

А.Д. Дегтярева, С.В. Кузьминых

ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026
Институт археологии РАН
ул. Дм. Ульянова, 19, Москва, 117036
E-mail: anna126@inbox.ru;
kuzminykhsv@yandex.ru

МОДЕЛИ ЦВЕТНОГО МЕТАЛЛОПРОИЗВОДСТВА НА УРАЛЕ В РАННЕМ ЖЕЛЕЗНОМ ВЕКЕ

В эпоху раннего железа на Среднем и Южном Урале складываются различные модели металлопроизводства у населения иткульской и савроматской археологических культур. Иткульская культура — культура горняков и металлургов. Ее базовая фракция — иткульский или зауральский очаг металлургии — была изначально ориентирована на горное дело и металлопроизводство. Основные коллекции иткульских медных и бронзовых изделий найдены в объектах, связанных с производственной деятельностью (поселения и городища металлургов) и культовой практикой (святилища). Иткульские племена имели четко выраженную металлургическую специализацию по добыче, переработке руды (в основном малахита) в огромных масштабах, плавке окисленной меди и изготовлению широкого ассортимента изделий с последующим активным участием в торговых и обменных операциях. Металл ранних кочевников Южного Урала и Западного Казахстана происходит из погребальных комплексов, часто представителей воинского и жреческого сословий, с уникальными и сакрально значимыми изделиями. В западноказахстанско-южноуральском центре металлопроизводства савроматской археологической культуры были разработаны достаточно прогрессивные модели производства с четко прослеживаемой корреляцией: тип изделия — химический состав металла — технология. Все сакрально значимые предметы изготовлены из оловянных и оловянно-мышьяковых бронз. При этом примесь олова зачастую была неоправданно высока — до 31 %, что приводило к хрупкости металла даже несмотря на специальные режимы термообработки. Доминирующей схемой получения изделий оставалось литье по утрачиваемой восковой модели, литье в односторонних, дву- или трехстворчатых формах (зачастую металлических) со вставными вкладышами. Прослежены основные векторы историко-металлургических контактов савроматских племен с производственными центрами Рудного Алтая и Центрального Казахстана, откуда поступали оловянная и оловянно-мышьяковые сплавы. Главными поставщиками меди у ранних кочевников Южного Урала и Западного Казахстана были их северные соседи — горняки и металлурги иткульской культуры.

Ключевые слова: Урал, эпоха раннего железа, савроматская культура, иткульская культура, модели металлопроизводства, цветной металл, технология изготовления.

DOI: 10.20874/2071-0437-2018-41-2-041-060

Работа выполнена по госзаданию согласно Плану НИР ТюмНЦ СО РАН на 2018–2020 гг., протокол № 2 от 08.12.2017 г. Приоритетное направление XII.186.; Программа XII.186.2; проект № 0371-2018-0036.

Цветной металл раннего железного века Урала и Западного Казахстана в предшествующие годы неоднократно являлся объектом изучения с точки зрения типологии, химического состава, некоторых аспектов исследования технологии в основном с привлечением визуального поверхностного осмотра предметов, реже с использованием методов металлографического анализа (преимущественно сарматских зеркал) [Барцева, 1981, 1993; Кузьминых, 1993, 2009, 2015; Мошкова, Рындина, 1975; Левина, Равич, 1995; Равич, 2004]. Вместе с тем проводимое в последние годы серийное изучение коллекций с привлечением новых методов исследования металла — микрорентгеноспектрального, рентгенфлуоресцентного, микроскопического с использованием приборов Zeiss с высокими разрешающими возможностями открыли новые перспективы получения более детальной информации как по характеру используемого сырья, способам плавки металла, выявлению причин «ошибок» в процессе РФА с определением неоправданно высоких концентраций Sn и других легирующих компонентов, так и по установлению характерных индикаторов технологии изготовления инвентаря.

Целью настоящего исследования явилось обобщение результатов комплексного изучения погребального инвентаря савроматской археологической культуры и металла иткульской культуры, с построением моделей развития металлопроизводства этих культурных образований и

определением главных векторов историко-металлургических контактов в начале эпохи раннего железа на широком евразийском пространстве по обе стороны от Уральского хребта.

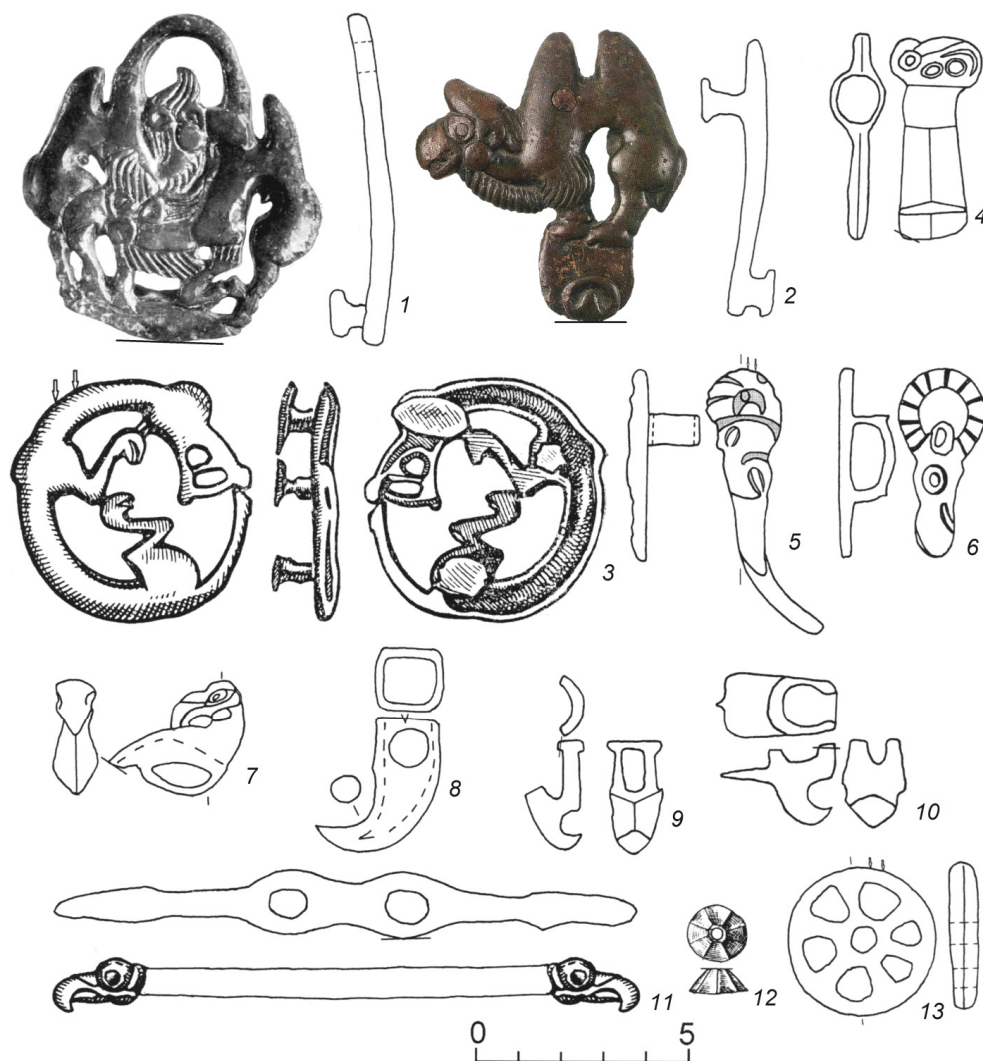


Рис. 1. Бляхи и предметы конской упряжи из могильников Бесоба и Сынтас (секущими линиями показаны срезы на шлифы, стрелками — площадь поверхностной подполировки):

1–3 — бляхи (ан. 713, 714, 715); 4–7 — пронизи (ан. 729, 740, 718, 716); 8–10 — распределители уздечных ремней (ан. 719, 736, 736); 11 — псалий (ан. 722); 12 — ворворка (ан. 721); 13 — колесико-амулет (ан. 720)
 (1, 7, 8, 12 — мог. Бесоба, кург. 5; 2, 3 — мог. Бесоба, кург. 9; 4, 5, 9, 10, 13 — мог. Бесоба, кург. 8;
 6 — мог. Сынтас, кург. 3; 11 — мог. Бесоба, кург. 4).

Методы исследования — металлографический, спектральный полуколичественный, микро-рентгеноспектральный анализы. Металлографический анализ осуществлен в лаборатории ФИЦ Тюменского научного центра СО РАН на микроскопе Axio Observer D1m (Zeiss) с фиксацией цветных структур с высокой разрешающей плотностью и при большом увеличении посредством цифровой камеры Axio Cam на компьютере. Использование программного обеспечения Axio Vision Multiphase позволило анализировать частицы для двух-четырёхфазных материалов с определением процентного содержания их в металле и тем самым уточнять количественные характеристики химического состава меди и бронз. Замеры микротвердости металла выполнены на микротвердомере ПМТ-3М. Спектральный полуколичественный анализ (19 экз.) части образцов произведен Э.Ф. Кузнецовой в лаборатории Института археологии им. А.Х. Маргулана. С целью уточнения состава, качественной и количественной характеристики включений в металле был осуществлен микро-рентгеноспектральный анализ фазовых составляющих на заполированных шлифах на микронзондовом анализаторе Camebax SX50 (W%). Данный анализ вы-

Модели цветного металлопроизводства на Урале в раннем железном веке

полнен на кафедре минералогии МГУ им. М.В. Ломоносова канд. геол.-минер. наук И.А. Брызгаловым, которому мы признательны за возможность использования этих результатов.

В 70-е гг. XX в. экспедициями под руководством М.К. Кадырбаева были полностью исследованы савроматские могильники Бесоба и Сынтас, расположенные на территории Западного Казахстана в верховьях р. Илек. Эти оригинальные усыпальницы военной верхушки, жрецов и племенных вождей Южного Урала исследователь датировал VI–V вв. до н.э. [Кадырбаев, 1984, с. 93]. В погребениях обнаружена серия уникальных бронзовых предметов — шедевров бронзолитейных технологий савроматов, к числу которых относились бляхи, фигурные пронизы, псалии с реалистичными изображениями животных и птиц, несколько сотен наконечников стрел, зеркала, культовые предметы. Материалы могильника Бесоба (курганы 4, 5, 9) частично опубликованы [Kadyrbaev, 1981; Кадырбаев, 1984]; цветные фото уникальных блях с изображениями животных помещены в каталоге выставки и материалах конференции «Unbekanntes Kasachstan. Archäologie im Herzen Asiens» [Unbekanntes Kasachstan, 2013].

Данная аналитическая выборка савроматского металла Западного Казахстана (36 экз.) отобрана из погребений знати — жриц и вождей (могильники Бесоба, курганы 4, 5, 8, 9, 11; Сынтас, кург. 3) [Kadyrbaev, 1981; Кадырбаев, 1984]. Она представлена бляхами, пронизями, конской упряжью (распределители уздечных ремней, псалий, ворворка), наконечниками стрел, зеркалами (рис. 1–3).

