УДК 54-112:54-116:902.016

Исследование металлических изделий из кладов городища Иднакар IX-XIII вв. методом электронно-зондового микроанализа

Т. М. Сабирова, Е. Л. Русских, А. Н. Бельтюков, И. К. Аверкиев

Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Россия, 426067, Ижевск, ул. Т. Барамзиной, д. 34

Аннотация. В статье представлены результаты элементного анализа 60 металлических изделий из кладов, найденных в 1976 – 1999 гг. в процессе археологических исследований древнеудмуртского городища Иднакар в бассейне р. Чепцы. Металлические украшения, предметы производственного характера, а также импортные ритуальные сосуды, входящие в состав 4-х кладов X – XIII вв., были исследованы методом электронно-зондового микроанализа. Выделено три основных вида рецептур металлических сплавов, которые использовались при производстве изделий: латунь (28 ан.), бронза (21 ан.), серебро (11 ан.). Результаты полностью соотносятся с ранее полученными с помощью рентгенофлуоресцентного анализа данными, и подтверждают преобладание латуни в местной традиции изготовления украшений.

Ключевые слова: Средневековье, Солдырское I городище Иднакар, клады, цветной металл, элементный анализ, растровый электронный микроскоп, энергодисперсионный спектрометр.

✉ Елена Русских, e-mail: elenalar87@mail.ru

Research of Metal Products From the Treasures of the Ancient Settlement Idnakar of IX-XIII Centuries Using Electron Probe Microanalysis

Tatiana M. Sabirova, Elena L. Russkikh, Artemy N. Beltukov, Igor K. Averkiev

Udmurt Federal Research Center UB RAS (T. Baramzina Str., 34, Izhevsk, 426067, Russian Federation)

Summary. One of the priority areas of modern archeology is the use of non-destructive testing methods in the analysis of certain categories of sources. In this work, to study metal alloys of medieval metal products, electron probe microanalysis was used. This method provides information on the chemical composition of samples with micron resolution. The use of a scanning electron microscope made it possible to conduct a point elemental analysis of products in areas free from contamination. The studied sample included metal items from 4 treasures of the 10th – 13th centuries. The treasures were found at the site of the ancient Udmurt settlement of Idnakar in the Cheptsra river basin (archaeological research by MG Ivanova in 1976 – 1999). The specificity of the accumulation of personal wealth, the circumstances that led to their concealment make the treasures a special archaeological source. The analyzed items include jewelry, industrial items (metal ingots and billets), and imported ritual vessels. If the product had a complex structure or an inhomogeneous surface, additional measurements were taken. A total of 79 analyzes were performed from the surface of 60 objects. As a result, three main types of metal alloy formulations were identified, which were used in the manufacture of products. The most representative group are brass (28 an.) and bronzes (21 an.). Rarely, the finds were made of silver (11 en.). These studies are a continuation of the authors' work on the formation of a database of archaeological metal in the Cheptsra River basin of the Middle Ages. Previous studies of metal products in the Cheptsra River Basin were carried out by X-ray fluorescence analysis, in contrast to the present ones. Despite this, the results obtained are comparable and organically fit into the system of medieval alloys identified by the authors to Chepetskaya archaeological culture. The data on the absolute and percentage distribution of alloy types show the predominance of brass in the local tradition of jewelry making.

Keywords: Middle Ages, Soldyrsky I settlement Idnakar, treasures, nonferrous metal, elemental analysis, scanning electron microscope, energy dispersive spectrometer.

✉ Elena Russkikh, e-mail: elenalar87@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений современной археологии является анализ отдельных категорий источников методами естественных наук. В частности, использование материаловедческих методов при изучении предметов материальной культуры позволяет устанавливать их природу и восстанавливать отдельные технологические аспекты обработки древних материалов. Особенно востребованными являются методы неразрушающего контроля, среди которых наиболее широко применяется рентгенофлуоресцентный анализ (РФА). Однако в случае неоднородных или составных археологических образцов может возникнуть потребность точечного анализа с высоким пространственным разрешением. В таком случае становится целесообразным использование электронно-зондового микроанализа, позволяющего с помощью электронного микроскопа получить информацию о химическом составе образца с микронным разрешением. В настоящей работе электронно-зондовый микроанализ применяется для изучения рецептур металлических сплавов средневековых престижных изделий металлопластики и сопоставляется с полученными ранее с помощью РФА данными.

Благодаря исследованиям, начатым в 1990-е гг. коллективом МГУ и подхваченным другими научными центрами, к настоящему времени созданы репрезентативные базы данных по составу археологического металла, охватывающие широкие территориальные и хронологические рамки [1]. В Удмуртской Республике материалы Камско-Вятского региона активно изучаются с 2012 г. посредством рентгенофлуоресцентного анализа. К настоящему времени проанализирован элементный состав выборочной коллекции памятников археологии широкого временного и культурного диапазона, создана унифицированная база данных металлических сплавов, обеспечивающая возможность корректного сравнения результатов и обобщения данных [2, 3].

С 2016 г. Е.Л. Русских и Т.М. Сабировой ведется планомерное исследование металлических сплавов чепецкой археологической культуры IX – XIII вв. Методом РФА были исследованы представительные выборки различных категорий металлических изделий ряда чепецких средневековых поселений (Кушманского городища Учкакар, Солдырского I городища Иднакар, Кушманского III селища (городища) и погребальных памятников (Иднакарского I (Солдырского III), Кузьминского, Кушманского I могильников) [4 – 7].

