Научная статья / Research Article
УДК 903.05:669(4/5)“637”
https://doi.org/10.14258/tpai(2026)38(3).-03
EDN: DDYZAX

ФОРМЫ ОЛОВЯННОЙ ТОРГОВЛИ В БРОНЗОВОМ ВЕКЕ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Станислав Аркадьевич Григорьев

Институт истории и археологии УрО РАН, Челябинск, Россия;
stgrig@mail.ru, https://orcid.org/0000–0001–6633–8686

Резюме. Использование сплавов с оловом привело к колоссальным изменениям в металлургическом производстве, а за счет его редкости — к масштабным поставкам олова на значительные расстояния. Однако у нас крайне мало данных о том, каким образом осуществлялись эти поставки. Статистическая обработка результатов анализа оловянных бронз Европы и Северной Евразии выявила, что рост содержания олова сопровождается ростом содержания свинца, хотя эта зависимость не очень строгая. Анализ имеющегося материала показал, что существовало два основных способа легирования: бронзой с более высоким содержанием олова, чем в изделиях, и оловом с примесью свинца. Эта ситуация объясняется тем, что при температурах ниже +13,2 °C металлическое β-олово начинает переходить в серую α-фазу и рассыпается в порошок. Добавки свинца существенно замедляют этот процесс и предотвращают металл от разложения. Эта рецептура возникает в Юго-Восточной Анатолии в III тыс. до н.э., откуда она достаточно рано проникает в Европу. Но наиболее заметно ее использование в регионах с более низкими температурами, особенно в Северной Евразии. В Китае добавки свинца к олову практиковались уже к началу шанского времени. Повсеместное распространение этой рецептуры делает невозможным использование изотопии свинца для определения происхождения меди, сплавленной с легирующим компонентом данного состава.

Ключевые слова: бронзовый век, оловянная торговля, примеси свинца, «оловянная чума»

Благодарности: автор признателен М.Н. Анкушеву (Институт минералогии УрО РАН) за плодотворное обсуждение проблемы в процессе подготовки статьи, а также двум анонимным рецензентам, которые помогли ее улучшить. Исследование выполнено за счет средств субсидии на финансовое обеспечение выполнения гос. задания ИИиА УрО РАН; тема «Культурное пространство Урала: археологические и этнологические исследования», рег. номер 124032100052–6.

Для цитирования: Григорьев С.А. Формы оловянной торговли в бронзовом веке Северной Евразии // Теория и практика археологических исследований. 2026. Т. 38, № 3. С. 58–81. https://doi.org/10.14258/tpai(2026)38(3).-03

FORMS OF TIN TRADE IN THE BRONZE AGE OF NORTHERN EURASIA

Stanislav A. Grigoriev

Institute of History and Archaeology, Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Chelyabinsk, Russia;
stgrig@mail.ru, https://orcid.org/0000–0001–6633–8686

© С.А. Григорьев

Abstract. The use of tin alloys led to colossal changes in metallurgy and, due to its scarcity, to large-scale tin shipments over vast distances. However, we have very little data on how this trade was carried out. Statistical analysis of tin bronzes from Europe and Northern Eurasia shows that an increase in tin content is accompanied by an increase in lead content, although this relationship is not very strong. Analysis of the available material revealed two main alloying methods: bronze with a higher tin content than that found in the objects, and tin with lead admixtures. This situation is explained by the fact that at temperatures below 13.2 °C, metallic β-tin begins to transform into the gray α-phase and disintegrates into powder. Lead additions significantly slow this process and prevent the metal from decomposing. This recipe originated in southeastern Anatolia in the 3rd millennium BC, from where it spread to Europe quite early. However, its use is most noticeable in regions with lower temperatures, especially in Northern Eurasia. In China, the addition of lead to tin was already practiced by the early Shang period. The widespread use of this recipe makes it impossible to use lead isotopes to determine the origin of copper alloyed with an alloying component of this composition.

Keywords: Bronze Age, tin trade, lead impurities, «tin pest»

Acknowledgments: the author is grateful to M.N. Ankushev (Institute of Mineralogy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences) for fruitful discussion of the problem during the preparation of the article, as well as to two anonymous reviewers who helped to improve it. The study was conducted using financial support for the implementation of a state assignment to the Institute of History and Archaeology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; the topic is "Cultural space of the Urals: archaeological and ethnological studies", registration number 124032100052–6.

For citation: Grigoriev S.A. Forms of Tin Trade in the Bronze Age of Northern Eurasia. *Teoriya i praktika arheologicheskih issledovanij = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2026;38(3):58–81. (In Russ.). https://doi.org/10.14258/tpai(2026)38(3).-03

Введение

Поздний бронзовый век — уникальный период в истории Северной Евразии. Самой яркой его чертой является распространение оловянных бронз, что в значительной степени меняло культурную и экономическую ситуацию везде, где эти бронзы появлялись. В археологии часто можно встретиться с утверждением, что металлургия была самым передовым производством, и она определяла динамику развития человеческого общества. В действительности это утверждение далеко от истины, и даже диаметрально противоположно ей для значительной части бронзового века. Жизнь общества была всегда ориентирована главным образом на жизнеобеспечение, связанное в степной зоне преимущественно со скотоводством, а в лесу — с охотой и рыбной ловлей. Переход от чистой меди к мышьяковой ничего в этом не менял, хотя и делал некоторые аспекты жизни более легкими и удобными. Более того, сами трансформации металлургического производства зависели от социально-экономического развития общества, которое стимулировало рост потребности в металле.

В наиболее упрощенном виде эту ситуацию можно описать следующим образом[4]. Первоначальное использование небольших изделий из самородной меди не меняло решительно ничего в жизни человека. Но изобретение плавки чистых окисленных руд способствовало удовлетворению сформированной потребности, хотя и в очень ограниченных объемах. Плавка этих руд довольно проста, она не формирует шлака, и в ре-

[4] См. подробнее (Grigoriev, 2017, 2018).

© S.A. Grigoriev

зультате каждой операции металлурги получали небольшие частицы восстановленной меди, которые надо было собирать и переплавлять. По мере истощения запасов чистых минералов в плавку стали поступать минералы с рудовмещающей породой, в которой в некоторых регионах присутствовали и мышьяковые минералы. Это имело два последствия. Появление шлакового процесса позволяло перерабатывать большее количество руды, и медь формировала более крупный слиток или отдельные слитки. Мышьяковая (а в некоторых регионах сурьмяно-мышьяковая) медь обладала большей твердостью и лучшей текучестью при заполнении формы. Ограничением здесь было то, что мышьяк при температурах около 1300 °C окисляется и возгоняется, что заставляло отдавать предпочтение более легкоплавким и редким рудам в ультрабазитах. К тому же месторождения мышьяка были далеко не везде. С распространением производства на широких территориях, ростом потребности в металле и с переходом на более тугоплавкие руды из более кислых пород, а также с окисленных руд на сульфидные с их экзотермальной реакцией горения серы возможности для производства мышьяковой меди исчезли. Выход был найден в переходе на оловянные бронзы, поскольку олово можно легировать металлом в металл и оно не чувствительно к высокотемпературным режимам. Поэтому даже в этом случае производство зависело скорее от социально-экономического развития. Но после перехода на олово ситуация изменилась.

Особенность новой ситуации заключалась в чрезвычайно редкой встречаемости олова по сравнению с медью. Его месторождения известны в Корнуолле и Девоне на юго-западе Англии, в Бретани и Центральном массиве во Франции, на Пиренейском полуострове, в Рудных горах Центральной Европы, незначительные в Сардинии и Тоскане, а также на юго-востоке Турции (Кестель и Хисарджик), на западе Иранского Загороса (Дех Хосейн), в Восточной пустыне Египта (не эксплуатировавшиеся в древности). Наиболее заметными и важными для обеспечения оловом Ближнего Востока и Восточного Средиземноморья были центральноазиатские месторождения в Афганистане, Таджикистане и Узбекистане (Berger et al., 2019, p. 7, 8). Для Урало-Иртышского междуречья были важны месторождения в Центральном и Восточном Казахстане и небольшие месторождения Северного Казахстана (Stöllner et al., 2011, p. 233, 234; Артемьев и др., 2024, с. 24–26, рис. 1). Поэтому олово или бронзу поставляли на значительные расстояния. Огромные объемы олова, которые с востока поставлялись сначала в Ашшур, а оттуда в Канеш в Анатолию, поступали в виде пластин или слитков (*lē'um*) (Erol, 2019, p. 791).

Возникала сложная система этих поставок, которая накладывалась на систему поставок самой меди. И для того, чтобы иметь доступ к поставкам олова и быть включенным в данную систему, надо было что-то поставлять взамен. Ярким примером являются погребения в Балтийском регионе, которые часто сопровождались янтарем. Но с появлением оловянных бронз янтарь из погребений исчезает, широко появляясь в центрах производства и торговли оловом и медью, что связано с обменом янтаря на олово (Kristiansen, Larsson, 2005, p. 122; Nielsen, 2014, p. 126). Это привело к колоссальным изменениям глобальных социально-экономических систем и отношений (Muhly, 1973).

Наиболее масштабные потоки олова имели место, естественно, в самом развитом регионе мира, на Ближнем Востоке. На основании изучения лишь части архивов ассирийских торговцев в Канеше было подсчитано, что в начале 2 тыс. до н.э. за 30 лет только

© С.А. Григорьев

в Анатолию через Ассирию с востока было перевезено около 130 тонн олова (Barjamovic, 2011, p. 11, 12). Реальные объемы были, возможно, выше. Есть и иная цифра, 48 тонн, но поставки были огромны (Erol, 2019, p. 791). Объемы торговли оловом в Северной Евразии были, конечно, меньше, но они были значительными.

