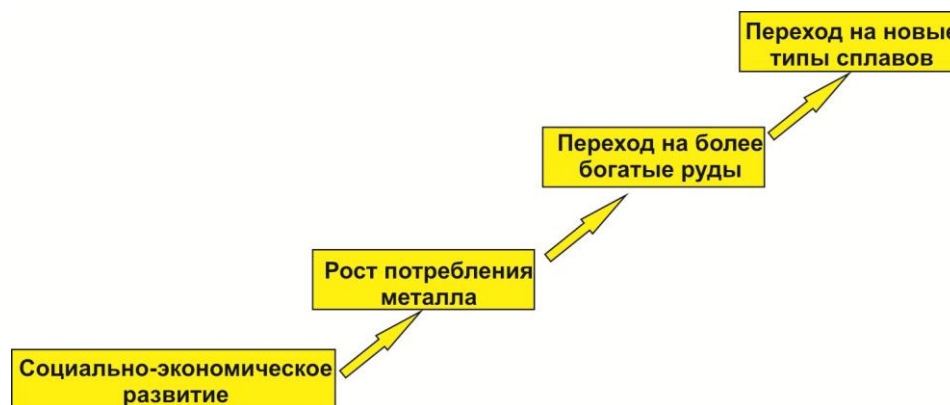


Рисунок 9. Схема развития древней металлургии.

На европейских материалах мы видим и некоторые иные тенденции, которые, будучи универсальными, слабо проявляются в Евразии. Какие-то инновации в металлургическом производстве могут возникать, но оказываются не восприняты обществом, и не закрепляются в качестве технологической традиции. С другой стороны, на более поздних этапах вся эта система металлургического производства начинает оказывать обратное влияние на развитие общества и на его социальные структуры, так как формируется широкая сеть региональных и межрегиональных обменов.

В результате мы видим достаточно сложную систему, в которой переплетается много факторов, постоянно взаимодействующих друг с другом и различающихся на отдельных территориях.

Благодарности

Это исследование стало возможным благодаря поддержке фонда Александра фон Гумбольдта, предоставившего возможность работы в библиотеках университета Геттингена и Свободного университета (Берлин), гранта университета Сапиенца (Рим), и гранта Словацкого агентства академической информации, поддержавшего работу в университете Братиславы, где эта статья была написана окончательно. И я хотел бы выразить свою признательность коллегам из этих университетов, которые помогли организовать эту работу и предоставили прекрасные возможности для ее реализации: профессору Лоренцу Рамсторфу (Гёттингенский университет), профессору Эльке Кайзер (Свободный университет Берлина), профессору Джованни Джиганте (университет Сапиенца), и профессору Йозефу Баторе (Братиславский университет).

Литература

- Григорьев, 2018 – Григорьев С.А. Проблема хронологии синташтинской культуры // Степная Евразия в эпоху бронзы: культуры, идеи, технологии: сб. науч. тр. к 80-летию Геннадия Борисовича Здановича. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2018. – С. 37-61.
- Дегтярева, 2010 – Дегтярева А.Д. История металлопроизводства Южного Зауралья в эпоху бронзы. – Новосибирск: Наука, 2010.

