

КОПЬЯ ТУРБИНСКОГО МОГИЛЬНИКА: СОСТАВ МЕТАЛЛА И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ¹

© 2022 г. Н.И. Шишлина, А.Ю. Лобода, Н.Г. Солошенко, В.А. Хвостиков

В статье предоставлены результаты определения химического и изотопного состава свинца в бронзовых и серебряных сплавах копий Турбинского могильника, а также трасологического анализа. Исследование следов литья и дефектов литья, постлитейной обработки указывают, что копия отливались по технологии, выработанной в ранний период сейминско-турбинской культуры – в двустворчатых литейных формах. Серебряные копия изготовлены из сплава серебра с мышьяковой медью; одно из практически чистой меди; три копия сделаны из оловянной бронзы, причем концентрация олова достигает 30%. Высокое содержание олова в медном сплаве копий придавало им цвет серебра. Анализ изотопного состава свинца в серебряных сплавах позволяет предположить, что мастера могли использовать самородное серебро, к которому преднамеренно добавляли выплавленную медь разного состава. Изотопный состав свинца в копиях и других медных изделиях, а также в оловянных накладках Бородинского клада указывает, что для выплавки изделий использовалась руда разных источников Приуралья и Зауралья. Мастера сознательно экспериментировали с лигатурой и добивались серебристого цвета других копий, основу сплава которой составляла медь. Добавление в лигатуру олова, серебра – это осознанный выбор литейщика.

Ключевые слова: археология, бронзовый век, сейминско-турбинская культура, Турбинский могильник, последовательность технологического цикла, освоенные ресурсы.

SPEARHEADS FROM TURBINO BURIAL GROUND: METAL COMPOSITION AND PRODUCTION TECHNOLOGY²

N.I. Shishlina, A.Yu. Loboda, N.G. Soloshenko, V.A. Khvostikov

This paper features the results of an analysis of the chemical and lead isotope composition in the bronze and silver alloys of spearheads from the Turbino burial ground, as well as the results of a trace-wear analyses. The study of casting traces, casting defects and post-casting operations indicated that the spearheads were cast in bivalve moulds using a technology developed in the Early Seima–Turbino period. The silver spearheads were made of silver alloys with an addition of arsenic copper; one spearhead was made almost entirely of pure copper; three spearheads were made of tin bronze, with a tin concentration of up to 30%. Tin was added deliberately to make these spearheads resemble silver. The results of an analysis of lead isotopic composition in silver alloys suggest that the craftsmen could have used native silver, to which smelted copper of different compositions was added. The lead isotopic composition of copper and other bronze items as well as tin-bronze plates from the Borodino hoard indicates that the ore deposits from different sources of the Urals and Trans-Urals were used for smelting. The smiths deliberately experimented with the ligature and produced silver color in other spears whose alloy was based on copper. The addition of tin and silver to the ligature is a conscious choice of the smith.

Keywords: archaeology, Bronze Age, Seima-Turbino culture, Turbino burial ground, process sequence, reclaimed resources.

Копья с вильчатым стержнем пера Турбинского могильника стали символом сейминско-турбинского транскультурного феномена, индикатором его металлообработки (Черных, Кузьминых, 1989). Их распространение охватило обширные регионы северной Евразии, и каждая новая находка копия становится предметом самостоятельного изучения (Мельников, 2003; Молодин, Дураков, 2019).

Задача данного исследования – определение химического и изотопного состава свинца в бронзовых и серебряных сплавах методами атомной эмиссии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и проведение трасологического анализа копий. Это позволяет реконструировать последовательность технологического цикла производства копий Турбинского могильника, вернуться к обсуж-

¹ Исследование проведено при поддержке Российского научного фонда, грант №21-18-00026.

² The study was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 21-18-00026.

дению характеристик серебряных и бронзовых сплавов и локализации рудных источников эпохи бронзы.

Объекты исследования и методы

В Историческом музее хранятся четыре бронзовых и два серебряных копья Турбинского могильника (табл. 1). Пять относятся к типу с «вилчатым» стержнем пера, имеют одно ушко, совмещенное с орнаментальным поясом (рис. 1: 1–3, 5–6). У шестого копья ромбический в сечении стержень пера и фрагментированное ушко (рис. 1: 4). Анализ сплавов и определение изотопного состава свинца в серебряных копьях изучались ранее (Черных, 1970; Хоммель и др., 2019а; Хоммель и др., 2019б) и будут использованы при общем анализе коллекции.

Микрообразцы проб сплавов бронзовых копий взяты из внутренней части втулок

переплавке, определяя геохимические характеристики археологического предмета, однако анализируя геохимические данные металлических предметов, необходимо учитывать возможное смешение руд из разных месторождений, а также вторичную переделку одного или нескольких изделий (Pollard, Bray, 2014; Киселева и др., 2020).

В качестве сопоставительного материала использовались аналитические данные, полученные по элементному и изотопному составу двух бронзовых накладок Бородинского клад; бронзовому копью сейминско-турбинского типа из абашевского захоронения могильника у с. Большая Плавица в Липецкой области; бронзовому гвоздику из могильника Пологи в Запорожской области на Украине (Хоммель и др., 2019а; Шишлина и др., 2020; Мельников, 2003; Kiseleva et al., 2020); а

Таблица 1. Турбинский могильник. Копья, метрические данные
Table 1. Turbinsky burial ground. Spears, metric data

№	Музейный номер по описи	длина (см)	высота втулки (см)	Ø втулки основание (см)	глубина втулки (см)	вес (г)
Серебряные копья						
1	ГИМ 99812, оп.А1664/2	21,1	7,8	2,7	11,0	232,64
2	ГИМ 99812, оп.А1664/209	28,3	9,3	2,6	12,2	275,99
Бронзовые/медное копья						
3	ГИМ 99812, оп.А1664/1	25,7	9,7	2,7	10,7	283,16
4	ГИМ 99812, оп.А1664/3	19,5	6,2	2,3	8,5	271,34
5	ГИМ 99812 ,оп.А1664/207	41,0	12,2	2,7	17,3	459,08
6	ГИМ 99812 ,оп.А1664/208	32,0	10,4	2,7	13,8	378,69

для последующего анализа несколькими методами. Для определения элементного состава образцов в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН) использовались методы атомной эмиссии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Изотопный состав свинца в бронзовых сплавах определялся методом мультиколлекторного масс-спектрометрического анализа в Институте геологии и геохимии им. ак. А.Н. Заварицкого Уральского Отделения РАН. Данный метод основан на измерении изменчивости соотношения радиогенных (^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb) и нерадиогенного (^{204}Pb) изотопов свинца в медных рудах (Pollard, Bray, 2014). Рудные месторождения характеризуются особыми специфическими изотопными метками свинца, обусловленными геологическими и геохимическими факторами. Соотношение изотопов свинца в металле сохраняется при выплавке меди и ее

также опубликованные данные по рудной базе основных месторождений Уральского региона (Tessalina et al., 2016; Киселева и др., 2020). Это позволило обсудить вероятную локализацию рудных источников, использованных для изготовления копий Турбинского могильника.

Трасологический анализ был направлен на выявление следов на поверхности копий, связанных с их производством и последующим использованием. Для каждого предмета определялись следы трех типов: (1) следы литья; (2) следы постлитейной обработки поверхности; (3) следы использования. При фиксации следов использовался электронный микроскоп Zeiss AxioCam ERc 5s и оптический микроскоп Olympus BX51 с камерой Leica DFC420C с увеличением $\times 50$ и $\times 100$.