Однако нерешенными вопросами являются как система поставок, так и их формы. Проблема здесь заключается в том, что олово получали из касситерита, который добывали не только в шахтах, но и в аллювиальных россыпях, и следы таких работ практически не сохраняются. При плавке оловянных руд тоже сложно ожидать обнаружения каких-то надежных следов в виде шлака. Даже на безусловно эксплуатировавшихся месторождениях Юго-западной Англии такие данные отсутствуют (Wang et al., 2016, p. 88). Существует 110 минералов, содержащих олово, но наиболее доступным в древности был его оксид касситерит (SnO_2), а второстепенным возможным источником мог быть сульфидный минерал станнин (Cu_2FeSnS_4). Прочие минералы редки и не могли быть основой металлургического производства Евразии (Артемьев и др., 2024, с. 24). В контексте данной работы необходимо обратить внимание на то, что ни один из этих минералов не содержит свинца.

Находки слитков олова, а также изделий из него чрезвычайно редки. Наиболее массово оловянные слитки представлены остатками кораблекрушений в Восточном Средиземноморье (Улубурун, Гелидония, Хишулей Кармель, Кфар Самир юг и Хайфа) и у берегов Юго-западной Англии (Солкомб). Слитки, найденные на суше, единичны. Изделия из олова (главным образом, небольшие бусы и т.д.) тоже сравнительно редки (Wang et al., 2016; Berger et al., 2019, p. 1, Fig. 1). Это объясняется не столько его ценностью, сколько физическими свойствами, поскольку чистое олово не сохраняется, что хорошо известно в археометаллургии (Berger et al., 2019, p. 2). Основной формой этого металла является β-олово белого цвета, но при температурах ниже +13,2 °C металл начинает переходить в серую α-фазу, которая рассыпается в порошок. Даже появившись лишь на поверхности, эта фаза постепенно преобразует остальной металл (эффект «оловянной чумы»), а при температурах –33 °C это преобразование происходит быстро. В целом это довольно медленный процесс, но он ускоряется при наличии примесей Te, Mn, Co, Zn, Al, Ga и As, в меньшей степени Fe и Au. Сильно уменьшает скорость превращения примесь Pb, Cd, Sb и Ag, в меньшей степени Ni и Cu. Полностью ликвидирует возможность перехода в α-фазу 0,5% Bi (Спиваковский, 1975, с. 10, 11). Наиболее просты и доступны в древности были добавки меди или свинца в пропорции 0,5–2%.

В случае этого фазового перехода возможность легирования серым оловом не теряется. Более того, при нагревании можно произвести обратное преобразование. Однако перевозка порошка менее удобна, чем перевозка слитков, и порошок, вероятно, был менее привлекателен для покупателей, тем более что в евразийской торговле бронзового века металл проходил через серию посредников. Нельзя исключать, что иногда торговали и серым порошком, но у нас нет об этом данных. Соответственно в регионах с более низкими температурами торговля оловом могла осуществляться в трех формах: 1) слитки бронзы с более высоким содержанием олова, которые могли использоваться в качестве лигатуры к чистой меди, 2) слитки олова с примесью меди, 3) слитки олова с примесью свинца.

© S.A. Grigoriev

Задача этой статьи — наметить пути решения проблемы торговли оловом или оловосодержащим сырьем в Северной Евразии. Этим можно объяснить известный лингвистический парадокс. В балто-славянских языках слово для олова может использоваться и для обозначения свинца (напр., старославянское *olovo*, но прусское *alwis* «свинец», а русское слово «лудить» связано со словом *lead* «свинец» в германских языках, хотя лужение осуществляется оловом и сплавами на его основе). Однако это слово не имеет надежных балто-славянских этимологий и было заимствовано из протогерманского (напр., древний верхнегерманский *elo* «бледно-желтый», сформировавшееся из протогерманского **elwa-*) (Иванов, 1977, с. 234; Thorsø et al., 2023, p. 117). Последнее могло быть обусловлено тем, что бронзы с содержанием олова выше 15% имеют бледно-желтый цвет.

Торговля оловом на западе Евразии

Слитки олова в Европе и Восточном Средиземноморье

Главным источником для понимания форм и путей оловянной торговли являются оловянные слитки, которые в Восточном Средиземноморье датируются в пределах 1530–1200 гг. до н.э. Возможно, чуть более ранним является слиток из минойского поселения на острове Мохлос с датой в пределах 1700–1425 гг. до н.э. Он был найден в храмовом комплексе, слегка окислен на поверхности, но воздействию «оловянной чумы» не подвергся (Berger et al., 2019, p. 3–5). Это объясняется тем, что слиток находился глубоко в культурном слое, а на Крите только в январе средние температуры понижаются до +12 °C. Самое большое количество слитков обнаружено на судне сиро-палестинского или кипрского происхождения, затонувшем у мыса Улубурун около 1320 г. до н.э. Слитки имели форму бычьих шкур (стандартную для медных слитков), но большинство было расколото на части, и наиболее сохранившийся имел вес 23,8 кг, что близко к весу ближневосточного таланта. Другие были округлыми или вытянутыми, с одной плоской и одной выпуклой поверхностями. Общее их количество составляло 160, но часть разложилась окислением, и суммарный вес, вероятно, достигал одной тонны (Pulak, 2000, p. 150, 152, 155; Berger et al., 2019, p. 5; Powell et al., 2021, p. 1–3).

Часть слитков содержит повышенные концентрации свинца, в некоторых концентрация меди достигает 0,3%. В окисленной части на поверхности присутствует незначительная медная минерализация, обусловленная взаимодействием с медными слитками, составлявшими основу груза. Но большинство элементов не выходит за те пороги, которые возможны в оловянных месторождениях (Hauptmann, Maddin, Prange, 2002, p. 16). Анализ элементов-примесей и изотопов свинца выявил их происхождение из двух разных источников. Большая часть совпадает с рудами позднепалеозойского пояса (Тянь-Шань, Центральная Азия, Западная и Центральная Европа), а часть, с более высоким содержанием свинца, — с рудами кайнозойско-мезозойского пояса (Балканы, Анатолия, Иран, Афганистан). В итоге был сделан вывод о происхождении первой группы олова из районов, примыкающих к Тянь-Шаню, а второй, составлявшей до трети груза, — из Тавра в Юго-восточной Анатолии (Powell et al., 2021, p. 8–10, 16). Близкая первой группа слитков была обнаружена у берегов Израиля, но на основании изотопного анализа и микропримесей ей было предложено европейское происхождение. К той же группе отнесен слиток из минойского святилища на Мохлосе. В итоге

© С.А. Григорьев

было высказано мнение, что около середины 2 тыс. до н.э. из-за кризиса поставок олова с востока металлурги Восточного Средиземноморья переключились на европейское олово, что стало возможным благодаря широкой торговле микенцев, простиравшейся до Западного Средиземноморья (Berger et al., 2019, p. 35–37)[5].

Для нас в данном случае более важно содержание свинца во второй группе слитков. Если в первой группе свинец содержится в значениях до 22 ppm, то во второй его больше, и есть 19 проб с содержанием >0,2% и три пробы с содержанием >5%. Один слиток (KW 199) содержал 11,5% свинца, и в нем обнаружено два небольших слитка металлического свинца, не растворившихся в олове. Их изотопия позволила связать происхождение этого свинца с горнорудным центром в Аладаге, где производилось получение свинца и серебра. Это район Юго-Западного Тавра, в котором в 3 тыс. до н.э. интенсивно добывались медь, олово и серебро. Во 2 тыс. до н.э. объемы производства снизились, но разработки продолжались. Эта связь олова со свинцом находит отражение на Тель Атчана (Алалах) в Северной Сирии, где медное сырье имеет среднее содержание свинца около 64 ppm, а в оловянной бронзе его средние значения колеблются в пределах 0,37% и 1,77% (Powell et al., 2021, p. 5, 9, 11). Поэтому в гипотетическом слитке олова, который использовался для производства 10%-й бронзы, содержание свинца могло быть 3,7–17,7%, что вместе с включениями слитков свинца в оловянном слитке KW 199 указывает на преднамеренные добавки заметного количества свинца в олово.

Наиболее ранний слиток олова обнаружен в гробнице A периода РБВ в Аладжа Хёйюк (ок. 2850–2540 гг. до н.э.), он содержал примеси свинца (770 ppm), меди (430 ppm), серебра (190 ppm), никеля (180 ppm) и железа (130 ppm). При сравнении изотопных характеристик этого слитка с рудой двух древних оловянных рудников Юго-Восточной Анатолии, Гисарчик у Кайсери и Кестель у Нигде выявлено совпадение с первым рудником (Yal**ç**in Ü., Yal**ç**in H.G., 2020, p. 234, 235). Поэтому суммарно примеси свинца, меди и серебра, которые стабилизируют олово, составляли около 0,14%, чего, возможно, было вполне достаточно для этого южного региона. В данном случае показательна примесь серебра.

Связь этих слитков с районом, где производилось серебро, не случайна. Свинец не имел в древности потребительского значения как отдельный металл, хотя эпизодические его находки встречаются. Первоначальное появление металлического свинца связано с тем, что свинцовые руды содержали серебро, которое извлекали из них методом купеляции (окисление свинца и выпаривание его оксида), в результате чего иногда получался металлический свинец, которому нашли применение в редких небольших изделиях и в качестве лигатуры к олову или бронзе. Эта технология была известна в Месопотамии, Юго-Восточной Анатолии и Северной Сирии (Фатмали-Келечик, Арслантепе, Хабуба Кабира) с 4 тыс. до н.э., а также в Эгеиде с 1-й половины III тыс. до н.э., и являлась единственно возможной для получения серебра. После этого свинец могли выплавлять в ограниченных количествах целенаправленно, что не составляло особого труда. Для Северной Евразии эта технология пока установлена лишь одной свинцо-

[5] Данное исследование включало и образцы из Улубуруна, но, поскольку пробы, взятые с поверхности и изнутри слитков, показали разные изотопные композиции, был сделан вывод, что определить их происхождение пока не представляется возможным (Berger et al., 2019, p. 34).

