



DOI: <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2022.1.5>

UDC 903.222
LBC T442.7(2P36)



Submitted: 11.10.2021
Accepted: 15.04.2022

CHEMICAL COMPOSITION OF METAL IN COPPER AND BRONZE ARROWHEADS FROM THE KICHIGINO I BURIAL GROUND¹

Ivan A. Blinov

South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology of the Urals Branch
of the Russian Academy of Sciences, Miass, Russian Federation

Aleksandr D. Tairov

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russian Federation

Abstract. This study concerns 580 bronze arrowheads from five burials of the Kichigino I cemetery (southern Trans-Urals), dated from the second half of the sixth to the second half of the fourth centuries BC. The main component in all arrowheads was copper with admixtures of arsenic, antimony, lead, tin and nickel. The research revealed that the Early nomads' non-ferrous metal sources changed approximately in the middle of the fourth century BC. Initially, almost all metal came from Itkul metallurgy and metalworking center located in the southern Trans-Urals forest-steppe area. Pure copper without addition as well as alloys with additive of arsenic, occasionally with arsenic and antimony were overwhelmingly applied. In the next period, there are plenty of arrowheads made of copper alloys containing lead as a component; its sources are located to the southwest and west of the Trans-Urals. The transition to new metal sources was caused on the one hand by massive migrations of the Trans-Ural steppe nomadic population to the southern Cis-Urals, on the other, by gradual decline of the Itkul center of metallurgy during the fourth century BC and by the complete reserve depletion in the third century BC. Reuse of tin-alloyed bronze items from earlier times was caused by lack of the non-ferrous metal supplied by the Itkul metallurgists. Furthermore, results of metals analysis indicate that there is no relationship between the shape of the arrowheads and the composition of the metal in them. Arrowheads of the same shape could be made of different metal composition, and, by contrast, arrowheads of different shapes were made from the same metal.

Key words: Southern Trans-Urals, Early Iron Age, X-ray fluorescence, arrowheads, sources of non-ferrous metal.

Citation. Blinov I.A., Tairov A.D., 2022. Himicheskiy sostav metalla mednyh i bronzovyh nakonechnikov strel mogil'nika Kichigino I [Chemical Composition of Metal in Copper and Bronze Arrowheads from the Kichigino I Burial Ground]. *Nizhnevolzhskiy Arkheologicheskiy Vestnik* [The Lower Volga Archaeological Bulletin], vol. 21, no. 1, pp. 91-118. DOI: <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2022.1.5>

УДК 903.222
ББК Т442.7(2P36)

Дата поступления статьи: 11.10.2021
Дата принятия статьи: 15.04.2022

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МЕТАЛЛА МЕДНЫХ И БРОНЗОВЫХ НАКОНЕЧНИКОВ СТРЕЛ МОГИЛЬНИКА КИЧИГИНО I¹

Иван Александрович Блинов

Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии
Уральского отделения РАН, г. Миасс, Российская Федерация

Александр Дмитриевич Таиров

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет),
г. Челябинск, Российская Федерация

Аннотация. Методом рентгенофлуоресцентного анализа исследовано 580 бронзовых наконечников стрел из погребений второй половины VI – IV в. до н.э. могильника Кичигино I в Южном Зауралье. Основу металла всех наконечников стрел составляла медь, кроме нее могут присутствовать мышьяк, сурьма, свинец, олово. Исследование показало, что около середины IV в. до н.э. происходит смена источников поступления цветного металла кочевникам степной зоны Южного Зауралья. В V – первой половине IV в. до н.э. почти весь металл поступал из иткульского очага металлургии и металлообработки, который находился в предгорной лесостепной части Зауралья. Этот металл представлен в абсолютном большинстве «чистой» медью без примесей или медью с добавками мышьяка, иногда – мышьяка и сурьмы. Во второй половине IV в. до н.э. появляется большое количество наконечников стрел, изготовленных из медных сплавов, содержащих свинец в качестве одного из компонентов. Источники части этого металла расположены к юго-западу и западу от Зауралья. Переход к новым источникам обусловлен массовыми переселениями кочевого населения зауральской степи в Южное Приуралье и установлением тесных связей с населением Арало-Каспийского региона и Волго-Донских степей, а также постепенным затуханием в течение IV в. до н.э. иткульского очага металлургии, который в III в. до н.э. прекращает свое существование. Нехватка цветного металла, поставляемого иткульскими металлургами, привела также к вторичному использованию легированных оловом бронзовых изделий более раннего времени. Результаты анализов свидетельствуют о том, что между формой наконечников стрел и составом металла в них нет никакой зависимости. Наконечники одной формы могли изготавливаться из металла разного состава и, наоборот, из одного и того же металла изготавливались наконечники разных форм.

Ключевые слова: Южное Зауралье, ранний железный век, рентгенофлуоресцентный анализ, наконечники стрел, источники цветного металла.

Цитирование. Блинов И. А., Таиров А. Д., 2022. Химический состав металла медных и бронзовых наконечников стрел могильника Кичигино I // Нижневолжский археологический вестник. Т. 21, № 1. С. 91–118. DOI: <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2022.1.5>

Введение

Бронзовые наконечники стрел – достаточно частая находка в погребениях раннесарматского времени Южного Урала. На наш взгляд, они являются «расходным» материалом – из-за частых потерь при стрельбе срок их функционирования, скорее всего, был достаточно коротким. Для изготовления большого количества наконечников стрел использовался наиболее доступный металл, поэтому наконечники могут выступать в качестве индикаторов источников его поступления. Важным ключом в понимании как источников поступления сырья, так и знаний древних металлургов о свойствах металлов выступают легирующие компоненты, такие как олово (Sn), мышьяк (As), свинец (Pb), цинк (Zn), реже – сурьма (Sb), висмут (Bi), серебро (Ag), никель (Ni).

Цель данного исследования – анализ химического состава металла наконечников стрел могильника Кичигино I и определение на этой основе основных источников его поступления. Помимо этого, решалась задача выявления корреляционной зависимости между формой наконечников и составом их металла.

Методика

В настоящее время наконечники стрел из курганов могильника Кичигино I хранятся в Государственном историческом музее Южного Урала (г. Челябинск) и музее «Народы и технологии Урала» Южно-Уральского государственного университета (г. Челябинск). Условием работы с коллекциями было требование использования методов, не причиняющих каких-либо повреждений анализируемым предметам, среди которых наиболее доступным является рентгенофлуоресцентный анализ (РФА).

Для исследования применялся портативный анализатор Innov X alpha 400, анализ проводился в режиме Process analytical, время набора спектра 30 с. Перед началом работ проводилась калибровка прибора стандартным для него эталоном. Для анализа необходимо, чтобы анализируемый предмет был относительно плоским и перекрывал окно детектора площадью около 0,5–1 кв. см. Чувствительность метода около 0,1 мас. %. Данный прибор дает возможность определения широкого спектра элементов тяжелее титана (Ti). Исходя из требований сохранности предметов, предъявляе-

мых музеями, использование методов отбора проб, предложенных Е.Н. Черным и В.Ю. Луньковым, а также А.А. Тишкиным с соавторами [Черных, Луньков, 2009, с. 81; 2016, с. 247; Тишкин и др., 2014, с. 102–108], предполагающих нарушение их целостности, было не приемлемо. Поэтому предметы анализировались без предварительной подготовки (без высверливания для получения стружки или механического удаления окислов с части поверхности), целиком, перекрывая окно прибора полностью. Особенностью такого метода является то, что анализируется лишь поверхность предметов, из-за чего технологическое покрытие (лужение), оксидная пленка или же патина мешают проведению анализа и/или оказывают влияние на его результат, искажая данные о составе металла.

Все исследованные в настоящей работе предметы покрыты тонким слоем патины. Более ранними работами было показано, что покрытые патиной бронзовые изделия имеют тот же самый качественный состав. Однако патинирование может завешивать определенное количество примесей в 1,5–2 раза [Блинов и др., 2017; Блинов, Таиров, 2018], а в случае толстого слоя патины – в 3–5 раз [Черных, Луньков, 2009, с. 82]. «Проведенные исследования показали, что практически всегда в окисленной зоне изделия происходит увеличение содержания олова (Sn), сурьмы (Sb), мышьяка (As), железа (Fe) и, в меньшей степени, цинка (Zn). Содержание свинца (Pb) изменяется слабо, а серебро (Ag) проявляет себя неустойчиво» [Черных, Луньков, 2016, с. 250].

Интересные данные о составе металла наконечников стрел и покрывавшей их патины приведены в статье А.А. Тишкина с соавторами [Тишкин и др., 2014]. Так, в процентном отношении в патине всех наконечников отмечено уменьшение, по сравнению с металлом, количества меди в 1,1–1,4 раза, изредка до 1,9 раза. Одновременно в патине увеличивается, по сравнению с металлом, количество олова – в 1,2–2,9 раза, редко в 4,2 раза, мышьяка – в 1,0–2,0 раза, редко до 2,8 раза, свинца – в 1,0–2,0 раза, редко в 3,9 раза, сурьмы – в 1,3–1,8 раза, редко в 2,3 раза. Таким образом, наличие патины приводит к завышению количества примесей в разы, но не на порядок. Такие результаты можно называть «по-

луколичественными», их воспроизводимость сопоставима со спектральным анализом, который активно использовали в археологии 1960–1980-х годов. В литературе тех времен в таблицах приводились результаты анализов с интервалом значений до 3 раз (см., например: [Кузнецова, 1980, табл. 1]). При этом, безусловно, РФА обладает худшей по сравнению со спектральным анализом чувствительностью к компонентам примесей. Но его бесспорным преимуществом является то, что для анализа не требуется какое-либо повреждение анализируемого предмета, что важно при работе с предметами, хранящимися в музеях.

Нами анализировались колчаные наборы из погребения в могильной яме 3 кургана 2, погребений в могильных ямах 1, 2 и 3 кургана 3, центральной погребальной конструкции кургана 4 могильника Кичигино I. В общей сложности проанализировано 580 бронзовых наконечников стрел.

Для выявления зависимости между формой наконечников стрел и составом их металла использовались материалы погребений из могильных ям 1 и 2 кургана 3, всего 370 наконечников стрел. Все наконечники этих двух погребений были разделены по форме на группы и подгруппы, определено место каждого наконечника в группе и состав его металла.

Материалы

Могильник Кичигино I занимает уплощенную вершину господствующей возвышенности (гора Тушканская) левого берега Южно-Уральского водохранилища на реке Увелька, в 1,5 км к западу от села Кичигино Увельского района Челябинской области [Таиров и др., 2008].

Некрополь состоял из 10 курганов, вытянутых нерегулярной цепочкой с ЗСЗ на ВЮВ вдоль общей направленности склона возвышенности. Диаметр их грунтовых насыпей колеблется от 14 до 35 м при высоте 0,1–1,5 м. В 2006–2011 гг. в ходе охранных работ, проводимых Южно-Уральским государственным университетом совместно с Институтом истории и археологии УрО РАН и Государственным историческим музеем Южного Урала, могильник был полностью исследован.

Впускные мужские воинские захоронения ранне-сарматского времени (конец V – вторая половина IV в. до н.э.), содержащие предметы вооружения и колчаны с большим количеством стрел, исследованы в нескольких курганах: погребение в могильной яме 3 кургана 2, погребения в могильных ямах 1 и 2 кургана 3, погребение 2 в могильной яме 1 кургана 6. Кроме того, в кургане 3 выявлены два женских захоронения (в могильных ямах 3 и 4), погребальный инвентарь которых включал колчан со стрелами [Таиров, 2020а; 2020б]. Небольшое количество наконечников стрел обнаружено среди остатков колчана в центральной погребальной конструкции кургана 4 (вторая половина VI – первая половина V в. до н.э.).

По морфологии все проанализированные наконечники стрел разделены на две группы: первая включает наконечники с выступающей втулкой, вторая – со скрытой. Все наконечники стрел с выступающей втулкой имеют трехлопастную головку (группа ВТ). Среди наконечников стрел со скрытой втулкой выделено три подгруппы: с трехгранной головкой (подгруппа СТГ), с трехлопастной головкой (подгруппа СТ), с трехлопастной головкой, имеющей подтреугольное основание, которое является результатом заточки наконечника (подгруппа СО). Среди последних выделен вариант с сильно развитым подтреугольным основанием (вариант СТ-О). Часть наконечников обеих групп орнаментирована рельефными валиками, образующими фигуры в виде буквы «V», косоугольного креста, двух параллельных горизонтальных линий, двух или трех параллельных наклонных линий, двух вертикальных дуг и т. п. Следует отметить, что орнаментированные наконечники также встречаются в виде изделий серийного производства.

Среди примесей в металле наконечников стрел отмечаются никель, мышьяк, сурьма, свинец, висмут. В целом содержание примесей не высоко и редко превышает 1–2 %. Однако содержание мышьяка может быть достаточно высоким и в отдельных случаях достигать 34,2 %, хотя в подавляющем большинстве случаев не превышает 0,2 %. Практически во всех анализах отмечается примесь железа (Fe), но этот элемент нами не учитывался в связи с возможностью поступления его в патину из грунтовых вод.

Курган 2, могильная яма 3. Колчан сохранил 66 бронзовых наконечников стрел (21 с выступающей и 45 со скрытой втулкой), количественные анализы удалось получить с 52 экземпляров (рис. 1,А). В металле всех проанализированных наконечников отмечается примесь свинца. Его концентрация сильно варьирует в пределах от 0,1 до 59,5 %, среднее значение достаточно высокое – 5,0 %, стандартное отклонение – 9,5 (табл. 1). Вторым по распространенности легирующим компонентом является мышьяк (в 42 наконечниках). Концентрация его варьирует в пределах от менее 0,1 до 10,5 %. В среднем концентрация мышьяка не высока – 0,7 %, стандартное отклонение 1,8. Коэффициент корреляции между мышьяком и свинцом равен нулю. У свинца и мышьяка наиболее распространены концентрации в интервале 0,1–1 % (рис. 2,а), намного реже в интервале 1–10 % и еще реже – более 10 %. Добавки олова (5 наконечников) и сурьмы (4 наконечника) редки. Концентрация олова варьирует в пределах 0,4–3,2 %, среднее значение 1,9 %, стандартное отклонение 1,4. Концентрация сурьмы варьирует в пределах 0,8–5,1 %, среднее значение 2,6 %, стандартное отклонение 1,8. Сурьма и олово являются компонентами-«антагонистами». Они не встречаются вместе (рис. 2,б), при этом сурьма всегда встречается вместе с относительно высоким содержанием мышьяка (более 1 %) (рис. 2,в) и низким содержанием свинца (0,1–1 %) (рис. 2,г). Олово выявлено вместе с мышьяком в трех анализах из пяти. Высокие концентрации олова (3,2 %) часто встречаются там же, где высокие концентрации свинца (39 и 59 %) (рис. 2,д), однако для статистического анализа соотношения свинца и олова выборка мала. Примесь никеля в концентрации 0,1 % встречена в одном изделии. Соотношения между наиболее распространенными компонентами мышьяка и свинца не равномерны. Металл большей части наконечников стрел содержит низкие концентрации (менее 1 %) обоих компонентов (рис. 2,з,ж). Среди этого можно выделить несколько групп. С высоким содержанием мышьяка (1–10 %) и низким содержанием свинца (до 1 %). Часто металл этих наконечников содержит примесь сурьмы. И наоборот, с высоким содержанием свинца (1–10 %) и

низким содержанием мышьяка (менее 1 %), вплоть до его полного отсутствия. Наконечники стрел с высоким содержанием свинца в металле могут содержать также примесь олова.