Результаты и обсуждение

Трасологический анализ

Следы литья: на втулках копий А1664/1, 2, 3, 207 и 208 хорошо видны литейные швы – место соединения двухсоставных литейных форм (рис. 2: 1). При создании формы выре-

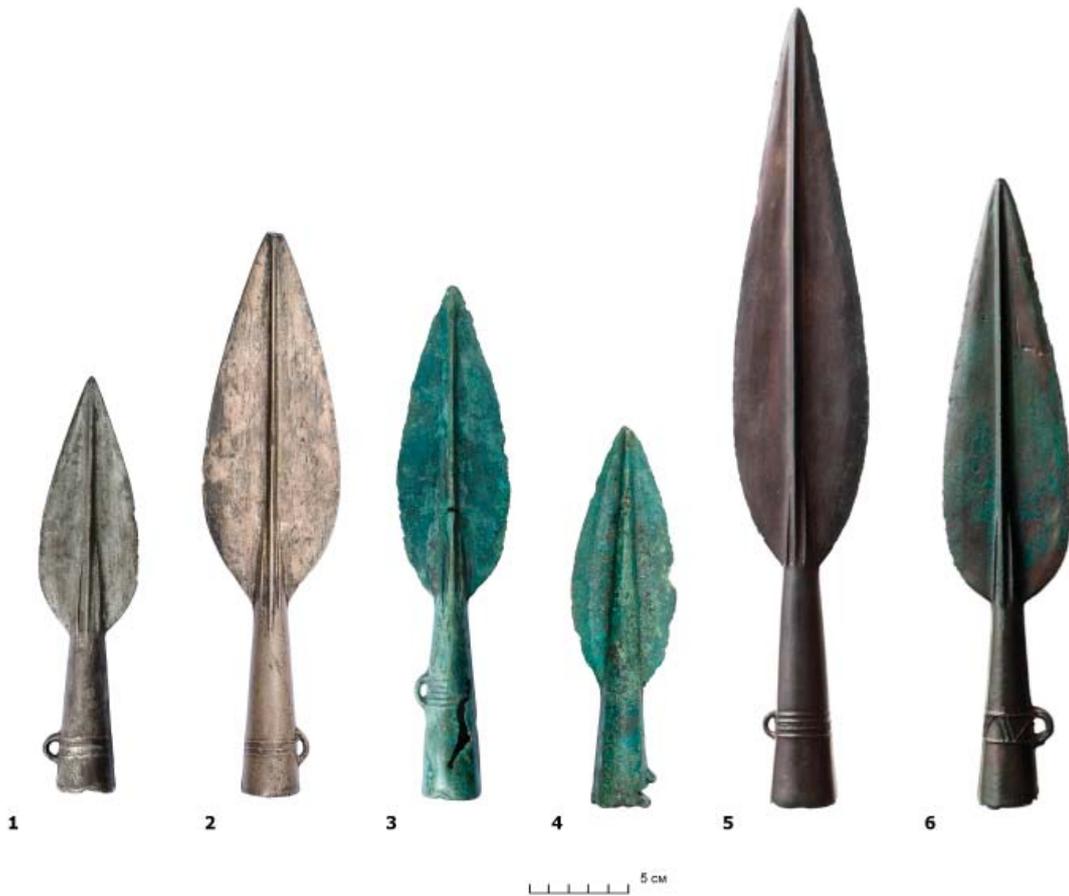


Рис. 1. Турбинский могильник. Копья.

1 – оп. А1664/2; 2 – оп. А1664/209; 3 – оп. А1664/1; 4 – оп. А1664/3; 5 – оп. А1664/207; 6 – оп. А1664/206

1-2 – серебро; 3,5-6 – бронза; 4 – медь.

Fig. 1. Turbino burial ground. Spears.

1 – inv. А1664/2; 2 – inv. А1664/209; 3 – inv. А1664/1; 4 – inv. А1664/3; 5 – inv. А1664/207; 6 – inv. А1664/206

1-2 – silver; 3.5-6 – bronze; 4 – copper.

зался орнамент – параллельные линии (от 3 до 5) и более сложный орнамент, состоящий из двух параллельных линий и вписанных в них треугольников вершинами вверх и вниз. Орнамент отсутствует только на втулке копья А1664/3. На торце окончания втулки копья А1664/209 зафиксирован остаток литника (рис. 2: 2).

Следы дефектов литья зафиксированы на всех бронзовых и серебряных копьях: непроливы и наплывы металла, поры и наросты, вариации толщины пера, неровный край основания втулки. Предположительно, при литье копья А1664/3 металл в форму не долили. В результате петля на втулке не была отлита, вместо нее образовались два выступа и крупный литейный дефект, покрытый порами и наростами (рис. 2: 3). Наплывы металла пересекают орнаментальный пояс на втулке копья А1664/1, на пере копья А1664/2 и нижнем крае втулки копья А1664/209. На орнаментальном поясе на втулке бронзового копья

А1664/1 сохранились следы крупного непролива и наплывы металла (рис. 2: 4).

На проблемы с температурой металла при литье копья А1664/2 указывает неоднородность коррозионных процессов, идущих на его поверхности, связанных, в свою очередь, с высокой неоднородностью фазового состава металла.

Следы постлитейной обработки выявлены на поверхности всех копий: шлифовка абразивными орудиями; проковка, заточка. Вся поверхность копья А1664/1 была обработана после литья: центральное ребро проковано, литейные швы зашлифованы, перо обработано абразивом (рис. 3: 1). Литейные швы на втулке копья А1664/208 зашлифованы, края лезвия копья прокованы (рис. 3: 2). Интенсивные следы абразивной обработки прослежены на всей поверхности копья А1664/2, особенно на лезвии пера. Лезвие пера копья А1664/209 сильно проковано, грубо зашлифовано, край заточен более мелким абразивом. Литейные