© S.A. Grigoriev

вой проволокой и двумя образцами шлака синташтинской культуры, хотя серебряные изделия в эту эпоху представлены шире (Григорьев, 2013, с. 216–222).

Фрагменты оловянных слитков из святилища нурагической культуры С'аркуэ-ис-Форрос на Сардинии содержали от 0,05% до 0,87% свинца (Wang et al., 2016, p. 89), поэтому потенциально часть из них могла быть намеренно легированной. Исследования редких находок этих слитков и оловянных изделий в Сардинии и Северной Италии демонстрируют разные изотопные характеристики, и их импорт (по меньшей мере, их части) из Иберии или Корнуолла не исключается, хотя проблема далека от своего разрешения (Artioli, Canovaro, 2020, p. 70–73).

Серия оловянных слитков, найденных в море у побережья Солкомб в Юго-Западной Англии, вместе с бронзовыми и золотыми изделиями датируются 1300–1150 гг. до н.э. (фаза Пенард), но один топор типа Нант относится к фазе Эварт Парк, которая датируется 1000–800 гг. до н.э., что мешает точно определить дату слитков. Содержание свинца в них незначительно, в пределах 4,09–92,3 ppm. Лишь один из 39 проанализированных слитков содержал 0,27% меди (Wang et al., 2016, p. 80–84, tabl. 2). Последнее обеспечивало бы ему некоторую, но слабую защиту от «оловянной чумы», но это единичная находка и может быть продуктом случайного загрязнения в мастерской, где попутно выплавляли медь, поскольку такой сплав не дублируется другими анализами этого комплекса.

Но в континентальной Европе ситуация иная. Оловянное многовитковое кольцо из долины Толлензе в Северо-Восточной Германии содержало 1,4% свинца. Второе кольцо из того же контекста проанализировано только на поверхности, но имело, вероятно, тот же состав, что и предохранило их от изменения кристаллической решетки и разложения. Находки датируются III периодом Северного бронзового века (ок. 1300–1100 гг. до н.э.) (Krüger et al., 2012, p. 29, 39, 40). Слиток периода ПБВ (1300–750 гг. до н.э.) из Зурзее-Гаммайнзели (округ Люцерн в Швейцарии) содержал 1,52% свинца, что в 8%-х бронзах дало бы его содержание около 0,12%, и предполагается его происхождение из Рудных Гор (Nielsen, 2014, p. 182, 183), что весьма ненадежно. В Вординге в Южной Швеции найден слиток с содержанием 0,77% свинца, но там же обнаружен свинцовый слиток, указывающий на знакомство и с этим металлом. Оба слитка датируются периодом V, 900–700 гг. до н.э. (Ling et al., 2014, p. 118, 119, 124).

На первый взгляд, эти факты могут указывать на то, что в более северные районы Европы везли слитки с примесью свинца, и вполне возможно, что часть груза, найденного у мыса Улубурун, тоже предназначалась для Центральной Европы. Однако это редкие находки, и не исключено, что имели место и оловянные слитки без примесей, не сохранившиеся по причине «оловянной чумы».[6] Поэтому более достоверный результат мы можем получить, обратившись к составу металла.

[6] Касситерит содержит крайне мало свинца, и даже свинец с содержанием более 5 ppm указывает на его отдельный от касситерита источник. Поскольку из 183 оловянных слитков, обнаруженных в Европе и Восточном Средиземноморье, только четыре содержат ⩽4 ppm Pb, его появление в этих слитках объяснено разными причинами: присутствием минералов свинца в ассоциации с оловянной рудой, смешиванием оловянных руд разных источников, сплавлением разных слитков, случайным загрязнением олова при плавке за счет обмазки печи или использованием тигля, в котором плавили свинец, добавками металлического свинца. Последнее могло быть вполне намеренным, поскольку температуры плавления олова и свинца близки (232 и 327 °C соответственно), и свинец тоже способствует жидкотеку-

© С.А. Григорьев

Содержание свинца в европейских бронзах

В Южной Швеции свинец до 0,5% присутствует в бронзовых изделиях во все периоды, а в Центральной Европе его содержание порой выше (Ling et al., 2014, p. 118, 119, tabl. 2). Однако нас интересуют не отдельные предметы, а общая динамика. Поэтому я воспользовался Штутгартской базой данных по спектральным анализам европейского металла (SAM), которая включает 35 491 анализ (Krause, 2003, см. базу данных в виде приложения CD к данной публикации). Поскольку периодизации в разных районах Европы различаются, далее использованы те названия, которые применены в этой базе данных, но некоторые подпериоды объединены. Нас интересует среднее содержание олова и свинца в бронзах, за которые был принят порог содержания олова 0,5%, поскольку часть металла наверняка переплавлялась и сплавлялась с чистой медью. Для сравнения был рассчитан средний состав свинца в чистой меди с содержанием олова 0,1% и меньше (табл. 1).

Таблица 1

Среднее содержание олова и свинца в оловянных бронзах Cu+Sn (Sn ≥ 0,5%), чистой меди Cu* (Sn ≤ 0,1%) и гипотетических оловянных слитках Европы (в %)

Tab. 1

Average tin and lead content in tin bronzes Cu+Sn (Sn ≥ 0.5%), pure copper Cu* (Sn ≤ 0.1%) and in hypothetical tin ingots of Europe (in %)

Период	Pb в Cu*	Sn в Cu+Sn	Pb в Cu+Sn	Pb в Cu+Sn/Pb в Cu*	Pb/Sn	Pb в гипотетических Sn-слитках
2700–2450 гг. до н.э.	0,02	4,6	0,56	28	0,12	10,89
2450–2200 гг. до н.э.	0,05	5,48	0,54	10,8	0,11	9,05
2200–1900 гг. до н.э.	0,14	5,08	0,48	3,43	0,1	8,85
РБВ I	0,03	6,21	0,14	4,67	0,02	2,22
РБВ II	0,19	7,37	0,33	1,74	0,05	4,39
СБВ	0,18	9,63	0,39	2,17	0,04	3,96
ПБВ/ФБВ	0,09	7,13	0,82	9,11	0,12	10,43
800–600 гг. до н.э.	0,29	8,61	2,17	7,48	0,25	20,69

Среднее содержание свинца в чистой меди (0,1% Sn и ниже) невелико, и колеблется от 0,02 до 0,29%. В бронзах же оно резко растет. Наиболее резкий рост (в 28 раз) наблюдается в период 2700–2450 гг. до н.э., что объясняется, вероятно, поставками олова из Анатолии, так как эти находки распространены на Балканах и отчасти в Центральной Европе. Во 2-й половине 3 тыс. до н.э., а также в ПБВ (1300–800 гг. до н.э.) и РЖВ

чести металла. Однако он был более доступен, что делало производство более рентабельным (Powell et al., 2024, p. 1–6). Все это вполне возможно, но подавляющее число перечисленных причин могло дать лишь совершенно незначительную примесь. Нас же интересуют случаи более высокого содержания свинца, которых можно было достичь лишь намеренным легированием. Кроме того, свинец, в отличие от олова, почти не растворяется в меди, образуя расплавленные включения. Поэтому его не могли добавлять именно с целью легирования.

© S.A. Grigoriev

(800–600 гг. до н.э.) содержание свинца растет в диапазоне в 7,5–10,8 раза. В эти периоды соотношение Pb/Sn колеблется в диапазоне 0,1–0,25, снижаясь до 0,02–0,04 в РБВ и СБВ, когда доля свинца в бронзах относительно доли в чистой меди растет в диапазоне 1,74–4,67 раза. Это указывает на легирование оловом с заметной примесью свинца. Вычтя содержание свинца в чистой меди из таковой в бронзах, мы можем рассчитать долю свинца в гипотетическом усредненном оловянном слитке каждой эпохи. В РБВ и СБВ она не высока и колеблется в диапазоне 2–4%. В остальные же периоды она составляет около 10%, резко вырастая в РЖВ. Последнее может отчасти объясняться сложными отливками, когда в расплав намеренно добавляли свинец, или заметным похолоданием этого периода, и для всех периодов мы можем предположить эксплуатацию отдельных медных месторождений с повышенным содержанием свинца. Однако мы не можем допустить этого для всех месторождений Европы. Следовательно, с самого начала использования бронз имело место легирование олова свинцом, хотя его доля в слитках была наверняка ниже, чем в этих гипотетических.

Идентичную ситуацию мы наблюдаем в Китае, где оловянные бронзы бурно распространяются с шанского времени, и они отличаются очень высоким содержанием свинца, часто превышающим 1%. В эпоху Чжоу большинство оловянных слитков содержит более 0,1% свинца, но сохраняются и бинарные Sn-Pb сплавы с высоким его содержанием. Эта проблема интенсивно обсуждалась в китайской археометаллургии, поскольку значительная часть этого металла содержит высокорадиогенный свинец, и подобные месторождения известны в Китае, хотя их изотопные характеристики отличаются от характеристик шанского металла. Встречены также шлак и малахит с подобными характеристиками, что может объясняться медными месторождениями. Но во многих случаях это очевидно связано с легированием оловом с примесью свинца (Liu et al., 2025, p. 2–5, 8).