В целом наконечники стрел по составу металла можно разбить на несколько групп:

- наибольшее распространение имеют наконечники, металл которых содержит примесь свинца и мышьяка в концентрациях до 1 %. В отдельных случаях содержание свинца может достигать 15,6 %, а мышьяка – 5,2 % (35 наконечников). Корреляционная связь между этими компонентами не значима (0,11). Разбивка выборки на три подгруппы: а) меньше 1 % обоих компонентов (27 наконечников); б) мышьяка меньше 1 %, но свинца больше 1 % (5 наконечников); в) мышьяка больше 1 %, свинца – до 15,6 % (3 наконечника) дает соответствующие коэффициенты корреляции 0,11, 0,98 и -0,53. Это, вероятно, связано с тем, что металл данной группы может иметь разное происхождение, что и дает разные абсолютные содержания, однако из-за малой статистики подгрупп сложно делать однозначные суждения;

- наконечники, металл которых содержит только свинец в концентрации 0,8–11,3 %, при отсутствии других примесей (8 шт.);

- наконечники, металл которых содержит олово и высокую концентрацию свинца. Содержание свинца может достигать в отдельных случаях 59 %. Также возможна незначительная примесь мышьяка (до 0,2 %) (5 шт.);

- наконечники, металл которых содержит одновременно сурьму и высокую концентрацию мышьяка (1,6–10,5 %). В нем также возможна примесь свинца и никеля (4 шт.).

Курган 3, могильная яма 1. Из 248 бронзовых втульчатых наконечников стрел (71 с выступающей и 177 со скрытой втулкой) количественные анализы удалось получить с 240 наконечников (рис. 3,А), которые по составу металла можно разбить на пять групп (табл. 2). Преобладают наконечники стрел, изготовленные из «чистой» меди (144 шт.). Вторая по распространенности группа – с содержанием в металле мышьяка до 0,7–0,8 %, но преимущественно – до 0,3 % (91 шт.) (рис. 4,а). Остальные три группы малочисленные. К третьей группе можно отнести наконечники, ме-

талл которых содержит сурьму, никель и высокую концентрацию мышьяка (более 1 %), возможны примеси свинца и висмута (3 шт.) (рис. 4,б). В четвертую группу входит один наконечник стрелы с невысоким содержанием в металле мышьяка и свинца (до 0,3 и 0,2 % соответственно), в пятую – один наконечник с содержанием мышьяка более 10 %.

Курган 3, могильная яма 2. Основу колчана составляют наконечники стрел с выступающей втулкой – 106 экз., наконечники со скрытой втулкой (базисные) представлены 24 экземплярами (рис. 2,Б). Количественные анализы удалось получить со всех 130 наконечников стрел. Среди примесей в металле выявлены никель, мышьяк, олово, сурьма, свинец и висмут (табл. 3). Наиболее распространенной примесью является мышьяк, но его концентрация обычно не превышает 0,2 % (рис. 5,а). В металле шести наконечников стрел концентрация мышьяка варьирует в пределах 0,7–10 % (рис. 5,б). В металле этих же наконечников содержится примесь сурьмы (0,9–4,6 %). В трех случаях там же встречен висмут, в двух – никель.

Редкой примесью является свинец, который выявлен в металле трех наконечников стрел. Его концентрация не превышает 0,5 %, в металле одного из этих наконечников также выявлена примесь олова (0,3 %). Мышьяк и свинец в металле наконечников вместе не встречаются.

По составу металла наконечники стрел можно разделить на пять групп. Здесь также преобладают наконечники из «чистой» меди (82 шт.). Вторая по распространенности группа – с содержанием в металле мышьяка до 0,1 % (39 шт.). Третья группа включает наконечники, металл которых содержит сурьму и высокую концентрацию мышьяка (более 2 %), возможны также примеси никеля и висмута (6 шт.). В четвертую группу входят два наконечника стрел, металл которых имеет примесь свинца (до 0,5 %). Пятую группу образует наконечник, в металле которого содержатся примеси олова (до 0,3 %) и свинца (до 0,1 %).

Курган 3, могильная яма 3. Колчан сохранил 151 наконечник стрел, из которых 86 с выступающей втулкой и 65 со скрытой втулкой (рис. 1,Б). Количественные анализы уда-

лось получить со всех наконечников. Значительная их часть в металле имеет примесь других элементов, часто не одного, а сразу нескольких легирующих компонентов. Наиболее распространенной примесью является мышьяк (в 100 наконечниках), содержание которого сильно варьирует в пределах от менее 0,1 до 22,1 %. Чаще всего содержание мышьяка не превышает 0,1–1 % (рис. 6,а). Реже встречается сурьма (36 наконечников), ее концентрация варьирует меньше, в пределах 0,4–7,3 %, чаще концентрация сурьмы превышает 1 %. При этом высокой концентрации мышьяка обычно соответствует высокая концентрация сурьмы (рис. 6,б). Примесь висмута, выявленная в металле 13 наконечников, имеет невысокое содержание – 0,2–0,7 %. Встречается он вместе с мышьяком, когда концентрация последнего варьирует в пределах 1–10 % (рис. 6,в). Также висмут постоянно встречается с сурьмой (рис. 6,г). Содержание никеля, обнаруженного в металле 10 наконечников, незначительно и колеблется в пределах 0,1–0,2 %. Встречается он вместе с высоким содержанием мышьяка. Свинец выявлен в металле трех наконечников стрел, его концентрация не превышает 0,1 %, в двух случаях свинец встречен вместе с мышьяком в концентрациях до 0,1 %.

По составу металла наконечники стрел можно разбить на несколько групп (табл. 4). Чаще всего (59 шт.) встречаются наконечники, металл которых содержит небольшую примесь мышьяка (обычно до 0,2 %, в отдельных случаях до 0,7 %). Вторая по распространенности группа – это наконечники стрел из «чистой» меди (50 шт.). Менее распространены наконечники (36 шт.), в металле которых одновременно присутствует высокая концентрация сурьмы и мышьяка с возможными примесями свинца, никеля и висмута. Коэффициент корреляции между сурьмой и мышьяком является незначимым (-0,20). Четвертая группа включает два наконечника, в металле которых концентрация мышьяка превышает 2 % при возможной примеси никеля в концентрации до 0,1 %. В пятую группу входят два наконечника, в металле которых отмечены незначительные примеси свинца и мышьяка в концентрациях до 0,1 % каждого компонента. Металл одного наконечника содержит ни-

кель и мышьяк в концентрациях до 0,1 % (группа шесть), а другого – никель и свинец в концентрациях до 0,1 % (группа семь).

Курган 4, центральная погребальная конструкция. Среди остатков колчана найдено 13 металлических втульчатых наконечников стрел и один костяной черешковый наконечник стрелы. Из металлических наконечников первоначально было проанализировано семь. Шесть из них изготовлены из «чистой» меди, в одном выявлена примесь олова (0,4 %). Затем вся выборка металлических наконечников стрел была зачищена от патины шлифовальной машинкой. Наконечники были вновь проанализированы. Основная их масса изготовлена из «чистой» меди (11 шт.), в одном выявлена примесь олова (0,5 %), еще в одном – примесь свинца (0,1 %).

Обсуждение результатов

В работах предшественников содержание примесей менее 1 % [Кузнецова, 1980, с. 153; Кузьминых, 1983, с. 10] или менее 0,5 % [Барцева, 1981, с. 17] считалось природным. Эта граница, на взгляд авторов данного исследования, не является обоснованной, особенно в условиях отсутствия надежных данных о металлургических технологиях и минерально-сырьевой базе населения Степной Евразии² раннего железного века. Из руд, содержащих станнин ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$), можно выплавить металл с содержанием меди и олова с массовым соотношением, близким 1 : 1. Руды, содержащие энаргит (Cu_3AsS_4) или оливенит ($\text{Cu}_2(\text{AsO}_4)(\text{OH})$), могут давать металл с высокой концентрацией мышьяка. Блеклые руды ряда теннантит-тетраэдрит ($\text{Cu}(\text{Cu}_4\text{Fe}, \text{Zn}_2)\text{Sb}_4\text{S}_{12}\text{S}-\text{Cu}_6(\text{Cu}_4\text{Fe}, \text{Zn}_2)\text{As}_4\text{S}_{12}\text{S}$) могут давать металл с высокой концентрацией мышьяка и сурьмы, превышающей 1–2 %. Также в рудах могут быть естественные комбинации нескольких минералов. Например, в руде малахит ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) может быть в разных пропорциях с церусситом (PbCO_3) или англезитом (PbSO_4), смитсонитом (ZnCO_3) и другими минералами. И наоборот, несовершенные технологии переработки руд, вторичный передел металла могли снижать концентрации ранее целенаправленно добавленных легирующих компонентов. Так, переплавка или

горячаяковка мышьяковой бронзы существенно снижает концентрацию мышьяка [Виноградов и др., 2013, с. 15–16].

Исследователи, основываясь на результатах спектрального анализа, металл на медной основе делили на металлургические и химические группы. В изделиях раннего железного века Восточной Европы, Казахстана и Урала выделяется «чистая» медь с содержанием примесей ниже отбрасываемого предела (Cu), оловянные (Cu + Sn), оловянно-мышьяковые (Cu + Sn + As), мышьяковые (Cu + As), мышьяково-сурьмяные (Cu + As + Sb), оловянно-свинцовые (Cu + Sn + Pb), свинцовые (Cu + Pb), оловянно-свинцово-мышьяковые (Cu + Sn + Pb + As), свинцово-мышьяковые (Cu + Pb + As) и другие бронзы. Химические группы металла обычно соотносят с каким-либо регионом или формационным типом месторождений. Так, выделяются волго-камская (сурьяно-мышьяковые сплавы), восточно-уральская («чистая» медь с низким количеством примесей) и т. д. (см., например: [Кузнецова, 1980, с. 153; Кузьминых, 1983, с. 10–11; Барцева, 1981, с. 9, 17–29]).

При работе с РФА эти подходы не всегда можно соблюсти, так как метод имеет меньшую чувствительность к примесям, а невысокое разрешение детектора затрудняет надежное определение некоторых элементов, что существенно сокращает список возможных анализируемых компонентов в сплавах на медной основе.

По своему химическому составу металл наконечников стрел из курганов могильника Кичигино I можно разделить на пять основных групп. Наконечники стрел с металлом этих составов хотя бы в одном наборе имеют распространенность более 10 % и их количество более 5 экземпляров (табл. 5):

I – чистая медь без примесей, металлургическая группа «чистая» медь – Cu;

II – медь с достаточно высоким содержанием (более 1 %) сурьмы и мышьяка, с возможными примесями свинца, никеля и висмута, металлургическая группа сурьяно-мышьяковая бронза – Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi);

III – медь с низким содержанием мышьяка, обычно не превышающим 0,2 %, в отдельных случаях содержание мышьяка может достигать 1 %, металлургическая группа «чистая» медь – Cu (As);

IV – медь с одновременным содержанием свинца и мышьяка. Их концентрации, как правило, не высоки и обычно не превышают 1 %, металлургическая группа «чистая» медь – Cu (Pb, As). В отдельных случаях содержание свинца может достигать 15,6 %, а мышьяка – 5,2 % – свинцово-мышьяковая бронза – Cu + Pb + As;

V – медь с содержанием свинца в пределах 1–10 %. По факту измерений границы группы несколько расширены до 0,8–11,3 %, металлургическая группа свинцовая бронза – Cu + Pb;

Выделенные нами по химическому составу группы металла I, III и большая часть группы IV соответствуют металлургической группе «чистой» меди. Сам характер примесей указывает на различное происхождение металла среди одной группы «чистой» меди. Группа металла II соответствует сурьяно-мышьяковым сплавам, волго-камской химико-металлургической группе. Свинцовые (V группа) и свинцово-мышьяковые сплавы (меньшая часть IV группы) не имеют ранее описанных аналогов.

Остальные составы металла редки и часто представлены единичными наконечниками стрел. Для единичных «групп» С.В. Кузьминых ввел общее обозначение «неопределимые» (н/о) [Кузьминых, 1983, с. 11; Кузьминых, Орловская, 2017, табл. 1Б, 1-1Б]. В настоящей работе сделана попытка разбивки единичных находок по химическому составу металла на отдельные группы, выделение которых, впрочем, весьма условно. Однако это может иметь значение при сопоставлении с металлом из других регионов и предметов другого функционального назначения:

VI – медь с одновременной примесью свинца и мышьяка в концентрациях до 1 %, металлургическая группа «чистая» медь – Cu (Pb, As);

VII – медь с примесью олова и возможной примесью свинца в концентрациях до 0,2 %, металлургическая группа «чистая» медь – Cu (Sn, Pb);

VIII – медь с примесью олова в концентрации до 0,5 %, металлургическая группа «чистая» медь – Cu (Sn);

IX – медь с одновременным содержанием олова (до 1 %), мышьяка (до 0,2 %) и

свинца (до 1,5 %), металлургическая группа «чистая» медь – Cu (Sn, As, Pb);

X – медь с высоким содержанием мышьяка (более 10 %) и без других примесей, металлургическая группа мышьяковая бронза – Cu + As;

XI – медь с примесью свинца (до 0,5 %), металлургическая группа «чистая» медь – Cu (Pb);

XII – медь с высоким содержанием свинца (более 10 %) и олова (более 1 %), металлургическая группа свинцово-оловянная бронза – Cu + Pb + Sn;

XIII – медь с содержанием мышьяка более 2 % и возможной примесью никеля (до 0,1 %), металлургическая группа мышьяковая бронза Cu + As (Ni);

XIV – медь с одновременным содержанием никеля (до 0,1 %) и мышьяка (не более 0,1 %), металлургическая группа «чистая» медь Cu (Ni, As).

Таким образом, значительную часть групп, выделенных нами по химическому составу металла, можно отнести к металлургической группе «чистой» меди (VI, VII, VIII, XI, XIII, XIV). Обособленно находятся свинцовые и мышьяковые сплавы (группы X, XII).