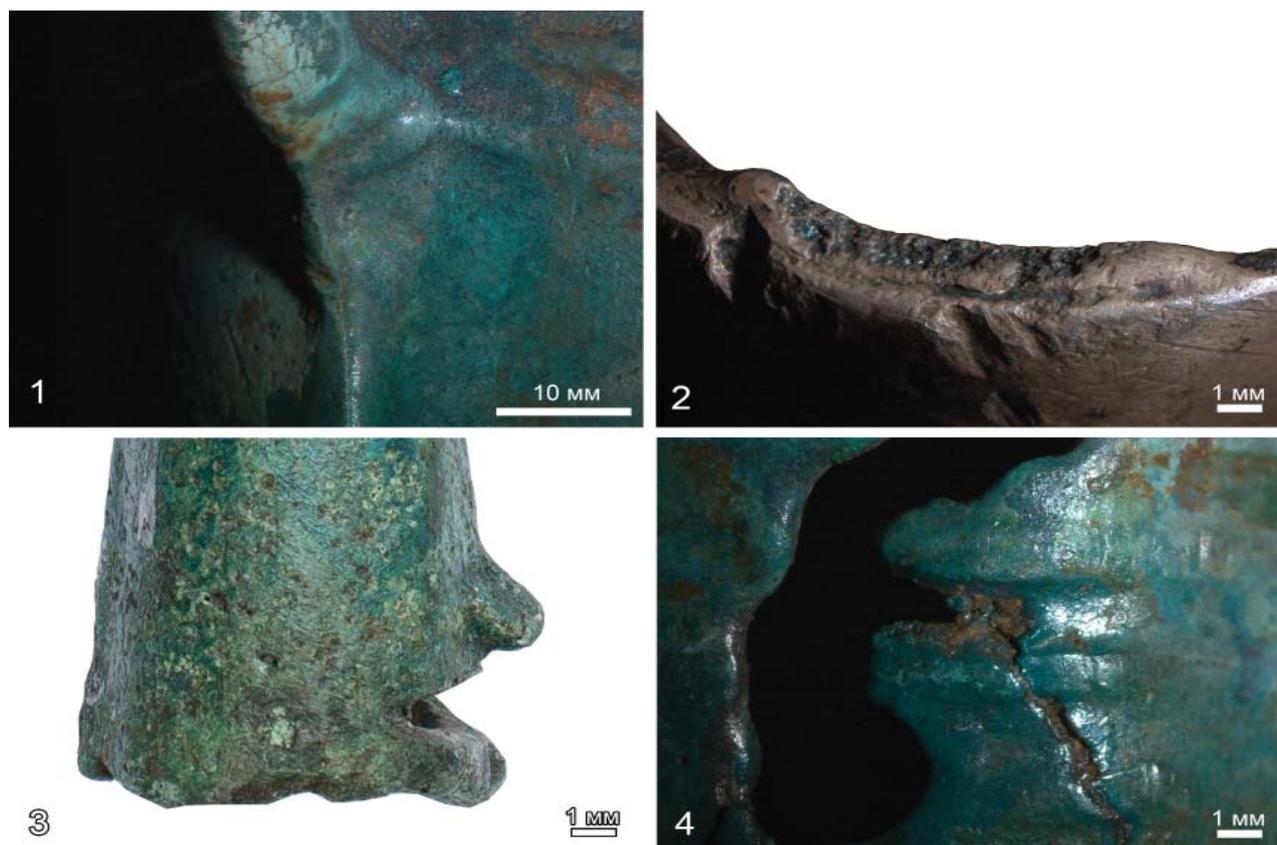


Рис. 2. Турбинский могильник. Следы литья: 1 – следы литевального шва на поверхности копья A1664/1; 2 – остаток литника на торце втулки копья A1664/209; 3 – литейные дефекты на втулке копья A 1664/3; 4 – непроливы и наплывы металла на втулке копья A 1664/1.

Fig. 2. Turbino burial ground. Traces of casting: 1 – traces of a casting seam on the surface of the spear A1664/1; 2 – fragment of a molding channel at the edge of the bushing of the spear A1664/209; 3 – casting defects on the bushing of the spear A 1664/3; 4 – misruns and metal flows on the bushing of the spear A 1664/1.

швы копья A1664/207 тщательно зашлифованы, лезвие пера проковано мелкими ударами, зашлифовано на некоторых участках грубым, на других – мелким абразивом (рис. 3: 3).

Следы ремонта зафиксированы на копье A1664/1: предположительно лезвие, вероятно, из-за сильного удара изогнулось и смяло центральное ребро жесткости. В процессе ремонтных работ перо было выпрямлено, но на центральном ребре так и осталась деформация в виде большой поперечной трещины (рис. 3: 1). Повторная шлифовка пера и проковка ребра жесткости частично сгладивала последствия травмы. Поскольку на остром конце пера нет следов сильного удара, можно высказать предположение, что травма на лезвии могла появиться из-за дефекта литья – крупной поры, ослабившей ребро жесткости. В таком случае даже незначительная нагрузка могла привести к деформации изделия в месте дефекта.

Следы использования. Предположительно, все копья использовались, хотя на копье A1664/3 из-за плохой сохранности металла

следы использования не обнаружены. Неоднозначны травмы на лезвии копья A1664/2, возможно, связанные с неправильной кристаллизацией металла при литье. Острие пера копья A1664/209 смято (рис. 3: 4), на острие пера копья A1664/208 видна вмятина. Мелкие сколы, вмятины и потертости лезвия пера копья A1664/207, крупная трещина поперек лезвия пера копья A1664/1 также указывают на использование оружия.

Газовые раковины, пористые поверхности, недоливы характеризуют сейминско-турбинские копья и изделия из других памятников, а выявленные дефекты указывают на недостаточно высокую температуру заливки металла и непроработанность конструкции литейной формы (Молодин, Дураков, 2019, с. 49). Высказано предположение, что после отливки лезвия копий проковывались и затачивались (там же, с. 51).

Таким образом, результаты трасологического анализа свидетельствуют, что все копья были отлиты в двустворчатых литейных формах, как и большинство копий из сеймин-