Олово в начале ПБВ между Уралом и Алтаем

Петровско-алакульский и сейминско-турбинский период

В силу того, что месторождения олова известны в Центральном и Восточном Казахстане, а также отчетливого тренда — чем восточнее, тем доля оловянных бронз и содержания олова в них выше, давно утвердилось справедливое мнение о том, что олово в Северной Евразии распространялось с востока. Более низкое содержание олова западнее связано с переплавкой импортируемого металла и сплавом его с местным (Артемьев и др., 2024, с. 20, 22).

Металл петровской культуры представлен несколькими группами: Cu (63,6%); Cu+Sn (30,7%), Cu+Sn+As (4%) и Cu+As (1,7%). При этом оловянные бронзы обязательно содержат примесь свинца в пределах 0,003–0,6%, гораздо выше, чем в чистой меди, и концентрации свинца возрастают по мере роста концентраций олова. В металле алакульской культуры Южного Зауралья, помимо чистой меди, представлены следующие типы искусственных сплавов: Cu+Sn (48,8%), Cu+Sn+Pb (7,2%), Cu+Sn+As (0,8%), Cu+Sn+Pb+As (0,8%), Cu+Pb (3,2%), Cu+As (0,8%). Содержание олова в изделиях составляет 0,4–23%, а свинца — 1,1–7,1%. В группе Cu+Sn+Pb содержание свинца колеблется в пределах 1,1–2,5%, а в одной игле, содержащей также небольшую при-

© С.А. Григорьев

месь мышьяка, его доля достигает 7,1%. Помимо этого, три заготовки и крюк отнесены к группе Cu+Pb с присадкой Pb 1,1–2,3%. Слитки и сплески в большинстве представлены оловянной бронзой с содержанием олова 2–11%. Наблюдается положительная корреляция Sn–Pb–Ag–Bi, при этом корреляция между Sn и Pb есть, но не слишком сильная (0,47), есть и три полуфабриката из сплава Cu+Pb. Эта картина сопоставима с металлом Рудного Алтая, и она была объяснена как примесями свинца в медной руде, так и его целенаправленными добавками при легировании. В качестве модели предложены поставки готовых изделий и бронзовых слитков из Центрального и Восточного Казахстана. Но обращает на себя внимание наличие слабой корреляции между оловом и свинцом в металле как петровской, так и алакульской культур (Дегтярева, Кузьминых, 2022, с. 35, 36, 39; Дегтярева и др., 2025, с. 40–45, рис. 7).

Методом анализа главных компонент по 12 элементам в изделиях ПБВ Зауралья и Северного Казахстана было выделено семь групп, которые отражают как импортный восточный металл, так и его смеси с местным металлом (Артемьев и др., 2024, с. 27–31). Данная картина подтверждается и изотопным анализом, который выявил три группы металла петровской и алакульской культур. В первую вошли Sn-бронзы (с повышенной концентрацией Pb и Sb), Sn-As и As-бронзы. Она определяется в качестве привозной с Алтая или из Казахстана, но повышенные содержания свинца, а в некоторых изделиях и цинка позволили предположить связь с Алтаем. Не исключается и смесь привозного металла с местным. Этот местный металл выделен во вторую группу, которая отличается повышенными концентрациями As и Ni и наличием между ними и Fe положительной корреляции. Есть небольшая третья группа, которая связывается с районами, прилегающими к Тянь-Шаню (Чугаев и др., 2025, с. 129). Вторая группа, вероятно, связана с синташтинской традицией плавки руд из ультраосновных пород, и плавки подобных руд были зафиксированы как на петровском поселении Семиозерное II, так и на алакульском поселении Коркино I (Григорьев, 2013, с. 259, 471).

В контексте форм поставок нам наиболее интересны слитки бронзы. Для петровских слитков выделено четыре химико-металлургические группы: чистая медь (67,1%), оловянная (28,6%), оловянно-мышьяковая (2,9%) и мышьяковая бронза (1,4%), и это соотношение в целом соответствует соотношению групп сейминско-турбинского (СТ) металла. Поэтому допускается, что именно СТ металлурги были посредниками в этих поставках металла, но конечные его корни следует искать в елунинских центрах Алтая. Косвенно это подтверждается и отдельными находками олово-свинцовых сплавов. Поскольку слитки содержат более высокие концентрации олова, чем готовые изделия, более вероятны для петровской культуры поставки именно бронзовых слитков (Дегтярева, 2015, с. 43–46; 2024, с. 13).

Эти выводы вполне справедливы. Из опубликованных данных (Черных, Кузьминых, 1989; Дегтярева, Грушин, Шайхутдинов, 2010; Дегтярева, 2015; Дегтярева и др., 2025) по составу оловянных бронз петровских и алакульских поселений были выбраны лишь те, что содержат не менее 0,5% олова, поскольку образцы с низким содержанием явно являются результатом переплавки. Я не использовал корреляционные графики, поскольку нас не интересует каждый отдельный предмет и его соотношение с иными. Нас интересует именно усредненная картина этого металла. Для петровского металла

© S.A. Grigoriev

отдельно выделены слитки, но сплески металла включены не в них, а в группу изделий, поскольку они формировались в процессе их литья. В итоге была получена следующая картина. Она статистически не вполне достоверна, поскольку алакульские слитки представлены лишь тремя экземплярами, а елунинские изделия — семью.

Таблица 2

Усредненное содержание олова и свинца в металле петровской, алакульской и елунинской культур, сейминско-турбинских бронзах и меди (Cu*), а также в гипотетическом оловянном слитке (в %), и их соотношение (Pb/Sn)

Tab. 2

Average tin and lead content in metal of the Petrovka, Alakul and Elunino cultures, Seima-Turbino bronzes and in copper (Cu*), as well as in a hypothetical tin ingot (in %), and their ratio (Pb/Sn)

Петровские изделия				**Петровские слитки**		
Sn	Pb	Pb/Sn	Pb в гип. Sn слитке	Sn	Pb	Pb/Sn
2,95	0,14	0,05	4,5	5,53	0,21	0,04
Алакульские изделия				**Алакульские слитки**		
Sn	Pb	Pb/Sn	Pb в гип. Sn слитке	Sn	Pb	Pb/Sn
5,18	0,5	0,1	8,73	5,27	0,28	0,05
Сейминско-турбинские бронзы				**Елунинские тигли****		
Pb в Cu*	Sn	Pb	Pb/Sn	Pb в гип. Sn слитке	Sn	Pb	Pb/Sn
0,01	7,43	0,28	0,04	3,68	38,11	1,66	0,04
Елунинские изделия				**Елунинский шлак**		
Sn	Pb	Pb/Sn	Pb в гит. Sn слитке	Sn	Pb	Pb/Sn
7,45	0,6	0,08	7,45	0,02	0,21	9,44

* Среднее содержание свинца в изделиях с содержанием олова 0,1% и менее.

** Для ошлаковки тиглей поселения Павловка-I произведен пересчет долей в системе Cu+Sn+Pb.

Из приведенной таблицы 2 мы видим, что, по сравнению со слитками, в бронзовых изделиях петровской культуры содержание олова и свинца заметно снижается (соответственно 5,53% → 2,95% и 0,21% → 0,14%), что подтверждает выводы о том, что олово и свинец связаны (см. также близкое соотношение Pb/Sn в петровском, алакульском и сейминско-турбинском металле), слитки уже легированного металла привозились с востока, и они сплавлялись с чистой медью зауральского происхождения. Содержание олова в петровских слитках близко его содержанию в елунинском металле (5,53 и 7,45% соответственно). Но в елунинском металле содержание свинца заметно выше, чем в петровских слитках, что вызывает разницу в соотношении олова и свинца почти в два раза (0,04–0,05 и 0,08). Елунинская выборка статистически недостоверна, но разница все же довольно заметная, что позволяет допускать какой-то иной близкий источник или производство на экспорт несколько иного металла. Безусловно, поставлялись и слитки Sn+Pb, которые тоже могли использовать для легирования (Дегтярева и др., 2025, с. 40).

© С.А. Григорьев

Интересно то, что если рассчитать содержание свинца в гипотетическом усредненном петровском слитке олова, то мы получим 4,5%, что близко 3,68%, рассчитанном для СТ бронз, несмотря на то, что они демонстрируют более высокие средние концентрации олова. Это подтверждает вывод об импорте бронзы из СТ среды, и использованное при его легировании олово имело высокое содержание свинца. Показательно, что в СТ изделиях, содержащих 0,1% и менее олова, свинца содержится в среднем 0,01%, что является рудной примесью. В бронзах с содержанием олова 5% и более пропорция свинца вырастает в 28 раз. То есть ситуация идентична той, которая имела место в Европе.

Не исключено, что бронзы с содержанием олова до 30–40% поставлялись в это время из елунинского ареала, так как в тиглях поселения Павловка-I зафиксировано то же соотношение Pb/Sn, что в петровском и сейминско-турбинском металле (табл. 2). На этом поселении было обнаружено шесть фрагментов ошлакованной изнутри елунинской керамики и два куска шлака. Однако поселение многослойное и нестратифицированное. Поэтому надежно отнести шлак к елунинской культуре невозможно. Ошлакованная часть тиглей была проанализирована с помощью портативного RFA-анализатора ALPHA SERIES™, который непригоден для негомогенных веществ, что затрудняет обсуждение результатов анализа[7]. В девяти произведенных анализах в первую очередь бросается в глаза заметное содержание меди в пределах 0,56–35,04%. Кроме нее высоки содержания олова (0,37–36,7%, за исключением одного образца, где оно отсутствовало, среднее значение 7,73%) и свинца (0,02–0,61%, и в данном случае тоже в одном из образцов свинец отсутствовал, среднее значение 0,33%). Это явно указывает на процесс легирования, но в ошлаковке обнаружено значительное количество железа в пределах 2,91–19,58% (среднее значение 8,66%). Из этого были сделаны следующие выводы. Поскольку свинец и цинк (тоже присутствующий в ошлаковке) характерны для Змеиногорской зоны Алтая, а при окислении цинк растворяется и перетекает в более низкие слои месторождений, для плавки здесь использована преимущественно сульфидная руда. Плавка осуществлялась в тигле вместе с оловянными минералами, и в пределах елунинской культуры существовало два типа плавок — в тигле, как на данном памятнике, и в печи, как на Березовой Луке (Кирюшин и др., 2013).