В колчане из могильной ямы 1 кургана 3 большинство составляют трехлопастные наконечники стрел со скрытой втулкой (СТ) (табл. 6), около $\frac{2}{3}$ из которых имеют орнамент (рис. 3,А). Трехлопастные наконечники стрел со скрытой втулкой и подтреугольным основанием (СО), а также трехлопастные с выступающей втулкой (ВТ) имеют меньшее распространение. Их соотношение варьирует в зависимости от группы металла. Из металла группы I [Cu] отлито больше наконечников со скрытой втулкой и подтреугольным основанием (СО), а из металла группы III [Cu (As)] изготовлено больше наконечников стрел с выступающей втулкой (ВТ). Причем большое количество наконечников стрел подгруппы СО имеет орнамент: в 50 % случаев для группы металла I [Cu] и в 17 % случаев для группы металла III [Cu (As)]. Среди трехлопастных наконечников стрел с выступающей втулкой (подгруппа ВТ) орнаментирован лишь один.

Трехлопастные наконечники стрел со скрытой втулкой и сильно развитым подтреу-

гольным основанием (вариант СТ-О) очень редки. Из металла группы I [Cu] отлито всего 4 наконечника (3 % от общего количества наконечников стрел), из металла группы III [Cu (As)] – 5 (5 %). Однако все они имеют орнамент.

Наконечники стрел, отлитые из металла группы II [Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)] (3 шт.) и группы X [Cu + As] (1 шт.), по своей морфологии относятся к подгруппе ВТ. Единственный наконечник из металла группы VI [Cu (Pb, As)] морфологически принадлежит подгруппе СТ и имеет орнамент в виде буквы «V».

В колчане из могильной ямы 2 кургана 3 (рис. 3,Б) абсолютно преобладают наконечники с выступающей втулкой (ВТ). Вторых по распространенности наконечников стрел со скрытой втулкой и подтреугольным основанием (СО) в группе металла I [Cu] всего 8,8 %, а в группе металла III [Cu (As)] – 16,7 % (табл. 7). Наконечников стрел со скрытой втулкой (СТ) из металла группы I [Cu] – 6,3 %, а из металла группы III [Cu (As)] – 4,8 %. При этом значительная часть наконечников подгрупп СО и СТ имеет орнамент. Трехгранные наконечники стрел со скрытой втулкой (СТГ) редки и изготовлены из металла группы I [Cu] и группы III [Cu (As)] (по 1 шт.). Орнамент на них отсутствует. Наконечники стрел из металла группы II [Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)], группы X [Cu + As] и группы XI [Cu (Pb)] редки (6, 1 и 2 шт. соответственно). Все они трехлопастные с выступающей втулкой (подгруппа ВТ).

Группы металла распространены неравномерно. В могильных ямах 1 и 2 кургана 3 наконечники стрел в целом имеют схожий состав. Преобладают наконечники стрел из «чистой» меди (группа I [Cu]) (60–63 %), гораздо меньше наконечников, отлитых из металла с невысокой примесью мышьяка (группа III [Cu (As)]) (30–38 %). Достаточно редки наконечники стрел из металла группы II ([Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)]) (1,3–4,6 %). Остальные составы крайне редки – встречаются либо в одной, либо в другой могильной яме.

Металл одной группы использовался для отливки разных по морфологии наконечников стрел. В то же время неоднократно встречаются наконечники стрел, одинаковые по морфологии, но разные по химическому составу металла. Так, в самой большой серии из 12 оди-

наковых по форме наконечников из могильной ямы 1 кургана 3 десять отлиты из металла группы I [Cu], а два – из металла группы III [Cu (As)] (рис. 3,А). Одинаковую форму имеют наконечники стрел, изготовленные из металла групп I [Cu] и II [Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)]; I [Cu] и III [Cu (As)]; I [Cu] и VI [Cu (Pb, As)]; II [Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)] и III [Cu (As)]; I [Cu], II [Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)] и III [Cu (As)]; I [Cu], III [Cu (As)] и XI [Cu (Pb)] (рис. 3,А,Б), но в этих случаях количество наконечников в серии не превышает 8 штук.

Среди разнообразия наконечников стрел из могильных ям 1 и 2 кургана 3 выделяются экземпляры, одинаковые по форме и размерам, что указывает на изготовление их в одной литейной форме или по одному шаблону. Причем форма или шаблон служили значительное время и использовались несколько раз. Об этом свидетельствуют наконечники стрел, одинаковые по форме, но разные по составу металла.

В целом проведенный анализ колчаных наборов из могильных ям 1 и 2 кургана 3 могильника Кичигино I показал отсутствие корреляционной зависимости между формой наконечников стрел и составом их металла.

От колчаных наборов из могильных ям 1 и 2 кургана 3 несколько отличается набор из могильной ямы 3 этого же кургана (табл. 5). Здесь преобладают наконечники стрел из металла группы III [Cu (As)] – с невысокой примесью мышьяка, составляющие 39,1 % от общего количества наконечников в колчане. Чуть меньше (33,1 %) наконечников из «чистой» меди (группа I [Cu]), на третьем месте (23,8 %) наконечники из металла группы II [Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)], единично встреченные в колчанах из могильных ям 1 (1,3 %) и 2 (4,6 %). В колчане из могильной ямы 3 единично представлены наконечники стрел из металла группы XI [Cu (Pb)] – с примесью Pb до 0,5 % – 1 шт., группы VI [Cu (Pb, As)] – с добавкой Pb и As до 0,7 % – 2 шт. Только в этом колчане встречены наконечники из металла группы XIII [Cu + As (Ni)] (2 шт.) и группы XIV [Cu (Ni, As)] (1 шт.).

Одиннадцать наконечников стрел из центральной погребальной камеры кургана 4 изготовлены из «чистой» меди, металла группы I [Cu]. В металле одного наконечника

стрелы выявлена примесь олова в концентрации 0,4–0,5 % (группа металла VIII [Cu (Sn)]). Металл еще одного наконечника содержит невысокую концентрацию свинца (группа металла XI [Cu (Pb)]).

Таким образом, люди, совершавшие захоронения в кургане 3 могильника Кичигино I, имели стабильный доступ к двум основным источникам металла или группам таковых, производящим «чистую» медь и медь с невысокой примесью мышьяка. Дополнительным источником, по-видимому, был металл, легированный блеклыми рудами, содержащий одновременно высокие концентрации мышьяка и сурьмы. Также могли случайно попадать наконечники стрел из металла других групп.

Скорее всего, металл групп I [Cu] и III [Cu (As)] имеет местное происхождение. В целом он соответствует составу металла изделий, встречающихся на памятниках иткульской культуры [Кузьминых, Дегтярева, 2015; Кузьминых и др., 2017]. На Южном Урале находится достаточно большое количество медных рудников, которые эксплуатировались в древности, в том числе и в раннем железном веке [Бельтикова, 2002; Черных, 1970]. Металл группы II [Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)] также может иметь местное происхождение.

Большим своеобразием отличается колчаный набор из могильной ямы 3 кургана 2 (рис. 1,А, табл. 5), где абсолютно преобладают (64,3 % от общего количества наконечников стрел в колчане) наконечники из металла группы IV [Cu + Pb + As] – с высоким содержанием свинца и мышьяка. Наконечников стрел из такого металла нет ни в одном из других проанализированных нами колчаных наборов. Нет в других колчанах и наконечников из металла групп V [Cu + Pb] (15,4 %), IX [Cu (Sn, As, Pb)] (5,8 %) и X [Cu + As] (3,8 %). И лишь 4 наконечника из металла группы II [Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)] (7,7 %) сближают этот колчаный набор с колчанами из кургана 3.

Отметим, что колчан из погребения в могильной яме 3 кургана 2 является наиболее поздним из представленных в настоящем исследовании. Об этом свидетельствует преобладание в нем небольших по размеру наконечников стрел с узкой сводчатой или подтреугольной головкой и значительное количество

маленьких сильно сточенных экземпляров. Датировку погребения в рамках второй половины IV в. до н.э. определяет железный кинжал [Таиров, 2019, с. 238]. У него прямое брусковидное навершие, широкая подпрямоугольная в сечении рукоять, сломанное под тупым углом или дуговидное перекрестие. В деревянных ножнах вместе с кинжалом находился длинный железный нож³.

Кичигино не единственный памятник Степной Евразии раннего железного века, в котором проанализирован состав металла найденных там наконечников стрел. В настоящее время имеются опубликованные данные о бронзовых наконечниках из памятников Северного, Центрального и Южного Казахстана [Барцева, 1987; Кузнецова, 1980], ряда памятников на территории современного Западного Казахстана и комплекса Филипповка I в Оренбургской области, географически входящих в Южное Приуралье [Кузнецова, 1980; Блинов и др., 2014], двух сарматских курганов (Березовский, Смолино) лесостепной зоны [Барцева, 1987] и ряда памятников иткульской культуры горнолесной зоны [Таиров, Блинов, 2019; Кузьминых, Дегтярева, 2017] Южного Зауралья. Из более отдаленных регионов Степной Евразии в качестве примера использования метода рентгенофлуоресцентного анализа можно привести исследование состава металла наконечников стрел аржано-майэмирского времени с территории Верхнего Приобья и Алтая [Тишкин и др., 2014; Tishkin, 2017]. Методом спектрального и рентгенофлуоресцентного анализа исследованы памятники Волго-Камского региона [Кузьминых, 1983; Кузьминых, Орловская, 2017], лесостепного Поднепровья и низовьев Дона [Барцева, 1981; 1984].

Иткульское I (Даутовское I) городище находится в горнолесной зоне Челябинской области, на берегу озера Иткуль. Исследования Г.В. Бельтиковой датируют городище концом VII – началом IV в. до н.э. [Бельтикова, 1986, с. 77]. Ранее нами был исследован состав семи бронзовых трехлопастных и трехгранных наконечников стрел с выступающей и скрытой втулкой из раскопок К.В. Сальникова этого памятника в 1954 году. Три из них отлиты из «чистой» меди. В металле двух наконечников содержится примесь мышьяка

(около 0,1 %). Металл одного наконечника имеет примесь свинца (около 0,1 %), а еще одного – олова (около 9,9 %) [Таиров, Блинов, 2019]. По составу они близки к группам металла I [Cu], III [Cu (As)] и V [Cu + Pb]. Наконечник стрелы, в металле которого содержится 9,9 % олова, не имеет аналогов по составу металла среди наконечников стрел из могильника Кичигино I.

В работе С.В. Кузьминых с соавторами имеются данные о составе металла 14 наконечников стрел с памятников иткульской культуры – Дальнего Багарякского городища (3 шт.), Горы Думной (1 шт.), Малого Вишневого (2 шт.) и Иткульского I городища (раскопки Г.В. Бельтиковой) (8 шт.). Все они отлиты из «чистой» меди. Металл одного наконечника с Малого Вишневого имеет повышенное содержание цинка (0,38 %) и включен в химико-металлургическую группу Cu (Zn). Повышенное содержание железа (0,47 %) в металле второго наконечника с Малого Вишневого и наконечника с Иткульского I городища (0,69 %) позволило включить их в химико-металлургическую группу Cu (Fe). Металл одного из наконечников с Иткульского I городища имеет повышенное содержание цинка (0,4 %) и железа (0,37) и включен в химико-металлургическую группу Cu (Zn, Fe) [Кузьминых и др., 2021, табл. Б, В]. Наконечники стрел с низким содержанием примесей в металле, из «чистой» меди, наиболее распространены в колчанах из погребений кургана 3 могильника Кичигино I. Однако в их металле не отмечена примесь цинка. В целом металл наконечников стрел с иткульских памятников соответствует металлу выделенной нами группы I [Cu].

Наконечники стрел из сарматских курганов Березовский и Смолино в лесостепной зоне Южного Зауралья в абсолютном своем большинстве (93,1 % от общего количества проанализированных) изготовлены из «чистой» меди, содержание примесей в которой ниже 0,1 %. В металле трех наконечников стрел (из 52 проанализированных) Березовского кургана отмечены высокие, от 1 до 7,5 %, концентрации мышьяка, сурьмы и висмута, что соответствует выделенной нами группе металла II [Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)]. Эти наконечники, как и четыре других предмета из данного кур-

гана, «были изготовлены мастерами иных центров, снабжавшихся рудой, по химическим характеристикам близкой группе ВК с неясным рудным источником к востоку от Урала» [Барцева, 1987, с. 76]. В кургане Смолино лишь металл одного наконечника из шести имеет высокое содержание мышьяка (7 %) [Барцева, 1987, с. 76, 79–81]. С учетом анализа по патинированной поверхности, его металл схож с выделенной нами группой металла X [Cu + As]. В целом металл наконечников стрел курганов Березовский и Смолино соответствует металлу наконечников из кургана 3 могильника Кичигино I. Наиболее распространены наконечники из «чистой» меди с низким содержанием примесей. Второстепенный, но постоянно присутствующий тип сплавов – с высоким содержанием мышьяка, сурьмы и примесью висмута.

В памятниках Западного Казахстана (Южное Приуралье), таких как Бесоба, Жалгыз-Оба, Хлебодаровка, Кумис-Сай, Сынтас, Челкар, датированных VI–V вв. до н.э., исследовано 278 наконечников стрел. По составу металла резко преобладает «чистая» медь. В зависимости от памятника количество стрел из такого металла варьирует от 50 до 100 %. Сплавы меди с оловом, оловом и мышьяком, мышьяком, свинцом, оловом и свинцом относительно редки. В четырех памятниках встречены изделия из сплава меди с мышьяком и сурьмой, количество которых может достигать 20 % [Кузнецова, 1980]. По данным Э.Ф. Кузнецовой и Ж.К. Курманкулова, «наконечники из “чистого” медного сырья составляют 62 %, оловянистой бронзы – 17 %, мышьяково-сурьмянистой бронзы – 11 %, оловянно-свинцовой бронзы – 18 %, мышьяковистой бронзы – 2 %» [Кузнецова, Курманкулов, 1993, с. 51]⁴. Металл наконечников стрел из Южного Приуралья имеет как сходство, так и отличие от металла наконечников из Кичигино I и других комплексов Южного Зауралья. Отличается он большим количеством оловянных сплавов, а сходство проявляется в преобладании «чистой» меди и мышьяково-сурьмяных сплавов.

В погребении 2 кургана 1 могильника Филипповка I (Оренбургская область, Южное Приуралье, бассейн реки Илек), которое датируется в пределах IV в. до н.э., обнаружен

колчан с большим количеством бронзовых наконечников стрел [Яблонский, 2014]. Однако проанализировать удалось лишь два. В металле одного имеется высокое содержание мышьяка (16,9 %) и сурьмы (4,8 %), металл второго содержал достаточно высокие концентрации мышьяка и свинца (качественное определение) [Блинов и др., 2014]. Металл первого наконечника стрелы похож по составу на металл группы II [Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)], выделенной для металла наконечников Кичигино I, второго – на металл группы IV [Cu + Pb + As].