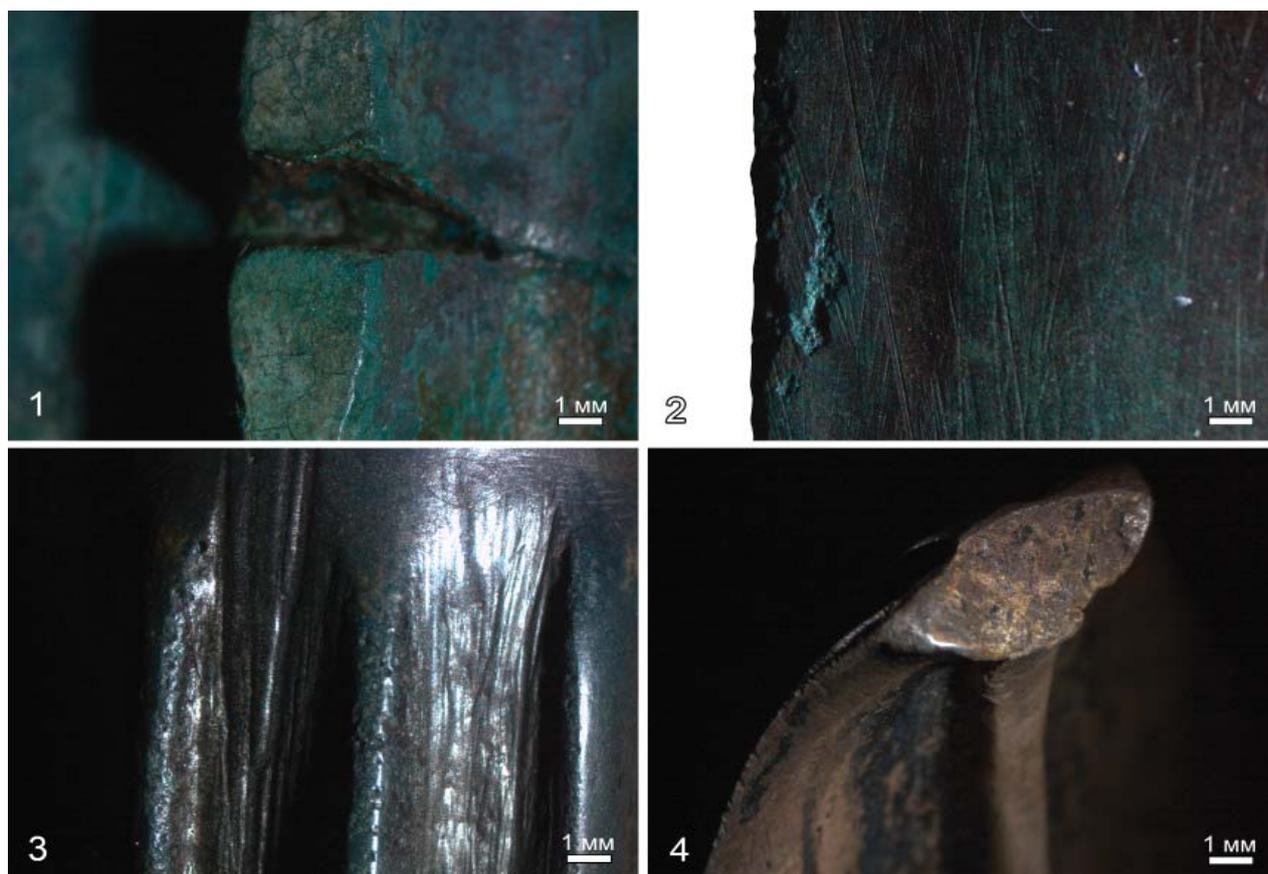


Рис. 3. Турбинский могильник. Копья. Следы постлитейной обработки: 1 – следы проковки и полировки, трещины на поверхности копья A1664/1; 2 – следы шлифовки на втулке копья A1664/208; 3 – следы проковки и абразивы на поверхности копья A1664/207; 4 – обломанное и деформированное острие копья A1664/209.

Fig. 3. Turbino burial ground. Spears. Traces of post-casting processing: 1 – traces of forging and polishing, cracks on the surface of the spear A1664/1; 2 – traces of filing on the bushing of the spear A1664/208; 3 – traces of forging and abrasives on the surface of the spear A1664/207; 4 – broken and deformed head of the spear A1664/209.

ско-турбинских комплексов (Черных, Кузьминых, 1989, с. 64), на что указывает скругленный конец пера – технологический признак, выявленный у копий из других памятников (Молодин, Дураков, 2019).

Аналогично отливались и другие копья сейминско-турбинского типа (Молодин, Дураков, 2019), и копья более поздних культур (Кузьминых, 1992). По аналогии с фрагментами литейных форм для отливки копий кротовской культуры (Молодин, Дураков, 2019, с. 51) и культур постсейминского горизонта (Черных, Кузьминых, 1989; Кузьминых, 1992; Пряхин, 1993, с. 28) можно предположить, что они могли быть каменными или сделаны из обожженной глиняной формовочной массы, с негативом валикового орнамента, сквозной рабочей камерой, глиняным сердечником (Молодин, Дураков, 2019). Литник располагался со стороны окончания втулки (рис. 4). Металл заливался в форму со стороны окончания втулки, что подтвердил обнаруженный на торце втулки копья A1664/209 остаток литника.

Состав сплавов. Уже первые исследования состава копий Турбинского могильника показали, что они изготовлены из меди с добавлением олова и серебра (Бадер, 1964; Черных, 1970). Дальнейшие исследования определили, что серебряные изделия Турбинского могильника (копья, кельт, браслеты) сделаны из сплава серебра с мышьяковой медью (CuAs). В составе серебряных артефактов из Турбинского могильника (табл. 2) отсутствуют примеси золота, металлов платиновой группы и свинца. Одно из серебряных копий Бородинского клада характеризуется близким составом сплава (Хоммель и др., 2019а, б). Возможно, источники металла могли происходить из одного или близких рудных месторождений. Е.Н. Черных предполагал, что могли использоваться руды уральского Никольского месторождения (Черных, 1970, с. 42). На рудных полях в вулканогенных толщах карбонового возраста – Никольском и Таш-Казган известны месторождения серебросодержащих медных руд (Зайков и др., 2016, с. 237), по данным атомно-абсорб-

ционного анализа, халькозинсодержащие руды Никольского рудника содержат аномально высокие содержания серебра – 450–700 г/т (Анкушев и др., 2016).

Результаты определения элементного состава медных сплавов копий из Турбинского могильника (табл. 3; рис. 5) показали, что три сделаны из оловянной бронзы, причем сплав копья А1664/1 содержит 30,8% олова и 1,4% серебра, а копия А1664/207 и А1664/208 содержат 18,5% и 14,3% олова (рис. 5: 1). Таких высоких концентраций олова нет в других медных сплавах изделий Турбинского могильника. Е.Н. Черных выделяет группу из

2). Процентное содержание серебра в копье А1664/1 достигает 1,4%, в составе сплава присутствуют мышьяк, сурьма и свинец (As: 0,37%, Sb: 0,34%, Pb: 0,47%). Микропримесный состав копий А1664/207 и А1664/208 близок, выделяется присутствием серебра (0,60 и 0,63% соответственно) и свинца (0,46 и 0,2% соответственно), несколько различается количеством мышьяка в сплаве (0,79 и 0,21% соответственно).

Только копье А1664/3 отлито практически из чистой меди с невысокими примесями мышьяка (As: 0,86%), серебра (Ag: 0,43%) и олова (Sn: 0,06%). Как было отмечено при

Таблица 2. Элементный состав серебряных копий Турбинского могильника (по: Хоммель и др., 2019а)

Table 2. Elemental composition of silver spears from Turbinsky burial ground (after: Hommel et al., 2019a)

Номер по описи	Ag	Au	Cu	As	Ni	Sn	Sb	Pb	Hg	Bi	Pd	Pt
масс %												
A1664/2	57,8	0,0033	41,2	0,97	0,012	0,00066	0,0026	0,0026	0,000081	0,0017	< 0,00005	⁰ 000045
A1664/209	74,1	0,0024	25,7	0,13	0,014	< 0,0001	0,00093	0,0039	0,00033	0,0013	< 0,00005	⁰ 000046

Таблица 3. Элементный состав бронзовых копий Турбинского могильника
Table 3. Elemental composition of bronze spears from Turbinsky burial ground

Номер по описи	Cu	As	Sn	Sb	Pb	Ag	Au	Ni	Te	Bi	Fe	Co
масс %												
A1664/1	65,0	0,37	30,8	0,34	0,47	1,4	0,0022	0,017	0,010	0,030	0,20	0,00053
A1664/3	98,1	0,86	0,060	0,011	0,20	0,43	0,0031	0,010	0,0014	0,0017	0,096	0,00040
A1664/207	79,3	0,79	18,5	0,057	0,46	0,60	0,0016	0,0080	0,0090	0,015	0,072	0,00071
A1664/208	84,2	0,21	14,3	0,15	0,022	0,63	0,0013	0,0065	0,0035	0,012	0,14	0,00055

17 предметов могильника, в сплавах которых концентрация олова колеблется в пределах 4,1–14,5% (Черных, 1970; Черных, Кузьминых, 1989, с. 289), но Sn ~23–25% зафиксировано нами при анализе состава накладок Бородинского клада (Хоммель и др., 2019а). В составе сплава гвоздика из могильника Пологи в Запорожской области олово достигает 8,7% (Шишлина и др., 2020).

Высокое содержание олова в медном сплаве придавало ему цвет серебра и, таким образом, копия выглядели как серебряные. Также должны были выглядеть и накладки Бородинского клада.

Однако сплав меди с высоким содержанием олова очень непрактичный. Возможно, именно это привело к травме лезвия копья А1664/1, в сплаве которого олово достигало самого высокого значения (Sn: 30,8%).