Данный сценарий представляется весьма сомнительным по ряду причин. Во-первых, в любой культуре (и даже в разных культурах одного региона), как правило, использовался один, наиболее оптимальный для данного рудного сырья тип плавки[8]. Во-вторых, в тигле руда была бы изолирована от химических процессов, происходящих в печи. Суть их заключается в том, что при сгорании угля первоначально формируется окислительный газ CO_2, который способствует выгоранию серы из сульфидов, но он же окисляет часть меди до куприта (Cu_2O). В результате этого, а также дальней-

[7] При анализе негомогенного состава данным методом прибор порой может определить лишь 18–60% вещества, и именно это количество нормализируется до 100% его программным обеспечением. Это может дать заведомо искаженный результат, заметно увеличивая содержание отдельных элементов в шлаковой массе. К сожалению, в обсуждаемой публикации соответствующих разъяснений не приведено.

[8] Не исключено, что это может отражать хронологическую разницу и/или какие-то культурные особенности, но для понимания этого необходим серийный материал. На единичных случаях эту проблему решить невозможно.

© S.A. Grigoriev

шего взаимодействия с углем формируется восстановительный газ CO, преобразующий куприт в медь и не позволяющий ей окисляться. При плавке касситерита происходят совершенно иные процессы, и совсем не ясно, как бы вся эта система функционировала. Внутри тигля эти процессы происходить не могут. Поэтому совершенно очевидно, что данные находки отражают процесс легирования. Несмотря на неточность использованного метода анализа, а шлак в тигле может образовываться весьма неравномерно, мы вправе предположить, что усредненный результат из девяти анализов отражает какую-то реальность. И здесь мы видим, что средние содержания олова и железа близки друг другу. Поэтому не исключено, что касситерит находился в ассоциации с какими-то железосодержащими минералами. Если нормализировать средние значения лишь для меди, олова и свинца (табл. 2), исключив шлаковые компоненты, мы получим гипотетический сплав Cu (60,22%) + Sn (38,12%) + Pb (1,66%), который может перевозиться и использоваться для дальнейшего легирования меди. Отношение Pb/Sn в этом сплаве будет 0,04, что близко аналогичным показателям в петровских слитках и изделиях. Таким образом, не исключено, что такие сплавы и были предметом торговли. Однако проверка этого требует более качественного анализа данного материала.

С другой стороны, выплавка олова или свинца из соответствующих минералов не являлась сложной задачей, и выше упоминались изделия из сплавов этих металлов. Легирование оловом в металл более удобно, поскольку позволяет, в отличие от легирования касситеритом, получить хорошо прогнозируемый результат. Поэтому назначение такой операции не ясно, и этот вопрос следует оставить до получения надежных результатов.

Тем не менее суммарно мы можем предполагать доминирование в этих поставках бронзовых слитков с повышенным содержанием олова. Это давало конкурентные преимущества алтайским сообществам, поскольку они имели возможность параллельно поставлять свою медь. В этом смысле ситуация слегка напоминает ближневосточную, поскольку несмотря на огромные поставки олова из Ашшура в Анатолию, главными товарами ассирийских торговцев были ткани и зерно. Олово же использовалось в первую очередь в качестве стратегического товара, обеспечивавшего хорошие отношения с местными контрагентами в виде малоазийских царьков (Barjamovic, 2011).

В алакульское время ситуация заметно меняется, и параметры алакульского металла полностью соответствуют елунинскому, что тоже вызывает недоумение, поскольку нет сомнений, что в алакульской культуре имело место собственное металлопроизводство и привозной металл должен быть смешан с местным. Ощутимой разницы между слитками и металлом мы теперь не видим. Обращает на себя внимание и рост содержания свинца. Вероятным объяснением этому является то, что алакульские металлурги получали с востока уже не столько готовую бронзу, сколько оловянные слитки с примесью свинца в среднем 8,73%. Речь не идет о каких-то качественных изменениях, а лишь об изменении пропорций этих поставок. Это вполне соответствует заметному росту добычи меди в алакульском ареале, которую было необходимо легировать оловом. Данная динамика перехода от преимущественной поставки высокооловянных бронзовых слитков к поставкам оловянных слитков с примесью свинца соответствует также обсуждавшимся выше трансформациям в терминологии для олова, ког-

© С.А. Григорьев

да в балто-славянские языки из протогерманского сначала заимствуется слово **elwa-* ‘бледно-желтый’, а затем *olovo* начинает порой получать значение «свинец».

Свинец в данном случае не может быть связан с касситеритом. Поэтому принято считать, что он происходит из медных руд востока Центрального Казахстана или Алтая (Дегтярева и др., 2025, с. 45). На елунинском поселении Березовая Лука, действительно, была выявлена медная руда с примесью свинца, что позволило предположить ее происхождение из руд Змеиногорской зоны (Кирюшин, Малолетко, Тишкин, 2005, с. 120–123, 128; Тишкин, 2002, с. 185). В последующие анализы материалов этого памятника (Григорьев, 2013, табл. 11–10) были включены три образца руды, один — медного сплеска в районе медеплавильни и 51 образец шлака. В настоящую обработку не включен шлак с высоким содержанием керамического материала, связанного с обмазкой печи, и нижеприводимые данные отражают характеристики рудного шлака.

Заметного количества олова в этой серии не выявлено ни в руде, ни в меди, ни в шлаке. Легирование производилось позже в металл. Содержание свинца в руде оказалось, действительно, велико (0,5–1%), а в меди — 0,3%. Содержание его в шлаке колебалось в пределах 0,001–1%, составляя в среднем 0,21%. Это в целом соответствует его содержанию в медной капле с этого памятника, а также выводу Е.Н. Черных (1970, с. 11) о том, что при металлургических переделах свинец ведет себя нейтрально, равномерно распределяясь между шлаком и металлом. Это соответствует и содержанию свинца в алакульских слитках, но в три раза меньше, чем в елунинском металле[9]. Данный факт может означать, что большая часть свинца в елунинский металл поступала в процессе легирования, а металл, предназначенный для поставок в петровский ареал, легировался оловом с меньшим средним содержанием свинца. Этому можно предложить рациональное объяснение. Выше показано, что СТ и петровские сообщества получали бронзу с высоким содержанием олова, которая использовалась для легирования, что не требовало легирования олова свинцом. Доля поставок собственно олова в этом балансе была ниже.

В алакульское время растет перевозка собственно олова. Отчасти это было связано с резким ростом алакульского производства меди, но могли быть и дополнительные причины, заставившие алтайских металлургов отказаться от своего конкурентного преимущества с поставками высокооловянных бронз. «Алакульцы» проникают далеко на юг, вплоть до Зеравшана (Аванесова, 2015). Поэтому у них мог появиться доступ к источникам олова в этом регионе, а также они могли начать разрабатывать более скромные источники в Центральном Казахстане (Артемьев и др., 2024, рис. 1). Это имеет и аналитическое подтверждение, поскольку для Зауралья выделена небольшая группа бронз, чье происхождение по изотопному составу соотнесено с месторождениями в районе Тянь-Шаня (Чугаев и др., 2025, с. 129). Поскольку речь идет об изото-

[9] По иным оценкам (Григорьев, 2013, с. 27, табл. 0–6) содержание свинца в шлаке все же понижается с коэффициентом 0,238, что позволяет допускать его рост в металле. Использование этого коэффициента позволяет допускать присутствие свинца в исходной руде около 0,88%, что соответствует анализам руды. Тогда в меди ожидаемая доля свинца может составить 3,71%, что совершенно не соответствует елунинскому металлу. Однако при расчете этих коэффициентов использовались руда и шлаки преимущественно синташтинских памятников, с совершенно иными технологическими, в первую очередь температурными параметрами.

© S.A. Grigoriev

пии свинца, то мы имеем дело не с поставками бронз, а с поставками олова, легированного свинцом.

Подобное присутствие свинца было возможно лишь в случае отдельного получения свинцовой лигатуры, не связанной с оловом. Среди материалов елунинской культуры известно свинцовое кольцо с примесью олова >30%, а также свинцовое кольцо с примесью 0,93% меди (Дегтярева, Грушин, Шайхутдинов, 2010, с. 29). Это однозначно указывает на наличие металлического свинца, не связанного с оловом. Три заготовки и крюк, сделанные из сплава Cu+Pb с содержанием свинца 1,1–2,3%, присутствуют на памятниках алакульской культуры Зауралья (Дегтярева и др., 2025, с. 40).

Применение того же подхода к оловянным бронзам (с содержанием олова от 0,8%, 45 образцов) срубной культуры (Черных, 1970, табл. I) показывает соотношение Pb/Sn 0,046, а содержание свинца в гипотетическом слитке олова 4,42%, что соответствует петровской и СТ ситуации. Поэтому можно предположить, что металлурги срубной культуры получали с востока преимущественно не оловянные слитки, а бронзы. Однако речь идет лишь о статистических вероятностях и гипотетическом варианте.

Федоровское и саргаринско-алексеевское время

С федоровской культурой связано производство олова на пос. Мастау Бай I в Восточном Казахстане, расположенном вблизи оловянных рудников Калба-Нарымского поля. На поселении обнаружено три тигля с тонкой шлаковой коркой внутри, в которой найден касситерит, кристаллизовавшийся из расплава (Stöllner et al., 2011, p. 244, 245). Поэтому можно предположить плавку чистого касситерита в тигле.