Для характеристики состава металла наконечников стрел Волго-Камья использованы данные по могильникам Тетюшинский, Котловский, Ананьинский, Релка, Пьяноборский, Зуевский, Таш-Елга и поселения Шихан в устье Белой [Кузьминых, Орловская, 2017, табл. 8А–14А, 8Б–14Б]. Из 160 металлических наконечников стрел, проанализированных рентгенофлуоресцентным методом, 96 экземпляров (60 %) отлиты из «чистой» меди, причем в 30 из них отмечено повышенное содержание олова – Cu (Sn) – 9 экз., мышьяка – Cu (As) – 9 экз., олова и мышьяка – Cu (Sn, As) – 7 экз., железа Cu (Fe) – 4 шт., свинца и сурьмы – Cu (Pb, Sb) – 1 экз. Из оловянной бронзы [Cu + Sn] изготовлено 26 наконечников (16,3 %), причем в металле большинства из них отмечено повышенное содержание мышьяка – Cu + Sn (As) – 11 экз., свинца – Cu + Sn (Pb) – 4 экз., свинца и мышьяка – Cu + Sn (Pb, As) – 2 экз. Из мышьяковой бронзы [Cu + As] отлито 7 наконечников (4,4 %), при этом в металле трех из них отмечено повышенное содержание олова – Cu + As (Sn). Восемь наконечников (5 %) сделаны из оловянно-мышьяковой бронзы [Cu + Sn + As], также в металле двух из них отмечено повышенное содержание свинца – Cu + Sn + As (Pb). Восемь наконечников (5 %) отлиты из оловянно-свинцовой бронзы [Cu + Sn + Pb], в металле одного из них повышенное содержание сурьмы – Cu + Sn + Pb (Sb), другого – мышьяка – Cu + Sn + Pb (As). В целом здесь, как и в памятниках Южного Зауралья, преобладает «чистая» медь, но более широкое распространение получили сплавы с оловом.

Наконечники стрел (53 экз.) из карабызских могильников изготовлены из металлур-

гически «чистой» меди – 47 экз. (88,7 %), мышьяковой бронзы – 2 экз., мышьяково-сурьмяной бронзы – 2 экз. и мышьяково-железистой бронзы – 2 экз. [Кузьминых, Орловская, 2017, табл. 15А, 15Б]. Здесь, как и в Южном Зауралье, отмечаются высокая распространенность «чистой» меди и наличие сурьяно-мышьяковой и мышьяковой бронз.

Данные о составе металла наконечников стрел из могильников Алыпкаш в Северном Казахстане, Тасмола, Карамурун, Нурманбет в Центральном Казахстане и Бесшатыр в Семиречье (Южный Казахстан) приведены в работе Кузнецовой [Кузнецова, 1980]. В могильнике Алыпкаш все 26 наконечников стрел сделаны из оловянно-мышьяковой (52 %) или оловянной (48 %) бронзы. В Центральном Казахстане проанализировано 24 наконечника, из которых 56 % изготовлено из оловянно-мышьяковой бронзы, 10 % – оловянной бронзы, 18 % – мышьяковой бронзы, 5 % – свинцовой бронзы и 11 % – из «чистой» меди. В Семиречье (могильник Бесшатыр) из 48 проанализированных наконечников стрел 63 % отлиты из оловянно-мышьяковой бронзы, 16 % – оловянной бронзы, 8 % – мышьяковой бронзы, 3 % – свинцовой бронзы и 10 % – «чистой» меди. Согласно Э.Ф. Кузнецовой, основным металлом для наконечников стрел у саков Северного и Центрального Казахстана, а также Семиречья были оловянно-мышьяковые и оловянные бронзы [Кузнецова, 1980, с. 163–164]. Однако, по мнению Т.Б. Барцевой, заключения автора противоречат аналитическим данным, согласно которым в Центральном Казахстане из оловянно-мышьяковой бронзы изготовлено лишь 25 % наконечников стрел, а остальные из оловянной (42 %), мышьяковой (13 %), оловянно-свинцово-мышьяковой (8 %) бронз и «чистой» меди (8 %). В Семиречье (Бесшатыр) также преобладают наконечники, отлитые из оловянной бронзы (51 %), остальные изготовлены из оловянно-мышьяковой (29 %), мышьяковой (8 %), свинцовой (2 %), свинцово-мышьяковой (2 %) бронз или «чистой» меди (8 %). Следовательно, основным металлом у саков Северного, Центрального Казахстана и Семиречья для производства наконечников стрел были оловянные и оловянно-мышьяковые бронзы [Барцева, 1987, с. 70]. В целом металл наконечников стрел из

памятников этих регионов резко отличается от металла наконечников из Южного Зауралья. Здесь преобладают оловянные сплавы, а доля «чистой» меди не высока. Вместе с этим в Центральном Казахстане и Семиречье отмечается небольшая группа свинцовых сплавов, что дает основания предполагать наличие связей населения этих регионов с кочевниками Южного Зауралья, совершившими захоронение в могильной яме 3 кургана 2 Кичигино I.

По Северному Казахстану есть данные в работе Т.Б. Барцевой [Барцева, 1987], разделившей памятники этого региона на две хронологические группы: VII–VI вв. до н.э. и V–III вв. до н.э. К ранней группе (первый этап тасмолинской культуры) относятся наконечники стрел из могильника Алыпкаш, Бектелиз, Берлик II, Куропаткино, Покровка I, отлитые из оловянной или оловянно-мышьяковой бронзы, при абсолютном преобладании наконечников из оловянных бронз [Барцева, 1987, с. 69–70].

Во вторую группу входят наконечники стрел из саргатского городища и могильника Ак-Тау, могильников Амангельды, Улубай и Якши-Янгизтау второго этапа тасмолинской культуры. Из 20 проанализированных наконечников лишь один (Якши-Янгизтау, курган 10) изготовлен из оловянной бронзы (2 % Sn, 0,6 % Pb). Еще один наконечник из этого кургана изготовлен из «чистой» меди с примесью 0,15 % мышьяка. Для производства остальных наконечников стрел использована «чистая» медь, причем в курганах 13 и 14 могильника Амангельды из 10 проанализированных в 7 отмечено повышенное, 0,1–0,6 %, содержание цинка [Барцева, 1987, с. 82].

Металл североказахстанских наконечников стрел первой хронологической группы отличается от металла наконечников из Кичигино I широким распространением оловянных сплавов. Наконечники второй хронологической группы отлиты в абсолютном большинстве из «чистой» меди, что сближает их с наконечниками из Южного Зауралья раннесарматского времени.

Данные о наконечниках стрел из ряда памятников VIII–V вв. до н.э. Центрального Казахстана приводятся также в работе Джанг-Сик Парка с соавторами [Park et al.,

2020]. Из 11 проанализированных наконечников четыре изготовлены из оловянной бронзы (Мыржик, Акбеит, Бакыбулак), пять – из оловянно-мышьяковой бронзы (Кособа, Акбеит, Бакыбулак). В кургане 2 могильника Назар 2 один наконечник стрелы выполнен из сложного оловянно-сурьмяно-мышьякового [Sn + Sb + As] сплава с медью. В кургане 7 могильника Бидаик один наконечник отлит из оловянно-свинцовой [Cu + Sn + Pb], второй – из оловянно-мышьяковой [Cu + Sn + As] бронзы [Park et al., 2020, p. 5]. Металл этих наконечников стрел сильно отличается от металла наконечников из Южного Зауралья постоянным присутствием в нем олова.

Могильник Тегизжол расположен в 10 км западнее города Темиртау Карагандинской области (Центральный Казахстан). В кургане 27, который отнесен к тасмолинской археологической культуре и датирован VII–VI вв. до н.э., бронзовые наконечники стрел обнаружены в погребениях 1 и 2 [Варфоломеев, 2011]. В более раннем погребении 1 выявлено пять трехлопастных и трехгранно-трехлопастных черешковых наконечников стрел. В металле тегизжолских наконечников вместе присутствуют сильно варьирующие содержания свинца (0,2–2,3 %), мышьяка (1,1–10,2 %), олова (0,3–26,0 %) и в трех наконечниках выявлен висмут (до 0,7 %). В погребении 2 (вторая половина VI в. до н.э.) найден всего один наконечник стрелы – трехлопастной с выступающей втулкой. Его металл имеет некоторое отличие от металла наконечников из погребения 1 – в нем также есть свинец, мышьяк и висмут, но нет олова, однако есть примесь сурьмы [Блинов, Варфоломеев, 2015]. По составу наконечники стрел из погребения 1 могильника Тегизжол близки к металлу группы IX [Cu (Sn, As, Pb)] из Кичигино. Однако концентрации мышьяка и олова в металле наконечников стрел из Тегизжола намного превышают таковые из Кичигино. Впрочем, небольшая выборка не дает надежных результатов для сравнения. Кроме того, здесь необходимо учитывать три основных параметра – разное время, разное географическое положение и разные направления культурно-экономических связей.

Поселение Боровое-III находится в нижнем течении реки Бии (Верхнее Приобье) и

датируется VIII – последней четвертью VII в. до н.э. На этом поселении проанализировано 18 наконечников стрел. Все стрелы двулопастные, наиболее распространены ромбического сечения, реже – листовидные. Все наконечники стрел легированы. Более распространены рецептуры Sn + As + Pb ± Bi, Sb, Ni, реже – Sb + As + Bi ± Ni, Sn [Тишкин и др., 2014]. Главная по распространенности рецептура качественно схожа с группой металла IX [Cu (Sn, As, Pb)] из Кичигино I, но имеет меньшие концентрации примесей. Второстепенная по распространенности в Боровом-III рецептура схожа с металлом группы II [Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)] из могильника Кичигино I.

Комплексы Элекмонар-II и Тыткескен-VI, датируемые началом VII – началом V в. до н.э., находятся на Алтае (Республика Алтай). Из них происходят трехгранный черешковый, трехлопастной втульчатый, и два двухлопастных втульчатых наконечника стрел. Все они имеют оловянную лигатуру, а также постоянные примеси Pb ± As, Zn. В одном трехлопастном наконечнике отмечены только примеси мышьяка и свинца (2,5 и 0,2 % в патинированной поверхности соответственно) [Tishkin, 2017, p. 128–129]. По составу они имеют некоторое сходство с металлом групп VII [Cu (Sn, Pb)] и IX [Cu (Sn, As, Pb)] из могильника Кичигино I.

Наконечники стрел лесостепного Днепро-Восточного Левобережья имеют преимущественно оловянную и оловянно-свинцовую лигатуру. Причем со второй половины VI в. до н.э. к III в. до н.э. намечается тенденция перехода от «чистой» оловянной бронзы к оловянно-свинцовой. Если в конце VII – первой половине VI в. до н.э. 87 % наконечников стрел были отлиты из оловянной бронзы, а 13 % из «чистой» меди (с содержанием примесей до 0,5 %), то в IV–III вв. до н.э. 94–98 % наконечников отлито из оловянно-свинцовой бронзы, а доля оловянных бронз понижается до 2–6 %. Наконечники стрел из «чистой» меди, составляющие 5 % выборки наконечников рубежа VI–V – V в. до н.э., в выборке IV в. до н.э. уже не присутствуют. Уменьшение доли «чистой» меди Т.Б. Барцева связывает с прекращением связей с Южным Зауральем как источником данного типа металла [Барцева, 1981, с. 32–37].

Основная масса наконечников стрел Кубани рубежа VI–V вв. до н.э. отлита из оловянной бронзы. Абсолютное большинство (96 %) наконечников стрел IV–III вв. до н.э. Днепровской левобережной степи сделано из оловянно-свинцовых бронз и лишь 4 % – из оловянных бронз [Барцева, 1981, с. 35, 36]. Здесь ситуация схожа с ситуацией на Днепровском Левобережье, описанной выше, связи с Южным Зауральем прекращаются, поэтому изделий из «чистой» меди не выявлено.

Из 10 наконечников стрел кургана у хутора Сладковский в низовьях Дона восемь изготовлены из «чистой» меди, в металле одного 2 % свинца (свинцовая бронза), а другого 2 % мышьяка (мышьяковая бронза). Особенностью наконечников из «чистой» меди является довольно высокое содержание висмута (до десятых долей процента), сурьмы и мышьяка (десятые доли процента) [Барцева, 1984, с. 146, 147]. По преобладанию «чистой» меди можно предположить связь с Южным Зауральем. Однако примеси висмута и сурьмы до 0,1 % ставят под сомнение правильность такого вывода.

Как уже отмечалось, большим своеобразием отличается колчаный набор из могильной ямы 3 кургана 2 (рис. 1, А, табл. 5), который является наиболее поздним из представленных в настоящем исследовании, датированный второй половиной IV в. до н.э. В нем абсолютно преобладают наконечники из металла группы IV [Cu + Pb + As] – с высоким содержанием свинца и мышьяка, не представленные ни в одном другом колчанном наборе. Нет в других колчанах и наконечников из металла групп V [Cu + Pb], IX [Cu (Sn, As, Pb)] и XII [Cu + Pb + Sn].

На Южном Урале IV в. до н.э. – это время массового передвижения южнозауральских номадов в приуральские степи и их активного участия в этнокультурных процессах, протекавших в Арало-Каспийском регионе [Таиров, 2006]. В лесостепном Зауралье IV–III вв. до н.э. – время постепенного затухания иткульского очага металлургии и металлообработки. В IV в. до н.э. прекращают свою деятельность его основные производственные центры, а в III в. до н.э. иткульский очаг, как единая система, перестает существовать [Бельтикова, 1993, с. 106]. Очевидно, что со-

став металла наконечников стрел из погребений в курганах 2 и 3 могильника Кичигино I является отражением этих процессов. Если в колчанах из погребений кургана 3, датируемых концом V – первой половиной IV в. до н.э., абсолютно доминирует металл, производимый иткульскими металлургами (группы I–III) (табл. 5), то в колчане из могильной ямы 3 кургана 2 (вторая половина IV в. до н.э.) нет наконечников из металла «иткульских» групп I [Cu] и III [Cu (As)] и лишь 4 наконечника (7,7 %) группы II [Cu + Sb + As (Pb, Ni, Bi)]. Наличие наконечников из металла групп IV [Cu + Pb + As], V [Cu + Pb], IX [Cu (Sn, As, Pb)] и XII [Cu + Pb + Sn], не встречающихся в более ранних погребениях, указывает, вероятно, на смену источников сырья и появление доступа к источникам металла, расположенным, возможно, к югу и юго-западу от Зауралья. В предшествующую савроматскую эпоху VI–V вв. до н.э. в Южном Приуралье 18 % всех проанализированных наконечников стрел составляли наконечники из оловянно-свинцовой бронзы [Кузнецова, Курманкулов, 1993, с. 51]. В небольшом (2–8 %) количестве наконечники стрел из свинцовой, оловянно-свинцово-мышьяковой, свинцово-мышьяковой бронз известны в памятниках раннесакского и сакского времени Центрального Казахстана и Семиречья [Кузнецова, 1980, с. 163–164; Барцева, 1987, с. 70; Блинов, Варфоломеев, 2015]. Однако регионом, в котором в IV–III вв. до н.э. абсолютно (94–98 %) преобладали оловянно-свинцовые бронзы, являются лесостепное и степное Днепровское Левобережье [Барцева, 1981, с. 32–37].