- 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.
- Черных, 1978 – Черных Е.Н. Горное дело и металлургия в древнейшей Болгарии. София: Болгарская Академия Наук, 1978.
- Ambert et al., 2009 – Ambert P., Figueroa-Larre V., Guendon J.-L., Klemm V., Laroche M., Strahm Ch. The copper mines in Cabrières (Hérault) in Southern France and the Chalcolithic metallurgy // *Metals and societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway.* – Bonn: R. Habelt, 2009. – P. 285-295.
- Bartelheim, 2007 – 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.
- Borić, 2009 – Borić D. Absolute dating of metallurgical innovations in the Vinča culture of the Balkans // *Metals and societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway.* – Bonn: R. Habelt, 2009. – P. 191-245.
- Branigan, 1974 – Branigan K. Aegean Metalwork of the Early and Middle Bronze Age. – Oxford: Clarendon Press, 1974.
- Brun, 1993 – Brun P. East-West relations in the Paris Basin during the Late Bronze Age // *Trade and exchange in prehistoric Europe.* – Oxbow books: Oxford, 1993. – P. 171-182.
- Budd, Ottaway, 2004 – 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.
- Cierny u. a., 2004 – Cierny J., Marzatico F., Perini R., Weisgeber G. Der Späpbronzezeitliche Kupferverhüttungsplatz Acqua Fredda am Passo Redebus (Trentino) // *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17.* – Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 155-164.
- Dolfini, 2013 – Dolfini A. The Emergence of Metallurgy in the Central Mediterranean Region: A New Model // *European Journal of Archaeology.* – 16 (1) 2013. – P 21-62.
- Edens, Kohl, 1993 – Edens Ch.M., Kohl Ph.L. Trade and world system in Early Bronze Age Western Asia // *Trade and exchange in prehistoric Europe.* –Oxford: Oxbow books, 1993. – P. 17-34.
- Fasnacht, 2004 – Fasnacht W. Prähistorischer Kupferbergbau in der Schweizer Alpen I // *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17.* – Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 107-111.
- Garner, 2013 – Garner J. Das Zinn der Bronzezeit in Mittelasien II. – Berlin: Archäologisches Institut, Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 2013.
- Giardino et al., 2014 – Giardino C., Occhini G., Petitti P., Steiniger D. Ricerche archeominerarie in Etruria meridionale // *Ricerche e scavi. Atti dell'undicesimo incontro di studi centro studi di preistoria e archeologia.* – Milano, 2014. – P. 653-666.
- Goldenberg, 2004 – Goldenberg G. Ein Verhüttungsplatz der mittleren Bronzezeit bei Jochberg (Nordtirol) // *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17.* – Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 165-176.

- Goldenberg, Rieser, 2004 – Goldenberg G., Rieser B. Die Fahlerzlagerstätten von Schwaz/Brixlegg (Nordtirol) // *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17.* – Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 37-52.
- Grigoriev, 2015 – Grigoriev S. Metallurgical Production in Northern Eurasia in the Bronze Age. – Oxford: Archaeopress Publishing Ltd., 2015.
- Grigoriev, 2017 – Grigoriev S. Social processes in Ancient Eurasia and development of types of alloys in metallurgical production // *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*, 2017. – V. 5, № 2. – P. 17-44.
- Hauptmann, 2008 – Hauptmann A. Erzlagerstätten in östlichen Mittelmeerraum // *Anatolian Metal IV. Der Anschnitt, Beiheft 21.* – Bochum: Bergbaumuseum, № 157, 2008. – S. 55-66.
- Hauptmann, 2009 – Hauptmann A. Lead isotope analysis and the origin of Sardinian metal objects // *Oxide ingots in the Central Mediterranean.* – Roma: Istituto di studi sulle civiltà dell'egeo e del vicino oriente, 2009. – P. 449-514.
- Herdits, Löcher, 2004 – Herdits H., Löcher K. Eine bronzezeitliche Kupferhütte Im Mitterberger Kupferkies-Revier (Salzburg) // *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17.* – Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 177-188.
- Hohlmann, Hauptmann, Schröder, 2004 – Hohlmann B., Hauptmann A., Schröder B. Der Spätbronzezeitliche Verhüttungsplatz von Acqua Fredda am Passo Redebus (Trentino). Rohstoffbasis, metallurgische Untersuchungen und Versuch einer Prozessrekonstruktion // *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17.* – Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 261-267.
- Höppner u.a., 2005 – Höppner B., Bartelheim M., Huijsmans M., Krauss R., Martinek K.-P., Pernicka E., Schwab R. Prehistoric copper production in the Inn valley (Austria), and the earliest copper in Central Europe // *Archaeometry*, 47, 2, 2005. – P. 293-315.
- Huijsmanns, Krauß, Stibich, 2004 – Huijsmanns M., Krauß R., Stibich R. Prähistorischer Fahlerzbergbau in der Grauweckenzzone. Neolithische und bronzezeitliche Besiedlungsgeschichte und Kupfermetallurgie im Raum Brixlegg (Nordtirol) // *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17.* Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 53-62.
- Ixer, 2001 – Ixer R.A. An assessment of copper mineralization from the Great Orme Mine, Llandudno, North Wales, as ore in the Bronze Age. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, 53, 2001. – P. 213-219.
- Junghans, Sangmeister, Schröder, 1960 – Junghans S., Sangmeister E., Schröder M. Metallanalysen kupferzeitlicher und frühbronzezeitlicher Bodenfunde aus Europa. Römisch-germanisches Zentralmuseum, Berlin: Mann, 1960.
- Kassianidou, 2009 – Kassianidou V. Oxide ingots in Cyprus // *Oxide ingots in the Central Mediterranean.* – Roma: Istituto di studi sulle civiltà dell'egeo e del vicino oriente, 2009. – P. 41-81.
- Kienlin, 2008 – Kienlin T.L. Frühes Metall im nordalpinen Raum. Eine Untersuchung zu technologischen und kognitiven Aspekten früher Metallurgie anhand der Gefüge frühbronzezeitlicher Beilen. T. I. – Bonn: R. Habelt Verlag, 2008.
- Kienlin, Stöllner, 2009 – Kienlin T.L., Stöllner Th. Singen copper, Alpine settlements and Early Bronze Age mining: Is there a need for elites and strongholds? // *Metals and societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway.* – Bonn: R. Habelt, 2009. – P. 67-104.