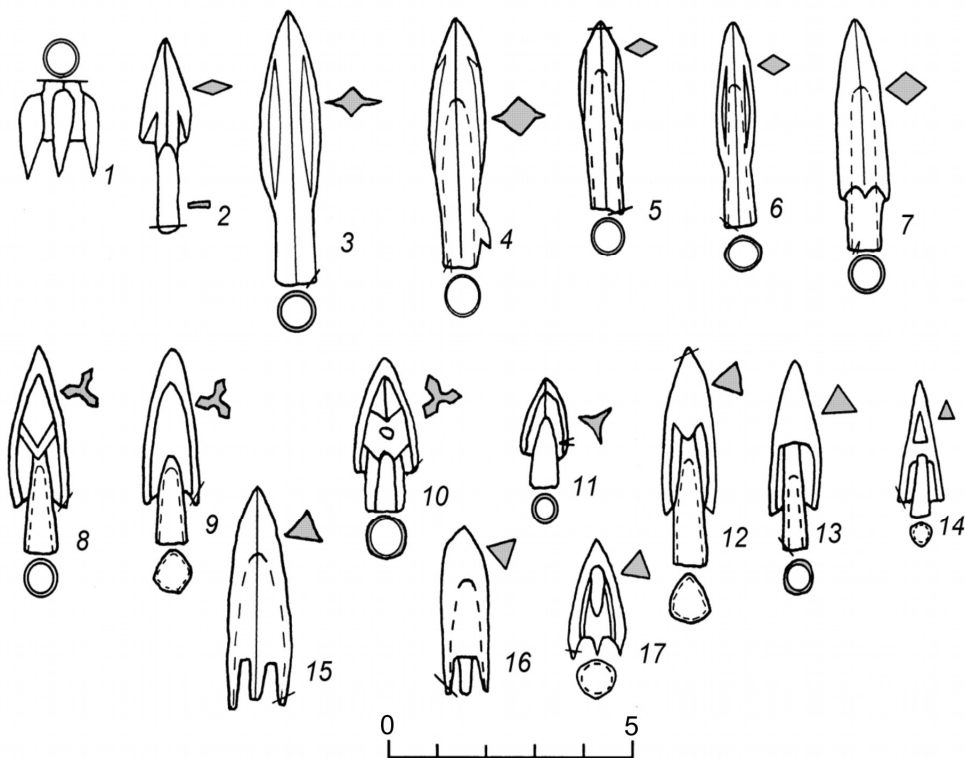


Рис. 2. Приставка к наконечнику стрелы (1), наконечники стрел (2–17) из могильника Бесоба (секущими линиями показаны срезы на шлифы):

1, 5, 6, 8, 9, 12, 13, 16 — кург. 5, колчан 2 (ан. 724, 741, 742, 738, 744, 739, 737, 743); 2, 4, 11, 14, 17 — кург. 11 (ан. 725, 731, 726, 727, 728); 3, 7, 10, 15 — кург. 9 (ан. 734, 732, 730, 733).

Металл могильников неоднороден по химическому составу и представлен в подавляющем большинстве легированными сплавами (91,7 %) (табл. 1–3; рис. 4). Ведущими металлургическими группами в выборке являются Sn-бронзы (15 изделий; 41,6 %) и Sn-As-бронзы (8 экз., 22,2 %). В коллекции присутствуют единичные изделия из As-бронзы (11,1 %), комплексные сплавы с лигатурой Sn-Pb (5,6 %) и Sn-As-Pb (5,6 %). По одному предмету отлито из сложнoleгированных сплавов с примесью серебра: Cu-Sn-Ag (пронизь) и Cu-Sn-As-Pb-Ag (распределитель уздечных ремней). Серебро добавлялось для придания красивого серебристого цвета предметам конской упряжи (концентрации Ag 5,5–10 %). Из чистой окисленной меди отлиты 3 наконечника стрел (8,3 %).

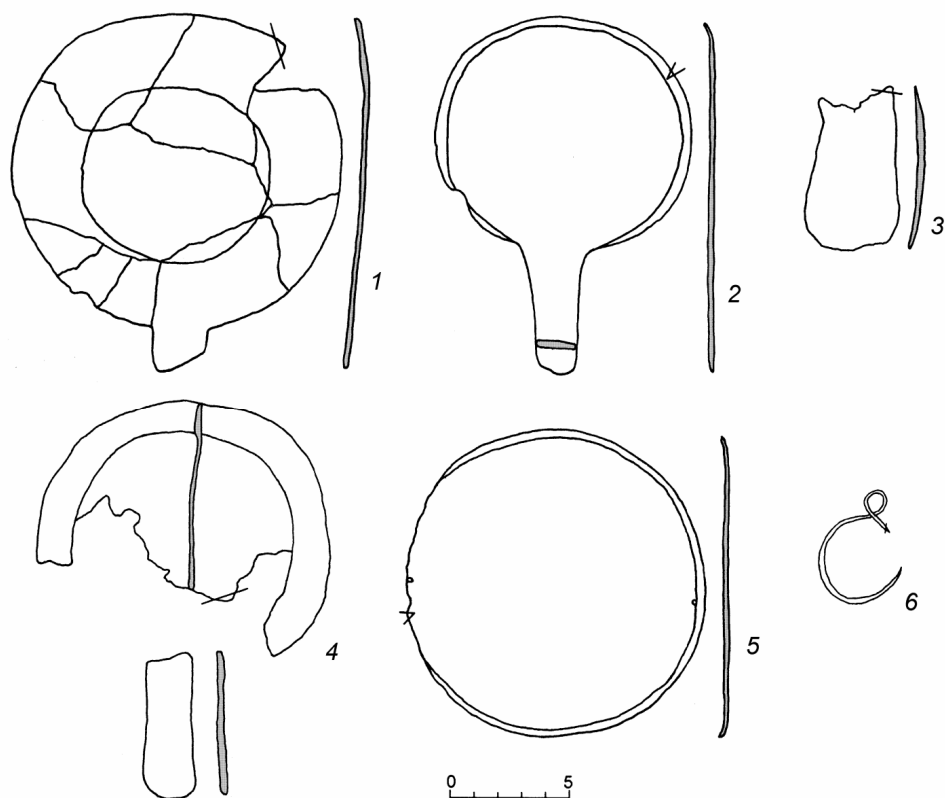


Рис. 3. Зеркала и серьга из могильника Бесоба и Сынтас (секущими линиями показаны срезы на шлифы):
1–5 — зеркала (ан. 745, 746, 749, 748, 747; 1, 3, 4 — кург. 4; 2 — кург. 9; 5 — кург. 9 мог. Бесоба);
6 — серьга (ан. 723; кург. 3 мог. Сынтас).

Таблица 1

Результаты спектрального анализа*

№	Предмет	№ рис.	№ спектр. ан.	№ структур. ан.	Cu	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co	Au
Могильник Бесоба, курган 4																
1	Псалий	1, 11	702к	722	Осн.	10,0	0,5	—	0,005	0,002	0,05	0,08	—	—	—	—
Могильник Бесоба, курган 5																
2	Пронизь	1, 7	717к	716	Осн.	0,5	0,3	—	0,03	10,0	0,03	0,1	—	0,008	—	0,03
3	Бляшка	1, 1	720к	713	Осн.	5,0	0,5	—	0,002	0,03	1,0	0,7	—	0,003	—	—
Могильник Бесоба, курган 8																
4	Колесико	1, 13	724к	720	Осн.	сл.	0,001	—	0,01	0,5	0,5	3,0	—	0,005	0,005	—
5	Пронизь	1, 5	731к	740	Осн.	18,0	сл.	—	сл.	0,003	0,01	0,01	—	0,001	—	—
6	Пронизь	1, 4	732к	729	Осн.	10,0	сл.	—	0,001	0,003	0,01	0,01	—	0,001	—	—
Могильник Бесоба, курган 9																
7	Зеркало	3, 5	35с	747	Осн.	1,0	0,5	—	0,001	0,007	0,01	0,2	—	—	—	—
8	Бляшка	1, 2	735к	714	Осн.	10,0	0,4	—	0,005	0,5	0,08	0,3	—	0,03	0,03	—
9	Бляшка	1, 3	736к	715	Осн.	5,0	0,8	—	0,04	0,005	0,5	1,0	—	—	0,003	—
10	Стрела	2, 7	783к	732	Осн.	15,0	0,02	—	0,003	0,03	—	—	—	0,005	0,003	—
11	Стрела	2, 3	780к	734	Осн.	15,0	0,2	0,02	0,002	0,05	0,05	0,5	—	0,003	—	—
12	Стрела	2, 10	788к	730	Осн.	0,001	сл.	—	0,3	0,05	0,5	3,0	—	0,001	—	—
Могильник Бесоба, курган 11																
13	Зеркало	3, 2	34с	746	Осн.	5,0	0,005	—	0,001	0,008	0,005	0,04	—	—	—	—
14	Стрела	2, 4	781к	731	Осн.	15,0	0,4	—	0,003	0,05	0,01	0,07	—	0,001	—	—
15	Стрела	2, 2	793к	725	Осн.	5,0	0,3	—	0,004	0,05	0,04	0,05	—	0,003	—	—
16	Стрела	2, 11	794к	726	Осн.	20,0	2,0	—	0,003	0,03	0,04	0,1	—	—	—	—
17	Стрела	2, 14	795к	727	Осн.	18,0	5,0	0,03	—	0,0004	—	0,03	—	—	—	—
Могильник Сынтас, курган 3																
18	Серьга	3, 6	741к	723	Осн.	5,0	0,004	—	—	0,0005	0,003	0,01	—	0,005	0,003	—
19	Пронизь	1, 6	743к	718	Осн.	5,0	0,02	—	0,001	0,0004	—	0,02	—	0,01	0,003	—

* Анализы произведены в лаборатории Института археологии имени А.Х. Маргулана в 1970–1980-е гг. Э.Ф. Кузнецовой. Мы признательны ей за возможность использования этих результатов.

№	№ anal.	Фаза	Cu	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co	Au	S	
	735/36	Дендрит	Осн.	0,0072	0,0443	0	0,1053	0	0,0296	0,0927	0,0216	0	0,012	0	0	
	Средние показатели Sn			8,21774												
Распределитель уздечных ремней, структ. ан. 736, рис. 1, 10																
12	736/37	Эвтектоид	Осн.	8,2816	0	0,0003	0,0386	0	0	0,032	0	0,0082	0,0631	0,1911		
	736/38	Эвтектоид	Осн.	30,8778	0,0008	0	0,0912	0	0	0	0,0597	0,03	0	0,2052		
	736/39	Междендр.	Осн.	13,5704	0,0662	0	0	0,0132	0	0,0342	0,018	0	0,0118	0	0,0209	
	736/40	Междендр.	Осн.	11,7385	0,076	0	0,1418	0,0436	0	0	0	0,0048	0	0	0,0111	
	736/41	Междендр.	Осн.	21,5475	0	0	0	0,0522	0	0	0,0051	0,0124	0,0307	0	0,063	
	736/42	Эвтектоид	Осн.	56,1575	0	0	0	0	0	0,0091	0,0014	0,0155	0,1832	0,1542		
	736/43	Эвтектоид	Осн.	54,9578	0,0262	0	0	0,0229	0	0,0583	0,0092	0,0564	0,0177	0	0,2666	
	736/44	Дендрит	Осн.	0,0351	0	0,0524	0,084	0,0558	0	0	0	0	0,0005	0,0024	0,0098	
	736/45	Дендрит	Осн.	0	0,0834	0	0,0063	0,0514	0	0	0	0	0	0,1957	0	
	Средние показатели Sn			21,9073												
Зеркало круглое с боковой ручкой, структ. ан. 745, рис. 3, 1																
13	745/76	β-фаза	Осн.	24,102	0,0657	0,0271	0,1373	0,017	0	0,1483	0,0171	0,0533	0	0,2408	0,0132	
	745/77	α-фаза	Осн.	23,825	0	0	0,0303	0,0323	0	0	0,0092	0,0474	0,0073	0	0	
	745/78	β-фаза	Осн.	52,539	0,0327	0	0,0554	0	0	0	0,3979	0,0184	0,007	0,3187	0,5349	
	745/79	α-фаза	Осн.	23,805	0	0,0382	0,1057	0	0	0,1601	0,0311	0,0138	0,053	0	0,037	
	Средний показатель Sn			31,0677												
Зеркало круглое с боковой ручкой, структ. ан. 748, рис. 3, 4																
14	748/80	α-фаза	Осн.	0,1051	0,0149	0,0206	0,0322	0,0214	0,0258	0,1064	0,0086	0,0567	0,0133	0	0,0178	
	748/81	α-фаза	Осн.	0,1482	0	0	0	0,035	0,0234	0,0774	0,0344	0,0076	0	0	0,0184	
	748/82	β-фаза	Осн.	24,727	0,0866	0	0	0,0169	0	0,2243	0,1638	0,0116	0,0008	0	0,0814	
	748/83	β-фаза	Осн.	23,714	0,0014	0	0,0826	0,025	0	0	0,1475	0,0345	0,0373	0,0218	0,0425	
	748/84	β-фаза	Осн.	57,188	0	0	0	0,0172	0	0,3725	0,3164	0,0356	0	0,1002	1,607	
	748/85	β-фаза	Осн.	60,546	0,0227	0	0	0	0,016	0	0,146	0,0058	0	0,4245	0,2888	
	Средний показатель Sn			27,7380												
Ручка зеркала, структ. ан. 749, рис. 3, 3																
15	749/86	β-фаза	Осн.	48,529	0,0916	0	0	0,0046	0	0	0,3145	0	0,0324	0,0451	0,349	
	749/87	β-фаза	Осн.	55,877	0,0087	0	0,0041	0	0	0,0613	0,3213	0,0163	0	0,2592	0,3582	
	749/88	β-фаза	Осн.	57,227	0,1797	0	0	0,021	0	0,437	0,0622	0	0,0572	0,3817		
	749/89	β-фаза	Осн.	23,108	0,0973	0	0	0,0145	0	0	0,3826	0	0	0,1665	0,2314	
	749/90	β-фаза	Осн.	15,32	0	0	0,0781	0,0219	0	0	0,2734	0,0851	0,0025	0	5,6342	
	749/91	α-фаза	Осн.	4,5771	0	0,0031	0,0492	0,0746	0	0,4024	0,1587	0,016	0	0	0,0414	
	749/92	α-фаза	Осн.	1,8324	0	0	0,0166	0,0084	0,0236	0,3543	1,0151	0	0,0023	0,1406	0,1515	
	Средний показатель Sn			29,4957												
Могильник Бесоба, курган 9																
Наконечник стрелы, структ. ан. 733, рис. 2, 15																
16	733/21	Дендрит	Осн.	0,2331	0,0075	0,0684	0	0	0,0356	0,2607	0,0105	0,0169	0,0439	0	0,0449	
	733/22	Дендрит	Осн.	0,2264	0,0628	0	0	0,0627	0	0,9321	0,0065	0,016	0	0	0,0195	
	733/23	Дендрит	Осн.	0,2454	0	0	0	0,0589	0,0398	1,0659	0,0242	0,0401	0	0	0,0133	
	733/24	Междендр.	Осн.	1,983	0	0	0,1796	0,2098	0,3095	3,8385	0	0,0284	0	0,0482	0,0122	
	733/25	Междендр.	Осн.	1,8806	0,0841	0,0275	0	0,2434	0,3675	3,7913	0,0068	0,0256	0	0	0,0324	
	733/26	Междендр.	Осн.	2,3036	0,0565	0,0433	0,0287	0,2112	0,3963	4,8653	0,0106	0,0716	0	0	0,0355	
	Средние показатели Sn			1,1453	As			2,4589								
Могильник Бесоба, курган 11																
Наконечник стрелы, структ. ан. 728, рис. 2, 17																
17	728/17	α-фаза	Осн.	0	0	0,0193	0	0,0228	0,0302	0	0,0203	0	0,012	0,3589	0,0287	
	728/18	Включения	Осн.	0	0,0232	0	0,0839	0,0331	0	0,2281	0,0093	0,0629	0	0,2863	0,0313	
	728/19	Включения	Осн.	0,0241	0,0281	0	0	0,016	0	0,4655	0,0159	0,0507	0	0,0985	0,08	
	728/20	Включения	Осн.	0	0,1322	0,0033	0	0	0,0141	0,4244	0	0	0	0	0,0449	
	Средние показатели As									0,2795			S			0,0462