Данная работа является продолжением исследования состава изделий из цветных металлов, найденных при раскопках древнеудмуртского городища Иднакар, с применением электронно-зондового микроанализа, что позволило провести точечный элементный анализ составных украшений в областях свободных от наносных загрязнений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ

Объектом данного исследования выступают изделия из цветных металлов, содержащиеся в кладах, найденных в процессе археологических исследований М.Г. Ивановой на площадке древнеудмуртского городища Иднакар IX – XIII вв. Характер комплексов разнообразен, и включает наряду с ювелирными украшениями местного производства образцы импортной престижной посуды. Первый из кладов, найденный в 1976 г. на средней площадке поселения, содержит четыре пары калачевидных серег из белого металла (рис. 3, *a*: 4 – 10). Еще один клад, состоящий из четырех шумящих подвесок и металлической заготовки, был обнаружен в 1988 г. (рис. 3, *a*: 11 – 15). Украшения с заготовкой были завернуты в холщевую ткань и сокрыты за пределами рва средней линии укреплений. Уникальной для Солдырского I городища является находка 1994 г. – клад из двух металлических чаш (рис. 3, *a*: 1 – 2), сложенных одна в другую, и залегавшие в заполнении рва внутренней линии оборонительных сооружений памятника. Выразителен также клад из женских украшений, обнаруженный в 1999 г. под одним из углов жилого сооружения на средней части городища (рис. 3, *b*). Он представлял собой комплект,

состоящий из металлических украшений женского убора и заготовок, помещенных в берестяную коробочку [8 – 11].

Украшения из кладов датированы периодом X – XIII вв. и находят аналогии в материалах средневековых памятников финно-угорского населения Восточной Европы. Культурно-историческая значимость их весьма существенна. Изделия из кладов дополняют сведения о торговых и экономических связях средневекового населения бассейна р. Чепцы и предоставляют источники для исследования местного ювелирного ремесла. Подробному описанию кладов посвящена отдельная публикация [12]. Целью настоящей работы является введение в научный оборот данных об элементном составе металлических сплавов, из которых изготовлены изделия кладов.

В исследуемую выборку попало 60 предметов из четырех описанных выше кладов. Численный состав коллекций различается в зависимости от размеров клада. В первом из них проанализирована поверхность 7 экз. височных подвесок (калачевидных серег), во втором случае исследована поверхность 2-х серебряных сосудов, в третьем и четвертом кладах – изучено 5 и 46 изделий соответственно. Исследования элементного состава были выполнены к.т.н., с.н.с. А.Н. Бельтюковым и м.н.с. И.К. Аверкиевым.

Количественный элементный анализ образцов был выполнен методом электронно-зондового микроанализа с помощью энергодисперсионного спектрометра Octane Elite Plus (EDAX), входящего в состав растрового электронного микроскопа Quattro S (Thermo Fisher Scientific). Анализ результатов проводился с использованием стандартного программного обеспечения APEX (EDAX) по безэталонной ZAF методике, учитывающей поправки на атомный номер (Z), поглощение рентгеновского излучения (A) и флуоресценцию (F), в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22309-2015. Суммарная неопределенность анализа для большинства образцов не превышает 5 %. Большие значения неопределенности в отдельных случаях связаны с крупным рельефом образцов и поверхностными загрязнениями органического происхождения.

Рис. 1. Крепление образцов на установочный стол

Fig. 1. Fixing the samples

Место взятия пробы – т. е. область съемки, на которую направлялся электронный пучок, сканирующий поверхность, – определялся на оптическом изображении, полученном с помощью навигационной камеры электронного микроскопа (рис. 1). Приоритет отдавался участкам поверхности, максимально свободным от загрязнений. Электронно-микроскопические изображения получались с небольшим увеличением (не более $100\times$) с помощью детектора вторичных электронов Эверхарта-Торнли (ETD) и детектора обратно-рассеянных электронов (DBS). ETD-изображения вторичных электронов передают рельеф поверхности (рис. 2, а), а DBS-изображения обратно-рассеянных электронов отражают фазовый контраст (рис. 2, b), что позволяет различать поверхностные загрязнения органического происхождения от основы образца, а также вариации состава. Место взятия пробы на поверхности каждого изделия зафиксировано в фототаблице (рис. 3).

a)

b)

Рис. 2. Макросъемка рельефа поверхности (a) и фазового контраста образца (b)

Fig. 2. Macro photography of the surface relief (a) and phase contrast of the sample (b)

a)

b)

Рис. 3. Места проведения анализа состава металла на поверхности изделий (номера анализов соответствуют данным в табл. 1)

Fig. 3. Locations of sampling on the surface of metal products (analysis numbers correspond to the data in Table 1)

Данные об элементном составе сведены в итоговую аналитическую таблицу, которая содержит информацию о процентном соотношении сплавобразующих элементов, а также тип сплава, установленный на основании присутствия тех или иных элементов (табл. 1). Результаты объединены в группы по кладам, что дополнительно выделено цветом ячеек: сначала представлены результаты измерений находок из клада двух чаш (1994 г.) (рис. 3, а: 1 – 2), затем – из клада калачевидных серег (1976 г.) (рис. 3, а: 4 – 10), далее – из клада шумящих подвесок с заготовкой металла (1988 г.) (рис. 3, а: 11 – 15) и из клада женских украшений (1999 г.) (рис. 3, б). Помимо сведений о процентном содержании металлов, в строках таблицы представлены индивидуальные сквозные номера анализов, позволяющие быстро соотнести их с фотографиями материала, а также паспортная информация находок с указанием их индивидуального музейного шифра (коллекции кладов находятся на постоянном хранении в фондах БУК "Историко-культурный музей-заповедник" Удмуртской Республики "Иднакар" им. М.Г. Ивановой).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего было выполнено 79 анализов с поверхности 60 предметов. В случае если изделие имело сложную структуру или характеризовалось особенностями поверхности, исследователями принималось решение о проведении дополнительных измерений.