- Klemm, 2004 – Klemm S. Der prähistorische Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau (Steiermark) // *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17.* – Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 189-198.
- Knapp, Kassianidou, 2008 – Knapp A.B., Kassianidou V. The archaeology of Late Bronze Age copper production. Politico Phorades on Cyprus // *Anatolian Metal IV. Der Anschnitt, Beiheft 21.* Bochum: Bergbaumuseum, № 157, 2008. – P. 135-147.
- Krause, 1989 – Krause R. Early tin and copper metallurgy in South-western Germany at the beginning of the Early Bronze Age // *Old World Archaeometallurgy. Anschnitt. Beiheft 7, N 44.* – Bochum: Bergbaumuseum, 1989. – S. 25-32.
- Krause, 2003 – Krause R. Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee. – Rahden/Westf.: Marie Leidorf Verlag, 2003.
- Krause, 2009 – Krause R. Bronze Age copper production in the Alps: organization and social hierarchies in mining communities // *Metals and societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway.* – Bonn: R. Habelt, 2009. – S. 47-66.
- Kristiansen, Larsson, 2005 – Kristiansen K., Larsson T.B. The rise of Bronze Age society. – Cambridge: University Press, 2005.
- Lo Schiavo, 2009 – Lo Schiavo F. Oxide ingots hoarding and offering in Nuragic Sardinia // *Oxide ingots in the Central Mediterranean.* – Roma: Istituto di studi sulle civiltà dell'ege e del vicino oriente, 2009. – P. 391-407.
- Lo Schiavo, Albanese Procelli, Giunlia-Mrair, 2009 – Lo Schiavo F., Albanese Procelli R.M., Giunlia-Mrair A. Oxide ingots in Sicily // *Oxide ingots in the Central Mediterranean.* – Roma: Istituto di studi sulle civiltà dell'ege e del vicino oriente, 2009. – P. 135-221.
- Lutz, Pernicka, 20013 – Lutz J., Pernicka E. Prehistoric copper from the Eastern Alps // *Archaeometry* 2013; V. 1:e25. – P. 122-127.
- Maas, 2004 – Maas A. Zur chalkolithisch-frühbronzezeitlichen Kupferproduktion von St. Véran /Hautes Alpes // *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17.* – Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 117-119.
- Martinek, Sydow, 2004 – Martinek K.-P., Sydow W. Frühbronzezeitliche Kupfermetallurgie im Unterinntal (Nordtirol) // *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17.* – Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 199-211.
- 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 // *Proceedings of the Prehistoric Society*, 38, 1972. – P. 209-218.
- Mille, Carozza, 2009 – Mille B., Carozza L. Moving into the Metal Ages: the social importans of metal at the end of the Neolithic period in France // *Metals and societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway.* – Bonn: R. Habelt, 2009. – P. 143-171.
- Moesta, 1989 – Moesta H., Rüffler R., Schnau-Roth G. Zur Verfahrenstechnik der bronzezeitlichen Kupferhütten am Mittelberg // *Old World Archaeometallurgy. Anschnitt. Beiheft 7, N 44.* – Bochum: Bergbaumuseum, 1989. – S. 141-153.
- Montero-Ruiz, de la Esperanza, 2004 – Montero-Ruiz I., de la Esperanza M.J.R. Der prähistorische Kupferbergbau in Spanien // *Anschnitt. 56. H. 2–3*, 2004. – S. 54-63.
- Moosleitner, 2004 – Moosleitner F. Bronzezeitliche Grubenöfen in St. Johann im Pongau (Salzburg) // *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17.* – Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 213-221.