* Анализы произведены на кафедре минералогии МГУ И.А. Брызгаловым, которому выражаем искреннюю признательность за возможность использования этих результатов. Усредненные показатели даны по концентрациям легирующих компонентов и серы.

Таблица 3

Распределение изделий из цветного металла могильников Бесоба, Сынтас по сплавам (экз./%)

Металлургические группы/сплавы	Наконечники стрел (экз./%)	Предметы конской упряжи (экз./%)	Бляхи, пронизи (экз./%)	Зеркала, серьга (экз./%)	Всего (экз./%)
Cu+Sn	3/17,6	3/50	3/42,9	6/100	15/41,6
Cu+Sn+As	5/29,5	—	3/42,9	—	8/22,2
Cu+As	3/17,6	1/16,7	—	—	4/11,1
Cu	3/17,6	—	—	—	3/8,3
Cu+Sn+Pb	2/11,8	—	—	—	2/5,6
Cu+Sn+As+Pb	1/5,9	1/16,7	—	—	2/5,6
Cu+Sn+Ag	—	—	1/14,2	—	1/2,8
Cu+Sn+Ag+Pb+As	—	1/16,6	—	—	1/2,8
Всего	17/47,2	6/16,7	7/19,4	6/16,7	36/100

Прослеживается определенная корреляция между типом изделия и его составом. Все зеркала, псалий, большинство пронизей, распределителей уздечных ремней изготовлены только

Модели цветного металлопроизводства на Урале в раннем железном веке

из оловянной бронзы с достаточно высоким содержанием олова в сплаве — до 31 %. По-видимому, именно эти предметы относились к числу престижных изделий, отливка которых требовала определенной унификации с соблюдением заданной рецептуры сплава. Бляхи изготовлены в паритетном соотношении из оловянной и оловянно-мышьяковой бронзы. При отливке наконечников стрел особых предпочтений не наблюдалось.

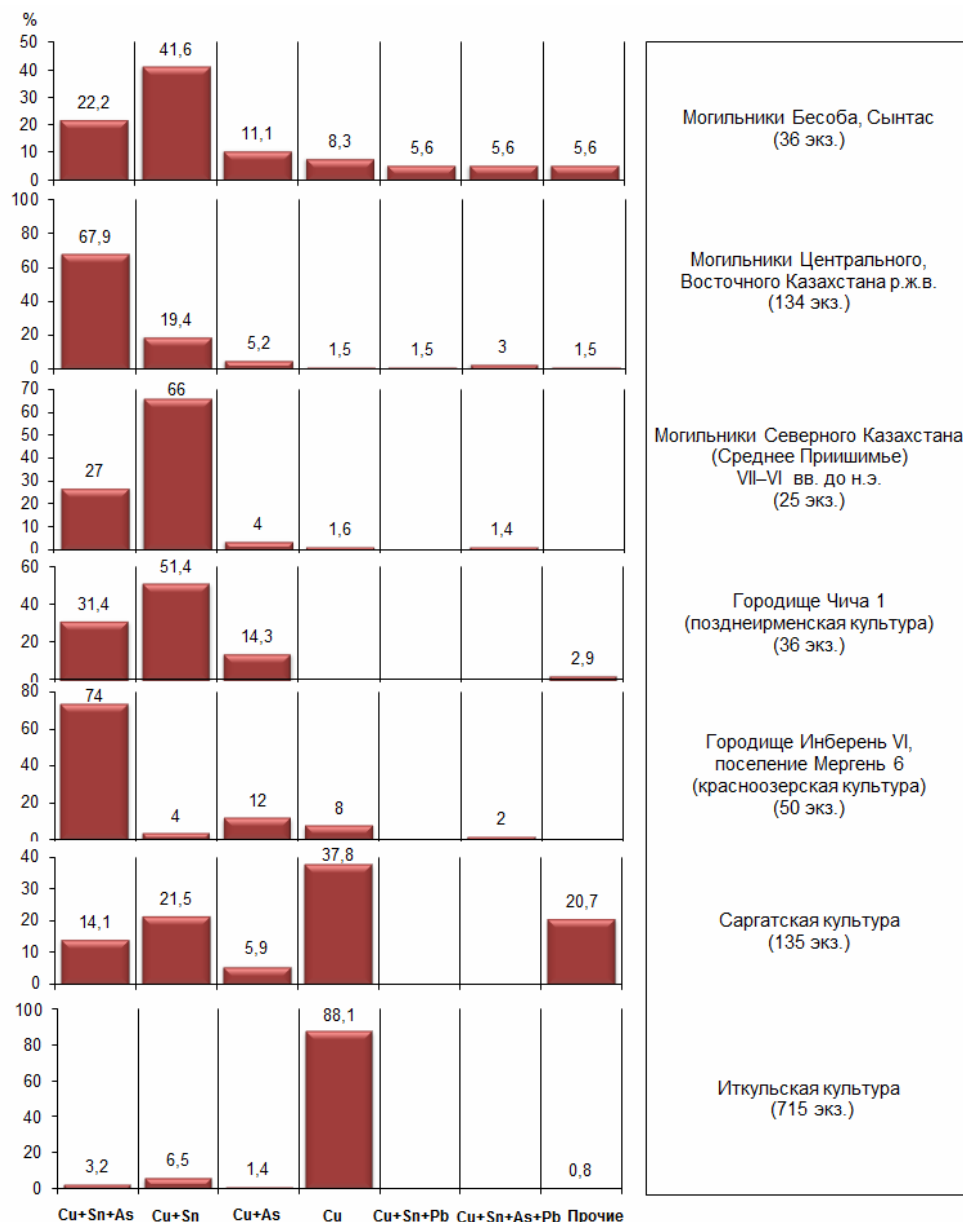


Рис. 4. Гистограммы распределения металлургических групп (сплавов) по культурам и памятникам раннего железного века Казахстана, Урала и Западной Сибири (при статистическом подсчете выборки металла Центрального Казахстана использованы данные, приведенные в публикациях М.К. Кадырбаева [1975, с. 130–131], Э.Ф. Кузнецовой [Кузнецова, Тепловодская, 1994, с. 180–185]).

Примеси олова в изделиях достаточно широко варьировали от низких до очень высоких концентраций — 0,4–31 %. Наиболее высокое содержание Sn — до 31 % присуще зеркалам. В металле пронизей, распределителей уздечных ремней примеси Sn доходили до 22 %, наконечников стрел — до 20 %. Точность определения содержания олова засвидетельствована как результатами микрорентгеноспектрального анализа, так и микроструктурными данными, которые достаточно надежно фиксируют концентрации элемента при подсчете площади, занимаемой

включениями эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$. Содержание мышьяка в изделиях невысокое, в пределах 0,3–3,2 %. В пяти случаях в сплавах зафиксирован свинец в концентрациях 2–5 %.

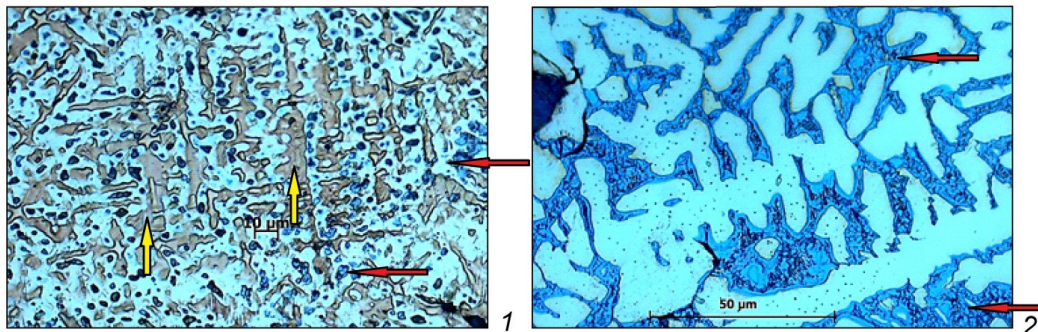


Рис. 5. Фотографии микроструктур срезов ворворки и распределителя уздечного ремня, проанализированных на анализаторе Camebax SX50 (увел. $\times 500$, $\times 1000$)¹. 1 — ан. 721, мог. Бесоба, кург. 5; 2 — ан. 736, мог. Бесоба, кург. 8. Красными стрелками показаны включения эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ с максимальными концентрациями Sn до 56 %, желтыми — область дендритов с минимальным содержанием Sn до 3,5 %.

Ряд изделий (17 экз.) был проанализирован методом микрорентгеноспектрального анализа на микрозондовом анализаторе Camebax SX50 для определения элементного состава металла, а также для уточнения состава и характера микровключений сульфидных соединений, эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$, соединений Cu_3As . В процессе аналитического исследования атомы анализируемого вещества возбуждаются тончайшим электронным пучком (зондом) высокой энергии с одновременной регистрацией возбуждаемого рентгеновского излучения атомов, входящих в состав этого вещества. Для этих образцов были произведены анализы на полированных шлифах при увеличении $\times 400$ в районе дендритов, междендритных пространств, α -фазы, соединений Cu_3As , эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$, а также сульфидных включений (табл. 2). Помимо определений 12 принятых элементов, были получены также данные по содержанию серы. В большинстве проанализированных изделий методом МРСА олово и мышьяк распределяются по фазовым составляющим практически однородно, резкого колебания концентраций не наблюдается, примеси олова находятся в интервале 0,1–10 %, мышьяка — 0,2–5 %. Сера, как правило, присутствует в концентрациях от сотых долей процента до 7 %. Однако в ряде случаев распределение концентраций олова имеет скачкообразный характер — от минимальных при замерах на дендритах — 0,1–5 % до 32–56 % на включениях эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ (ан. 724, приставка к наконечнику стрелы; ан. 736, 745, распределители уздечных ремней; рис. 5). Аналогичные результаты были выявлены при замерах примесей олова на зеркалах — от 0,1 % Sn в районе α -фазы до 60 % Sn — в области β -фазы (ан. 745, 748, 749; рис. 6). При подсчете усредненных показателей концентраций олова на перечисленных изделиях содержание Sn находилось в пределах 8–31 %.