Таблица 1. Элементный состав изделий из цветных металлов иднакарских кладов

Table 1. Elemental composition of metal products from the treasures of the Idnakar settlement

№№	Название	Шифр	Тип сплава	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Pb
1	Чаша	A-26/262	Ag		4,0			96,0		
2	Чаша: стенка	A-26/263	Ag		2,2			97,8		
3	Чаша: дно		Ag		2,5			97,5		
4	Чаша: орнамент		Ag		2,4			97,6		
5	Серьга калачевидная	A-10/3	Ag		31,1			68,9		
6	Серьга калачевидная шток	A-10/4	Ag		18,5			81,6		
7	Серьга калачевидная дужка		Ag		16,3			83,7		
8	Серьга калачевидная потёк металла		CuZnSnPb		86,5	7,5			3,1	2,9
9	Серьга калачевидная	A-10/5	Ag		12,3			87,7		
10	Серьга калачевидная	A-10/6	Ag		12,1			87,9		
11	Серьга калачевидная шток	A-10/7	Ag		8,5			91,5		
12	Серьга калачевидная дужка чистая		Ag		10,3			89,7		
13	Серьга калачевидная дужка затемнение		Ag		19,3			80,8		
14	Серьга калачевидная	A-10/8	Ag		10,8			89,2		
15	Серьга калачевидная	A-10/9	Ag		20,0			80,1		
16	Подвеска шумящая шток	A-12/566	CuZnPb		80,9	2,1				16,9
17	Подвеска шумящая печочка		CuPb		70,5					29,5
18	Подвеска шумящая шток	A-12/568	CuZnSnPb	2,4	73,6	2,4			15,9	5,7
19	Подвеска шумящая печочка		CuSnPb		83,6				9,1	7,4
20	Подвеска шумящая шток	A-12/570	CuSn	2,6	88,8				8,7	
21	Подвеска шумящая печочка		CuZn		95,9	4,1				
22	Подвеска шумящая привеска		CuZnSnPb		76,0	5,3			3,4	15,3
23	Подвеска шумящая шток	A-12/571	CuZn		94,6	5,4				
24	Подвеска шумящая печочка		CuZn		95,1	4,9				
25	Подвеска шумящая привеска		CuZnPb		86,1	8,1				5,8
26	Слиток металла	A-12/926	CuZn		88,0	12,1				
27	Поясная накладка (бляшка)	A-27/447	CuSn		95,8				4,2	
28	Поясная накладка (бляшка)	A-27/448	CuSn		96,5				3,5	
29	Перстень шумящий ободок	A-27/449	CuSn		92,0				8,0	
30	Перстень шумящий привеска		CuSn	1,9	89,5				8,6	
31	Подвеска шумящая шток	A-27/450	CuSn		95,3				4,7	
32	Подвеска шумящая привеска		CuSn		91,1				8,9	
33	Подвеска шумящая шток	A-27/451	CuSn		93,7				6,3	
34	Подвеска шумящая печочка		CuSn		98,9				1,1	
35	Подвеска шумящая шток	A-27/452	CuSn	1,6	90,6				7,8	
36	Подвеска шумящая привеска		CuSn	1,5	88,3				10,1	
37	Подвеска шумящая шток	A-27/453	CuSn		96,4				3,6	
38	Подвеска шумящая привеска		CuSn		98,2				1,8	
39	Привеска-колокольчик	A-27/481	CuSnAsAg		88,2		2,3	0,8	8,8	
40	Привеска-колокольчик	A-27/482	CuSn		98,8				1,3	
41	Привеска-колокольчик	A-27/483	CuSn		96,1				3,9	
42	Привеска-колокольчик	A-27/484	CuSn		98,9				1,1	
43	Пронизка-бусина	A-27/457	CuZnPb	1,3	72,4	20,7				5,5
44	Пронизка-бусина	A-27/458	CuZnPb		88,7	8,9				2,5
45	Пронизка-бусина	A-27/455	CuSn		97,6				2,4	
46	Пронизка-бусина	A-27/456	CuZn		86,8	13,2				
47	Пронизка-бусина	A-27/459	CuZn	1	89,5	9,6				
48	Пронизка-бусина	A-27/460	CuZn		86,7	13,3				
49	Пронизка-бусина	A-27/461	CuZnPb		78,0	17,1				5,0
50	Пронизка-бусина	A-27/454	CuSnPbAs		68,0		3,9		20,6	7,4
51	Накладка поясная	A-27/492	CuZnSnPb	2,7	66,5	2,1				11,1
52	Пуговица	A-27/463	CuSnPb		92,7				3,4	3,9
53	Пуговица	A-27/464	CuSnPb		90,6				6,6	2,8
54	Пуговица	A-27/462	CuSn		97,4				2,6	
55	Пуговица	A-27/465	CuZnSnPb		82,8	12,8			3,9	0,6
56	Привеска-бубенчик	A-27/466	CuZnSn	2,4	90,1	5,8			1,7	
57	Привеска-бубенчик	A-27/467	CuZnSnAs		92,0	3,5	2,3		2,2	
58	Привеска-бубенчик	A-27/477	CuZnSnPb		85,9	3,9			3,3	6,9
59	Привеска-бубенчик	A-27/478	CuZnSnPbAs		51,9	2,8	3,0		18,2	24,1
60	Привеска-бубенчик	A-27/479	CuZnSn		92,9	5,0			2,1	
61	Привеска-бубенчик	A-27/480	CuZnSnPb		88,3	4,8			2,2	4,7
62	Привеска-бубенчик	A-27/468	CuZnSnAs		91,2	3,2	2,9		2,6	
63	Привеска-бубенчик	A-27/469	CuZnSnPb	1,2	81,8	4,9			3,8	8,4
64	Привеска-бубенчик	A-27/470	CuZnSnPbAs		83,1	4,0	2,6		5,8	4,6
65	Привеска-бубенчик	A-27/471	CuZnSnAs		86,9	8,5	2,8		1,8	
66	Привеска-бубенчик	A-27/472	CuZnSnPbAs		83,6	4,9	4,2		2,7	4,7
67	Привеска-бубенчик	A-27/473	CuZnSnPb	0,6	86,7	3,1			3,2	6,4
68	Привеска-бубенчик затёк		Pb	1,3	1,4					97,3
69	Привеска-бубенчик	A-27/474	CuZnSnPbAs	1,4	87,1	4,1	2,3		2,2	2,9
70	Привеска-бубенчик	A-27/475	CuZnSnAs		87,8	2,8	5,4		4,0	
71	Привеска-бубенчик	A-27/476	CuZnSnAs	0,8	90,5	2,8	3,2		2,8	
72	Привеска-бубенчик затёк		Pb							100,0
73	Кольцо	A-27/486	CuSn		97,2					2,8
74	Кольцо	A-27/487	CuSnAg		75,5				2,6	21,9
75	Кольцо	A-27/491	CuAg	2	47,2				50,8	
76	Кольцо	A-27/485	CuSnPb	2,5	75,7					14,2
77	Браслет	A-27/488	CuZn		86,6	13,4				7,5
78	Заготовка	A-27/489	CuSn	0,9	96,3					2,7
79	Слиток металла	A-27/490	AgSn		6,9				65,6	27,5