Отметим также, что большее распространение в этот период оловосодержащих бронз может свидетельствовать как о более тесных связях с восточными регионами Степной Евразии, так и о дефиците металла, приведшим к вторичному использованию легированных оловом бронзовых изделий предшествующего времени в производстве наконечников стрел. На недостаток металла также указывают небольшие размеры наконечников и длительное использование отдельных экземпляров, выражающееся в их неоднократной заточке.

В наконечниках стрел второй половины VI – первой половины IV в. до н.э. металл с

не характерным для Южного Урала оловом крайне редок. В это время его распространение находится на уровне статистической погрешности, в отличие от эпохи бронзы, когда оловянные бронзы были широко распространены [Древнее Устье, 2013]. Это может быть вызвано как нарушением в савромато-сарматское время связей с регионами, добывающими олово, так и с экономической нецелесообразностью использования дорогостоящего олова для производства такого массового продукта, как наконечники стрел [Кузнецова, 1980, с. 161–162; Кузнецова, Курманкулов, 1993, с. 51].

Выводы

Исследование 580 бронзовых наконечников стрел из пяти погребений второй половины VI – второй половины IV в. до н.э. курганного могильника Кичигино I в Южном Зауралье, проведенное с использованием рентгенофлуоресцентного анализа, позволяет прийти к ряду выводов, имеющих предварительный характер.

Основу состава всех наконечников стрел составляла медь, кроме нее в металле присутствуют мышьяк, сурьма, свинец, олово, никель и висмут в разных пропорциях. Весь металл проанализированных наконечников стрел был разделен на 14 групп в зависимости от примесей и их количества. Исследование показало, что около середины IV в. до н.э. происходит смена источников поступления цветного металла ранним кочевникам степной зоны Южного Зауралья. В V – первой половине IV в. до н.э. почти весь металл шел из иткульского очага металлургии и металлообработки, который находился в горнолесной части Южного Зауралья. Металл, который поставляли «иткульцы», был представлен в абсолютном большинстве «чистой» медью: металлом без примесей или медью с незначительными добавками мышьяка. Небольшое количество металла в это время поступало, вероятно, с территории Южного Приуралья.

Стабильное и небольшое количество мышьяково-сурьмяных сплавов, скорее всего, связано с переработкой рудного сырья, содержащего высокие концентрации блеклых руд с примесями минералов висмута и нике-

ля. Судя по распространению такого типа сплавов, источник сырья находился в регионе Мугоджары – Южный Урал – Зауралье.

Постоянное присутствие сурьмяно-мышьяковых сплавов в наконечниках стрел курганов комплекса Кичигино I, а также в расположенных в этом же регионе Березовском кургане и кургане Смолино, указывает на постоянные связи Южного Зауралья с Волго-Камьем. Однако в памятниках ананьинской культуры Волго-Камского бассейна 83 % всех бронзовых изделий дополнительно легированы оловом [Кузьминых, 1983, с. 11], что указывает на большую доступность олова для населения волго-камского региона и их связи с более западными регионами-поставщиками сырья.

Во второй половине IV в. до н.э. появляется большое количество наконечников стрел, которые изготовлены из сплавов с примесью свинца и мышьяка, свинца, оловянно-мышьяково-свинцовой и оловянно-свинцовой бронзы. Источники части этого металла расположены, вероятно, к югу и юго-западу от Зауралья. Переход к новым источникам металла обусловлен двумя основными причинами. Во-первых, массовыми переселениями в IV в. до н.э. кочевого населения зауральской степи в Южное Приуралье и установлением тесных связей с населением Арало-Каспийского региона и Волго-Донских степей. Во-вторых, с постепенным затуханием в течение IV в. до н.э. иткульского очага металлургии и металлообработки, который в III в. до н.э. прекращает свое существование. Нехватка во второй половине IV в. до н.э. цветного металла, поставляемого иткульскими металлургами, возможно, привела также к вторичному использованию легированных оловом бронзовых изделий более раннего времени.

Результаты анализов свидетельствуют о том, что между формой наконечников стрел и составом их металла нет никакой зависимости. Наконечники одной формы могли изготавливаться из металла разного состава, и наоборот, из одного и того же металла изготавливались наконечники разных форм.

Судя по составу металла наконечников стрел, Южное Зауралье, Прикамье и Западный Казахстан были единым регионом в плане источников металла. Для них характерны высокие доли «чистой» меди и небольшое

количество сурьяно-мышьяковых сплавов. И напротив, оловянные лигатуры в них редки. Металл наконечников стрел других регионов – Алтая, Центрального, Южного Казахстана и Левобережного Поднепровья отличается высоким распространением оловянных лигатур.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-09-00205 «Культура и общество ранних кочевников Южного Зауралья (по материалам могильника Кичигино I)».

The reported study was funded by RFBR, project number 20-09-00205 “Culture and society of the Early nomads of the Southern Trans-Urals region (on the materials of the cemetery Kichigino I)”.

² Под Степной Евразией мы, вслед за А.А. Чибилевым с соавторами, «рассматриваем трансконтинентальное географическое пространство – мегарегион, охватывающий не только степную ландшафтную зону Европы и Азии, но и примыкающие к ней с севера и юга (по сути переходные) лесостепную и полупустынную (пустынно-степную) зоны» [Чибилев и др., 2019, с. 3].

³ Данный комплекс пополняет серию совместных находок клинкового оружия и ножей на Южном Урале, представленную в недавней работе Е.В. Вильдановой [Вильданова, 2021].

⁴ В более ранней статье Э.Ф. Кузнецовой приводятся несколько иные данные – из «чистой» меди изготовлено 70 % всех наконечников, из оловянной бронзы – 10 %, мышьяковой – 10 %, бронзы с комбинированным приплавом – 10 % [Кузнецова, 1980, с. 153].

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1. Сводный состав наконечников стрел из могильной ямы 3 кургана 2

Table 1. Consolidated composition of the arrowheads. Grave 3, kurgan 2

Элемент	Концентрация	Среднее	Стандартное отклонение	N
Ni	0,1			1
As	<0,1–10,5	0,7	1,8	42
Sn	0,4–3,2	1,9	1,4	5
Sb	0,8–5,1	2,6	1,8	4
Pb	0,1–59,5	5,0	9,5	52
Сu без примесей				Не выявлен

Примечание. В таблицах 1–4 приведены разбросы содержаний элементов-примесей, которых в одном изделии может быть несколько, из-за чего сумма N выше, чем количество проанализированных изделий.

Таблица 2. Сводный состав наконечников стрел из могильной ямы 1 кургана 3

Table 2. Consolidated composition of the arrowheads. Grave 1, kurgan 3

Элемент	Концентрация	Среднее	Стандартное отклонение	N
Ni	0,1–0,4	0,2		3
As	<0,1–34,2	0,9	4,4	96
Sb	0,4–2,2	1,2		3
Pb	0,1–0,5	0,2		3
Bi	0,3			1
Сu без примесей				144

Таблица 3. Сводный состав наконечников стрел из могильной ямы 2 кургана 3

Table 3. Consolidated composition of the arrowheads. Grave 2, kurgan 3

Элемент	Концентрация	Среднее	Стандартное отклонение	N
Ni	0,1	0,1		2
As	<0,1–9,3	0,5	1,6	45
Sn	0,3			1
Sb	0,9–4,6	2,2		6
Pb	0,1–0,5	0,2		3
Bi	0,2–0,4	0,3		3
Сu без примесей				82

Таблица 4. Сводный состав наконечников стрел из могильной ямы 3 кургана 3

Table 4. Consolidated composition of the arrowheads. Grave 3, kurgan 3

Элемент	Концентрация	Среднее	Стандартное отклонение	N
Ni	0,1–0,2	0,1	0,05	10
As	<0,1–22,1	2,7	4,6	100
Sb	0,4–7,3	2,7	1,5	36
Pb	0,1	0,1	0,01	3
Bi	0,2–0,7	0,4	0,1	13
Сu без примесей				50

Таблица 5. Группы металла наконечников стрел могильника Кичигино I

Table 5. Metal groups of arrowheads from the Kichigino I burial ground

Группа металла	Характеристика	Количество (% от общего количества проанализированных наконечников в колчане)				
		Курган 2, могильная яма 3	Курган 3, могильная яма 1	Курган 3, могильная яма 2	Курган 3, могильная яма 3	Курган 4, центральное сооружение
I	Чистая медь без примесей		144 (60,0 %)	82 (63,1 %)	50 (33,1 %)	11 (84,6 %)
II	Sb + As (обычно >1 %) ± Pb, Ni, Bi (до 1 %)	4 (7,7 %)	3 (1,3 %)	6 (4,6 %)	36 (23,8 %)	
III	As обычно до 0,2 %, в отдельных случаях до 1 %		91 (37,9 %)	39 (30,0 %)	59 (39,1 %)	
IV	Pb + As до 1 %, в отдельных случаях выше	35 (64,3 %)				
V	Pb 1–10 %	8 (15,4 %)				
VI	Pb + As до 1 %		1 (0,4 %)		2 (1,3 %)	
VII	Sn ± Pb (до 0,2 %)			1 (0,8 %)		
VIII	Sn до 0,5 %					1 (7,7 %)
IX	Sn (до первых %) + As (до 0,2 %) + Pb (до 1,5 %)	3 (5,8 %)				
X	As > 10 %		1 (0,4 %)			
XI	Pb до 0,5 %			2 (1,5 %)	1 (0,6 %)	1 (7,7 %)
XII	Sn (>1 %) + Pb (>10 %)	2 (3,8 %)				
XIII	As > 2 % ± Ni до 0,1 %				2 (1,3 %)	
XIV	Ni до 0,1, As < 0,1				1 (0,6 %)	
<i>Итого</i>		52 (100 %)	240 (100 %)	130 (100 %)	151 (100 %)	13 (100 %)

Таблица 6. Морфология наконечников стрел из могильной ямы 1 кургана 3

Table 6. Morphology of the arrowheads. Grave 1, kurgan 3

Группа металла	BT, %	Орнаментированные от BT, %	CO, %	Орнаментированные от CO, %	CT, %	Орнаментированные от CT, %	CT-O, %	Орнаментированные от CT-O, %	Количество наконечников в группе металла
I	20,6	3,4	25,5	50,0	51,1	63,9	2,8	100	141
II	100								3
III	34,8		19,6	16,7	40,2	59,5	5,4	100	92
X	100								1
VI					100	100			1

Примечание. BT – с выступающей втулкой, трехлопастной; CO – со скрытой втулкой, трехлопастной с подтреугольным основанием; CT – со скрытой втулкой, трехлопастной; CT-O – со скрытой втулкой, трехлопастные с сильно развитым подтреугольным основанием; CTГ – со скрытой втулкой, трехгранные.

Таблица 7. Морфология наконечников стрел из могильной ямы 2 кургана 3

Table 7. Morphology of the arrowheads. Grave 2, kurgan 3

Группа металла	BT, %	CO, %	Орнаментированные от CO, %	CT, %	Орнаментированные от CT, %	CTГ, %	Количество наконечников в группе металла
I	83,8	8,8	28,6	6,3	40,0	1,3	80
II	100						6
III	76,2	16,7	28,6	4,8		2,4	42
X	100						1
XI	100						2

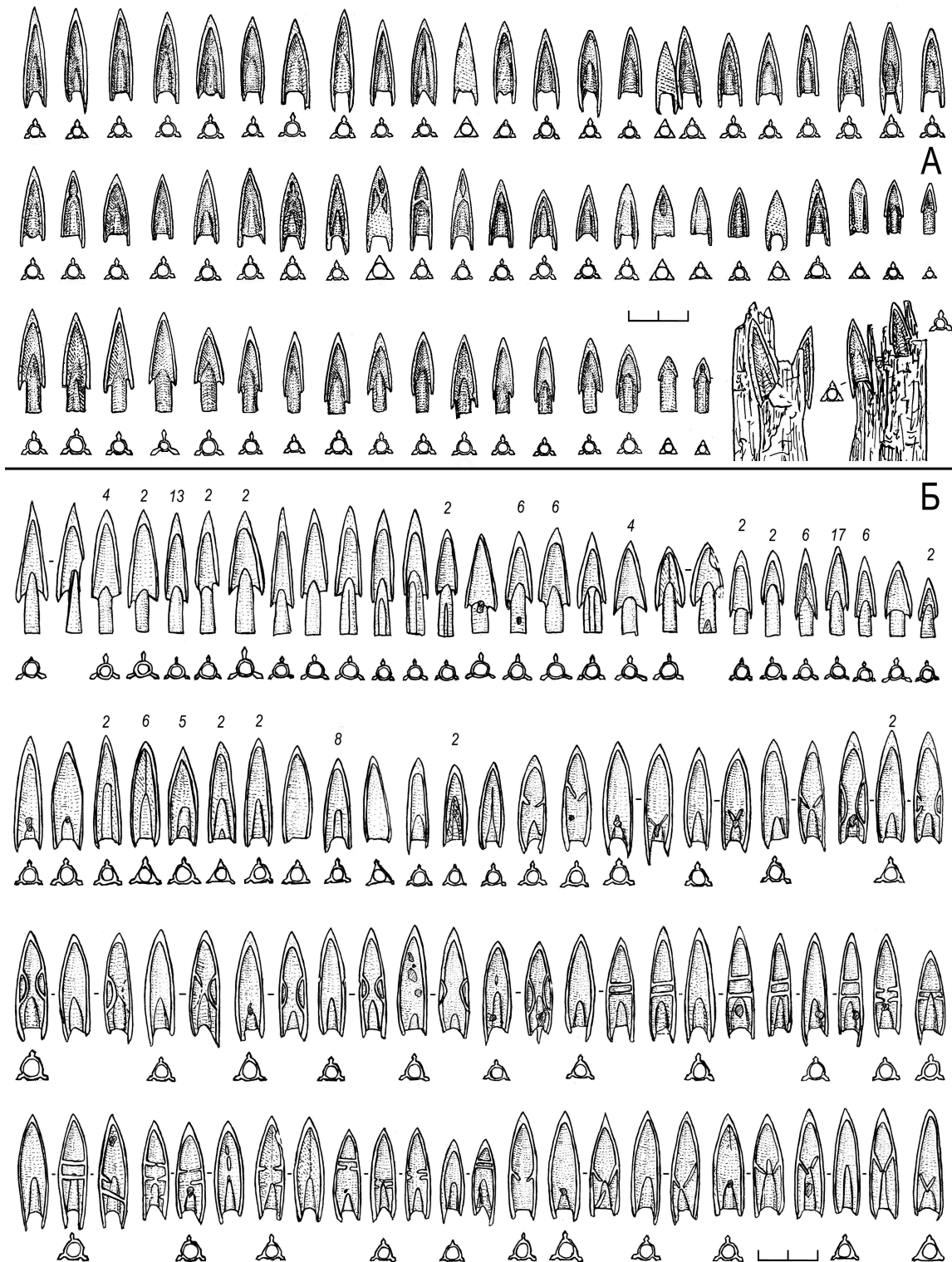


Рис. 1. Наконечники стрел из погребений кургана 2 и 3 могильника Кичигино I:

А – погребение в могильной яме 3 кургана 2; Б – погребение в могильной яме 3 кургана 3

Примечание. Число над наконечником стрелы указывает на количество идентичных экземпляров.