Данные наблюдения проливают свет и на некоторые погрешности при проведении РФА. С учетом неравномерности распределения концентраций Sn, в ряде случаев носящих скачкообразный характер, становится понятным механизм образования погрешностей при замерах олова в изделиях вплоть до 50–60 % при проведении РФА с использованием портативных приборов в некоторых опубликованных исследованиях. Особенно это вызывает недоумение, когда речь идет об орудиях труда, которые при содержании олова выше 30 % становились чрезвычайно хрупкими, легко раскалываются молотком и не могут использоваться по своему прямому назначению. По всей видимости, при этих замерах прибор фиксирует включения эвтектоида, обогащенные оловом, отсюда и столь высокое содержание легирующего компонента. Подобные эффекты практически отсутствуют при проведении РФА, когда анализируют стружку металла при достаточном диаметре коллиматора.

Микроскопическое исследование шлифов трех наконечников стрел, отлитых из чистой окисленной меди, обнаружило наличие многочисленных включений синего цвета, что является достаточно неожиданным фактом на фоне использования окисленной меди, которая почти никогда не содержит в микроструктурах посторонних включений, помимо эвтектики $\text{Cu}-\text{Cu}_2\text{O}$

¹ На фотографиях микроструктур (рис. 5–10) показан масштаб в микрометрах (μm) — единицы измерения длины в Международной системе единиц (СИ), равной 10^{-6} м, или 10^{-3} мм, для фиксации величины зерна.

Модели цветного металлопроизводства на Урале в раннем железном веке

(ан. 737, 728, 744; рис. 7). Для уточнения состава и характера этих микровключений срезы наконечников были исследованы методом микрорентгеноспектрального анализа. Произведено несколько анализов в центре литых полиэдров (α -фаза), свободных от примесей, и в центре включений синего цвета. Результаты анализа свидетельствуют о значительной чистоте меди α -фазы, в то время как включения синего цвета содержат мышьяк до 0,18 %, железо до 1,2 % и серу до 2 %. Практически идентичная картина ранее была выявлена нами при аналитическом исследовании металла иткульской культуры Среднего Урала, где массово зафиксированы процессы совместной плавки окисленных и сульфидных руд. Металлургия иткульской культуры с доминированием чистой окисленной меди базировалась на разработке богатейших залежей малахита Гумешевского рудника, находящегося в эпицентре гнезда иткульских производственных поселков [Кузьминых, Дегтярева, 2017, с. 29–31].

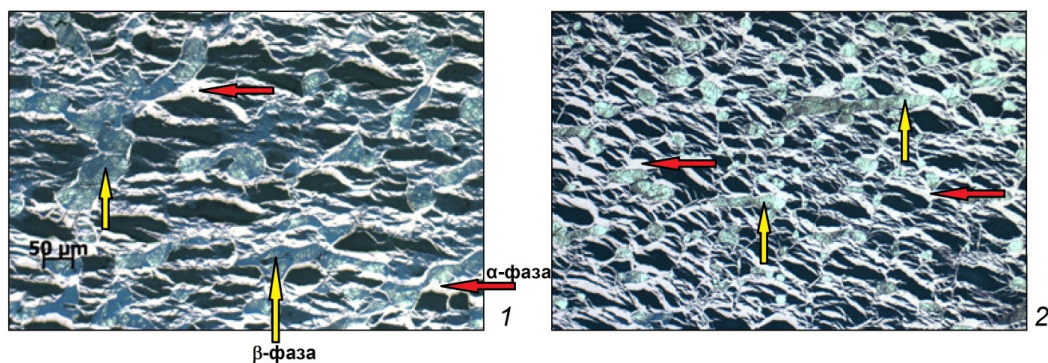


Рис. 6. Фотографии микроструктур срезов зеркал, проанализированных на анализаторе Camebax SX50 (увел. $\times 500$):

1 — ан. 748; 2 — ан. 749 (мог. Бесоба, кург. 8). Красными стрелками показаны светлые участки α -фазы с минимальными концентрациями Sn 0,1–4 %, желтыми — серые участки β -фазы с максимальным содержанием Sn 23–60 %.

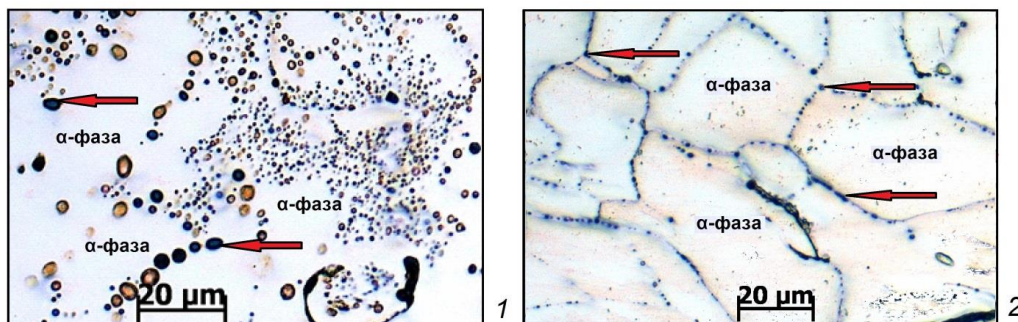


Рис. 7. Фотографии микроструктур срезов наконечников стрел, проанализированных на анализаторе Camebax SX50 (увел. $\times 500$):

1 — ан. 737; 2 — ан. 728 (мог. Бесоба, кург. 5, 11). Красными стрелками показаны сульфидные включения системы Cu-Fe-S (ан. 737), Cu-As-S (ан. 728) на фоне светлых участков α -фазы и эвтектики Cu-Cu₂O.

Нами была допущена вероятность преднамеренного внесения в шихту наряду с окисленными минералами кусков сульфидной руды в качестве раскислителей — вероятнее всего, арсенопирита (FeAsS), халькопирита (CuFeS₁₃) для облегчения процесса плавки и уменьшения количества кислорода в меди. В современной металлургии прибегают к предварительной сульфидизации окисленных медных минералов, поскольку они относятся к категории труднообогатимых или упорных руд [Комбинированные методы..., 1970, с. 7]. Следы подобных экспериментов обнаружены также при металлографическом и рентгеноспектральном исследовании материалов энеолита Балкано-Карпатского региона, петровской культуры Зауралья [Ryndina et al., 1999; Дегтярева и др. 2001].

Вполне возможным представляется импорт или обмен этих наконечников стрел из иткульских производственных центров, поскольку гумешевская медь достаточно легко опознается по результатам микроструктурного исследования по соответствующим маркерам — наличию включений эвтектики Cu-Cu₂O, а также сульфидов ярко-синего цвета.

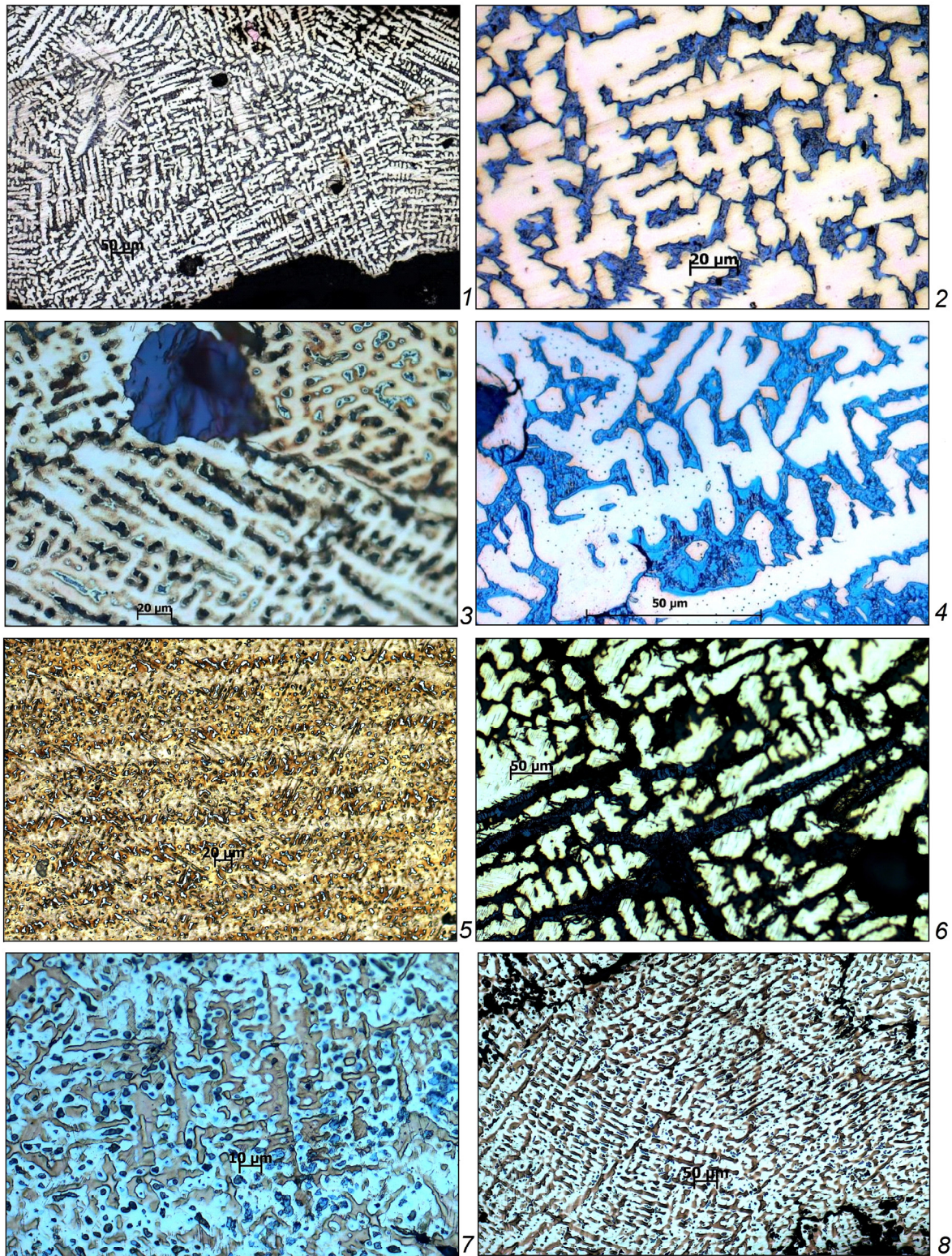


Рис. 8. Фотографии микроструктур предметов конской упряжи могильника Бесоба (1–4, 8 — кург. 4; 5, 7 — кург. 5; 6 — кург. 4) (1, 3, 8 — увел. $\times 100$; 2, 4, 7 — увел. $\times 500$; 5, 6 — увел. $\times 200$): 1, 2 — пронизь (ан. 740); 3–5 — распределители уздечных ремней (ан. 735, 736, 719); 6 — псалий (ан. 722); 7 — ворворка (ан. 721); 8 — колесико-амулет (ан. 720) (1–3, 5–7, 11–13 — шлифы изготовлены поверхностной подполировкой нижней части изделий; 4, 8–10 — шлифы изготовлены на поперечных срезах изделий).

Модели цветного металлопроизводства на Урале в раннем железном веке

В базе аналитических данных савроматского металла Оренбуржья, опубликованных Т.Б. Барцевой, приведены результаты анализов 193 предметов [1981, с. 23, рис. 11]. Она выделила три ведущие металлургические группы: оловянная бронза (33,2 %), чистая медь (28 %), мышьяковая медь или бронза (24,4 %). Остальные группы малочисленны: сплавы Cu–Sn–Pb составляют 6,7 %, Cu–Sn–As — 4,1 %, Cu–Sn–Pb–As — 3,6 %. По данным Т.Б. Барцевой, в скифском металле Днепровского левобережья доминировали две группы сплавов — Cu–Sn и Cu–Sn–Pb при почти полном отсутствии группы Cu–Sn–As [Там же, с. 89–91]. Металл северных и восточных соседей савроматов — ананьинских (Среднее и Верхнее Прикамье), караабызских, иткульских, гороховских и саргатских племен отличался выраженным доминированием металлургически «чистой» меди, особенно при изготовлении орудий и оружия.