На основании полученных результатов выделено три основных вида рецептов металлических сплавов, которые использовались при производстве изделий. Самой представительной выборкой выступают латуни (28 ан.) и бронзы (21 ан.), реже находки были изготовлены из серебра (11 ан.) (табл. 1, 2).

Латуни: сплавы на основе меди с обязательным включением цинка как одного из главных легирующих компонентов. Согласно полученным данным, почти половина выборки представлена латунными изделиями (28 ан.). Кроме этого, часть дополнительных анализов структурных элементов находок также была определена как латунь (4 ан.). Внутри общей группы латуней выделяются изделия из двухкомпонентного сплава меди и цинка (CuZn); трехкомпонентного сплава с добавлением свинца (CuZnPb) или олова (CuZnSn); многокомпонентного сплава, в котором, помимо меди и цинка, фигурируют в разных пропорциях олово, свинец, мышьяк (CuZnSnPb, CuZnSnAs, CuZnSnPbAs).

Бронзы: сплавы на основе меди с добавлением олова и/или свинца как легирующих компонентов (встречаются включения других металлов за исключением цинка – мышьяк, серебро). Всего выявлено 21 изделие, выполненное из бронзовых сплавов. Также в шести случаях из бронзы состояли структурные части изделий. Таким образом, общее количество анализов в выборке – 27. Самой представительной в количественном плане является группа оловянистой бронзы (CuSn): 20 анализов, относящихся к 15 предметам. Кроме оловянистой,

выявлены также свинцовая (CuPb), свинцово-оловянистая (CuSnPb) бронзы. Единичные находки изготовлены из многокомпонентных бронз с включением мышьяка, серебра (CuSnPbAs, CuSnAg, CuSnAgAs).

Серебро: в этой группе собраны находки, выполненные из сплавов с высокой долей содержания серебра. В современном ювелирном деле к серебру относят сплавы серебра (71.9 % и выше) с медью, добавка которой позволяет значительно увеличить твердость и прочность серебра. Так, добавление к технически чистому серебру (95 % и выше) 20 % меди приводит к повышению прочности на 30 %, а твердости – на 60 % при одновременном снижении пластичности. В то же время сплав с содержанием серебра 95 % и выше благодаря своей пластичности отлично подходит дляковки, глубокой вытяжки и исполнения тонких, филигранных работ [13]. В материалах иднакарских кладов из серебра (Ag) выполнено 9 изделий; в единичных случаях зафиксировано использование сплава серебра с медью в одинаковых пропорциях (CuAg) и серебра с оловом (AgSn). Еще в пяти случаях серебро фиксировалось при анализе структурных частей изделий.

Свинец: был обнаружен в двух случаях при анализе микроскопических брызгов металла на поверхности привесок-бубенчиков. В обоих случаях это технически чистый свинец – выше 97.3 % (ан. 68) и 100 % (ан. 72).

Таблица 2. Рецептуры сплавов по частоте их встречаемости в выборке

Table 2. Formulations of alloys (according to the frequency of their occurrence in the sample)

Тип сплава Alloy type		Клад сосудов, 1994 г. Treasure of vessels, 1994		Клад серег, 1976 г. Earring of hoard, 1976		Клад шумящих подвесок, слитка, 1988 г. Treasure of noisy pendants, ingot, 1988		Клад женских украшений, 1999 г. A treasure of women's jewelry, 1999	
		Σ	№№ ан.	Σ	№№ ан.	Σ	№№ ан.	Σ	№№ ан.
Латунь Brass	CuZnSnPb			1	8	2	18, 22	6	51, 55, 58, 61, 63, 67
	CuZn					4	21, 23, 24, 26	4	46, 47, 48, 77
	CuZnPb					2	16, 25	3	43, 44, 49
	CuZnSnAs							5	57, 62, 65, 70, 71
	CuZnSnPbAs							4	59, 64, 66, 69
	CuZnSn							2	56, 60
Бронза Bronze	CuSn					1	20	19	27-38, 40-42, 45, 54, 73, 78
	CuSnPb					1	19	3	52, 53, 76
	CuPb					1	17		
	CuSnAg							1	74
	CuSnPbAs							1	50
	CuSnAgAs							1	39
Серебро Silver	Ag	4	1, 2, 3, 4	10	5-7, 9-15				
	CuAg							1	75
	AgSn							1	79
Свинец Lead	Pb							2	68, 72
Итого анализов (изделий) Total analyzes (products)		4 (2)		11 (7)		11 (5)		53 (46)	

Рассматривая каждый из кладов как закрытый археологический комплекс, необходимо группировать результаты измерений в первую очередь покладам, в отличие от исследований состава металла изделий из материалов могильников и городищ, когда группировка результатов производится по категориям находок [4, 6].