Итак, для значительной части ПБВ мы можем допустить два типа поставок олова: в виде слитков бронзы с высоким содержанием олова в пределах 15–40% и в виде слитков олова с примесью свинца.

Более поздним временем общности культур валиковой керамики датируется производство олова и оловянных сплавов на поселении Бетегели-1 в Восточном Казахстане, расположенном вблизи оловянных рудников. Радиоуглеродные даты слоя с этими находками отнесены к XV-XIV вв. до н.э. При исследовании плавильной мастерской была обнаружена серия находок, связанных с производством оловянных бронз: два куска касситерита, шлак, фрагменты тиглей, сплески и слитки металла (в том числе в виде прутков). Этот материал анализировался портативным RFA анализатором S1 TITAN (Bruker), и на основании этого был сделан вывод о существовании в пределах одной мастерской двух технологических схем: 1) производство меди и олова отдельно друг от друга и их дальнейшая переплавка в тигле; 2) производство бронзы путем совместной выплавки медных и оловянных руд. Итоговым продуктом в обоих случаях были бронзовые прутки с довольно стандартным содержанием олова: от 9,86 до 12,77%. Основания для этих выводов были следующие: 1) наличие как медных слитков и сплесков без примесей олова, так и оловянных бронз; 2) присутствие в шлаке значительной примеси вольфрама, минералы которого встречаются на оловянном руднике; 3) наличие как шлака от плавки касситерита, так и шлака, содержащего, помимо олова, медь, но содержание олова в этих шлаках выше, чем меди (Самашев и др., 2025).

© С.А. Григорьев

Выше мы обсуждали, что подобный прибор непригоден для анализа негомогенного материала, такого как шлак или фрагменты тиглей. Мы имеем дело с заведомыми искажениями, хотя на качественном уровне ситуацию можно оценить. Однако применительно к слиткам и сплескам результаты анализа могут быть относительно достоверны. Обращает на себя внимание то, что лишь прутки, один из слитков и половина сплесков содержат высокую долю олова. Остальная часть сплесков и большинство слитков этого не демонстрируют. Данный результат может указывать и на отдельную плавку касситерита и медной руды с последующим производством бронзового сплава. Весь шлак при этом отличается высоким содержанием олова. Кроме образца BTG-24–445, содержавшего всего 5,3% олова и 1,2% меди (и это может быть результатом аналитической ошибки или плавки в печи, где до этого плавили медь), прочие шлаки содержат олово в диапазоне 26,57–72,15% со средним значением 49,5%. В противоположность этому, содержание меди составляет в среднем 3,46%. Но даже эта цифра получена благодаря двум пробам образца BTG-24–502 (9,1 и 13,34% Cu), и если их исключить, то среднее содержание меди понизится до 0,36%. Тем не менее это совершенно определенно шлаки, связанные с плавкой касситерита, а не с плавкой меди. Железо содержится в шлаке в диапазоне 3,9–34,52%, но и в одном образце касситерита его содержание составляет 15,67%. Поэтому присутствие железа в этом шлаке связано, хотя бы отчасти, с касситеритом[10].

Сложно сказать, каким способом производилось легирование. Не исключены добавки чистого касситерита. В ошлаковке тигля обнаружено ок. 1,8% меди. Это означает, что в нем плавили лишь чистую медь. Но в финальном бронзовом веке в Восточном Казахстане 88,5% металла представлено оловянными бронзами (Агапов, Дегтярева, Кузьминых, 2012, с. 56). Было бы странно представить литые изделия из чистой меди в этот период. Поэтому, если вся мастерская была нацелена на производство олова и в ней не производились операции по литью из чистой меди, то это может указывать на добавки расплава меди к олову. Нельзя исключить, что мы имеем дело с легированием олова медью, поскольку при добавке от 0,1 до 0,5% меди к олову его кристаллическая решетка становится несколько более стабильной при понижении температуры, и олово в меньшей степени подвергается эффекту «оловянной чумы». Однако до обнаружения слитков олова с примесью меди это может оставаться лишь гипотетической возможностью.

Довольно странным является присутствие во всех образцах шлака вольфрама (0,12–26,68%), который отсутствует как в касситерите, так и в слитках и сплесках. Его ураганное содержание в некоторых образцах можно объяснить особенностью анализа, тем не менее сомневаться в его заметном присутствии оснований нет. Но почему вольфрам демонстрирует нулевые значения во всем ином материале? Порог чувствительности вольфрама для этого прибора составляет около 0,01–0,05%, а вольфрам сравнительно равномерно распределяется в шлаке и металле, с возможным понижающим коэффициентом 0,5% в шлаке, хотя этот коэффициент статистически недостоверен (Григорьев, 2013, табл. 0–6). В любом случае мы должны ожидать его примеси в металле.

[10] Этот вывод тоже не может быть окончательным, так как желательно с помощью СЭМ увидеть формы нахождения олова и меди в данном шлаке.

© S.A. Grigoriev

Обсуждавшийся нами выше свинец есть в заметных количествах лишь в одном слитке и сплеске бронзы (2,36 и 2,46% соответственно). Его небольшая примесь присутствует во всех иных слитках и сплесках, и 0,05% свинца есть в одном из образцов касситерита. Но в шлаке свинец полностью отсутствует. В слитках и сплесках корреляция между оловом и свинцом не наблюдается. Поэтому для данного памятника легирование олова свинцом, вероятно, характерно не было. Это можно объяснить возможным легированием олова медью или изготовлением бронз с очень высоким содержанием олова, которые использовались для легирования. В этом случае в добавках свинца необходимости не было. Присутствие свинца в двух образцах бронзы может указывать либо на случайность, либо на получение сырья от иного производителя. Уверенные суждения по этому поводу на базе данных анализов невозможны.

Типы легирования оловом

Приведенные выше данные позволяют понять, каким образом в этот период осуществлялась торговля оловом в Северной Евразии. В условиях низких температур в течение длительного времени, когда средние температуры держатся выше +13,2 °С только в течение трех летних месяцев, поставки чистого олова были невозможны. Его хранение при низких температурах могло вызвать эффект «оловянной чумы». Поэтому проблема решалась поставками бронз с высоким содержанием олова, а также слитков олова с примесью свинца. Для предотвращения преобразования олова было достаточно его примеси в пределах 0,5–5%, но в данном случае она была намного выше, что объяснить сложно. Не исключено, что свинцом иногда компенсировался дефицит олова, но до получения надежных аналитических данных по технологии изготовления этих сплавов на востоке это будет оставаться более чем гипотетической возможностью. Надежно можно говорить и о поставках бронз с высоким содержанием олова, которые использовались в качестве лигатуры к чистой меди. Наконец, гипотетически можно предположить легирование олова небольшой примесью меди, но это предположение можно допускать на основании обсуждаемых образцов из Бетегели-1 и одного слитка из Юго-западной Англии.

Выводы

Масштабную торговлю бронзой и оловом в течение бронзового века следует рассматривать в связи с известной проблемой «оловянной чумы», когда чистое олово превращалось в порошок. Эта проблема была не столь актуальна в южных странах, но на севере металлическое олово сохранить в неизменном виде было невозможно. Поэтому легирующий материал поступал 1) в виде слитков бронзы с очень высоким содержанием олова, 2) в виде слитков олова с примесью меди (весьма гипотетическая на данном этапе возможность, которую сложно показать аналитически), но главным образом, 3) в виде слитков олова с примесями свинца. Именно по этой причине во всех регионах распространения оловянных бронз Евразии мы видим рост в них примесей свинца, отсутствующих в касситерите, и это вовсе не связано со спецификой медных руд.

Данная технология могла возникнуть лишь в регионе, где, помимо олова, были знакомы с металлическим свинцом. Поскольку последний являлся попутным продуктом

© С.А. Григорьев

при производстве серебра из свинцовых руд, наиболее вероятным регионом возникновения данной технологии является Тавр в Юго-Восточной Анатолии, откуда поставлялись медь, олово и серебро с 3 тыс. до н.э. Металлурги этого района не могли не заметить внешнего сходства олова и свинца и могли попробовать их смешивать. Это привело к наблюдению, что такой сплав не рассыпается в зимний период. Вместе с распространением оловянных сплавов шло распространение и этой технологии.

В силу того, что легирование осуществлялось разными способами, а позже этот металл неоднократно переплавлялся, мы не можем наблюдать четкой корреляции между оловом и свинцом в бронзовых сплавах. Эта корреляция есть, но не резко выраженная.

Наличие разных способов легирования, переплавки, а также присутствие в сплавах заметного количества свинца, полученного из источников, не связанных ни с медной, ни с оловянной рудой, делают проблематичным для оловянных бронз установление их происхождения или группировки на основании элементов-примесей (для элементов, связанных со свинцом) и особенно на основании анализа свинцовых изотопов.[11]

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Аванесова Н.А. Керамика поселения горняков-металлургов Зеравшана // История материальной культуры Узбекистана. Вып. 39. Самарканд : ИА АН РУз, 2015. С. 47–62.

Агапов С.А., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В. Металлопроизводство восточной зоны общности культур валиковой керамики // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2012. № 3. С. 44–59.

Артемьев Д.А., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В., Орловская Л.Б., Алаева И.П., Виноградов Н.Б. Химизм оловянных бронз и возможные источники олова Урала и Казахстана в позднем бронзовом веке // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2024. № 4. С. 19–35. DOI: https://doi.org/10.20874/2071–0437–2024–67–4–2

Григорьев С.А. Металлургическое производство в Северной Евразии в эпоху бронзы. Челябинск : Цицеро, 2013. 660 с.