Сопоставляя распределение металлургических групп в эпоху раннего железа в Западном, Центральном, Восточном, Северном Казахстане, нетрудно заметить доминирование оловянных и оловянно-мышьяковых бронз, с незначительной долей остальных сплавов (рис. 4). Распространение практически одинаковой рецептуры сплавов в раннем железном веке на территории Казахстана предполагает наличие общих источников главных легирующих компонентов — Sn и Sn–As на территории Сары-Арки и Восточного Казахстана. При этом металл могильников Бесоба и Сынтас менее однороден за счет наличия группы мышьяковой меди или бронзы, «чистой» меди, сплавов Cu–Sn–Pb и Cu–Sn–As–Pb. Подобное разнообразие, очевидно, связано с географическим расположением могильников на стыке Европы и Азии, вблизи скифских и северокавказских производственных центров, откуда могла поступать бронза с высоким содержанием свинца. В эпоху раннего железа через земли савроматских племен проходил трансевразийский путь торговли металлом, сложившийся еще в позднем бронзовом веке.

О разработке алтайских месторождений в I тыс. до н.э. красноречиво свидетельствуют факты расположения памятников этого периода в зоне рудников. Так, могильник Измайловка, поселение Новошуйбинское IX (с керамикой финала эпохи бронзы, а также раннего железного века) находятся практически на территории Вавилонского рудного поля Рудно-Алтайского горно-металлургического центра с комплексными полиметаллическими рудами, в том числе медноколчеданными, свинцово-цинковыми, окисленными медными залежами [Берденов и др., 2004; Штельнер и др., 2009]. Именно Рудный Алтай в эпохи поздней бронзы и раннего железа являлся основным поставщиком как оловянно-мышьяковой, так и оловянной бронзы в удаленные регионы, в основном на север (вплоть до Нижнего Приобья) и на запад и северо-запад (вплоть до Волго-Камья) по транспортным артериям — речным системам Иртыша, Ишима, Оби и сухопутным трансевразийским маршрутам торговли и обмена металлом.

Результаты металлографического анализа свидетельствуют о доминировании литейных технологий в савроматском металлопроизводстве. При изготовлении уникальных блях, пронизей, псалия с изображениями верблюдов, баранов, хищников, головы птицы использовалось литье по утрачиваемым восковым моделям, заформованным в одноразовые глиняные формы. Сами восковые модели были получены отливкой в открытой жесткой форме, судя по четкости линий рельефа, губчатой структуре внутренней вогнутой поверхности бляшки с капельками воска и следами заглаживания и вдавливания лопаточкой, а также по наличию серии украшений — идентичным трем изделиям: бляхам с парными верблюдами и с одиночным верблюдом (рис. 1, 1–3). Лицевая поверхность полученных восковых моделей была доработана острым стилусом с проработкой деталей морды — глаз, зубов, а также шерсти, долеплена петелька из воска между горбами и мордой парных верблюдов, а также на одной из блях с одиночным верблюдом. Об этом свидетельствуют следы напыла воска, фиксирующего место соединения. Далее восковые модели бляшек были заформованы в глину с получением одноразовых утрачиваемых форм и произведено литье со стороны шпеньков на внутренней стороне, что документируется по микроструктурным данным наличием крупнодендритной структуры с включениями эвтектоида $\alpha\text{-Cu}_3\text{Sn}_8$ в междендритных пространствах. Доработочным операциям изделия не подвергались, заполированы лишь лицевые стороны украшений (наличие рисок на поверхности). Отмечено очень точное качественное литье с последующей заполировкой поверхности мягкими абразивными материалами.

Фигурные пронизи отливали из оловянной бронзы со средним и высоким содержанием олова в составе 5–18 % (ан. 729, 740, 718; рис. 1, 4–6). Лишь одно украшение — в виде фигурки орла получено из тройного сплава на основе меди с введенной лигатурой серебра и олова (Ag 10 %, Sn 0,5 %; ан. 716; рис. 1, 7). Две пронизи с головками баранов отлиты по утрачиваемой восковой модели, изготовленной на плоской поверхности с тщательной проработкой стилу-

сом деталей рта, носа, глаз, рогов барана. К готовой модели с обратной стороны прикрепили из воска петельку (наличие затеков воска в местах соединения жгутиков с украшением), после чего модель бляшки была заформована в глину с получением одноразовой утрачиваемой формы. Следы литья микроструктурно документируются наличием дендритной структуры с многочисленными извилистыми включениями эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ (рис. 8, 1, 2). Пронизи в виде топорика и в виде головки птицы отлиты в двусторонней литейной форме со вставным вкладышем, о чем свидетельствуют следы литейных швов. В микроструктуре пронизей следы деформирующего воздействия не обнаружены. Готовые отливки не подвергались доработочным операциям, была заполирована лишь лицевая сторона украшения (наличие рисок на поверхности).

Распределители уздечных ремней отлиты либо в двусторонней литейной форме со вставными вкладышами, в одном случае имеющим крестообразные очертания с выступами (2 экз.; ан. 719, 735; рис. 1, 8, 9), либо по утрачиваемой восковой модели (ан. 736; рис. 1, 10). Литые дендритные структуры изделий с многочисленными включениями эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ не имеют следов деформации (рис. 8, 3–5), поверхность предметов была тщательно заполирована абразивными материалами. Для литья использовалась оловянная бронза с содержанием Sn 8–21 %. При отливке распределителя с круглыми отверстиями использовалась оловянная бронза с повышенным содержанием свинца, серебра и мышьяка (2,5; 5,5; 1,3 % соответственно; ан. 719).

Псалий с двумя отверстиями в средней части изделия и головками орлов на его окончаниях получен из оловянной бронзы с содержанием Sn 10 % по утрачиваемой восковой модели, заформованной в одноразовую глиняную форму. О применении технологии литья по восковой модели свидетельствует тщательность проработки деталей — клюва, глаз, оперения, наличие разветвленной крупнодендритной структуры (ан. 722; рис. 1, 11; 8, 6). Доработочным операциям изделие не подвергалось.

Ворворка и колесико отлиты в двусторонних литейных формах со вставными вкладышами для получения конусовидной полости внутри ворворки и пяти отверстий в колесике. Для получения ворворки использовался сплав Cu-Sn-As-Pb (5,6; 3,1; 2 % соответственно). Колесико отлито из низколегированной мышьяковой меди или бронзы с содержанием As 3 %. Микроструктурное исследование выявило в обоих случаях мелкодендритную структуру без следов деформирующего воздействия (ан. 721, 720; рис. 8, 7, 8).

В технологии изготовления наконечников стрел особой избирательности по части выбора сплава не наблюдается. Использовали оловянно-мышьяковые, оловянные, мышьяковые бронзы, а также чистую окисленную медь. Олово вводили в расплав как в низких, так и в довольно высоких (до 18–20 %) концентрациях, мышьяк содержался только в низких (0,3–3 %). Благодаря присадке олова к сплаву мастера существенно повышали твердость металла, доводя ее до 296 кг/мм² при содержании олова 20 % (ан. 726, 727; рис. 9, 6, 7). При более низких концентрациях Sn микротвердость металла находилась, как правило, в пределах 130–170 кг/мм². Все исследованные наконечники стрел литые и дальнейшей кузнечной доработке не подвергались. Исключение составил лишь наконечник с черешком, который был прокован по холодному металлу со степенями обжата 50–60 % после литья в двусторонней форме (ан. 725; рис. 9, 1). Литье производилось в дву- либо трехстворчатые литейные формы со вставными вкладышами. Формы при этом зачастую были металлическими, на что указывает наличие игольчатой и чрезвычайно дисперсной структуры, характерной для ускоренного затвердевания сплава при получении отливок в металлических изложницах [Равич, 1983, с. 138, 139]. На материал форм указывает измельченность дендритной структуры с ячейками, не превышающими 10–20 микрон, с включениями, различаемыми только при больших, $\times 500$ –1000, увеличениях, а также достаточно высокие показатели микротвердости металла (рис. 9, 7). Отметим высокое качество отливок; большая часть из них без литейных пороков, как видимых (трещины, недоливы втулок, пористость, коробление), так и фиксируемых на уровне микроструктурных данных (отсутствие посторонних включений).

Наряду с наконечниками стрел, изготовленными из легированных искусственных сплавов, в коллекции колчана 2 кург. 5 и кург. 11 могильника Бесоба обнаружены стрелы, отлитые из чистой окисленной меди, предположительно иткульского происхождения (3 экз.; ан. 728, 737, 744; рис. 10, 1–3). При исследовании образцов обнаружена литая полиэдрическая структура с включениями эвтектики Cu–Cu₂O. Металл раскислен, содержание кислорода в меди не превышает 0,05 % (ан. 728) либо 0,15 % (ан. 737, 744). В двух случаях кристаллизация протекала ускоренно, в одном замедленно.

Модели цветного металлопроизводства на Урале в раннем железном веке

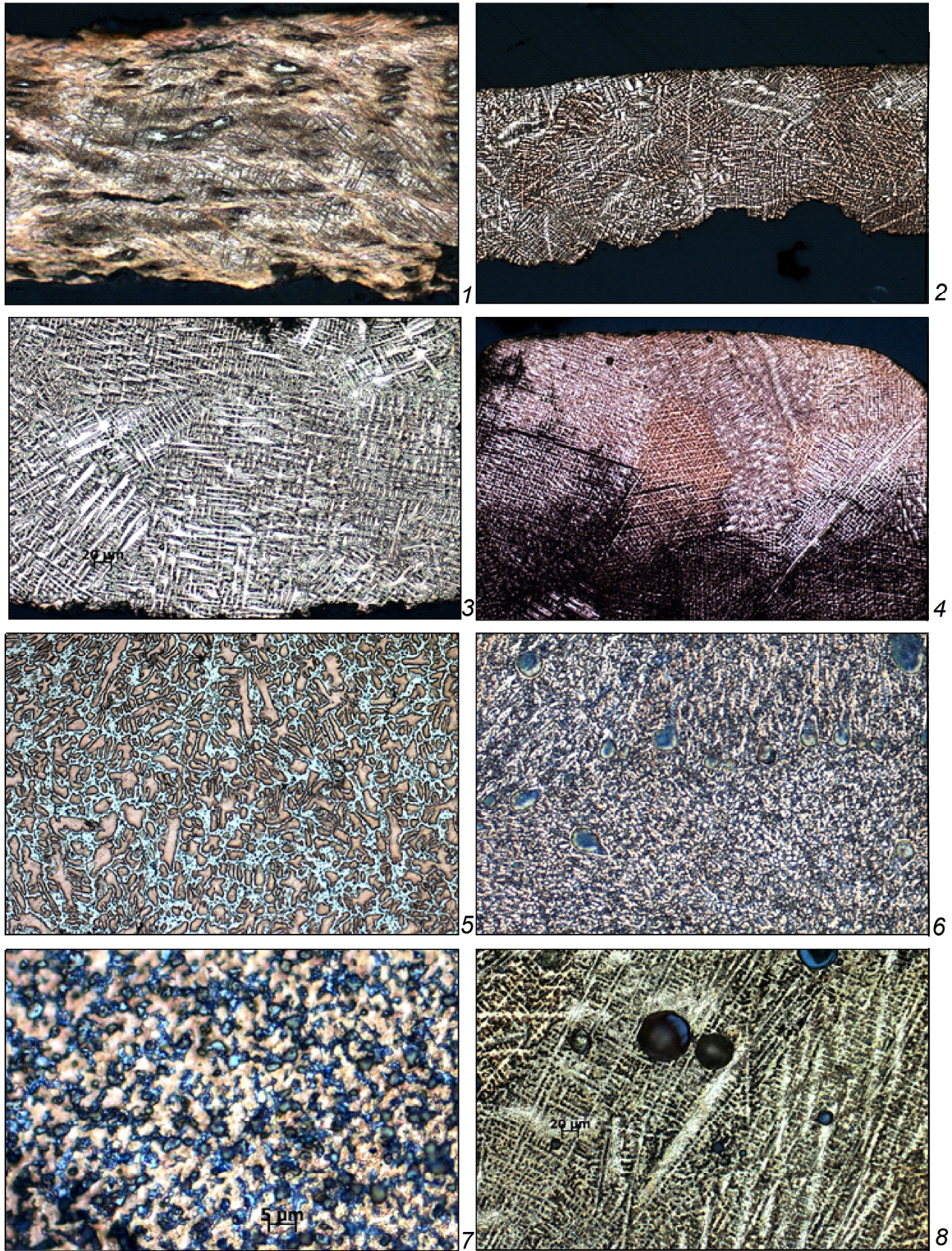


Рис. 9. Фотографии микроструктур наконечников стрел (1–7), приставки к наконечнику стрелы (8) могильника Бесоба (1, 2, 6, 7 — кург. 11; 3, 4, 5 — кург. 9; 8 — кург. 5) (1, 3, 5, 8 — увел. $\times 200$; 2, 4 — увел. $\times 100$; 6 — увел. $\times 500$, 7 — увел. $\times 1000$): 1 — ан. 725; 2 — ан. 731; 3 — ан. 734; 4 — ан. 732; 5 — ан. 730; 6, 7 — ан. 726; 8 — ан. 724 (1 — срез черешка; 2–4, 8 — срезы втулки; 5–7 — срезы лезвийной части).