Обе чаши изклада сосудов 1994 г. выполнены из чистого серебра с крайне небольшим содержанием меди. Неорнаментированная чаша (рис. 3, *a*: 1; табл. 1, ан. 1) содержит 96 % серебра. Чаша, украшенная чеканкой (рис. 3, *a*: 2; табл. 1, ан. 2 – 4), имеет более 97 % серебра в своем составе. Для проверки гомогенности сплава были сделаны анализы стенки, углубления пальметты на дне, а также одной из чеканных полугорошин. Все они показали высокую степень схожести: содержание серебра варьирует на десятые доли процента, также схож макрорельеф поверхности (рис. 4).

Рис. 4. Макроструктура поверхности серебряной чаши в месте анализа: *a*) – ан. 3, *b*) – ан. 4 (табл. 1)

Fig. 4. Macrostructure of the surface of the silver bowl in the place of analysis:
a) – analysis No. 3; *b*) – analysis No. 4 according to Table 1

Калачевидные серьги изклада 1976 г. также изготовлены из серебряного сплава: процентное содержание серебра определяется в диапазоне показателей 80 – 89 %. Выбивается из этих рамок серьга, у которой в составе выявлено 2/3 серебра и 1/3 меди (табл. 1, ан. 5). Использование электронного микроскопа при определении состава металла позволяет визуально определять области, на которые будет направлен электронный пучок. У одной из серег проводились измерения разных частей дужки, визуально выделяемых при макросъемке рельефа ее поверхности (рис. 5, *a*): светлой основы (рис. 5, *b*) и более темных продольных полос, определяемых как следы волочения проволоки, из которой и была в дальнейшем сформирована серьга [14].

Как и предполагалось, визуальное затемнение свидетельствует о наличии загрязняющих поверхность веществ (патина, окислы, органические загрязнения), влияющих на процентное распределение результатов анализа: в чистой области (рис. 5, *b*) содержание серебра определяется в 89.7 %, а в затемненной (рис. 5, *c*) – в 80.8 %.

В некоторых случаях кроме загрязнений на поверхности в режиме фазового контраста наблюдались включения, отличающиеся от основы изделия и напоминающие "капли" или "брызги" металла (рис. 6). Измерение, проведенное для подобной области, показало, что эти включения представляют сплав многокомпонентной латуни, вероятно случайно попавшей на серебряную проволоку (табл. 1, ан. 8). Возможно, место хранения заготовок или готовых изделий у мастера было в непосредственной близости от самой производственной площадки.

Медный сплав с добавлением цинка был распространен при изготовлении женских украшений. Так, из него были выполнены обе шумящие подвески и слиток изклада 1988 г. (рис. 3, *a*: 11 – 15). При изготовлении составных украшений их части отливались мастером и соединялись вместе, поэтому для анализа брались разные детали шумящих подвесок: чаще всего сама основа (щиток), звено цепочки и одна из привесок. Таким образом для обеих пар подвесок из этогоклада удалось установить ассортимент сплавов, использовавшихся при их изготовлении: это трехкомпонентная свинцовая латунь с небольшим содержанием цинка, двухкомпонентная латунь с 4 – 5 % цинка, а также многокомпонентные латуни с добавками олова, свинца в разных пропорциях. При этом в одном изделии могли использоваться и

латунные, и бронзовые сплавы: так, цепочка у одной из подвесок (рис. 3, *a*: 11) выполнена из свинцовой бронзы (табл. 1, ан. 17), а щиток – из трехкомпонентной латуни (табл. 1, ан. 16). Такие же различия в рецептуре сплавов и распределении элементов внутри сплавов наблюдаются у парной подвески (рис. 3, *a*: 12). У второй пары подвесок из этого клада (рис. 3, *a*, 13–14) также наблюдается разница в составе структурных элементов: щитки, цепочки и подвески изготовлены из различных латуней. В ан. 21, 23, 24 (щиток одной подвески, звено цепочки и привеска другой подвески) соотношение меди (94.6–95.9 %) и цинка (4.1–5.3 %) совпадает с погрешностью в один процент, что может косвенно свидетельствовать об одновременной отливке именно этих деталей. Латунный слиток из этого клада имеет содержание цинка 12 % и по классификации относится к полутомпаку – универсальному сплаву, имеющему благородный внешний вид, коррозионную устойчивость и хорошие деформационные свойства в холодном состоянии (в том числе при волочении).

Рис. 5. Макросъемка поверхности дужки калачевидной серьги (рис. 3, *a*: 8) и места определения состава металла на дужке: ан. 12 (*b*), ан. 13 (*c*) (табл. 1)

Fig. 5. Macro photography of the earring shackle surface (Fig. 3, *a*: 8) and sampling points on the shackle: ан. 12 (*b*), ан. 13 (*c*) (Table 1).

Рис. 6. "Брызги" металла на поверхности дужки калачевидной серьги (рис. 3, а: 5)

Fig. 6. "Spatter" of metal on the surface of the earring (Fig. 3, a: 5)

Клад 1999 г. (рис. 3, *b*) – самый большой по численности находок и самый разнообразный по типам сплавов. В его составе выделяются серии однотипных украшений: шумящие подвески, привески-бубенчики и колокольчики, пронизки-бусины, пуговицы, кольца, накладки. Единично представлены шумящий перстень, пластинчатый браслет, заготовка и металлический слиток. Выборка делится на две группы – изделия, изготовленные из оловянистой бронзы и из латуни.