Металл изделий содержит также значительное количество микропримесей (рис. 5:

трасологическом анализе, это копье характеризуется большим количеством литейных дефектов, что характерно для отливки из чистой меди. Медь – очень вязкий металл, в расплавленном виде поглощает газы. В процессе затвердевания расплава поглощенные газы выделяются и делают массу металла пористой (Июффе, 2009).

На основании анализа состава сплавов высказано предположение, что для изготовления бронзовых изделий Турбинского могильника использовались медные рудники Южного Урала – Таш-Казган, Никольский и Кураминский, относящиеся к Никольскому рудному полю (Черных, 1970; Анкушев и др., 2016; Artemyev et al., 2019).

Вариации изотопного состава свинца в серебряных и медных сплавах. Проанализированный изотопный состав свинца в серебряных сплавах трех изделий Турбинского могильника, включающих копье А1664/2

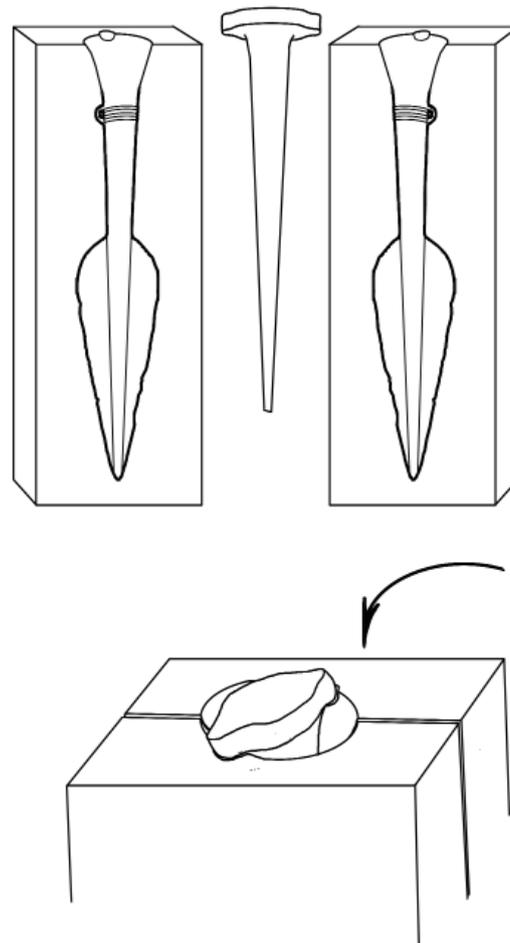


Рис. 4. Схема отливки копий сейминско-турбинского типа в двустворчатой форме
Fig. 4. Scheme of casting the Seima–Turbino type of spears in a double-leaf mold

и два браслета, показал их близость. Пока возможно только предположить, что мастера могли использовать самородное серебро, на что указывает низкая доля свинца в составе всех серебряных изделий, к которому преднамеренно добавляли выплавленную медь разного состава (Хоммель и др., 2019б).

Анализ изотопного состава свинца в четырех копьях и других медных изделиях Турбинского могильника (табл. 4) показал, что три копья (A1664/1, A1664/207 и A1664/208), долото, серп и нескольких кельтов из Турбинского могильника характеризуются близкими геохимическими характеристиками, сходными с изотопными значениями руды и изделий Зауралья (Киселева и др., 2020).

Копье A1664/3 выделилось более высокими значениями изотопных отношений свинца, которые оказались близки геохимическим данным копья из могильника у с. Большая Пластица и большей части изделий из Турбинского могильника (кельты, долото, топор, стержень, нож и кусок бронзы). Все они имеют геохимические характеристики,

близкие изотопным значениям Приуральского металла различного происхождения. Два кельта из сопоставительной выборки (A1664/16 и A1664/18) характеризуются более радиогенными значениями соотношения изотопов $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, близкими рудам Приуралья (Карповский, Белоусовский, Михайловский рудники) (Tessalina et al., 2016; Киселева и др., 2020) (рис. 6).

Изотопный состав медно-оловянного гвоздика из могильника Пологи и накладок Бородинского клада, хотя все изделия найдены в одном Причерноморском ареале, показывает, что они сделаны из металла разных источников и не связаны между собой. Однако изотопный состав, полученный по накладкам Бородинского клада, оказался близок изделиям Турбинского могильника, включающего медное копье A1664/3.

Несколько кельтов (A1664/5, A1664/7 и A1664/22) характеризуются промежуточным положением значений геохимических характеристик на графике между данными, характерными для руд Приуралья и Зауралья, что

Таблица 4. Результаты измерения изотопного состава свинца в серебряных и бронзовых образцах из памятников Турбино, Бородинского клада, Пологи (Запорожье), кургана у села Б. Пластица

Table 4. Results of lead isotopic composition measurement for silver and bronze samples from Turbino site, Borodinsky hoard, Pologa (Zaporozhye), a barrow near B. Plavitsa village

Номер по описи	образец	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Турбинский могильник, Приуралье				
A1664/1	копье	37.852	15.537	17.940
A1664/208	копье	37.817	15.538	17.867
A1664/3	копье	38.430	15.655	18.629
A1664/207	копье	37.749	15.525	17.814
A1664/5	кельт	38.178	15.632	18.280
A1664/6	кельт	38.287	15.629	18.820
A1664/7	кельт	38.136	15.602	18.418
A1664/9	кельт	38.694	15.663	18.554
A1664/10	кельт	38.448	15.642	18.779
A1664/15	кельт	37.838	15.541	17.938
A1664/19	кельт	38.457	15.673	18.804
A1664/21	кельт	38.588	15.651	18.477
A1664/22	кельт	38.014	15.584	18.488
A1664/25	кельт	38.336	15.647	18.671
A1664/28	кельт	38.411	15.651	18.790
A1664/4	кельт	38.057	15.584	18.132
A1664/16	кельт	38.316	15.690	19.545
A1664/13	кельт	38.379	15.651	18.697
A1664/23	кельт	37.907	15.590	18.187
A1664/18	кельт	38.438	15.711	19.420
A1664/8	кельт	38.410	15.661	18.698
A1664/168	долото	38.480	15.666	18.640
A1664/210	топор	38.412	15.648	18.491
A1664/167	серп	37.911	15.579	17.987
A1664/169	стержень	38.316	15.641	18.724
A1664/182	нож	38.450	15.637	18.538
A1664/172	кусок бронзы	38.472	15.660	18.775
A1664/170	обломок ножа	37.747	15.518	17.790
Могильник у с. Б. Пластица, Липецкая область				
б/н	копье	38.520	15.644	18.516
Бородинский клад, Украина				
A135/15	Накладка 1	38.610	15.716	18.710
A135/16	Накладка 2	38.409	15.616	18.611
Могильник Пологи, Украина				
б/н	гвоздик	38.344	15.566	17.436

* Для всех образцов расширенная неопределенность методики U (k = 2) составила U ($^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$) = 0,3%, U ($^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$) = 0,1% и U ($^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$) = 0,1%, рассчитана по NIST SRM-981 (Magnusson et al., 2017).

позволяет предположить вероятную переплавку изделий, изготовленных из металла разных источников.