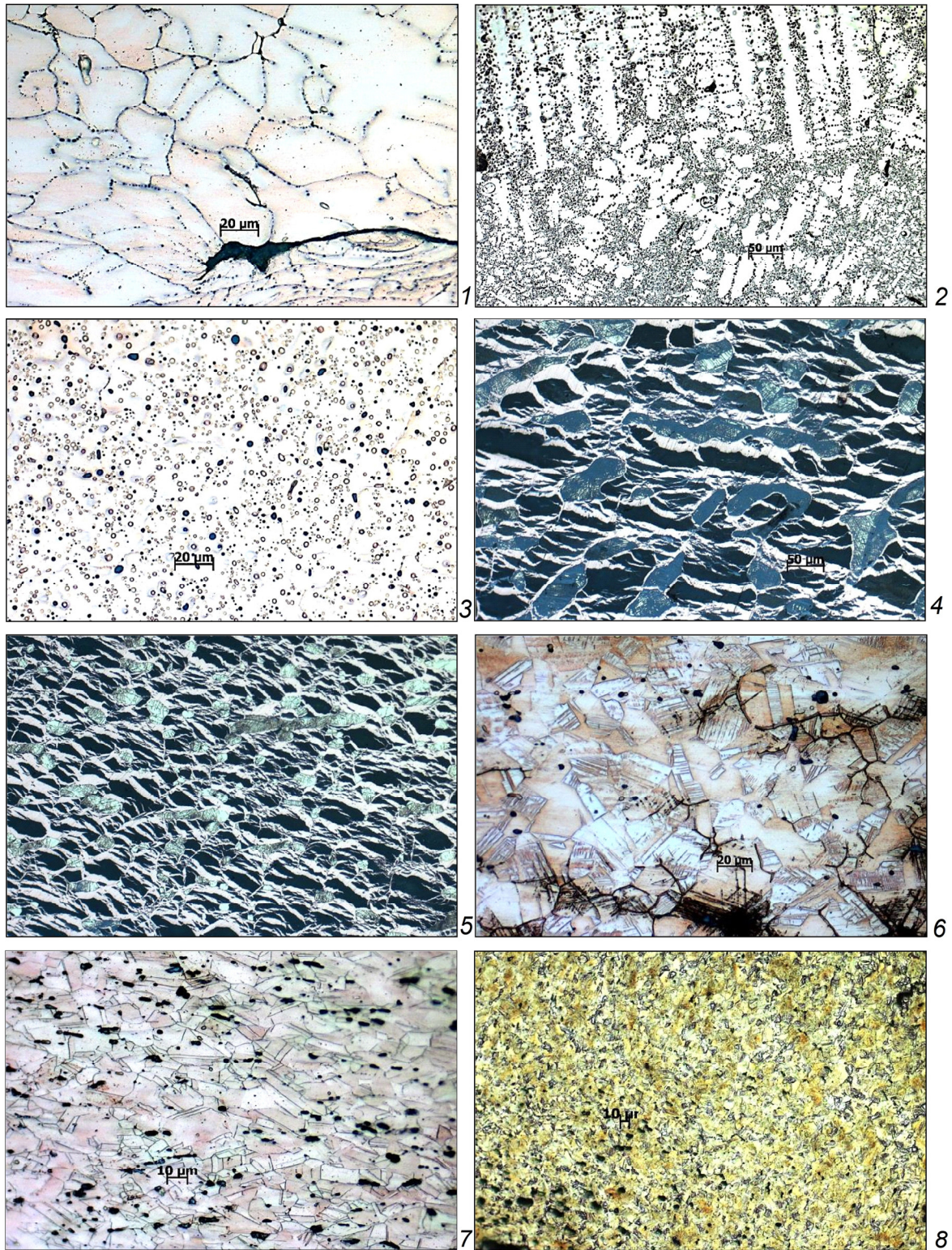


Рис. 10. Фотографии микроструктур наконечников стрел, зеркал, серги могильников Бесоба (1–7), Сынтас (8) (1, 6 — кург. 11; 2, 3 — кург. 5; 4, 5 — кург. 8; 6 — кург. 11; 7 — кург. 9; 8 — кург. 3) (1, 6, 7 — увел. $\times 500$; 2–5, 8 — увел. $\times 200$):
 1–3 — наконечники стрел (ан. 728, 737, 744); 4–7 — зеркала (ан. 748, 749, 746, 747); 8 — серга (ан. 723)
 (1, 3 — срезы лезвийной части; 2 — срез втулки; 4, 6, 7 — срезы диска зеркала; 5 — срез ручки; 8 — поперечный срез).

Интересные результаты получены в результате микроструктурного исследования зеркал, выявившего использование достаточно редких технологий при их изготовлении. Круглые зеркала с боковой ручкой получены литьем из высоколегированной Sn-бронзы (Sn 27–31 %) в односторонних литейных формах с плоской крышкой с последующей горячей ковкой в узком интервале 520–700 °С, с заключительным нагревом до 700 °С, после чего следовала закалка в воду (3 экз.; ан. 745, 748, 749; рис. 10, 4–5). Температура плавления сплавов, содержащих олово выше 28 %, находится в пределах 750 °С, поэтому при термообработке этих бронз важно было не превысить данную температуру [Равич, 2004, с. 72]. Отражением этих операций в микроструктуре изделий явилось наличие темной мартенситной игольчатой β-фазы на фоне светлых участков α-фазы, ориентированных в продольном направлении, а также незначительное количество двойниковых образований. При чрезвычайно быстром охлаждении бронзы в воде фиксируется игольчатая β-фаза, которая при кристаллизации существует только в узком температурном интервале 798–586 °С [Дриц и др., 1979, с. 38]. По мнению И.Г. Равич, исследовавшей методами металлографического анализа значительное количество зеркал сарматской, гороховской и джетыасарской культур (свыше 160 экз.), нагрев зеркал и закалка в воде приводят к возврату металла с достижением его большей пластичности с устранением хрупкости в процессе последующей эксплуатации [Равич, 2004, с. 71–73; Левина, Равич, 1995, с. 128]. Однако сплавы с содержанием олова более 26–27 % остаются хрупкими и после отжига, поэтому являются только литейным материалом, легко разбиваются молотком [Гуляев, 1977, с. 612–613; Равич, 1983, с. 138–142]. По всей видимости, хрупкость зеркал с ручками, содержащих столь высокие концентрации олова, привела к появлению многочисленных трещин и поломке этих изделий.

Проанализированные нами зеркала — наиболее ранние в группе зеркал, изготовленных по этим уникальным технологиям. Большая их группа происходит из более поздних могильников прохоровской (43 экз.), джетыасарской (120), саргатской культур (4) [Мошкова, Рындина, 1975; Равич, 2004; Левина, Равич, 1995; Апостол, 2012]. В группе зеркал, исследованных И.Г. Равич, ранних экземпляров, относимых к сакской культуре Приаралья и хронологически сопоставимых с савроматскими, немного (3 экз.), остальные связаны со вторым этапом джетыасарской культуры (IV–I вв. до н.э.) [Левина, Равич, 1995, с. 128].

Относительно происхождения данной уникальной технологии существует несколько точек зрения, однако, на наш взгляд, ближе всех к истине подошла Н.В. Рындина, которая высказала предположение, что этот сложный прием термообработки и закалки связан с достижениями металлообработки античного мира благодаря контактам с причерноморскими колониями-поселениями [Мошкова, Рындина, 1975, с. 128]. Отсюда вытекает ее важнейший вывод, что именно Приуралье с его крупнейшими рудными залежами наряду с Поволжьем могло быть исходным центром металлопроизводства зеркал с использованием приема закалки в воду после термообработки. В серии скифского металла, изученного Т.Б. Барцевой, достаточно много украшений и сосудов — блях, наварший, гидрий, зеркал, которые содержали олово в концентрации около 30 %, по-видимому, являющихся античными импортами с территории Балкан, Ближнего Востока, а также Кавказа [Барцева, 1981, с. 97–123, табл. 1]. Однако металлографическое исследование этих зеркал не проведено, поэтому подтвердить или опровергнуть данный вывод не представляется возможным. Выявление сакских зеркал, отлитых по этой же технологии, затем серийное изготовление украшений на поселениях джетыасарской культуры позволяют сделать вывод о формировании в Приаралье второго крупного центра производства зеркал из высокооловянной бронзы, полученных в процессе термообработки и закалки в воду.

Целесообразность закалки в воду послековки заключается, на наш взгляд, в том, что это сакральные предметы жриц, которые использовались в ритуалах; в результате операции усиливалось звучание зеркал — звук становился более мелодичным, изменялась окраска поверхности металла — с темно-серой на ярко-золотистую. Эксперименты с плавкой легированных сплавов Cu-As-Sn с фиксацией их цвета после кристаллизации были проведены И.Г. Равич в 1980-е гг. и коллективом британских и сербских исследователей в наши дни с публикацией подробных таблиц с цветами сплавов с лигатурой Sn, As в различных пропорциях [Равич, 1983; Radivojević et al., 2018, fig. 8–10]. В литом необработанном состоянии бронза с 30 % олова имеет темно-серый цвет, после термоотжига с последующей закалкой в воду цвет зеркал изменен на ярко-золотистый в связи с переходом в другое фазовое состояние. Феномен «звучащих чаш», изготовленных из оловянной бронзы (Sn около 30 %), охарактеризовала М.С. Шемаханская [2008, с. 398–407] по материалам памятников Средней Азии от эпохи бронзы до средневе-

ковья. Наличие подобной импортной античной посуды с высоким содержанием олова в среднем Поднепровье зафиксировала и Т.Б. Барцева [1983, с. 75–78].

Два оставшихся зеркала с дисками меньшего диаметра (один с боковой ручкой, другой без ручки с двумя отверстиями) изготовлены по иной технологии — литье в одностороннюю форму из низколегированной оловянной бронзы (1 и 5 %; ан. 746, 747; рис. 10, 7, 8), затем ковка с растяжкой краев диска. Ковка велась в горячую, свидетельством чему наличие у первого зеркала крупных трещин красноломкости, в виде сетки залегающих по границам кристаллов (рис. 10, 7). В данном случае выбор исходного сырья — низколегированной оловянной бронзы диктовал и выбор соответствующей технологии изготовления. Серьга также изготовлена из низколегированной оловянной бронзы (Sn 5 %) в процессе свободнойковки заготовки, сопряженной с вытяжкой, заострением концов проволоки, свертыванием в петельку одного из окончаний (ан. 723, рис. 10, 8). Ковка протекала в холодную и сопровождалась промежуточными и заключительным отжигом.