Fig. 1. Arrowheads from the graves of the kurgans 2 and 3 of the Kichigino I cemetery:

А – burial in a grave 3 of kurgan 2; Б – burial in a grave 3 of kurgan 3

Note. The digit above the arrowhead indicates the number of identical specimens.

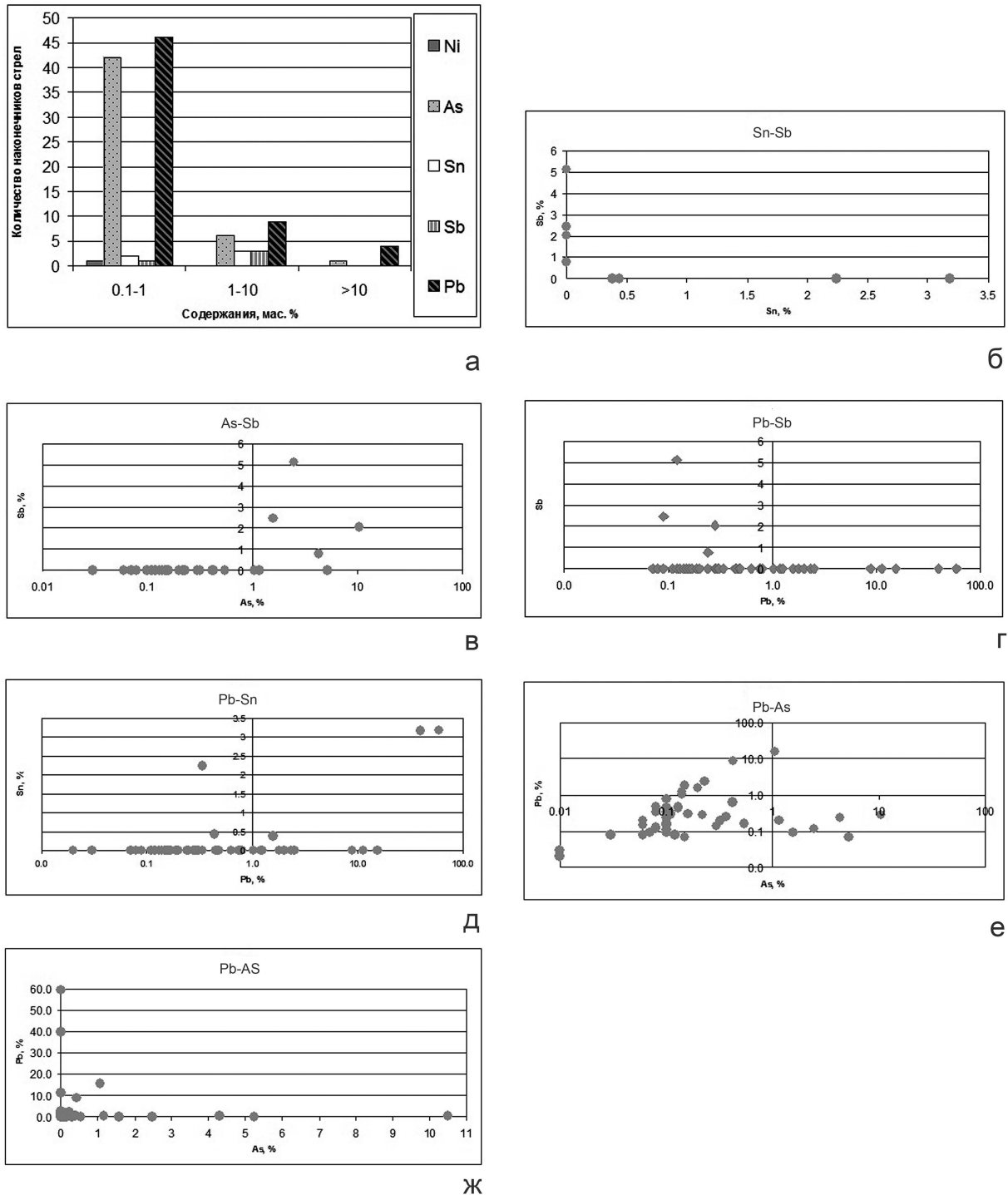


Рис. 2. Металл наконечников стрел из могильной ямы 2 кургана 3 могильника Кичигино I:

a – гистограмма распределения концентраций элементов в металле наконечников стрел; *б* – соотношения Sn и Sb в металле наконечников стрел; *в* – соотношения As и Sb в металле наконечников стрел, шкала абсцисс (As) логарифмическая; *г* – соотношения Pb и Sb в металле наконечников стрел, шкала абсцисс (Pb) логарифмическая; *д* – соотношения Pb и Sn в металле наконечников стрел, шкала абсцисс (Pb) логарифмическая; *е* – соотношения Pb и As в металле наконечников стрел, обе шкалы логарифмические; *ж* – соотношения Pb и As в металле наконечников стрел

Fig. 2. Metal of the arrowheads from the Kichigino I burial ground, mound 2, kurgan 3:

a – histogram of the distribution of the elements concentrations in the metal of the arrowheads; *b* – ratio of Sn and Sb in the metal of arrowheads; *c* – ratios of As and Sb in the metal of arrowheads, the abscissa scale (As) is logarithmic; *d* – ratio of Pb and Sb in the metal of arrowheads, the abscissa scale (Pb) is logarithmic; *e* – ratio of Pb and Sn in the metal of arrowheads, the abscissa scale (Pb) is logarithmic; *f* – the ratio of Pb and As in metal of arrowheads, both scales are logarithmic; *g* – ratio of Pb and As in the metal of arrowheads

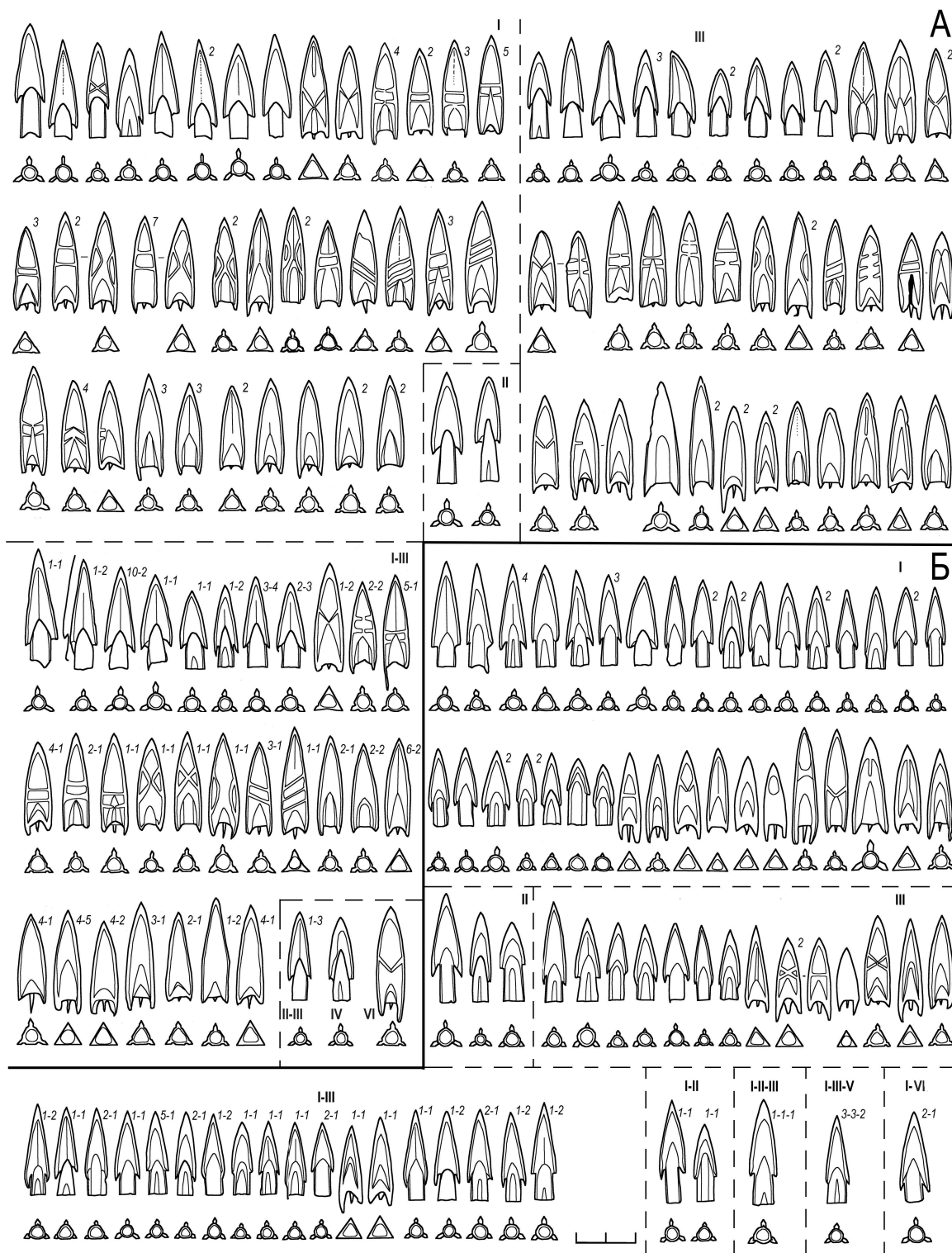


Рис. 3. Наконечники стрел из мужских воинских погребений кургана 3 могильника Кичигино I:

A – погребение в могильной яме 1; B – погребение в могильной яме 2

Примечание. Римскими цифрами обозначены группы металла, из которых изготовлены наконечники стрел. Количество наконечников стрел соответствующих групп указано арабскими цифрами.

Fig. 3. Arrowheads from the male military burials of the cemetery Kichigino I, kurgan 3:

A – burial in the grave 1; B – burial in the grave 2

Note. The groups of metal from which the arrowheads are made are denoted by Roman numerals. The number of arrowheads of the corresponding groups is indicated in Arabic numerals.

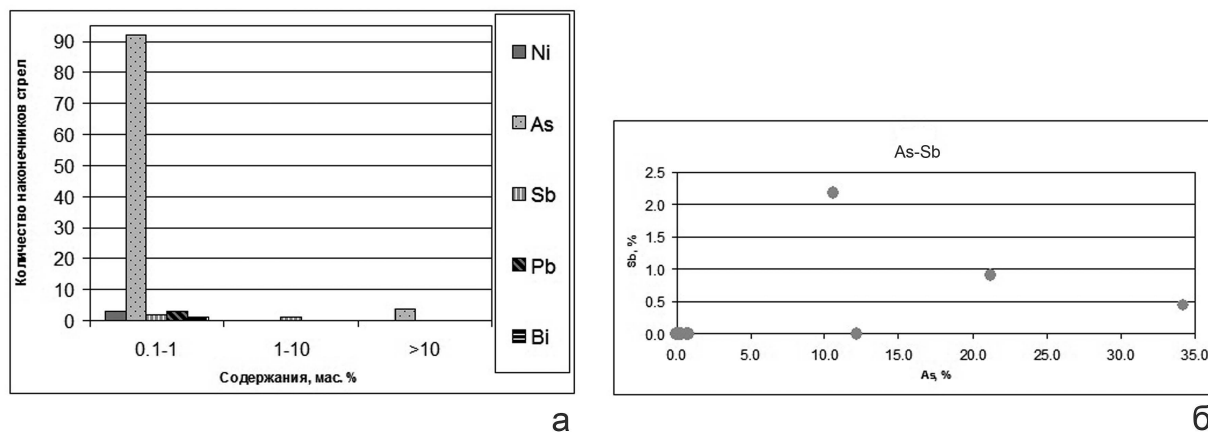


Рис. 4. Металл наконечников стрел из могильной ямы 1 кургана 3 могильника Кичигино I:

a – гистограмма распределения концентраций элементов в металле наконечников стрел;
b – соотношения As и Sb в металле наконечников стрел

Fig. 4. Metal of arrowheads from the Kichigino I burial ground, kurgan 3, grave 1:

a – histogram of the distribution of the elements concentrations in the metal of the arrowheads;
b – the ratio of As and Sb in the metal of arrowheads

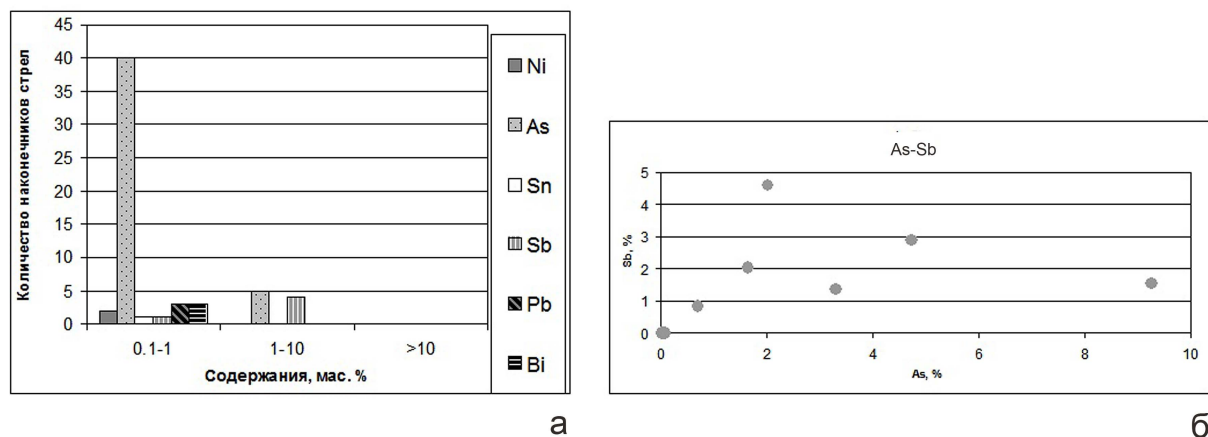


Рис. 5. Металл наконечников стрел из могильной ямы 2 кургана 3 могильника Кичигино I:

a – гистограмма распределения концентраций элементов в металле наконечников стрел;
b – соотношения As и Sb в металле наконечниках стрел