Заключение

Для изготовления копий Турбинского могильника древние металлурги использовали разные сплавы – медь, оловянную бронзу, самородное серебро, к которому добавляли выплавленную медь разного состава. Руда, скорее всего, поступала из разных источников Приуралья и Зауралья. Высокое содержа-

ние олова в трех копьях (A1664/1, 207 и 208) и добавление достаточно высокой примеси серебра в копье A1664/1 придало им цвет серебра и сделало похожими на два других серебряных копья Турбинского могильника (A1664/2 и 209).

Близость геохимических характеристик оловянных накладок Бородинского клада геохимическому составу большей части изделий Турбинского могильника позволила высказать предположение, что не толь-

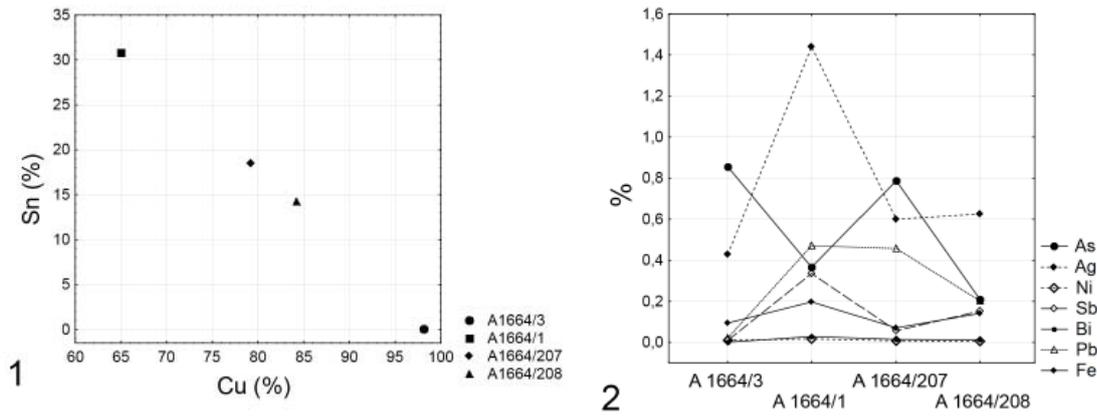


Рис. 5. 1 – содержание основных компонентов в металле копий;
 2 – содержание микропримесей в металле копий
Fig. 5. 1 – content of the main components in the metal of the spears;
 2 – content of microimpurities in the metal of the spears

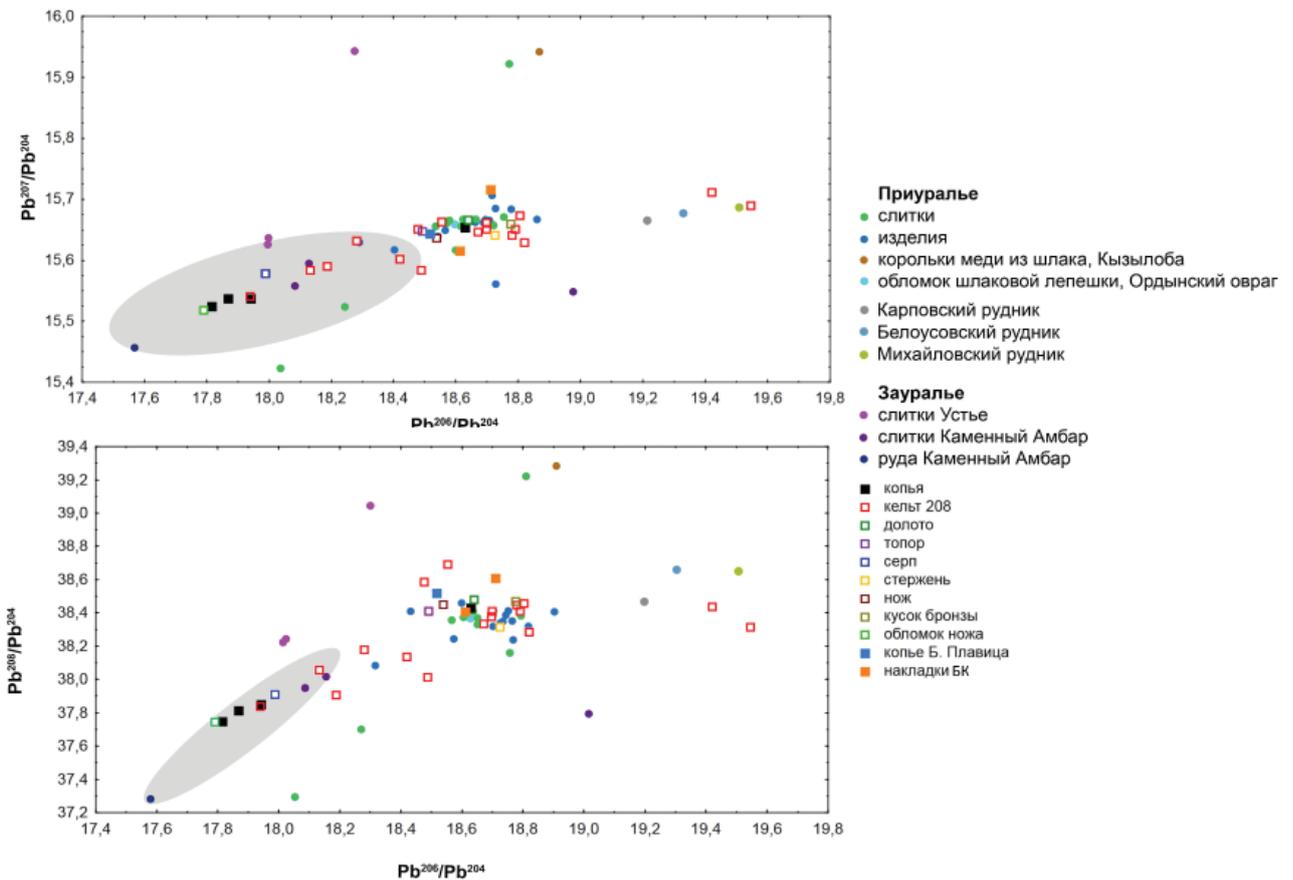


Рис. 6. Соотношения изотопов свинца в изученных образцах Турбинского могильника в сравнении с артефактами бронзового века (Бородинский клад, могильник Б. Плавница, могильник Пологи), медными рудами и слитками Приуралья и Зауралья. Модификация по: Киселева и др., 2020, Tessalina et al., 2016. Ошибка (2σ) меньше символа.

Fig. 6. Ratios of lead isotopes in the studied samples from the Turbino burial ground in comparison with the Bronze Age artifacts (Borodino hoard, B. Plavitsa burial ground, Pologi burial ground), copper ores and ingots from the Cis-Urals and Trans-Urals. Modified after: Kiseleva et al., 2020, Tessalina et al., 2016. The error (2σ) is less than a digit.

ко одно из серебряных копий Бородинского клада (A135/2), вероятно, связано с серебряными изделиями Турбинского могильника (Черных, 1965; 1970), когда при изготовлении

этих предметов применялась единая технологическая схема: к самородному серебру добавлялась медь (CuAs, CuAsNi(?), CuNi(?)) (Хоммель и др., 2019б, с. 101). Изотопный

состав свинца оловянных накладок Бородинского клада, имевших цвет серебра, близок изотопному составу некоторых бронзовых и медных изделий Турбинского могильника. Мы высказываем предположение, что и накладки, украшавшие древки копий, также могли быть изготовлены на Урале.