Таким образом, судя по аналитическим данным цветного металла могильников Бесоба и Сынтас, в западноказахстанско-южноуральском центре металлопроизводства савроматской археологической культуры были выработаны достаточно прогрессивные модели производства с четко прослеживаемой корреляцией: тип изделия — химический состав металла — технология. Так, все сакрально значимые предметы — бляхи с изображениями животных, фигурные пронизи с головами баранов и птиц, распределители уздечных ремней, зеркала с длинными боковыми ручками, часть наконечников стрел изготавливали из традиционных сплавов — оловянных и оловянно-мышьяковых бронз. При этом примесь олова зачастую была неоправданно высока — до 31 % в зеркалах, что приводило к хрупкости металла даже несмотря на специальные режимы термообработки и закалки в воде. Доминирующей схемой получения изделий оставалось литье по утрачиваемой восковой модели, литье в односторонних, дву- или трехстворчатых формах (зачастую металлических) со вставными вкладышами. Специальные высокопрофессиональные режимы термообработки и закалки зафиксированы при изготовлении зеркал с концентрациями Sn 27–31 %, по всей вероятности являвшихся сакральными атрибутами погребений жриц.

Судя по многообразию сплавов в бронзовом инвентаре илехских могильников, расположенных в самом центре трансевразийских торговых путей, слитки или готовые изделия поступали сюда из кавказских, скифских и иткульских центров. Савроматы Илека не испытывали затруднений в доставке главных легирующих компонентов эпохи раннего железа — олова и оловянно-мышьяковых сплавов. Вполне отчетливо прослеживаются основные векторы историко-металлургических контактов савроматских племен с производственными центрами Рудного Алтая и Центрального Казахстана, откуда поступала эта драгоценная лигатура древности.

Однако главными поставщиками меди у ранних кочевников Южного Урала и Западного Казахстана были их северные соседи — горняки и металлурги иткульской культуры. Ее базовая фракция (иткульский, или зауральский, очаг металлургии, по Г.В. Бельтиковой) была изначально ориентирована на горное дело и металлопроизводство, связанные с добычей руды (в основном малахита), ее переработкой, плавкой чистой окисленной меди [Бельтикова, 1993, 1998]. Иткульский металлургический очаг был одним из крупнейших производителей металла в Северной Евразии в эпоху раннего железа, а кочевья савроматов заходили практически в горные долины Южного и Среднего Урала. Основные коллекции иткульских медных и бронзовых изделий найдены в объектах, связанных с производственной деятельностью (поселения и городища металлургов) и культовой практикой (святилища). В отличие от металлообработки ранних кочевников в иткульском очаге использовали иную модель организации производства — ориентацию на выплавку металлургически «чистой» окисленной меди с модернизацией технологических процессов плавки богатейших залежей малахита Гумешевского рудника, находящегося в эпицентре гнезда иткульских производственных поселков. Судя по аналитическим данным, для облегчения переработки окисленной руды и раскисления меди использовалась совместная плавка окисленных и сульфидных руд. Результаты спектрального анализа иткульских образцов показали достаточно высокие (до 1,6 %) примеси железа в меди, а данные МРСА — наличие сульфидов. При плавке руды не происходила полная ошлаковка посторонних примесей (твердые растворы системы Cu_2S — $FeAsS$), что и было обнаружено при металлографическом и микрорентгеноспектральном исследовании. Добавки сульфидов усиливали жидкотекучесть меди, устраняли негативное влияние закиси меди и наряду с этим повышали твердость металла [Кузьминых, Дегтярева, 2017]. Ведущей металлургической группой (88 % всей выборки) для уральских литейщиков была металлургически «чистая» медь. Предметы, отлитые из легиро-

Модели цветного металлопроизводства на Урале в раннем железном веке

ванных сплавов, составляли лишь 12 % от всех изделий с наиболее представительными группами Sn-бронз и сплавов Cu–Sn–As, Cu–As (6,5; 3,2; 0,8 %). При этом использовались в основном низколегированные бронзы с концентрациями олова в сплаве в пределах 1–9 %.

В химико-металлургическом плане иткульская аналитическая выборка является по сути однородной. При сравнении распределения сплавов в металле сопредельных культур раннего железного века по обе стороны Урала наибольшее сходство с иткульским обнаруживает металл прохоровской и частично савроматской (Барцева, 1993), карабызской [Кузьминых, 1983, с. 51], гороховской и саргатской [Кузьминых, 2009, рис. 5] культур, а также таежных культур ананьинского мира — шнуровой и гребенчато-шнуровой керамики [Кузьминых, 1983]. В этих культурах на производство орудий и оружия также в основном шла металлургически «чистая» медь. Но в отличие от иткульской в сопредельных культурах при изготовлении украшений, культовых и иных категорий предметов предпочтение отдавалось оловянным и оловянно-мышьяковым бронзам, а также латуни. При этом надо иметь в виду, что значительная часть украшений, культовых предметов и туалетных принадлежностей в прохоровской, кара-абызской, гороховской и саргатской археологических культурах является импортами из приаральских (Джеты-Асар), южноказахстанских и среднеазиатских мастерских того времени, а также попала к «северным» народам благодаря международной торговле (Китай, Индия, Иран, Ближний Восток, античные и эллинистические центры). В целом металл уральского (иткульского) происхождения — как сама продукция (наконечники стрел, ножи, котлы и др.), так и сырье — являлись базовыми для металлообработки лесостепных и степных культур Западной Сибири (от Урала до Ишима) и Приуралья. Часть иткульской меди, несомненно, поступала и в Прикамье, в производственные центры таежных культур ананьинского мира [Кузьминых, 1993].

Проведенное микроскопическое исследование выявило своеобразные и уникальные для эпохи раннего железа технологии изготовления инвентаря. На основе статистической обработки данных металлографического и спектрального анализов установлено использование литейщиками иткульской культуры чистой окисленной меди, маркированной микроструктурным методом включениями эвтектики Cu–Cu₂O. Орудия труда отлиты из окисленной меди (за исключением нескольких предметов) в двустворчатых литейных формах со вставными вкладышами или же в односторонних формах с плоскими крышками. В основном мастера тщательно контролировали процесс раскисления меди, используя предохраняющие графитовые засыпки. Изделия получали только литейными технологиями, в редких случаях отмечена кузнечная доработка. Унификация изготовления характерна и для серии наконечников стрел со скрытой и выступающей втулкой — литье в трехстворчатых литейных формах со вставным вкладышем из чистой окисленной меди без последующей доработки. Литье осуществлялось в холодные непрогретые формы, в том числе каменные и медные, следствием чего явилась измельченность литых полиэдров и наличие зон столбчатых кристаллов, характерных для очень быстрой кристаллизации.

Используя столь архаичную и достаточно трудоемкую технологию, сопряженную с достижением более высоких температур при плавке по сравнению с легированными бронзами, иткульские металлурги с целью раскисления меди модернизировали технологию добавлением сульфидов в медный расплав. Сосредоточение громадной сырьевой базы окисленных медных минералов на Гумешевском и других медных рудниках, находящихся в ареале иткульского металлургического очага, и использование сульфидов в качестве раскислителей меди, по всей видимости, исключили острую необходимость обменных операций по доставке олова и искусственных бронз, хотя последние, как выявлено в ходе спектроаналитических исследований, уральскими литейщиками использовались, но в крайне ограниченных масштабах.

Особенности организации цветной металлургии у древнего населения Урала наглядно демонстрируют наличие моделей производства совершенно разного типа, объясняемые характером используемых залежей, изолированностью сообществ или же, в случае с савроматами и прохоровцами, находившимися на пересечении торговых путей, характером производственных и социальных отношений. Последнее привело к появлению у ранних кочевников выраженной иерархии общества. В погребениях представителей социальной элиты сосредоточились уникальные художественные бронзы, предметы сакрального назначения, конская упряжь, колчаны с огромным количеством наконечников стрел. Хотя нет документированных данных о разработке савроматами рудных залежей Урала, а также отсутствуют сведения о производственных мастерских на поселениях, нельзя отрицать саму возможность существования южноуральского центра металлопроизводства ранних кочевников. При этом надо иметь в виду то обстоятельство,

во, что очень выгодное географическое положение воинственных савроматских племен на пересечении торговых путей предоставляло уникальные возможности пополнения сырьевых запасов в результате войн, торговли и обмена с северными и восточными сообществами. Иткульские племена имели четко выраженную металлургическую специализацию по добыче, переработке руды в огромных масштабах, выплавке меди и изготовлению широкого ассортимента изделий с последующим активным участием в торговых и обменных операциях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Апостол Л.Н.* Металлические зеркала саргатской культуры Тоболо-Ишимья // Человек и Север: Антропология, археология, экология. Тюмень: ИПСО СО РАН, 2012. Вып. 2. С. 82–84.
- Барцева Т.Б.* Цветная металлообработка скифского времени. М.: Наука, 1981. 126 с.
- Барцева Т.Б.* Химический состав изделий античного импорта, найденных в среднем Поднепровье (по данным спектрального анализа) // СА. 1983. № 4. С. 70–82.
- Барцева Т.Б.* Сарматский металл с территории Нижнего Дона (по материалам Донской экспедиции 1975–1978 гг.) // Вестник Шелкового пути: Археологические источники. М., 1993. Вып. 1. С. 90–123.
- Бельтикова Г.В.* Развитие иткульского очага металлургии // ВАУ. 1993. С. 93–106.
- Бельтикова Г.В.* Зауральский (иткульский) очаг медной металлургии // Уральская историческая энциклопедия. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН: Изд-во «Екатеринбург», 1998. С. 207–208.
- Берденов С., Самашев З., Штолльнер Т., Черны Я., Ермолаева А., Куц Г.* Древнее горное дело и металлургия Восточного Казахстана // Вопросы археологии Казахстана. Уральск, 2004. Вып. 3. С. 154–170.
- Гуляев А.П.* Металловедение. М.: Металлургия, 1977. 647 с.
- Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В., Орловская Л.Б.* Металлопроизводство петровских племен (по материалам поселения Кулевчи 3) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2001. № 3. С. 23–54.
- Дриц М.Е., Бочвар Н.Р., Гузей Л.С., Падежнова Е.М., Рохлин Л.Л., Туркина Н.И.* Двойные и многокомпонентные системы на основе меди. М.: Наука, 1979. 248 с.
- Кадырбаев М.К.* Курганы Котанэмеля // Первобытная археология Сибири. Л.: Наука, 1975. С. 127–132.
- Кадырбаев М.К.* Курганные некрополи верховьев р. Илек // Древности Евразии в скифо-сарматское время. М.: Наука, 1984. С. 84–93.
- Комбинированные* методы переработки окисленных и смешанных медных руд (теория и практика) / Под ред. С.И. Митрофанова. М.: Недра, 1970. 286 с.
- Кузнецова Э.Ф., Тепловодская Т.М.* Древняя металлургия и гончарство Центрального Казахстана. Алматы: Гылым, 1994. 207 с.
- Кузьминых С.В.* Металлургия Волго-Камья в раннем железном веке (медь и бронза). М.: Наука, 1983. 257 с.
- Кузьминых С.В.* Евразийская металлургическая провинция и цветная металлообработка раннего железного века: Проблема соотношения // Археологические культуры и культурно-исторические общности Большого Урала. Екатеринбург: ИИА УрО РАН: УрГУ, 1993. С. 119–122.
- Кузьминых С.В.* О металле городища Чича-1 // Чича — городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2009. Т. 3. С. 202–212.
- Кузьминых С.В.* Металлообработка Урала и Западной Сибири в эпоху раннего железа (лесостепь и тайга): Основные этапы развития // Интеграция археологических и этнографических исследований. Барнаул: Изд. дом «Наука», 2015. С. 127–128.
- Кузьминых С.В., Дегтярева А.Д.* Металлопроизводство иткульской культуры Среднего Урала (по аналитическим данным) // Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов. М.: ИА РАН, 2017. Вып. 4. С. 16–33.
- Левина Л.М., Равич И.Г.* Бронзовые зеркала из Джетыясарских памятников // Низовья Сырдарьи в древности. М.: ИЭА РАН, 1995. Вып. 5. С. 122–185.
- Мошкова М.Г., Рындина Н.В.* Сарматские зеркала Поволжья и Приуралья: (Химико-технологическое исследование) // Очерки технологии древнейших производств. М.: Наука, 1975. С. 117–133.
- Равич И.Г.* Эталонные микроструктур оловянной бронзы // Художественное наследие. М.: Искусство, 1983. Вып. 8 (38). С. 136–143.
- Равич И.Г.* К вопросу о происхождении и применении зеркал сарматского времени с валиком по краю диска // Исследование и консервация памятников культуры. М., 2004. С. 67–76.
- Шемаханская М.С.* Феномен высокооловянистой посуды — от древности до наших дней // Исследования в консервации культурного наследия. М.: Индрик, 2008. Вып. 2. С. 398–407.
- Штолльнер Т., Самашев З., Черны Я., Гарнер Дж., Горелик А., Хауптман А.* Добыча олова в Центральной Азии в эпоху бронзы: Основные итоги работ по казахстанско-германскому проекту // Изучение историко-культурного наследия Центральной Евразии: Маргулановские чтения 2008. Караганда, 2009. С. 228–236.
- Kadyrbaev M.K.* Denkmäler des Sauromatenadels in Westkasachstan // Das Altertum Heft. Bd. 27. 1981. S. 29–37.