Из оловянистой бронзы с устойчивым содержанием олова до 10.1 % (низкооловянистые бронзы) сделаны все шумящие украшения (подвески и перстень), в том числе их составные части – цепочки и привески (рис. 3, *b*: 18 – 22; табл. 1, ан. 29 – 38). Привески-колокольчики также отлиты из низкооловянистой бронзы с содержанием олова не более 8.8 %. Только в одном случае (табл. 1, ан. 39) привеска содержит незначительные включения мышьяка и серебра. Интересен состав грушевидных полых пуговиц, каждая из которых состоит из двух половинок: основу сплава составляют медь и олово в концентрации 2.6 – 6.6 %, при этом одна из половинок содержит более 12 % цинка, что позволяет отнести ее к многокомпонентным латуням.

Все привески-бубенчики (рис. 3, *b*: 40 – 54; табл. 1, ан. 56 – 72) выполнены из латуни с тремя и более компонентами в составе; количество цинка небольшое и варьирует от 2.8 до 12.8 %. Отличительной особенностью этой группы находок является наличие в 9 из 15 половинок бубенчиков следов присутствия в сплаве 2.3 – 5.5 % мышьяка (As). На поверхности некоторых бубенчиков визуально обнаружались затеки (капли) другого металла (рис. 7; табл. 1, ан. 68, 72), которые оказались технически чистым свинцом (97.3 % и более). Возможно, именно свинцовым припоем были скреплены половинки бубенчиков. То, что они дошли до современности в разъединенном виде, также объясняется использованием чистого свинца для припоя – без добавки олова или цинка, свинец слабо регаирует с другими металлами и обладает "ползучестью". Вместе с тем, из всех доступных на тот момент металлов именно свинец является самым легкоплавким, мягким и удобным в работе материалом, а указанный недостаток легко было исправить повторной пайкой.

Рис. 7. Макросъемка поверхности половинки бубенчика (рис. 3, *b*: 54) и место проведения анализа на капле инородного сплава

Fig. 7. Macro photography of the surface of a half of a bell (Fig. 3, *b*: 54) and the location of the analysis on a drop of foreign alloy

Пронизки-бусины (рис. 3, *b*: 29 – 33; табл. 1, ан. 43 – 50) представлены в основном латунными образцами: двухкомпонентной и свинцовой латуни; два из них выполнены из бронзы. Также из этих двух типов сплавов изготовлены одиночные категории находок этого клада: поясная накладка (рис. 3, *b*: 35 – многокомпонентная латунь), кольца (рис. 3, *b*: 55 – 56, 58, оловянистая бронза), браслет (рис. 3, *b*: 59, двухкомпонентная латунь). Из сплавов с содержанием серебра выполнено кольцо (рис. 3, *b*: 57, медь и серебро в равных пропорциях) и слиток металла (рис. 3, *b*: 62, две трети серебра и треть олова).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования являются логическим продолжением планомерной работы авторов по формированию аналитической базы данных археологического металла бассейна р. Чепцы эпохи средневековья. Несмотря на то, что предыдущие исследования чепецких древностей выполнялись методом рентгенофлуоресцентного анализа, в отличие от настоящих, полученные результаты сопоставимы и органично вписываются в выявленную ранее систему средневековых чепецких сплавов.

С учетом опубликованных в настоящей работе результатов анализов изделий иднакарских кладов (60 образцов) общая совокупность изделий с установленным типом металлического сплава составляет 353 единицы (49 образцов из материалов погребальных памятников, 244 – с поселенческих). Такая выборка позволяет сделать выводы об особенностях металлов кладов на фоне находок, типичных для чепецкой культуры (табл. 3).

Таблица 3. Распределение результатов анализов изделий чепецкой культуры

Table 3. Distribution of product analysis results of Chepetskaya culture

Группа сплава Alloy group	Тип сплава Alloy type	Основные компоненты сплава Main alloy components	Чепецкая культура Chepetskaya culture	Клады Treasures
Медь и медные сплавы Copper and copper alloys	"чистая" медь "pure" copper	Cu	2	-
	оловянистая бронза tin bronze	CuSn	1	15+1
	свинцовая lead	CuPb	4	-
	свинцово-оловянистая бронза lead-tin bronze	CuSnPb	8	3
	многокомпонентная бронза multicomponent bronze	Cu+Sn+(Pb)+(Ag)	-	2
	двухкомпонентная латунь two-component brass	CuZn	46	6
	трехкомпонентная латунь three-piece brass	CuZnAg CuZnSn CuZnPb	3 3 63	- 2 4
	многокомпонентная латунь multicomponent brass	Cu+Zn+(Pb)+(Sn)+(Ag)+(As)	45	16
Олово Tin	"чистое" олово "pure" tin	Sn	1	-
Железо Iron	"чистое" железо "pure" iron	Fe	1	-
Серебро Silver	"чистое" серебро и сплавы с высоким содержанием серебра "pure" silver and alloys with a high silver content	Ag	1	11

По результатам предыдущих исследований материалов погребальных памятников было выявлено, что абсолютно все находки выборки выполнены из латуни (двухкомпонентной, свинцовой, многокомпонентной, а также классической латуни с добавлением большого количества серебра), несмотря на то, что в отбор попали небольшие произвольные выборки [4].

В материалах крупных поселенческих памятников латунь также является преобладающим сплавом (общее количество – 150 образцов или 65 %). В материалах Кушманского городища Учкакар, в отличие от Иднакара, преобладают многокомпонентные сплавы с небольшим содержанием цинка после многочисленных переплавок, что, вероятно указывает на использование мастерами металлического лома. В Иднакаре, напротив – довольно много высокоцинкистых соединений (свыше 20 %), что свидетельствует о доступе мастеров к ценному привозному металлу. Кушманский цветной металл также отличается наличием в выборке значительного числа других типов сплавов: бронзы с добавлением олова и свинца в разных пропорциях (66 анализов, 28.5 % от общей выборки), чистой меди (7 образцов), сплавов меди с серебром (7 изделий) и технически чистого олова (1 изделие) [6].