Результаты трасологического анализа позволили определить методы производства и постлитейной обработки копий Турбинского могильника. Копья изготавливались по технологии литья в двустворчатых литейных формах, выработанной в ранний период сейминско-турбинской культуры (Молодин, Дураков, 2019). Была реконструирована литейная форма изделий. Выявленный на копье А1664/209 остаток литника позволил установить место заливки металла в форму – со стороны втулки. После отливки изделия шлифовались как грубым, так и мелким абразивом, удалялись литники, зашлифовывались литейные швы и дефекты. Помимо шлифов-

ки выявлены следы проковки краев лезвия копий. В одном случае (копье А1664/1) обнаружены следы значительного ремонта изделия – выправление и проковка изогнутого лезвия и центрального ребра копья.

Сами копия представляли собой огромную ценность не только с точки зрения технологии производства, но и как особые регалии местного населения. Вес только двух серебряных копий составил более 0,5 кг (508,63 г). По меркам первобытного мира это должно было быть огромным сокровищем. Поэтому, вероятно, мастера сознательно экспериментировали с лигатурой и добивались серебристого цвета других копий, основу сплава которой составляла медь. Добавление в лигатуру олова, серебра – это осознанный выбор литейщика.

Проведенные исследования предметов из старой музейной коллекции Турбинского могильника позволяют получить новые данные о технологических схемах и системе связей древних металлургов.

ЛИТЕРАТУРА

- Анкушев М.Н., Юминов А.М., Зайков В.В.* Медные рудники Таш-Казган, Никольский и Кураминский (Южный Урал) // Геоархеология и археологическая минералогия – 2016. Научное издание. Материалы III Всероссийской молодежной научной школы. Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2016. С. 108–112.
- Бадер О.Н.* Древнейшие металлурги Приуралья. М.: Наука, 1964. 176 с.
- Зайков В.В., Таиров А.Д., Зайкова Е.В., Юминов А.М., Котляров В.А.* Благородные металлы в рудах и древних золотых изделиях Центральной Евразии. Челябинск: Каменный пояс, 2016. 313 с.
- Иоффе М.А.* Теория литейных процессов. Т.1 СПб: Издательство СЗГУ, 2009. 166 с.
- Киселева Д.В., Солошенко Н.Г., Стрелецкая М.В., Окунева Т.Г., Шагалов Е.С., Ткачев В.В., Богданов С.В., Анкушев М.Н., Корякова Л.Н., Виноградов Н.Б.* Изотопный анализ свинца в металле бронзового века степного Приуралья и Зауралья // Материалы XI Всероссийской молодежной научной конференции «Минералы: строение, свойства, методы исследования» / Отв. ред. С.Л. Вотяков. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2020. С. 122–125.
- Кузьминых С.В.* Литейная форма с Подборновского поселения // Археологические памятники Среднего Поочья. Вып. 1 / Отв. ред. М.И. Гоняный и др. Рязань: НПЦ по охране и использованию памятников истории и культуры, 1992. С. 23–29.
- Мельников Е.Н.* Покровско-абашевские погребения у с. Большая Пластица // Абашевская культурно-историческая общность: истоки, развитие, наследие. Материалы международной научной конференции / Ред. кол. В.С. Бочкарев, С.Н. Корневский, П.Ф. Кузнецов и др. Чебоксары: ЧГИГН, 2003. С. 239–247.
- Молодин В.И., Дураков И.А.* Метод литья «на пролив» в сейминско-турбинской металлообрабатывающей традиции (по материалам кротовской культуры) // Уральский исторический вестник. 2019. № 1 (62). С. 48–56.
- Пряхин А.Д.* Мосоловское поселение металлургов-литейщиков эпохи поздней бронзы. Воронеж: Воронежский государственный университет, 1993. 175 с.
- Хоммель П., Брай П., Хвостиков В.А., Карандашев В.К., Лобода А.Ю., Колчина А.С., Шишлина Н.И.* Состав золотых, серебряных и медных сплавов в изделиях Бородинского клада // Бородинский клад героической эпохи бронзового века. Естественнонаучный и исторический контекст / Труды ГИМ. Вып. 211 / Отв. ред. Н.И. Шишлина. М.: ГИМ, 2019. С. 76–114.
- Хоммель П., Брай П., Хвостиков В.А., Карандашев В.К., Лобода Ю.Н., Колчина А.С., Шишлина Н.И.* Изучение серебряных изделий Бородинского клада: новое об известном // КСИА. 2019б. Вып. 256. С. 136–152.

Черных Е.Н. Результаты изучения химического состава металла Бессарабского клада // СА. 1965. № 1. С. 270–272.

Черных Е.Н. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья / МИА. № 172. М.: Наука, 1970. 180 с.

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

Шишлина Н.И., Орфинская О.В., Киселева Д.В., Хвостиков В.А., Кузнецова О.В., Окунева Т.Г. Результаты комплексного исследования археологических образцов из кургана 1, погребения 2 могильника Пологи // Пологівський посих / Від. ред. В.В. Отрощенко, Г.М. Тощев. Київ: Друкарський двір Олега Федорова, 2020. С. 185–195.

Artemyev D.A., Ankushev M.N. Trace Elements of Cu-(Fe)-Sulfide Inclusions in Bronze Age Copper Slags from South Urals and Kazakhstan: Ore Sources and Alloying Additions // Minerals. 2019. Vol. 9(12) 746. P. 1–23.

Kiseleva D. V., Shishlina N. I., Streletskaya M. V., Soloshenko N. G., Okuneva T. G., and. Shagalov E. S. MC ICP-MS Lead Isotope Analysis of Archaeological Metal Artifacts from the Bronze Age Sites of Eurasia // GAM 2019: Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy. Proceedings of 6th Geoarchaeological Conference, Miass, Russia, 16–19 September 2019. / A. Yuminov et al. (Eds.). SPEES, 2020. P. 133–141.

Magnusson B., Näykki T., Hovind H., Krysell M., Sahlin E. Handbook for calculation of measurement uncertainty in environmental laboratories, Nordtest Report TR 537 (ed. 4). 2017. 51 p. Available from www.nordtest.info.

Pollard A.M., Bray P. Chemical and Isotopic Studies of Ancient Metals // Archaeometallurgy in Global Perspective / Eds. Roberts B.W., Thornton C.P. New York; Heidelberg; Dordrecht; London: Springer, 2014. P. 217–238.

Tessalina S.G., Herrington R.J., Taylor R.N., Sundblad K., Maslennikov V.V., Orgeval J.J. Lead isotopic systematics of massive sulphide deposits in the Urals: Applications for geodynamic setting and metal sources // Ore Geology Reviews 72. 2016. P. 22–36.

Информация об авторах:

Шишлина Наталья Ивановна, доктор исторических наук, главный научный сотрудник отдела археологических памятников, Государственный исторический музей (г. Москва, Россия); nshishlina@mail.ru

Лобода Анастасия Юрьевна, ведущий специалист, НИЦ «Курчатовский институт», (г. Москва, Россия); lobodaau@mail.ru

Солошенко Наталия Геннадьевна, заведующая группой, Институт геологии и геохимии им. Академика А.Н. Заварицкого УО РАН (г. Екатеринбург, Россия); nats_igg@mail.ru

Хвостиков Владимир Анатольевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Аналитического сертификационного испытательного центра, Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (г. Черноголовка, Россия); khvos@iptm.ru

REFERENCES

Ankushev, M. N., Yuminov, A. M., Zaikov, V. V. 2016. In *Geoarkheologiya i arkheologicheskaya mineralogiya – 2018. Nauchnoe izdanie. Materialy III Vserossiiskoi molodezhnoi nauchnoi shkoly (Geoarchaeology and Archaeological mineralogy - 2016. Scientific Publication. Proceedings of the 3rd All-Russian Youth Scientific School)*. Miass: Institute of Mineralogy. Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 108–112 (in Russian).