Fig. 5. Metal of arrowheads from the Kichigino I burial ground, kurgan 3, grave 2:

a – histogram of the concentrations of elements in the metal of the arrowheads;
b – the ratio of As and Sb in metal arrowheads

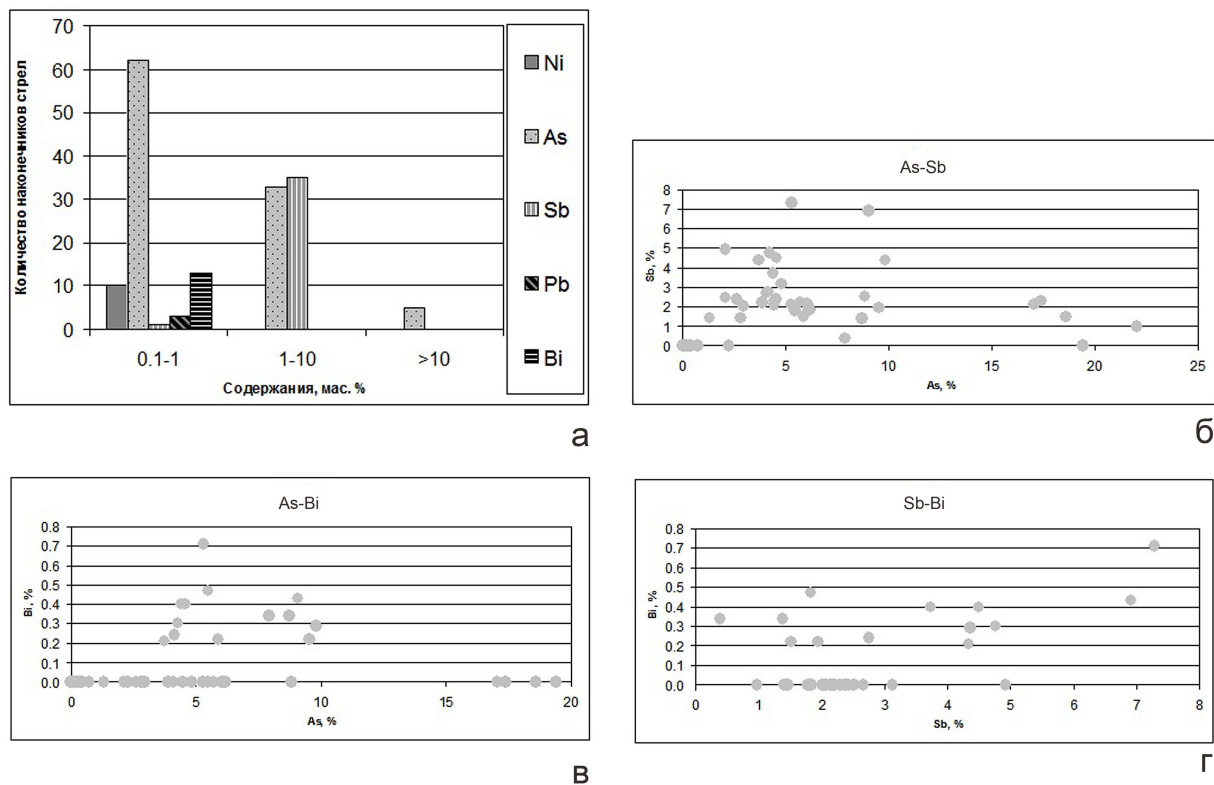


Рис. 6. Металл наконечников стрел из могильной ямы 3 кургана 3 могильника Кичигино I:
 а – гистограмма распределения концентраций элементов в металле наконечников стрел;
 б – соотношения As и Sb в металле наконечников стрел; в – соотношения As и Bi в металле наконечников стрел;
 г – соотношения Sb и Bi в металле наконечников стрел

Fig. 6. Metal of arrowheads from the Kichigino I burial ground, kurgan 3, grave 3:
 а – histogram of the distribution of the concentrations of elements in the metal of the arrowheads;
 б – the ratio of As and Sb in the metal of arrowheads; в – the ratio of As and Bi in the metal of arrowheads;
 г – the ratio of Sb and Bi in the metal of arrowheads

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барцева Т. Б., 1981. Цветная металлообработка скифского времени. Лесостепное днепровское левобережье. М. : Наука. 128 с.
- Барцева Т. Б., 1984. Результаты спектроаналитического изучения металлических вещей из кургана 4 у хут. Сладковский // Смирнов К. Ф. Сарматы и утверждение их политического господства в Скифии. М. : Наука. С. 141–148.
- Барцева Т. Б., 1987. Цветной металл из Среднего Приишимья (по материалам Северо-Казахстанской экспедиции) // Ранний железный век и средневековье Урало-Иртышского междуречья. Челябинск : БашГУ. С. 65–83.
- Бельтикова Г. В., 1986. Иткульское I городище – место древнего металлургического производства // Проблемы Урало-Сибирской археологии. Свердловск : УрГУ. С. 63–78.
- Бельтикова Г. В., 1993. Развитие иткульского очага металлургии // Вопросы археологии Урала. Вып. 21. С. 93–106.
- Бельтикова Г. В., 2002. Иткульский очаг металлургии: ориентация, связи // Древние и средневековые культуры Урала в евразийском культурном пространстве. Уральский исторический вестник. № 8. Екатеринбург : Академкнига. С. 142–163.
- Блинов И. А., Анкушев М. Н., Яблонский Л. Т., Халяпина О. А., 2014. Состав золотых, серебряных и бронзовых изделий из могильника Филипповка I (курган 1, погребение 2) // Геоархеология и археологическая минералогия – 2014. Миасс : Ин-т минералогии УрО РАН. С. 84–92.
- Блинов И. А., Варфоломеев В. В., 2015. Состав бронзовых изделий из кургана 27 могильника Тегисжол (Каргандинская область, Казахстан) // Геоархеология и археологическая минералогия – 2015. Миасс : Ин-т минералогии УрО РАН. С. 136–142.
- Блинов И. А., Таиров А. Д., 2018. Состав бронз поселения Шибаво из подъемных сборов сезона 2017 г. // Геоархеология и археологическая минералогия – 2018. Миасс : Ин-т минералогии УрО РАН. С. 152–155.
- Блинов И. А., Таиров А. Д., Юминов А. М., 2017. Влияние способа чистки бронзовых изделий на результаты анализа РФА (на примере поясных обоев из кургана 5 могильника Кичигино I в Южном Зауралье) // Геоархеология и археологическая минералогия – 2017. Миасс : Ин-т минералогии УрО РАН. С. 181–184.
- Варфоломеев В. В., 2011. Тасмолинское погребение с наборным поясом из могильника Тегисжол // Вопросы археологии Казахстана. Вып. 3. Алматы. С. 315–324.
- Вильданова Е. В., 2021. Совместные находки ножей и мечей в погребальных комплексах ранних кочевников Южного Урала // Вестник археологии, антропологии и этнографии. № 1 (52). С. 33–41. DOI: <http://doi.org/10.20874/2071-0437-2021-52-1-3>
- Виноградов Н. Б., Дегтярева А. Д., Кузьминых С. В., 2013. Металлургия и металлообработка в жизни обитателей укрепленного поселения Устье I // Вестник археологии, антропологии и этнографии. № 3 (22). С. 4–30.
- Древнее Устье: укрепленное поселение бронзового века в Южном Зауралье, 2013. Челябинск : Абрис. 482 с.
- Кузнецова Э. Ф., 1980. Состав металла наконечников стрел Казахстана сакско-савроматского времени // Археологические исследования древнего и средневекового Казахстана. Алма-Ата : Наука КазССР. С. 152–165.
- Кузнецова Э. Ф., Курманкулов Ж. К., 1993. Бронзовые изделия из памятников савроматской культуры Западного Казахстана (данные спектрального анализа) // Кочевники урало-казахстанских степей. Екатеринбург : УИФ «Наука». С. 44–52.
- Кузьминых С. В., 1983. Металлургия Волго-Камья в раннем железном веке (медь и бронза). М. : Наука. 257 с.
- Кузьминых С. В., Дегтярева А. Д., 2015. Цветная металлообработка иткульской культуры : (Предварительные результаты аналитических исследований) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. № 4 (31). С. 57–66.
- Кузьминых С. В., Дегтярева А. Д., 2017. Металлопроизводство иткульской культуры Среднего Урала (по аналитическим данным) // Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов. Вып. 4. М. : ИА РАН. С. 18–35.
- Кузьминых С. В., Дегтярева А. Д., Тигеева Е. В., 2017. Металлопроизводство красноозерской и иткульской культур Тоболо-Ишимья // Вестник археологии, антропологии и этнографии. № 4 (39). С. 37–50. DOI: <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2017-39-4-037-050>

- Кузьминых С. В., Луньков В. Ю., Орловская Л. Б., 2021. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа: серия 2017–2019 гг. // Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов. Вып. 5. М. : ИА РАН. С. 104–128.
- Кузьминых С. В., Орловская Л. Б., 2017. Металлургия Волго-Камья в раннем железном веке (медь и бронза): аналитические данные // Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов. Вып. 4. М. : ИА РАН. С. 63–166.
- Таиров А. Д., 2006. Этнокультурные процессы в степях Южного Урала во второй половине V – IV в. до н.э. // Российская археология. № 1. С. 71–78.
- Таиров А. Д., 2019. Южный Урал в эпоху ранних кочевников // История Южного Урала : в 8 т. Т. 3. Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ. 400 с.
- Таиров А. Д., 2020а. Мужские воинские погребения кургана 3 могильника Кичигино I // Археологическое наследие. Античность. Скифы. Сарматы. № 1 (3) С. 182–196.
- Таиров А. Д., 2020б. Женские погребения кургана 3 могильника Кичигино I (Южное Зауралье) // Труды VI (XXII) Всероссийского археологического съезда в Самаре : в 3 т. Самара : СГСПУ. Т. II. С. 117–119.
- Таиров А. Д., Блинов И. А., 2019. Металл Первого Дауговского (Иткульского I) городища из коллекции Государственного исторического музея Южного Урала // Геоархеология и археологическая минералогия – 2019. Миасс ; Екатеринбург : ООО «ФортДиалог-Исеть». С. 125–128.
- Таиров А. Д., Богалов С. Г., Плешанов М. Л., 2008. Исследования курганного могильника Кичигино в 2007 году (предварительные результаты) // Ранние кочевники Волго-Уральского региона : материалы Междунар. науч. конф. «Ранние кочевники Южного Приуралья в свете новейших археологических открытий». Оренбург : Изд-во ОГПУ. С. 139–145.
- Тишкин А. А., Кунгуров А. Л., Лихачева О. С., 2014. Рентгенофлуоресцентный анализ металлических наконечников стрел аржано-майэмирского времени с поселения Боровое-III (Верхнее Приобье) // Теория и практика археологических исследований. Т. 10, №2. С. 96–111.
- Черных Е. Н., 1970. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья. М. : Наука. 180 с.
- Черных Е. Н., Луньков В. Ю., 2009. Методика рентгено-флуоресцентного анализа меди и бронз в лаборатории Института археологии // Аналитические исследования лаборатории естественно-научных методов. Вып. 1. М. : ИА РАН. С. 78–83.
- Черных Е. Н., Луньков В. Ю., 2016. Рентгено-флуоресцентный метод анализа химического состава древних изделий из цветных металлов // Междисциплинарная интеграция в археологии (по материалам лекций для аспирантов и молодых сотрудников). М. : ИА РАН. С. 244–251.
- Чибилев А. А., Левыкин С. В., Щербакова Б. А., 2019. Степная Евразия: экологические риски природопользования от древних времен до наших дней // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. № 4. С. 1–15. DOI: <http://doi.org/10.24411/2304-9081-2019-15010>
- Яблонский Л. Т., 2014. Золото ранних кочевников Южного Приуралья как исторический источник (по материалам могильника Филипповка 1) // Геоархеология и археологическая минералогия – 2014. Миасс : Ин-т минералогии УрО РАН. С. 81–84.
- Park J. S., Beisenov A., Voyakin D., 2020. The technological and social implication of the discriminated use of tin and arsenic noted in EIA copper-based objects of Central Kazakhstan // Archaeological and Anthropological Sciences. 12, 81. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01036-y>
- Tishkin A. A., 2017. Metallic artifacts of Arjan-Mayemir period from the Altai territory: X-ray fluorescence analysis, cultural and chronological attribution // Теория и практика археологических исследований. Т. 17, № 1. С. 123–144.

REFERENCES

- Bartseva T.B., 1981. *Tsvetnaya metalloobrabotka skifskogo vremeni. Lesostepnoe dneprovskoe levoberezh'ye* [Non-Ferrous Metalworking of the Scythian Time. Forest-Steppe Dnieper Left Bank]. Moscow, Nauka Publ. 128 p.
- Bartseva T.B., 1984. Rezul'taty spektroanaliticheskogo izucheniya metallicheskih veshchey iz kurgana 4 u hut. Sladkovskiy [Results of a Spectroanalytical Study of Metal Objects from Kurgan 4 at the Khut. Sladkovsky]. *Smirnov K.F. Sarmaty i utverzhdienie ih politicheskogo gospodstva v Skifii* [Sarmatians and the Approval of their Political Dominance in Scythia]. Moscow, Nauka Publ., pp. 141-148.