Дегтярева А.Д. Слитки цветного металла петровской культуры (состав и технология получения) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2015. № 2. С. 38–50.

Дегтярева А.Д. Технология изготовления медных и бронзовых орудий труда петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2024. № 4. С. 5–18. DOI: https://doi.org/10.20874/2071–0437–2024–67–4–1.

Дегтярева А.Д., Грушин С.П., Шайхутдинов В.М. Металлообработка населения елунинской культуры Верхней Оби (предварительные результаты металлографического исследования) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2010. № 2. С. 27–35.

Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В. Металлические орудия труда петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья: химико-металлургическая характеристика // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2022. № 4. С. 29–42. DOI: https://doi.org/10.20874/2071–0437–2022–59–4–3

Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В., Орловская Л.Б., Блинов И.А., Чемякин Ю.П., Пилькина А.А. Металл алакульской культуры Южного Зауралья: морфологическая и химико-

[11] По последней проблеме см. подробнее Powell et al., 2024.

© S.A. Grigoriev

металлургическая характеристика // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2025. № 4. С. 35–50. DOI: https://doi.org/10.20874/2071–0437–2025–71–4–3.

Иванов В.В. О происхождении некоторых балтийских названий металлов // Baltistica. 1977. Т. 13, № 1. С. 223–236.

Кирюшин Ю.Ф., Малолетко А.М., Тишкин А.А. Березовая Лука — поселение эпохи бронзы в Алейской степи. Т. I. Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2005. 288 с.

Кирюшин Ю.Ф., Тишкин А.А., Грушин С.П., Кирюшин К.Ю., Шайхутдинов В.М. Особенности металлургического производства елунинской культуры (по материалам изучения ошлакованной керамики с поселения Павловка-I) // Теория и практика археологических исследований. 2013. Т. 7, № 1. С. 103–111.

Самашев З., Водясов Е.В., Садибеков А.Б., Зайцева О.В. Добыча олова и производство бронзы в Восточном Казахстане во II тыс. до н.э. (по материалам поселения Бетегели-1) // Археология Казахстана. 2025. № 4. С. 11–27. DOI: https://doi.org/10.52967/akz2025.4.30.11.27

Спиваковский В.Б. Аналитическая химия олова. М. : Наука, 1975. 252 с.

Тишкин А.А. Комплексный подход в изучении памятника Березовая Лука // Северная Евразия в эпоху бронзы: пространство, время, культура. Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2002. С. 183–186.

Черных Е.Н. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья. М. : Наука, 1970. 180 с.

Черных Е.Н., Кузьминых С.В. Древняя металлургия Северной Евразии (сейминско-турбинский феномен). М. : Наука, 1989. 320 с.

Чугаев А.В., Артемьев Д.А., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В., Орловская Л.Б. Предварительные результаты изучения химического состава (LA-ICP-MS) и изотопного состава Pb (MC–ICP-MS) металла петровской и алакульской культур Южного Зауралья и Среднего Притоболья // Связи и взаимодействия культур Циркумпонтийского региона в среднем и позднем бронзовом веке. Вып. 5. М.: ИА РАН, 2025. С. 128–132.

Artioli G., Canovaro C. LIA of Prehistoric Metals in the Central Mediterranean Area: a Review // Archaeometry. 2020. Vol. 62, no. 1. P. 53–85.

Barjamovic G.A. Historical Geography of Anatolia in the Old Assyrian Colony Period. Copenhagen : Museum Tusculanum Press, 2011. 519 p.

Berger D., Soles J.S., Giumlia-Mair A.R., Brügmann G., Galili E., Lockhoff N., et al. Isotope Systematics and Chemical Composition of Tin Ingots from Mochlos (Crete) and Other Late Bronze Age Sites in the Eastern Mediterranean Sea: An Ultimate Key to Tin Provenance? // PLoS ONE. 2019. Vol. 14, no. 6. P. e0218326. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218326

Erol H. Old Assyrian Metal Trade, Its Volume and Interactions // Belleten. 2019. Vol. 83, no. 298. P. 779–806.

Grigoriev S.A. Social Processes in Ancient Eurasia and Development of the Types of Alloys in Metallurgical Production // Archaeoastronomy and Ancient Technologies. 2017. Vol. 5, no. 2. P. 17–41.

Grigoriev S.A. Social Processes in Ancient Europe and Changes in the Use of Ore and Alloys in Metallurgical Production // Archaeoastronomy and Ancient Technologies. 2018. Vol. 6, no. 2. P. 1–30.

© С.А. Григорьев

Hauptmann A., Maddin R., Prange M. On the Structure and Composition of Copper and Tin Ingots Excavated from the Shipwreck of Uluburun // Bulletin of the American Schools of Oriental Research. 2002. No. 328. P. 1–30.

Krause R. Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee. Rahden/Westf. : Marie Leidorf Verlag, 2003. 338 p.

Kristiansen K., Larsson T.B. The Rise of Bronze Age Society. Cambridge : University Press, 2005. 464 p.

Krüger J., Nagel F. Nagel, S., Jantzen D., Lampe R., Dräger J., Lidke G., Mecking O., Schüler T., Terberger T. Bronze Age Tin Rings from the Tollense Valley in Northeastern Germany // Prähistorische Zeitschrift. 2012. Vol. 87, no. 1. P. 29–43. DOI: https://doi.org/101515/pz-2012–0002

Ling J., Stos-Gale Z., Grandin L., Billström K., Hjärthner-Holdar E., Persson P.-O. Moving Metals II: provenancing Scandinavian Bronze Age Artefacts by Lead Isotope and Elemental Analyses // Journal of Archaeological Science. 2014. No. 41. P. 106–132. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.07.018

Liu S., Sun Zh., Zhang J., Lin J., Chen K., Chen J., Cui J., Mei J. 50 Years of Bronze Provenance Studies: A Perspective from China // Journal of Archaeological Science. 2025. No. 180. P. 106272. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jas.2025.106272

Muhly J.D. The Distribution of Mineral Resources and the Nature of Metal Trade in the Bronze Age // Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences. Vol. 43. Hamden : Archon books, 1973. Pp. 155–535.

Nielsen E.H. A Late Bronze Age Tin Ingot from Sursee-Gammainseli (Kt. Luzern) // Archäologisches Korrespondenzblatt. 2014. No. 44. P. 177–193.

Powell W., Johnson M., Pulak C., Yener K.A., Mathur R., Bankoff H.A., Godfrey L., Price M., Galili E. From Peaks to Ports: Insights into Tin Provenance, Production, and Distribution from Adapted Applications of Lead Isotopic Analysis of the Uluburun Tin Ingots // Journal of Archaeological Science. 2021. No. 134. P. 105455. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105455

Powell W., Mathur R., Kamenov G., Stephens J., Killick D. Mixed Lead Sources in Tin Metal: Implications for Using Lead Isotopes to Study tin Artifacts // Journal of Archaeological Science. 2024. No. 170. P. : 106045. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jas.2024.106045

Pulak C. The Copper and Tin Ingots from the Late Bronze Age Shipwreck at Uluburun. In: Anatolian Metal I. Bochum : Deutsches Bergbau-Museum, 2000. Pp. 137–157.

Stöllner Th., Samaschev Z., Berdenov S., Cierny J., Doll M., Garner J., Gontscharov A., Gorelik A., Hauptmann A., Herd R., Kusch G.A., Merz V., Riese T., Sikorski B., Zickgraf B. Tin from Kazakhstan — Steppe Tin for the West? In: Anatolian Metal V. Bochum : Deutsches Bergbau-Museum, 2011. Pp. 231–252.

Thorsø R., Wigman A.M., Jakob A.M., Palmér A., Sluis P.S. van, Kroonen G.J. Word Mining: Metal Names and the Indo-European Dispersal. In: The Indo-European Puzzle Revisited. Cambridge : Cambridge University Press, 2023. Pp. 105–126.

Wang Q., Strekopytov S., Roberts B.W., Wilkin N. Tin Ingots from a Probable Bronze Age Shipwreck off the Coast of Salcombe, Devon: Composition and Microstructure // Journal of Archaeological Science. 2016. No. 67. P. 80–92. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2016.01.018

© S.A. Grigoriev

Yalçin Ü., Yalçin H. G. An Ingot Fragment of Tin from EBA Royal Tombs at Alacahöyük, Anatolia. SDU Faculty of Arts and Sciences // Journal of Social Sciences. 2020. No. 50. P. 233–239.

REFERENCES

Avanesova N.A. Ceramics of the Settlement of Miners-Metallurgists of Zeravshan. In: History of the Material Culture of Uzbekistan. Issue 39. Samarkand : IA AN RUz, 2015. Pp. 47–62. (*In Russ*.)

Agapov S.A., Degtyareva A.D., Kuzminykh S.V. Metal Production in the Eastern Zone of the Cordoned Ware Culture Community. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii = Bulletin of Archaeology, Anthropology and Ethnography*. 2012;3:44–59. (*In Russ*.)

Artemyev D. A., Degtyareva A. D., Kuzminykh S. V., Orlovskaya L. B., Alaeva I. P., Vinogradov N. B. Chemistry of Tin Bronzes and Possible Sources of Tin in the Urals and Kazakhstan in the Late Bronze Age. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii = Bulletin of Archaeology, Anthropology and Ethnography*. 2024;4(67):19–35. (*In Russ*.). DOI: https://doi.org/10.20874/2071–0437–2024–67–4–2.

Grigoriev S.A. Metallurgical Production in Northern Eurasia in the Bronze Age. Chelyabinsk : Cicero, 2013. 660 p. (*In Russ*.)

Degtyareva A.D. Non-ferrous Metal Ingots of the Petrovka Culture (composition and production technology). *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii = Bulletin of Archaeology, Anthropology and Ethnography*. 2015;2:38–50. (*In Russ*.)