Модели цветного металлопроизводства на Урале в раннем железном веке

Radivojević M., Pendić J., Srejić A., Korać M., Davey C., Benzonelli A., Martín-Torrese M., Jovanović N., Kamberović Z. Experimental design of the Cu-As-Sn ternary colour diagram // *Journal of Archaeol. Science*. 2018. 90. C. 106–119.

Ryndina N., Indenbaum G., Kolosova V. Copper Production from Polimetallic sulphide Ores in the Northeastern Balkan Eneolithic Culture // *Journal of Archaeol. Science*. 1999. № 26. P. 1059–1068.

Stöllner T., Samašev Z. (ed.). Unbekanntes Kasachstan. Archäologie im Herzen Asiens. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 2013. Bd. 2. 1092 S.

A.D. Degtyareva, S.V. Kuzminykh

Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS
Malygina st., 86, Tyumen, 625026, Russian Federation

Institute of Archaeology RAS

Dm. Ulyanova st., 19, Moscow, 117036, Russian Federation

E-mail: anna126@inbox.ru;

kuzminykhsv@yandex.ru

MODELS OF COLOR METAL PRODUCTION IN THE URALS IN THE EARLY IRON AGE

There were various models of metal production among the population of the Itkul and the Savromat archaeological cultures during the Early Iron Age in the Central and South Urals. The Itkul culture is a culture of miners and metallurgists. Its basic fraction — the Itkul or Trans-Ural center of metallurgy — was initially focused on mining and metal production. The main collections of Itkul copper and bronze products were found at the objects related to production activity (settlements and hillforts of metallurgists) and cult practice (sanctuaries). Itkul tribes had a clearly expressed metallurgical specialization in production, ore processing (generally malachite) in huge scales, melting of oxidized copper and production of a wide range of products with a subsequent active participation in trade and exchange transactions. The metal of early nomads of the Southern Urals and Western Kazakhstan comes from funeral complexes, where representatives of military and priestly estates were often buried, with unique and sacral significant products. Relatively progressive models of production with accurately traced correlation of product type — chemical composition of a metal — technology were developed in West Kazakhstan-Southern Ural center of metal production of the Savromat archaeological culture. All sacrally significant objects are made of tin and tin-arsenic bronze. At the same time, share of tin impurities was often unfairly high, up to 31%, which resulted in fragility of metal even after it was subject to a special heat treatment. Casting on lost wax models, casting in unilateral, two- or three-leaved forms (often metal) with plug-in inserts remained the dominant scheme of receiving products. The authors describe the main vectors of historical and metallurgical contacts of the Savromat tribes with production centers of Ore Altai and Central Kazakhstan, from where tin and tin-arsenic alloys arrived. Their northern neighbors, miners and metallurgists of the Itkul culture, were the main suppliers of copper to the early nomads of the Southern Urals and Western Kazakhstan.

Key words: Urals, Early Iron Age, Savromat culture, Itkul culture, metal production models, non-ferrous metal, manufacturing techniques.

DOI: 10.20874/2071-0437-2018-41-2-041-060

REFERENCES

Apostol L.N., 2012. Metallicheskie zerkala sargatskoi kul'tury Tobolo-Ishim'ia [Metal mirrors of the Sargat culture in the Tobol-Ishim interfluve]. *Chelovek i Sever: Antropologija, arkheologija, ekologija*, no. 2, Tiumen': IPOS SO RAN, pp. 82–84.

Bartseva T.B., 1981. *Tsvetnaia metalloobrabotka skifskogo vremeni* [Color metal working in Scythian time], Moscow: Nauka, 126 p.

Bartseva T.B., 1983. Khimicheskii sostav izdelii antichnogo importa, naidennykh v srednem Podneprov'e (po dannym spektral'nogo analiza) [Chemical composition of the products of antique import found at the Middle Dnieper River (according to the spectral analysis)]. *Sovetskaia arkheologija*, 1983, no. 4, pp. 70–82.

Bartseva T. B., 1993. Sarmatskii metall s territorii Nizhnego Dona (po materialam Donskoi ekspedi-tsii 1975–1978 gg.) [Sarmatian metal from the territory of the Lower Don River basin (based on materials of the Don expedition of 1975–1978)]. *Vestnik Shelkovogo puti: Arkheologicheskie istochniki*, no. 1, Moscow, pp. 90–123.

Bel'tikova G.V., 1993. Razvitie itkul'skogo ochaga metallurgii [Development of the Itkul center of metallurgy]. *Voprosy arkheologii Urala*, pp. 93–106.

Bel'tikova G.V. 1998. Zaural'skii (itkul'skii) ochag mednoi metallurgii [Trans-Ural (Itkul) center of copper metallurgy]. *Ural'skaia istoricheskaja entsiklopedija*, Ekaterinburg: UrO RAN; Izd-vo «Ekaterinburg», pp. 207–208.

Berdenov S., Samashev Z., Shtoll'ner T., Cherny Ia., Ermolaeva A., Kushch G., 2004. Drevnee gornoe delo i metallurgija Vostochnogo Kazakhstana [Ancient mining and metallurgy of Eastern Kazakhstan]. *Voprosy arkheologii Kazakhstana*, no. 3, Ural'sk, pp. 154–170.

Guljaev A.P., 1977. *Metallovedenie* [Metallurgical science], Moscow: Metallurgija, 647 p.

Degtiareva A. D., Kuz'minykh S.V., Orlovskaya L.B., 2001. Metalloprodukcija petrovskikh plemen (po materialam poselenija Kulevchi 3) [Metal production of Petrovka tribes (based on materials of the settlement of Kulevchi 3)]. *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii*, 3, pp. 23–54.

Drits M.E., Bochar N.R., Guzei L.S., Padezhnova E.M., Rokhlin L.L., Turkina N.I., 1979. *Dvoinye i mnogokomponentnye sistemy na osnove medi* [Double and multicomponent systems on the basis of copper], Moscow: Nauka, 248 p.

Kadyrbaev M.K., 1975. Kurgany Kotanemelia [Kotanemel's mounds]. *Pervobytnaja arkheologija Sibiri*, Leningrad: Nauka, pp. 127–132.

Kadyrbaev M.K., 1984. Kurgannye nekropoli verkhov'ev r. Ilek [Mound necropolises of the Upper Ilek River]. *Drevnosti Evrazii v skifo-sarmatskoe vremia*, Moscow: Nauka, pp. 84–93.

Kadyrbaev M.K., 1981. Denkmäler des Sauromatenadels in Westkasachstan. *Das Altertum Heft*, Bd. 27, S. 29–37.

Mitrofanov S.I., 1970. *Kombinirovannye metody pererabotki okislennykh i smeshannykh mednykh rud: (Teoriia i praktika)* [Combined methods of processing of oxidized and mixed copper ores: (Theory and practice)], Moscow: Nedra, 286 p.

Kuznetsova E.F., Teplovodskaja T.M., 1994. *Drevnaja metallurgija i goncharstvo Tsentral'nogo Kazachstana* [Ancient metallurgy and pottery of Central Kazakhstan], Almaty: Gylym, 207 p.

Kuz'minykh S.V., 1983. *Metallurgija Volgo-Kam'ia v rannem zheleznom veke (med' i bronza)* [Metallurgy in the Volga-Kama interfluvium in the Early Iron Age (copper and bronze)], Moscow: Nauka, 257 p.

Kuz'minykh S.V., 1993. Evrazijskaja metallurgičeskaja provintsija i tsvetnaja metalloobrabotka rannego zheleznoogo veka: Problema sootnoshenija [Eurasian metallurgical province and color metal working of the Early Iron Age: Ratio problem]. *Arkheologičeskie kul'tury i kul'turno-istoričeskie obščnosti Bol'shogo Urala*, Ekaterinburg: IIA UrO RAN: UrGU, pp. 119–122.

Kuz'minykh S.V., 2009. O metalle gorodishča Chicha-1 [About the metal settlement of Chicha-1]. *Chicha — gorodishče perekhodnogo ot bronzy k zhelezu vremeni v Barabinskoi lesostepi*, vol. 3, Novosibirsk: Izd-vo IAET SO RAN, pp. 202–212.

Kuz'minykh S.V., 2015. Metalloobrabotka Urala i Zapadnoi Sibiri v epokhu rannego zheleza (lesostep' i taiga): Osnovnye etapy razvitiia [Metal working of the Urals and Western Siberia during the Early Iron Age (forest-steppe and taiga): Main stages of development]. *Integratsija arkheologičeskikh i etnografičeskikh issledovanii*. Barnaul: Izd. dom «Nauka», p. 127–128.

Kuz'minykh S.V., Degtiareva A.D., 2017. Metalloprodukcija itkul'skoi kul'tury Srednego Urala (po analitičeskim dannym) [Metal production of the Itkul culture of the Central Ural Mountains (according to analytical data)]. *Analitičeskie issledovanija laboratorii estestvennonauchnykh metodov*, no. 4, Moscow: IA RAN, pp. 16–33.

Levina L.M., Ravich I.G., 1995. Bronzovye zerkala iz Dzhetyasarskikh pamiatnikov [Bronze mirrors from Dzhetyasar monuments]. *Nizov'ia Syrdar'i v drevnosti*, no. 5, Moscow: IEA RAN, pp. 122–185.

Moshkova M.G., Ryndina N.V., 1975. Sarmatskie zerkala Povolzh'ia i Priural'ia: (Khimiko-tehnologičeskoe issledovanie) [Sarmatian mirrors of the Volga and Ural area: (Chemical and technological researches)]. *Očerki tekhnologii drevneishikh proizvodstv*. Moscow: Nauka, pp. 117–133.

Radivojević M., Pendić J., Srejić A., Korać M., Davey C., Benzonelli A., Martínón-Torrese M., Jovanović N., Kamberović Z., 2018. Experimental design of the Cu-As-Sn ternary colour diagram. *Journal of Archaeological Science*, no. 90, pp. 106–119.

Ravich I.G., 1983. Etalony mikrostruktur olovianno bronzy [Standards of microstructures of tin bronze]. *Khudozhestvennoe nasledie*, no. 8 (38), Moscow: Iskusstvo, pp. 136–143.

Ravich I.G., 2004. K voprosu o proiskhozhdenii i primenenii zerkal sarmatskogo vremeni s valikom po kraiu diska [Origin and application of Sarmatian mirrors with a roller along the edge of the disk revisited]. *Issledovanie i konservatsija pamiatnikov kul'tury*, Moscow, pp. 67–76.

Ryndina N., Indenbaum G., Kolosova V., 1999. Copper Production from Polymetallic sulphide Ores in the Northeastern Balkan Eneolithic Culture. *Journal of Archaeological Science*, no. 26, pp. 1059–1068.

Shemakhanskaia M.S., 2008. Fenomen vysokoolovianistoi posudy — ot drevnosti do nashikh dnei [The phenomenon of ware with a high content of tin: from the antiquity up to our time]. *Issledovanie v konservatsii kul'turnogo nasledija*, no. 2, Moscow: Indrik, pp. 398–407.

Shtell'ner T., Samashev Z., Cherni Ia., Garner Dzh., Gorelik A., Khauptman A., 2009. Dobyča olova v Tsentral'noi Azii v epokhu bronzy: Osnovnye itogi rabot po kazachstansko-germanskomu proektu [Extraction of tin in Central Asia during the Bronze Age: Main results of works on a Kazakhstan-German project]. *Izuchenie istoriko-kul'turnogo nasledija Tsentral'noi Evrazii: Margulanovskie chteniia 2008*, Karaganda, pp. 228–236.

Stöllner T., Samašev Z., 2013, (ed.). *Unbekanntes Kasachstan. Archäologie im Herzen Asiens*, Bd. 2, Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 1092 p.