Данные абсолютного и процентного распределения типов сплавов показывают преобладание латуней как ведущего сплава для изготовления изделий из цветных металлов в материалах чепецкой культуры (табл. 3). Иднакарские клады занимают особое место в этой выборке. Специфика накопления личных богатств, обстоятельства, повлекшие их сокрытие и причины не востребоваемости кладов в дальнейшем, делают их особым археологическим источником. Сравнивая выборки состава металла археологических памятников чепецкой культуры и иднакарских кладов, можно увидеть сохранение общей тенденции –

преобладания латуней в сплавах. При этом повышенная доля представленности серебра и сплавов с его высоким содержанием обусловлена тем фактом, что два клада из четырех представлены серебряными изделиями. Остальные два клада соотносятся с ранее полученными данными – при изготовлении украшений преобладает латунь и оловянистая бронза.

При выполнении работ было использовано оборудование Центра коллективного пользования "Центр физических и физико-химических методов анализа, исследования свойств и характеристик поверхности, наноструктур, материалов и изделий" УдмФИЦ УрО РАН.

Studies were performed using equipment of Core shared research facilities "Center of physical and physical-chemical methods of analysis, investigations of properties and characteristics surface, nanostructures, materials and samples" of UdmFRC UB RAS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапрыкина И. А., Пельгунова Л. А. Перспективы исследования археологических предметов с помощью РФА-спектрометрии (на примере M4 Tornado, Bruker, Германия) // Фотография. Изображение. Документ, 2013. № 4(4). С. 80-87.
2. Перевошиков С. Е., Сабирова Т. М. Цветной металл Ошкинского могильника конца I-III вв. по результатам рентгенофлуоресцентного анализа // В кн.: "Вятский край в пьяноборскую эпоху (по материалам погребальных памятников I-V вв. н.э.)", Лещинская Н.А. Ижевск, 2014. Т. 27. С. 452-470.
3. Перевошиков С. Е., Сабирова Т. М. Металлургическая продукция в Среднем Прикамье по материалам Тарасовского могильника I-V вв. // Вестник Пермского университета. История. 2014. № 1(52). С. 71-82.
4. Русских Е. Л., Сабирова Т. М. Цветной металл могильников чепецкой культуры: Кузьминского, Кушманского I, Иднакарского I // Вестник Пермского университета. История. 2020. № 1(48). С. 97-109. <https://doi.org/10.17072/2219-3111-2020-1-97-109>
5. Русских Е. Л., Сабирова Т. М. Цветной металл Кушманского комплекса памятников X-XIII веков по результатам рентгенофлуоресцентного анализа // Вестник Удмуртского университета. Серия История и филология. 2019. Т. 29, № 1. С. 97-108.
6. Русских Е. Л., Сабирова Т. М. Состав цветного металла городищ чепецкой культуры (Иднакар и Учкакар) // Историко-культурное наследие народов Урало-Поволжья. 2018. № 2(5). С. 94-101.
7. Русских Е. Л., Сабирова Т. М. Цветной металл Кушманского городища Учкакар IX-XIII вв.: рентгенофлуоресцентный анализ изделий и литейного оборудования средней и внешней площадок памятника // Ежегодник финно-угорских исследований. 2017. Т. 11, № 3. С. 90-105.
8. Жилин С. А., Иванова М. Г., Куликов К. И. Земля Идны. Ижевск: Регион-Пресс, 2008. 120 с.
9. Иванова М. Г. Иднакар: Древнеудмуртское городище IX-XIII вв. Ижевск: УИИЯЛ УрО РАН, 1998. 290 с.
10. Иванова М. Г., Куликов К. И. Древнее искусство Удмуртии. Ижевск: УИИЯЛ УрО РАН, 2000. 216 с.
11. Иванова М. Г., Русских Е. Л., Сабирова Т. М. Клады X-XIII вв. из материалов Солдырского I городища Иднакар // Поволжская археология. 2021. № 2(36). С. 43-52. <https://doi.org/10.24852/pa2021.2.36.43.52>
12. Голдина Р. Д., Мельникова О. М., Черных Е. М. и др. История Удмуртии: С древнейших времен до XV в. / под ред. М.Г. Ивановой. Ижевск: УИИЯЛ УрО РАН, 2007. 304 с.
13. Мутылина И. Н. Художественное материаловедение. Ювелирные сплавы: учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2005. 236 с.
14. Зайцева И. Е., Сарачева Т. Г. Ювелирное дело "Земли Вятчей" второй половины XI-XIII вв. М.: Индрик, 2011. 404 с.

REFERENCES

1. Saprykina I. A., Pel'gunova L. A. Perspektivy issledovaniya arheologicheskikh predmetov s pomoshch'yu RFA-spektrometrii (na primere M4 Tornado, Bruker, Germaniya) [Prospects for the study of archaeological objects using XRF spectrometry (for example, M4 Tornado, Bruker, Germany)]. *Fotografiya. Izobrazhenie. Dokument* [Photo. Image. Document], 2013, no. 4(4), pp. 80-87. (In Russian).
2. Perevoshchikov S. E., Sabirova T. M. Cvetnoj metall Oshkinskogo mogil'nika konca I-III vv. po rezul'tatam rentgenofluorescentnogo analiza [Non-ferrous metal of the Oshki burial ground of the end of the 1st-3rd centuries based on the results of X-ray fluorescence analysis]. V kn.: "Vyatskij kraj v p'yanoborskuyu epohu (po materialam

pogrebal'nyh pamyatnikov I-V vv. n.e.)" [In book: "Vyatka Territory in the Pianobor era (based on materials from burial sites of the 1st-5th centuries AD)"], Leshchinskaya N.A. Izhevsk, 2014, vol. 27, pp. 452-470. (In Russian).