Bader, O. N. 1964. *Drevneyshie metallurgi Priuralya (The Oldest Metallurgists of the Urals)*. Moscow: “Nauka” Publ. (in Russian)

Zaikov, V.V., Tairov, A.D., Zaykova, E.V., Yuminov, A.M., Kotlyarov, V.A. 2016. *Blagorodnyye metally v rudakh I drevnykh zolotykh izdeliyakh Tsentral'noy Evrazii (Noble Metals in Ores and Ancient Golden Artifacts from Central Eurasia)*. Chelyabinsk: “Kammenny poias” Publ. (in Russian)

Ioffe, M. A. 2009. *Teoriya liteinykh protsessov (The Theory of Casting Processes)*. Vol. 1. Saint Petersburg: SZGU Publishing house (in Russian)

Kiseleva, D. V., Soloshenko, N. G., Streletskaya, M. V., Okuneva, T. G., Shagalov, E. S., Tkachev, V. V., Bogdanov, S. V., Ankushev, M. N., Koryakova, L. N., Vinogradov, N. B. 2020. In *Materialy XI Vserossiiskoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii “Mineraly: stroenie, svoystva, metody issledovaniia” (Proceedings of the 11th All-Russian Youth Scientific Conference “Minerals: Structure, Properties, Study Methods”)*. Yekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 122–125 (in Russian)

Kuzminikh, S. V. 1992. In Gonyany, M. I. et al.(eds.). *Arkheologicheskie pamiatniki Srednego Pooch'ia (Archaeological Sites of Middle Oka Area)* 1. Ryazan: Science and Production Center for Protection and Management of Historical and Cultural Sites of the Ryazan Region, 23–29 (in Russian).

Melnikov, E. N. 2003. In Bochkarev, V. S. et al (eds.). *Abashevskaya kul'turno-istoricheskaya obshhnost': istoki, razvitie, nasledie (The Abashevo cultural and historical communion: Genesis, Development, Heritage)*. Cheboksary: Chuvash State Research Institute for Humanities, 239–247(in Russian).

Molodin, V. I., Durakov, I. A. 2019. In *Ural'skiy istoricheskiy vestnik (Ural Historical Journal)* 62 (1), 48–56 (in Russian).

Pryakhin, A. D. 1993. *Mosolovskoye poselenie Metallurgov-liteishikov epokhi pozdney bronzi (Mosolovskoye Settlement of Metallurgists and Casting Workers of the Late Bronze Age)*. Voronezh: Voronezh State University (in Russian).

Hommel P., Bray P., Khvostikov, V. A., Karandashev, V. K., Loboda, A. Yu., Kolchina, A. S., Shishlina, N. I. 2019. In Shishlina, N. I. (ed.). *Borodinskii klad geroicheskoi epokhi bronzovogo veka. Estestvennonauchii i istoricheskii kontekst (Borodinsky Hoard of the Heroic Era of the Bronze Age. Natural Science and Historical Context)*. Series: Proceedings of the State Historical Museum 211. Moscow: State Historical Museum, 76–114(in Russian).

Hommel, P., Bray, P., Khvostikov, V. A., Karandashev, V. K., Loboda, A. Yu., Kolchina, A. S., Shishlina, N. I. 2019. In *Kratkie soobshcheniia Instituta arkheologii (Brief Communications of the Institute of Archaeology)* 256, 136–152(in Russian).

Chernykh, E. N. 1965. In *Sovetskaya arheologiya (Soviet Archaeology)* 1, 270–272 (in Russian).

Chernykh, E. N. 1970. *Drevneishaia metallurgiiia Urala i Povolzh'ia (Ancient Metallurgy of Ural and Volga Region)*. Materialy i issledovaniia po arkheologii SSSR (Materials and Research in the USSR Archaeology) 172. Moscow: “Nauka” Publ. (in Russian).

Chernykh, E. N., Kuzminykh, S. V. 1989. *Drevniaia metallurgiiia Severnoi Evrazii (seiminsko-turbinskii fenomen) (Ancient Metallurgy of Northern Eurasia (Seyma-Turbino Phenomenon))*. Moscow: “Nauka” Publ. (in Russian).

Shishlina, N. I., Orfinskaya, O. V., Kiseleva, D. V., Khvostikov, V. A., Kuznetsova, O. V., Okuneva, T. G. 2020. In Otroshenko, V.V., Toshev, G. M. (eds.). *Pologivsky posokh (Pologi Staff)*. Kiev: Oleg Fedorov Publishing House, 185–195. (in Russian)

Artemyev, D. A., Ankushev, M. N. 2019. In *Minerals*. 9 (12) 746, 1–23 (in English).

Kiseleva D. V., Shishlina N. I., Streletskaya M. V., Soloshenko N. G., Okuneva T. G., and Shagalov E. S. MC ICP-MS Lead Isotope Analysis of Archaeological Metal Artifacts from the Bronze Age Sites of Eurasia // GAM 2019: Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy. Proceedings of 6th Geoarchaeological Conference, Miass, Russia, 16–19 September 2019. / A. Yuminov et al. (Eds.). SPEES, 2020. P. 133–141.

Magnusson B., Näykki T., Hovind H., Krysell M., Sahlin E. *Handbook for calculation of measurement uncertainty in environmental laboratories, Nordtest Report TR 537* (ed. 4). 2017. 51 p. Available at: www.nordtest.info (accessed: 15.01.2022).

Pollard A.M., Bray P. *Chemical and Isotopic Studies of Ancient Metals / Archaeometallurgy in Global Perspective* / Eds. Roberts B.W., Thornton C.P. New York; Heidelberg; Dordrecht; London: Springer, 2014. P. 217–238.

Tessalina, S. G., Herrington, R. J., Taylor, R. N., Sundblad, K., Maslennikov, V. V., Orgeval, J. J. 2016. In *Ore Geology Reviews*. 72, 22–36 (in English).

About the Authors:

Shishlina Natalia I. Doctor of Historical Sciences, the State Historical Museum. Red sq., 1, Moscow, 109012, Russian Federation; nshishlina@mail.ru

Loboda Anastasiya Yu. National Research Center Kurchatov Institute. Academic Kurchatov square, Moscow, 123182, Russian Federation; lobodaau@mail.ru

Soloshenko Natalia G. head of the group, Institute of Geology and Geochemistry UB RAS. Akad. Vonsovsky Str, 5, Ekaterinburg. 620151, Russian Federation; nats_igg@mail.ru

Khvostikov Vladimir A. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, senior researcher, Institute of Microelectronics, Technology Problems and High-Purity Material, RAS. Institutskii Ave., 6, Chernogolovka, 142232, Moscow region, Russian Federation; khvos@iptm.ru

Статья поступила в журнал 13.11.2021 г.

Статья принята к публикации 13.01.2022 г.

Авторы внесли равноценный вклад в работу.