Degtyareva A.D. Technology of Manufacturing Copper and Bronze Tools of the Petrovka Culture of the Southern Transurals and Middle Tobol Region. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii = Bulletin of Archaeology, Anthropology and Ethnography*. 2024;4:5–18. (*In Russ*.). DOI: https://doi.org/10.20874/2071–0437–2024–67–4–1

Degtyareva A.D., Grushin S.P., Shaikhutdinov V.M. Metalworking of the Population of the Elunino Culture of the Upper Ob (preliminary results of metallographic study). *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii = Bulletin of Archaeology, Anthropology and Ethnography*. 2010;2:27–35. (*In Russ*.)

Degtyareva A.D., Kuzminykh S.V. Metal Tools of the Petrovka Culture of the Southern Transurals and the Middle Tobol Region: Chemical and Metallurgical Characteristics. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii = Bulletin of Archaeology, Anthropology and Ethnography*. 2022;4:29–42. (*In Russ*.). DOI: https://doi.org/10.20874/2071–0437–2022–59–4–3

Degtyareva A.D., Kuzminykh S.V., Orlovskaya L.B., Blinov I.A., Chemyakin Yu.P., Pilkina A.A. Metal of the Alakul Culture of the Southern Transurals: Morphological and Chemico-metallurgical Characteristics. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii = Bulletin of Archaeology, Anthropology and Ethnography*. 2025;4:35–50. (*In Russ*.). DOI: https://doi.org/10.20874/2071–0437–2025–71–4–3

Ivanov V.V. On the Origin of Some Baltic Names of Metals. *Baltistica*. 1977;13(1):223–236. (*In Russ*.)

Kiryushin Yu.F., Maloletko A.M., Tishkin A.A. Berezovaya Luka — a Bronze Age Settlement in the Alei Steppe. Bd. I. Barnaul : Izd-vo Alt. un-ta, 2005. 288 p. (*In Russ*.)

© С.А. Григорьев

Kiryushin Yu.F., Tishkin A.A., Grushin S.P., Kiryushin K.Yu., Shaikhutdinov V.M. Features of Metallurgical Production of the Elunino Culture (based on the study of slagged ceramics from the Pavlovka-I settlement). *Teoriya i praktika arheologicheskih issledovanij = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2013;7(1):103–111. (*In Russ.*)

Samashev Z., Vodyasov E.V., Sadibekov A.B., Zaitseva O.V. Tin Mining and Bronze Production in Eastern Kazakhstan in the 2nd Millennium BC (based on materials from the Betegeli-1 settlement). *Arheologiya Kazahstana = Kazakhstan Archaeology*. 2025;4:11–27. (*In Russ.*). DOI: https://doi.org/10.52967/akz2025.4.30.11.27

Spivakovsky V.B. Analytical Chemistry of tin. Moscow : Nauka, 1975. 252 p. (*In Russ.*)

Tishkin A.A. An Integrated Approach to the Study of the Berezovaya Luka Site. In: Northern Eurasia in the Bronze Age: Space, Time, Culture. Barnaul : Izd-vo Alt. un-ta, 2002. Pp. 183–186. (*In Russ.*)

Chernykh E.N. Ancient Metallurgy of the Urals and the Volga Region. Moscow : Nauka, 1970. 180 p. (*In Russ.*)

Chernykh E.N., Kuzminykh S.V. Ancient Metallurgy of Northern Eurasia (Seima-Turbino phenomenon). Moscow : Nauka, 1989. 320 p. (*In Russ.*)

Chugaev A.V., Artemyev D.A., Degtyareva A.D., Kuzminykh S.V., Orlovskaya L.B. Preliminary Results of the Study of the Chemical Composition (LA-ICP-MS) and Isotopic Composition of Pb (MC–ICP-MS) of the Metal of the Petrovka and Alakul Cultures in the Southern Transurals and Middle Tobol Region. In: Connections and Interactions of the Circumpontic Region Cultures in the Middle and Late Bronze Age. Issue 5. Moscow : IA RAN, 2025. Pp. 128–132. (*In Russ.*)

Artioli G., Canovaro C. LIA of Prehistoric Metals in the Central Mediterranean Area: a Review. *Archaeometry*. 2020;62(1):53–85.

Barjamovic G.A. Historical Geography of Anatolia in the Old Assyrian Colony Period. Copenhagen : Museum Tusculanum Press, 2011. 519 p.

Berger D., Soles J.S., Giumlia-Mair A.R., Brügmann G., Galili E., Lockhoff N., et al. Isotope Systematics and Chemical Composition of Tin Ingots from Mochlos (Crete) and Other Late Bronze Age Sites in the Eastern Mediterranean Sea: An Ultimate Key to Tin Provenance? *PLoS ONE*. 2019;14(6): e0218326. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218326

Erol H. Old Assyrian Metal Trade, Its Volume and Interactions. *Belleten*. 2019;83(298); 779–806.

Grigoriev S.A. Social Processes in Ancient Eurasia and Development of the Types of Alloys in Metallurgical Production. *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*. 2017;5(2):17–41.

Grigoriev S.A. Social Processes in Ancient Europe and Changes in the Use of Ore and Alloys in Metallurgical Production. *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*. 2018;6(2). P. 1–30.

Hauptmann A., Maddin R., Prange M. On the Structure and Composition of Copper and Tin Ingots Excavated from the Shipwreck of Uluburun. *Bulletin of the American Schools of Oriental Research*. 2002;328:1–30.

Krause R. Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee. Rahden/Westf. : Marie Leidorf Verlag, 2003. 338 p.

© S.A. Grigoriev

Kristiansen K., Larsson T.B. The Rise of Bronze Age Society. Cambridge : University Press, 2005. 464 p.

Krüger J., Nagel F. Nagel, S., Jantzen D., Lampe R., Dräger J., Lidke G., Mecking O., Schüler T., Terberger T. Bronze Age Tin Rings from the Tollense Valley in Northeastern Germany. *Prähistorische Zeitschrift*. 2012;87(1):29–43. DOI: https://doi.org/101515/pz-2012–0002

Ling J., Stos-Gale Z., Grandin L., Billström K., Hjärthner-Holdar E., Persson P.-O. Moving Metals II: provenancing Scandinavian Bronze Age Artefacts by Lead Isotope and Elemental Analyses. *Journal of Archaeological Science*. 2014;41: 106–132. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.07.018

Liu S., Sun Zh., Zhang J., Lin J., Chen K., Chen J., Cui J., Mei J. 50 Years of Bronze Provenance Studies: A Perspective from China. *Journal of Archaeological Science*. 2025;180:106272. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jas.2025.106272

Muhly J.D. The Distribution of Mineral Resources and the Nature of Metal Trade in the Bronze Age. In: Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences. Vol. 43. Hamden : Archon books, 1973. Pp. 155–535.

Nielsen E.H. A Late Bronze Age Tin Ingot from Sursee-Gammainseli (Kt. Luzern). *Archäologisches Korrespondenzblatt*. 2014;44:177–193.

Powell W., Johnson M., Pulak C., Yener K. A., Mathur R., Bankoff H. A., Godfrey L., Price M., Galili E. From Peaks to Ports: Insights into Tin Provenance, Production, and Distribution from Adapted Applications of Lead Isotopic Analysis of the Uluburun Tin Ingots. *Journal of Archaeological Science*. 2021;134:105455. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105455

Powell W., Mathur R., Kamenov G., Stephens J., Killick D. Mixed Lead Sources in Tin Metal: Implications for Using Lead Isotopes to Study tin Artifacts. *Journal of Archaeological Science*. 2024;170:106045. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jas.2024.106045

Pulak C. The Copper and Tin Ingots from the Late Bronze Age Shipwreck at Uluburun. In: Anatolian Metal I. Bochum : Deutsches Bergbau-Museum, 2000. Pp. 137–157.

Stöllner Th., Samaschev Z., Berdenov S., Cierny J., Doll M., Garner J., Gontscharov A., Gorelik A., Hauptmann A., Herd R., Kusch G.A., Merz V., Riese T., Sikorski B., Zickgraf B. Tin from Kazakhstan — Steppe Tin for the West? In: Anatolian Metal V. Bochum : Deutsches Bergbau-Museum, 2011. Pp. 231–252.

Thorsø R., Wigman A.M., Jakob A.M., Palmér A., Sluis P.S. van, Kroonen G.J. Word Mining: Metal Names and the Indo-European Dispersal. In: The Indo-European Puzzle Revisited. Cambridge : Cambridge University Press, 2023. Pp. 105–126.

Wang Q., Strekopytov S., Roberts B.W., Wilkin N. Tin Ingots from a Probable Bronze Age Shipwreck off the Coast of Salcombe, Devon: Composition and Microstructure. *Journal of Archaeological Science*. 2016;67:80–92. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2016.01.018

Yalçin Ü., Yalçin H. G. An Ingot Fragment of Tin from EBA Royal Tombs at Alacahöyük, Anatolia. *SDU Faculty of Arts and Sciences Journal of Social Sciences*. 2020;50:233–239.

© С.А. Григорьев

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Григорьев Станислав Аркадьевич, кандидат исторических наук, ведущий научный сотрудник Института истории и археологии УрО РАН, Челябинск, Россия.

Stanislav A. Grigoriev, Candidate of Historical Sciences, Leading Researcher at the Institute of History and Archaeology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Chelyabinsk, Russia.

Статья поступила в редакцию 24.04.2026;
одобрена после рецензирования 10.07.2026;
принята к публикации 31.08.2026.
The article was submitted 24.04.2026;
approved after reviewing 10.07.2026;
accepted for publication 31.08.2026.

© S.A. Grigoriev