3. Perevoshchikov S. E., Sabirova T. M. Metallurgicheskaya produkcija v Srednem Prikam'e po materialam Tarasovskogo mogil'nika I-V vv. [Metallurgical products in the Middle Kama region based on materials from the Tarasovsky burial ground of the 1st-5th centuries]. *Vestnik Permskogo universiteta. Istorija* [Perm University Bulletin. History], 2014, no. 1(52), pp. 71-82. (In Russian).

4. Russkih E. L., Sabirova T. M. Cvetnoj metall mogil'nikov chepeckoj kul'tury: Kuz'minskogo, Kushmanskogo I, Idnakarskogo I [Non-ferrous metal items from the burial grounds of the Chepetskaya culture: Kuzminsky, Kushmanskoy I, Idnakarsky I]. *Vestnik Permskogo universiteta. Istorija* [Perm University Bulletin. History], 2020, no. 1(48), pp. 97-109. (In Russian). <https://doi.org/10.17072/2219-3111-2020-1-97-109>

5. Russkih E. L., Sabirova T. M. Cvetnoj metall Kushmanskogo kompleksa pamyatnikov X-XIII vekov po rezul'tatam rentgeno fluorescentnogo analiza [Nonferrous metal of the Kushman complex of monuments of the X-XIII centuries according to the results of X-ray fluorescence analysis]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Istorija i filologiya* [Bulletin of the Udmurt University. Series History and Philology], 2019, vol. 29, no. 1, pp. 97-108. (In Russian).

6. Russkih E. L., Sabirova T. M. Sostav cvetnogo metalla gorodishch chepeckoj kul'tury (Idnakar i Uchkakar) [Composition of non-ferrous metal for settlements of Chepetskaya culture (Idnakar and Uchkakar)]. *Istoriko-kul'turnoe nasledie narodov Uralo-Povolzh'ya* [Historical and Cultural Heritage of the Peoples of the Ural-Volga Region], 2018, no. 2(5), pp. 94-101. (In Russian).

7. Russkih E. L., Sabirova T. M. Cvetnoj metall Kushmanskogo gorodishcha Uchkakar IX-XIII vv.: rentgeno fluorescentnyj analiz izdelij i litejnogo oborudovaniya srednej i vneshnej ploshchadok pamyatnika [Nonferrous metal of the Kushmanskoy settlement Uchkakar IX-XIII centuries: X-ray fluorescence analysis of products and foundry equipment of the middle and outer sites of the monument]. *Ezhegodnik finno-ugorskih issledovanij* [Finno-Ugric Studies Yearbook], 2017, no. 3, pp. 90-105. (In Russian).

8. Zhilin S. A., Ivanova M. G., Kulikov K. I. *Zemlya Idny* [Idna's land]. Izhevsk: Region-Press Publ., 2008. 120 p.

9. Ivanova M. G. *Idnakar: Drevneudmurtское gorodishche IX-XIII vv.* [Idnakar: Ancient Udmurt settlement of the IX-XIII centuries]. Izhevsk: Institute of History, Language and Literature of the UB of the RAS Publ., 1998. 290 p.

10. Ivanova M. G., Kulikov K. I. *Drevnee iskusstvo Udmurtii* [Ancient art of Udmurtia]. Izhevsk: Institute of History, Language and Literature of the UB of the RAS Publ., 2000. 216 p.

11. Ivanova M. G., Russkih E. L., Sabirova T. M. Klady X-XIII vv. iz materialov Soldyr'skogo I gorodishcha Idnakar [Treasures of the X-XIII centuries from the materials of Soldyr'sky I Hillfort Idnakar]. *Povolzhskaya arheologiya* [The Volga River Region Archaeology], 2021, no. 2(36), pp. 43-52. (In Russian). <https://doi.org/10.24852/pa2021.2.36.43.52>

12. Goldina R. D., Mel'nikova O. M., Chernykh E. M. i dr. *Istorija Udmurtii: S drevnejshih vremen do XV v.* [History of Udmurtia: From ancient times to the 15th century]. Izhevsk: Institute of History, Language and Literature of the UB of the RAS Publ., 2007. 304 p.

13. Mutylina I. N. *Hudozhestvennoe materialovedenie. Yuvelirnye splavy: uchebnoe posobie* [Artistic materials science. Jewelry alloys: a tutorial]. Vladivostok: DVGU Publ., 2005. 236 p.

14. Zajceva I. E., Saracheva T. G. *Yuvelirnoe delo "Zemli Vyatichej" vtoroj poloviny XI-XIII vv.* [Jewelcrafting "Land of Vyatichi" of the second half of the XI-XIII centuries]. Moscow: Indrik Publ., 2011. 404 p.

Поступила 16.08.2021; после доработки 27.09.2021; принята к опубликованию 28.09.2021
Received 16 August 2021; received in revised form 27 September 2021; accepted 28 September 2021

Сабирова Татьяна Михайловна, кандидат исторических наук, научный сотрудник, УИИЯЛ УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Российская Федерация

Tatiana M. Sabirova, Cand. Sci. (Hist.), Research, UIHLL Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russian Federation

Русских Елена Львовна, младший научный сотрудник, УИИЯЛ УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Российская Федерация, e-mail: elenalar87@mail.ru

Elena L. Russkikh, Junior Researcher, UIHLL Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russian Federation, e-mail: elenalar87@mail.ru

Бельтюков Артемий Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФТИ УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Российская Федерация

Artemy N. Beltyukov, Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher, PhTI Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russian Federation

Аверкиев Игорь Кронидович, младший научный сотрудник, ФТИ УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Российская Федерация

Igor K. Averkiev, Junior Researcher, PhTI Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russian Federation