- Bartseva T.B., 1987. Tsvetnoy metall iz Srednego Priishim'ya (po materialam Severo-Kazahstanskoy ekspeditsii) [Non-Ferrous Metal from the Middle Ishim Region (Based on Materials from the North Kazakhstan Expedition)]. *Ranniy zheleznyy vek i srednevekov'e Uralo-Irtyshskogo mezhdurech'ya* [Early Iron Age and the Middle Ages of the Ural-Irtysh Interfluve]. Chelyabinsk, Bashkir University Publishing House, pp. 65-83.
- Beltikova G.V., 1986. Itkul'skoe I gorodishche – mesto drevnego metallurgicheskogo proizvodstva [Itkul I Settlement – a Place of Ancient Metallurgical Production]. *Problemy Uralo-Sibirskoy arheologii* [Problems of the Ural-Siberian Archeology]. Sverdlovsk, USU, pp. 63-78.
- Beltikova G.V., 1993. Razvitiye itkul'skogo ochaga metallurgii [Development of the Itkul Center of Metallurgy]. *Voprosy arheologii Urala* [Issues of Archeology of the Urals], iss. 21, pp. 93-106.
- Beltikova G.V., 2002. Itkul'skiy ochag metallurgii: orientatsiya, svyazi [Itkul Metallurgy Center: Orientation, Connections]. *Drevnie i srednevekovye kul'tury Urala v evraziyskom kul'turnom prostranstve. Ural'skiy istoricheskiy vestnik* [Ancient and Medieval Cultures of the Urals in the Eurasian Cultural Space. Ural Historical Bulletin], no. 8. Yekaterinburg, Academkniga Publ., pp. 142-163.
- Blinov I.A., Ankushev M.N., Yablonskiy L.T., Khalyapina O.A., 2014. Sostav zolotykh, serebryanykh i bronzovykh izdeliy iz mogil'nika Filippovka I (kurgan 1, pogrebenie 2) [Composition of Gold, Silver and Bronze Items from the Filippovka I Burial Ground (Mound 1, Burial 2)]. *Geoarheologiya i arheologicheskaya mineralogiya – 2014* [Geoarcheology and Archaeological Mineralogy – 2014]. Miass, Institute of Mineralogy UrB RAS, pp. 84-92.
- Blinov I.A., Varfolomeev V.V., 2015. Sostav bronzovykh izdeliy iz kurgana 27 mogil'nika Tegiszhol (Karagandinskaya oblast', Kazahstan) [Composition of Bronze Items from Burial Mound 27 of Tegiszhol Burial Ground (Karaganda Region, Kazakhstan)]. *Geoarheologiya i arheologicheskaya mineralogiya – 2015* [Geoarcheology and Archaeological Mineralogy – 2015]. Miass, Institute of Mineralogy, UrB RAS, pp. 136-142.
- Blinov I.A., Tairov A.D., 2018. Sostav bronz poseleniya Shibaevo iz pod'emnykh sborov sezona 2017 g. [The Composition of the Bronzes of the Shibaevo Settlement from Survey Samples Season 2017]. *Geoarheologiya i arheologicheskaya mineralogiya – 2018* [Geoarcheology and Archaeological Mineralogy – 2018]. Miass, Institute of Mineralogy, UrB RAS, pp. 152-155.
- Blinov I.A., Tairov A.D., Yuminov A.M., 2017. Vliyaniye sposoba chistki bronzovykh izdeliy na rezul'taty analiza RFA (na primere poyasnykh oboym iz kurgana 5 mogil'nika Kichigino I v Yuzhnom Zaural'e) [Influence of the Method of Cleaning Bronze Items on the Results of XRF Analysis (on the Example of Belt Clips from Mound 5 of the Kichigino I Burial Ground in the Southern Trans-Urals)]. *Geoarheologiya i arheologicheskaya mineralogiya – 2017* [Geoarcheology and Archaeological Mineralogy – 2017]. Miass, Institute of Mineralogy, UrB RAS, pp. 181-184.
- Varfolomeev V.V., 2011. Tasmolinskoe pogrebenie s nabornym poyasom iz mogil'nika Tegiszhol [Tasmola Burial with a Type-Setting Belt from the Tegiszhol Burial Ground]. *Voprosy arheologii Kazakhstana* [Issues of Kazakhstan Archeology], iss. 3. Almaty, pp. 315-324.
- Vil'danova E.V., 2021. Sovmestnye nahodki nozhey i mechey v pogrebal'nykh kompleksakh rannih kochevnikov Yuzhnogo Urala [Joint Finds of Knives and Swords in Burial Complexes of Early Nomads in the Southern Urals]. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii* [Journal of Archaeology, Anthropology and Ethnography], no. 1 (52), pp. 33-41. DOI: <http://doi.org/10.20874/2071-0437-2021-52-1-3>
- Vinogradov N.B., Degtyareva A.D., Kuzminykh S.V., 2013. Metallurgiya i metalloobrabotka v zhizni obitateley ukreplennogo poseleniya Ust'e 1 [Metallurgy and Metalworking in the Life of the Inhabitants of the Fortified Settlement Ust'ye 1]. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii* [Journal of Archaeology, Anthropology and Ethnography], no. 3 (22), pp. 4-30.
- Drevnee Ust'ye: ukreplennoe poselenie bronzovogo veka v Yuzhnom Zaural'e*, 2013 [Ancient Ustye: The Fortified Settlement of the Bronze Age in the Southern Trans-Urals]. Chelyabinsk, Abris Publ. 482 p.
- Kuznetsova E.F., 1980. Sostav metalla nakonechnikov strel Kazakhstana saksko-savromatskogo vremeni [Composition of the Metal of Arrowheads of Kazakhstan in the Saka-Sauromat Time]. *Arheologicheskie issledovaniya drevnego i srednevekovogo Kazakhstana* [Archaeological Research of Ancient and Medieval Kazakhstan]. Alma-Ata, Nauka Kazakh SSR Publ., pp. 152-165.
- Kuznetsova E.F., Kurmankulov Zh.K., 1993. Bronzovye izdeliya iz pamyatnikov savromatskoy kul'tury Zapadnogo Kazakhstana (dannye spektral'nogo analiza) [Bronze Items from the Monuments of the Sauromat Culture of Western Kazakhstan (Spectral Analysis Data)]. *Kochevniki uralo-kazahstanskih stepey* [Nomads of the Ural-Kazakh Steppes]. Yekaterinburg, UIF "Nauka" Publ., pp. 44-52.

- Kuzminykh S.V., 1983. *Metallurgiya Volgo-Kam'ya v rannem zheleznom veke (med' i bronza)* [Metallurgy of the Volga-Kama Region in the Early Iron Age (Copper and Bronze)]. Moscow, Nauka Publ. 257 p.
- Kuzminykh S.V., Degtyareva A.D., 2015. Tsvetnaya metalloobrabotka itkul'skoy kul'tury: (Predvaritel'nye rezul'taty analiticheskikh issledovaniy) [Non-Ferrous Metalworking of the Itkul Culture: (Preliminary Results of Analytical Research)]. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii* [Journal of Archaeology, Anthropology and Ethnography], no. 4 (31), pp. 57-66.
- Kuzminykh S.V., Degtyareva A.D., 2017. Metalloprodukcija itkul'skoy kul'tury Srednego Urala (po analiticheskim dannym) [Metal Production of the Itkul Culture of the Middle Urals (According to Analytical Data)]. *Analiticheskie issledovaniya laboratorii estestvennonauchnykh metodov* [Analytical Research of the Laboratory of Natural Science Methods], iss. 4. Moscow, IA RAS, pp. 18-35.
- Kuzminykh S.V., Degtyareva A.D., Tigeeva E.V., 2017. Metalloprodukcija krasnoozerskoy i itkul'skoy kul'tur Tobolo-Ishim'ya [Metal Production of the Krasnozero and Itkul Cultures of the Tobolo-Ishimya]. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii* [Journal of Archaeology, Anthropology and Ethnography], no. 4 (39), pp. 37-50. DOI: <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2017-39-4-037-050>
- Kuzminykh S.V., Lunkov V.Yu., Orlovskaya L.B., 2021. Rezul'taty rentgenofluorescentnogo analiza: seriya 2017–2019 gg. [Results of X-Ray Fluorescence Analysis: Series 2017–2019]. *Analiticheskie issledovaniya laboratorii estestvennonauchnykh metodov* [Analytical Research of the Laboratory of Natural Science Methods], iss. 5. Moscow, IA RAS, pp. 104-128.
- Kuzminykh S.V., Orlovskaya L.B., 2017. Metallurgiya Volgo-Kam'ya v rannem zheleznom veke (med' i bronza): analiticheskie dannye [Metallurgy of the Volga-Kama Region in the Early Iron Age (Copper and Bronze): Analytical Data]. *Analiticheskie issledovaniya laboratorii estestvennonauchnykh metodov* [Analytical Research of the Laboratory of Natural Science Methods], iss. 4. Moscow, IA RAS, pp. 63-166.
- Tairov A.D., 2006. Etnokul'turnye processy v stepyakh Yuzhnogo Urala vo vtoroy polovine V – IV v. do n. e. [Ethno-Cultural Processes in the Steppes of the Southern Urals in the Second Half of the 5th – 4th Centuries BC]. *Rossiyskaya arkheologiya* [Russian Archaeology], no. 1, pp. 71-78.
- Tairov A.D., 2019. Yuzhnyy Ural v epohu rannih kochevnikov [South Ural in the Era of the Early Nomads]. *Istoriya Yuzhnogo Urala: v 8 t.* [History of the South Ural. In 8 vols.], vol. 3. Chelyabinsk, SUSU. 400 p.
- Tairov A.D., 2020a. Muzhskie voinskie pogrebeniya kurgana 3 mogil'nika Kichigino I [Male Military Burials of Mound 3 of the Kichigino I Burial Ground]. *Arheologicheskoe nasledie. Antichnost'. Skify. Sarmaty* [Archaeological Heritage. Antiquity. Scythians. Sarmatians], no. 1 (3), pp. 182-196.
- Tairov A.D., 2020b. Zhenskie pogrebeniya kurgana 3 mogil'nika Kichigino I (Yuzhnoe Zaural'e) [Female Burials in Mound 3 of the Kichigino I Burial Ground (South Trans-Urals)]. *Trudy VI (XXII) Vserossiyskogo arheologicheskogo s'ezda v Samare: v 3 t.* [Proceedings of the VI (XXII) All-Russian Archaeological Congress in Samara. In 3 vols.], vol. 2. Samara, SGSPU, pp. 117-119.
- Tairov A.D., Blinov I.A., 2019. Metall Pervogo Dautovskogo (Itkul'skogo I) gorodishcha iz kolleksii Gosudarstvennogo istoricheskogo muzeya Yuzhnogo Urala [Metal of the First Dautovsky (Itkul'sky I) Settlement from the Collection of the State Historical Museum of the Southern Urals]. *Geoarheologiya i arheologicheskaya mineralogiya – 2019* [Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy – 2019]. Miass, Yekaterinburg, Fort Dialog-Iset LLC Publ., pp. 125-128.
- Tairov A.D., Botalov S.G., Pleshanov M.L., 2008. Issledovaniya kurgannogo mogil'nika Kichigino v 2007 godu (predvaritel'nye rezul'taty) [Research of the Kichigino Burial Mound in 2007 (Preliminary Results)]. *Rannie kochevniki Volgo-Ural'skogo regiona: materialy Mezhdunar. nauch. konf. «Rannie kochevniki Yuzhnogo Priural'ya v svete novejsih arheologicheskikh otkrytij»* [Early Nomads of the Volga-Ural Region. Proceedings of the International Scientific Conference “Early Nomads of the Southern Urals in the Light of the Latest Archaeological Discoveries”]. Orenburg, OSPU, pp. 139-145.
- Tishkin A.A., Kungurov A.L., Likhacheva O.S., 2014. Rentgenofluorescentnyy analiz metallicheskih nakonechnikov strel arzhano-mayemirskogo vremeni s poseleniya Borovoe-III (Verhnee Priob'e) [X-Ray Fluorescence Analysis of Metal Arrowheads of the Arzhan-Mayemir Period from the Borovoe-III Settlement (Upper Ob Region)]. *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovaniy* [Theory and Practice of Archaeological Research], vol. 10, no. 2, pp. 96-111.
- Chernykh E.N., 1970. *Drevneyshaya metallurgiya Urala i Povolzh'ya* [The Most Ancient Metallurgy of the Urals and the Volga Region]. Moscow, Nauka Publ. 180 p.
- Chernykh E.N., Lun'kov V.Yu., 2009. Metodika rentgeno-fluorescentnogo analiza medi i bronz v laboratorii Instituta arheologii [Method of X-Ray Fluorescence Analysis of Copper and Bronze in the Laboratory of the Institute

- of Archeology]. *Analiticheskie issledovaniya laboratorii estestvenno-nauchnykh metodov* [Analytical Research of the Laboratory of Natural Science Methods], iss. 1. Moscow, IA RAS, pp. 78-83.
- Chernykh E.N., Lun'kov V.Yu., 2016. Rentgeno-fluorescentnyy metod analiza himicheskogo sostava drevnih izdeliy iz tsvetnykh metallov [X-Ray Fluorescence Method for Analyzing the Chemical Composition of Ancient Non-Ferrous Metal Products]. *Mezhdistsiplinarnaya integratsiya v arheologii (po materialam lektsiy dlya aspirantov i molodyh sotrudnikov)* [Interdisciplinary Integration in Archaeology (Based on Lectures for Graduate Students and Young Scientists)]. Moscow, IA RAS, pp. 244-251.
- Chibilev A.A., Levykin S.V., Shcherbakova B.A., 2019. Stepnaya Evraziya: ekologicheskie riski prirodopol'zovaniya ot drevnih vremen do nashih dney [Steppe Eurasia: Environmental Risks of Nature Management from Ancient Times to the Present Day]. *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN* [Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], no. 4, pp. 1-15. DOI: <http://doi.org/10.24411/2304-9081-2019-15010>
- Yablonskiy L.T., 2014. Zoloto rannih kochevnikov Yuzhnogo Priural'ya kak istoricheskiy istochnik (po materialam mogil'nika Filippovka 1) [Gold of the Early Nomads of the Southern Urals as a Historical Source (Based on Materials from the Filippovka 1 Burial Ground)]. *Geoarheologiya i arheologicheskaya mineralogiya – 2014* [Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy – 2014]. Miass, Institute of Mineralogy UrB RAS, pp. 81-84.
- Park J.S., Beisenov A., Voyakin D., 2020. The Technological and Social Implication of the Discriminated Use of Tin and Arsenic Noted in EIA Copper-Based Objects of Central Kazakhstan. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 12, 81. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01036-y>
- Tishkin A.A., 2017. Metallic Artifacts of Arjan-Mayemir Period from the Altai Territory: X-ray Fluorescence Analysis, Cultural and Chronological Attribution. *Teoriya i praktika arkheologicheskikh issledovaniy* [Theory and Practice of Archaeological Research], vol. 17, no. 1, pp. 123-144.

Information About the Authors

Ivan A. Blinov, Candidate of Sciences (Geology-Mineralogy), Researcher, South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geocology of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Ilmen Reserve Territory, Build 1, 456317 Miass, Russian Federation, ivan_a_blinov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7397-4760>

Aleksandr D. Tairov, Doctor of Sciences (History), Director of the Scientific and Educational Center Eurasian Studies, South Ural State University (National Research University), Prosp. Lenina, 76, 454080 Chelyabinsk, Russian Federation, tairov55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8575-0430>

Информация об авторах

Иван Александрович Блинов, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения РАН, Ильменский заповедник, корп. 1, 456317 г. Миасс, Российская Федерация, ivan_a_blinov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7397-4760>

Александр Дмитриевич Таиров, доктор исторических наук, директор Научно-образовательного центра евразийских исследований, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), просп. им. В.И. Ленина, 76, 454080 г. Челябинск, Российская Федерация, tairov55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8575-0430>