- Muhly, 1973 – 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.
- Muhly, 2005 – Muhly J.D. Cyprus and copper for the world // *Anatolian Metal III*. Abschnitt, Beiheft 18. – Bochum: Bergbaumuseum, 2005. – S. 137-141.
- Muhly, 2008 – Muhly J.D. Metal deposits in the Aegean Region // *Anatolian Metal IV*. Der Abschnitt, Beiheft 21. – Bochum: Bergbaumuseum, № 157, 2008. – P. 67-75.
- Naef, 2014 – Naef L. Stierva Tiragn – eine spätbronzezeitliche Schlackenhalde im Oberhalbstein (Graubünden, Schweiz) // Abschnitt. 66. H. 2–3, 2014. – S. 78-88.
- Needham, 2004 – Needham S. Migdale-Marnoch: sundurst of Scotland metallurgy // I.A.G. Hephherd and G.J. Barclay (eds), *Scotland in Ancient Europe*. – Edinburgh: Society of Antiquaries of Scotland, 2004. – P. 217-245.
- Northover, 1989 – Northover J.P. Properties and use of arsenic-copper alloys // *Old World Archaeometallurgy*. Abschnitt. Beiheft 7, N 44. – Bochum: Bergbaumuseum, 1989. – S. 111-118.
- O'Brien, 1994 – O'Brien W. Mount Gabriel: Bronze Age mining in Ireland (Bronze Age studies). – Galway University Press, 1994.
- O'Brien, 2004 – O'Brien W. Ross Island. Mining, Metal and Society in Early Ireland. – Galway: National University of Ireland, 2004.
- O'Brien, 2011 – O'Brien W. Prehistoric copper mining and metallurgical expertise in Ireland // *Povoamento e Exploracao dos Recursos Mineiros*. – Braga, 2011. – P. 337-357.
- O'Brien, 2013 – O'Brien W. Bronze Age copper mining in Europe // *Oxford Handbook of the Bronze Age*. – Oxford: Oxford University Press, 2013. – P. 433-449.
- Parker Pearson, 2009 – Parker Pearson M. The Earlier Bronze Age // *The Archaeology of Britain. An Introduction from Earliest time to the twenty-first century*. – London, New York: Routledge, 2009. – P. 103-125.
- Pearce, 2009 – Pearce M. How much metal was there in circulation in Copper Age Italy? // *Metals and societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway*. – Bonn: R. Habelt, 2009. – P. 277-284.
- Pernicka, 1987 – Pernicka E. Erzlagerstätten in Ägäis und ihre Ausbeutung im Altertum. Geochemische Untersuchungen zur Herkunftsbestimmung archäologischer Metallobjekte // *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums*. – Mainz, 1987. 34. – S. 607-714.
- Pernicka, Anthony, 2010 – Pernicka E., Anthony D.W. The Invention of Copper Metallurgy and the Copper Age of Old Europe // *The Lost World of Old Europe. The Danube Valley, 5000–3500 bc*. – New York: University and Princeton University Press, 2010. – P. 162-177.
- Pernicka et al., 1993 – Pernicka E., Begemann F., Schmitt-Strecker S., Wagner G.A. Eneolithic and Bronze Age copper artefacts from the Balkans and their relations to Serbian copper ores // *Prähistorische Zeitschrift*, 68. Band, Heft 1. 1993. – P. 1-54.
- Pernicka, Lutz, 2015 – Pernicka E., Lutz J. Fahlerz- und Kupferkiesnutzung in der Bronze- und Eisenzeit // *Bergauf Bergab – 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen*. DBM 207. – Bochum, 2015. – S. 107-111.
- Pittioni, 1954 – Pittioni R. Urgeschichte der Österreichischen Raum. – Wien Franz Deuticke, 1954.
- Presslingen, Eibner, 2004 – Presslingen H., Eibner C. Montanarchäologie im Paltental (Steiermark). Bergbau, Verhüttung, Verarbeitung und Siedlungstätigkeit in der Bronzezeit //

- Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17. – Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 63-74.
- Preßlingen, Eibner, 1989 – Preßlingen H., Eibner C. Bronzezeitliche Kupferverhüttung im Paltental // *Old World Archaeometallurgy. Anschnitt. Beiheft 7*, N 44. – Bochum: Bergbaumuseum, 1989. – S. 235-240.
- Primas, 1997 – Primas M. Bronze Age economy and ideology: central Europe in focus // *Journal of European archaeology*, 5, 1997. – P. 1-37.
- Primas, 2008 – Primas M. Bronzezeit zwischen Elbe und Po. Strukturwandel in Zentraleuropa 2200–800 v. Chr. – Bonn: Rudolf Habelt Verlag, 2008.
- 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.
- Radivojević et al., 2010 – Radivojević M., Rehren Th., Pernicka E., Šljivar D., Brauns M, Borić D. On the origins of extractive metallurgy: new evidence from Europe // *Journal of Archaeological Science* 37, 2010. – P. 2775-2787.
- Radivojević et al., 2018 – Radivojevic M., Roberts B., Pernicka E., Stos-Gale Z., Martinon-Torres M., Rehren T., Bray P., Brandherm D., Ling J., Mei J., Vandkilde H., Kristiansen K., Shennan S.J., Broodbank C. The Provenance, Use and Circulation of Metals in the European Bronze Age: The state of debate. *Journal of Archaeological Research*, 2018, 27 (2). – P. 1-55.
- Roberts, 2009 – Roberts B. Origins, transmission and traditions: analyzing early metal in Western Europe // *Metals and societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway*. – Bonn: R. Habelt, 2009. – P. 129-142.
- Rowlands, 1976 – Rowlands M.J. The production and distribution of metalwork in the Middle Bronze Age in Southern Britain. *British archaeological reports*, 31 (i), 1976.
- Sabatini, 2015 – Sabatini B.J. *The As–Cu–Ni System: A Chemical Thermodynamic Model for Ancient Recycling* // *JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society*. 67 (2015) 2984–2992. doi:10.1007/s11837-015-1593-3. – P. 2984-2992.
- Scott, 1991 – Scott D.A. *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*. – Los Angeles: The J. Paul Getty Trust, 1991.
- Sperber, 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.
- Stöllner et al., 2016 – Stöllner T., von Räden C., Hanning E., Lutz J., Kluwe S. The enmeshment of Eastern Alpine mining communities in the Bronze Age. From economic networks to communities of practice // *From bright ores to shiny metals. Anschnitt. Beiheft 29*. – Bochum: Bergbaumuseum, 2016. – S. 75-107.
- Strahm, Hauptmann, 2009 – Strahm Ch., Hauptmann A. The metallurgical developmental phases in the Old World // *Metals and societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway*. – Bonn: R. Habelt, 2009. – P. 116-128.
- Töchter u. a., 2013 – Töchter U., Goldenberg G., Schneider Ph., Tropper P. Spätbronzezeitliche Verhüttungsdüsen aus dem Bergbaurevier Mauken in Unterinntal. Nordtirol: Typologie, mineralogisch-petrographische Zusammensetzung und experimentelle Rekonstruktionsversuche // *Anschnitt*. 65. H.1–2, 2013. – S. 2-19.

- Tylecote, 1976 – Tylecote R.F. A history of metallurgy. London: The Metal Society, 1976.
- Vandkilde, 2016 – Vandkilde H. Bronzization: The Bronze Age as Pre-Modern Globalization // *Prähistorische Zeitschrift*; 2016; 91(1). – P. 103-123.
- Vandkilde, 2010/2011 – Vandkilde H. Cultural Perspectives on the Beginnings of the Nordic Bronze Age // *Offa. Berichte und Mitteilungen zur Urgeschichte, Frühgeschichte und Mittelalterarchäologie*. Band 67/68, 2010/11. – P. 51-78.
- Weisgeber, 2004 – 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.
- Wyss, 2004 – Wyss R. Prähistorischer Kupferbergbau in den Schweizer Alpen II // *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt. Beiheft 17*. – Bochum: Deutsche Bergbaumuseum 122, 2004. – S. 113-119.
- Zwicker, 1989 – Zwicker U. Untersuchungen zur Herstellung von Kupfer und Kupferlegierungen im Bereich des östlichen Mittelmeeres // *Old World Archaeometallurgy. Anschnitt. Beiheft 7, N 44*. – Bochum: Bergbaumuseum, 1989. – S. 191-201.