

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ТЮМЕНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ВЕСТНИК АРХЕОЛОГИИ, АНТРОПОЛОГИИ
И ЭТНОГРАФИИ

Сетевое издание

**№ 3 (62)
2023**

ISSN 2071-0437 (online)

Выходит 4 раза в год

Главный редактор:

Зах В.А., д.и.н., ТюмНЦ СО РАН

Редакционный совет:

Молодин В.И., председатель совета, акад. РАН, д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН;
Добровольская М.В., чл.-кор. РАН, д.и.н., Ин-т археологии РАН;
Бауло А.В., д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН;
Бороффа Н., PhD, Германский археологический ин-т, Берлин (Германия);
Епимахов А.В., д.и.н., Ин-т истории и археологии УрО РАН;
Кокшаров С.Ф., д.и.н., Ин-т истории и археологии УрО РАН; Кузнецов В.Д., д.и.н., Ин-т археологии РАН;
Лахельма А., PhD, ун-т Хельсинки (Финляндия); Матвеева Н.П., д.и.н., ТюмГУ;
Медникова М.Б., д.и.н., Ин-т археологии РАН; Томилов Н.А., д.и.н., Омский ун-т;
Хлахула И., Dr. hab., ун-т им. Адама Мицкевича в Познани (Польша); Хэнкс Б., PhD, ун-т Питтсбурга (США);
Чикишева Т.А., д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН

Редакционная коллегия:

Дегтярева А.Д., зам. гл. ред., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Костомарова Ю.В., отв. секретарь, ТюмНЦ СО РАН;
Пошехонова О.Е., отв. секретарь, ТюмНЦ СО РАН; Лискевич Н.А., отв. секретарь, к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;
Агапов М.Г., д.и.н., ТюмГУ; Адаев В.Н., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;
Бейсенов А.З., к.и.н., НИЦИА Бегазы-Тасмола (Казахстан);
Валь Й., PhD, О-во охраны памятников Штутгарта (Германия); Ключева В.П., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;
Крийска А., PhD, ун-т Тарту (Эстония); Крубези Э., PhD, проф., ун-т Тулузы (Франция);
Кузьминых С.В., к.и.н., Ин-т археологии РАН; Перерва Е.В., к.и.н., Волгоградский ун-т;
Печенкина К., PhD, ун-т Нью-Йорка (США); Пинхаси Р., PhD, ун-т Дублина (Ирландия);
Рябогина Н.Е., к.г.-м.н., ТюмНЦ СО РАН; Слепченко С.М., к.б.н., ТюмНЦ СО РАН;
Ткачев А.А., д.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Хартанович В.И., к.и.н., МАЭ (Кунсткамера) РАН

Утвержден к печати Ученым советом ФИЦ Тюменского научного центра СО РАН

Сетевое издание «Вестник археологии, антропологии и этнографии»
зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций; регистрационный номер: серия Эл № ФС77-82071 от 05 октября 2021 г.

Адрес: 625008, Червишевский тракт, д. 13, e-mail: vestnik.ipos@inbox.ru

Адрес страницы сайта: <http://www.ipdn.ru>

FEDERAL STATE INSTITUTION
FEDERAL RESEARCH CENTRE
TYUMEN SCIENTIFIC CENTRE
OF SIBERIAN BRANCH
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

VESTNIK ARHEOLOGII, ANTROPOLOGII I ETNOGRAFII

ONLINE MEDIA

**№ 3 (62)
2023**

ISSN 2071-0437 (online)

There are 4 numbers a year

Editor-in-Chief

Zakh V.A., Doctor of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Editorial Council:

Molodin V.I. (Chairman of the Editorial Council), member of the RAS, Doctor of History,
Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)
Dobrovolskaya M.V., Corresponding member of the RAS, Doctor of History,
Institute of Archaeology of the RAS (Moscow, Russia)

Baulo A.V., Doctor of History, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)
Boroffka N., PhD, Professor, Deutsches Archäologisches Institut (German Archaeological Institute) (Berlin, Germany)
Chikisheva T.A., Doctor of History, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)
Chlachula J., Doctor hab., Professor, Adam Mickiewicz University in Poznan (Poland)
Epimakhov A.V., Doctor of History, Institute of History and Archeology Ural Branch RAS (Yekaterinburg, Russia)
Koksharov S.F., Doctor of History, Institute of History and Archeology Ural Branch RAS (Yekaterinburg, Russia)
Kuznetsov V.D., Doctor of History, Institute of Archeology of the RAS (Moscow, Russia)
Hanks B., PhD, Professor, University of Pittsburgh (Pittsburgh, USA)
Lahelma A., PhD, Professor, University of Helsinki (Helsinki, Finland)
Matveeva N.P., Doctor of History, Professor, University of Tyumen (Tyumen, Russia)
Mednikova M.B., Doctor of History, Institute of Archaeology of the RAS (Moscow, Russia)
Tomilov N.A., Doctor of History, Professor, University of Omsk

Editorial Board:

Degtyareva A.D., Vice Editor-in-Chief, Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)
Kostomarova Yu.V., Assistant Editor, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)
Poshekhonova O.E., Assistant Editor, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)
Liskevich N.A., Assistant Editor, Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)
Agapov M.G., Doctor of History, University of Tyumen (Tyumen, Russia)
Adaev V.N., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)
Beisenov A.Z., Candidate of History, NITSIA Begazy-Tasmola (Almaty, Kazakhstan),
Crubezy E., PhD, Professor, University of Toulouse (Toulouse, France)
Kluyeva V.P., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)
Kriiska A., PhD, Professor, University of Tartu (Tartu, Estonia)
Kuzminykh S.V., Candidate of History, Institute of Archaeology of the RAS (Moscow, Russia)
Khartanovich V.I., Candidate of History, Museum of Anthropology and Ethnography RAS Kunstkamera
(Saint Petersburg, Russia)
Pechenkina K., PhD, Professor, City University of New York (New York, USA)
Pererva E.V., Candidate of History, University of Volgograd (Volgograd, Russia)
Pinhasi R., PhD, Professor, University College Dublin (Dublin, Ireland)
Ryabogina N.Ye., Candidate of Geology, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)
Slepchenko S.M., Candidate of Biology, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)
Tkachev A.A., Doctor of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)
Wahl J., PhD, Regierungspräsidium Stuttgart Landesamt für Denkmalpflege
(State Office for Cultural Heritage Management) (Stuttgart, Germany)

Address: Chervishevskiy trakt, 13, Tyumen, 625008, Russian Federation; mail: vestnik.ipos@inbox.ru
URL: <http://www.ipdn.ru>

**Анкушев М.Н.^{a,*}, Алаева И.П.^{d,b}, Анкушева П.С.^{a,b}, Артемьев Д.А.^a,
Блинов И.А.^a, Варфоломеев В.В.^c, Пантелеева С.Е.^d, Петров Ф.Н.^e**

^a Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, территория Ильменский заповедник, Миасс, 456317

^b Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет
просп. Ленина, 69, Челябинск, 454080

^c Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова
ул. Университетская, 28, Караганда, Республика Казахстан, 100024

^d Институт истории и археологии УрО РАН, ул. С. Ковалевской, 16, Екатеринбург, 620108

^e Челябинский государственный университет, ул. Братьев Кашириных, 129, Челябинск, 454001
E-mail: ankushev_maksim@mail.ru (Анкушев М.Н.); artemyev@mineralogy.ru (Артемьев Д.А.);
ivan_a_blinov@mail.ru (Блинов И.А.); alaevaira@mail.ru (Алаева И.П.); polenke@yandex.ru (Анкушева П.С.);
vicvarfolomeev@mail.ru (Варфоломеев В.В.); spanteleyeva@mail.ru (Пантелеева С.Е.);
steppe_exp@mail.ru (Петров Ф.Н.)

ПРИРОДА НЕКОТОРЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ АРТЕФАКТОВ УРАЛО-КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА В ПОЗДНЕМ БРОНЗОВОМ ВЕКЕ

Обсуждается проблема начала производства железа в позднем бронзовом веке Урало-Казахстанского региона. Для этого методами СЭМ-ЭДС и ЛА-ИСП-МС изучены 13 железосодержащих артефактов с поселений, существовавших во II тыс. до н.э.: металлические изделия, металлургические шлаки и биметаллическая капля. Большинство изученных артефактов не имеют отношения к металлургии железа. Высокие показатели содержания железа являются следствием переработки меднорудной шихты, обогащенной железом. Единственными артефактами, связанными с выплавкой металла из железной руды, являются фрагменты шлаков с поселения Кент.

Ключевые слова: металлургия железа, металлургия меди, поздний бронзовый век, финал бронзового века, Южное Зауралье, Казахстан.

Введение

Переход от металлургии меди и бронз к металлургии железа на территории Северной Евразии является слабоизученным вопросом. Такие значимые изменения в древности требовали поиска совершенно новых источников сырья, их разработки, освоения новых технологий металлургии и металлообработки [Завьялов, Терехова, 2021]. Начало этих процессов не подкреплено массовыми археологическими свидетельствами, что затрудняет их фиксацию во времени [Koryakova, Kuzminykh, 2021].

Первые железные изделия на территории Северной Евразии имеют метеоритное происхождение и относятся к ямной культуре раннего бронзового века [Моргунова и др., 2021]. Редкие изделия из железа, выплавленного из руды, а также крица, железные металлургические шлаки обнаружены на ряде памятников позднего бронзового века Восточной Европы [От метеорита до крицы..., 2021]. Однако шире они распространяются только ближе к концу II тыс. до н.э. — в финале бронзового века в культурах валикового хронологического горизонта [Koryakova, Kuzminykh, 2021].

Урало-Казахстанский регион являлся важным очагом металлургии во II тыс. до н.э. Во многом это было обусловлено доступностью медных месторождений, эксплуатация которых в позднем бронзовом веке имеет надежные аргументы [Маргулан, 1979; Черных, 1970; Ankusheva et al., 2022]. Железные руды также представлены в регионе в изобилии, однако изучение мест их добычи пока находится на начальной стадии (напр.: [Артемьев и др., 2022]). С определенной долей уверенности можно говорить о появлении металлургии железа в этом регионе лишь с середины I тыс. до н.э. [Koryakova, Kuzminykh, 2021].

Металлургия заключительного этапа бронзового века на Южном Урале в целом изучена довольно слабо. Стационарно исследованных и детально опубликованных памятников этого этапа

* Corresponding author.

Природа некоторых железосодержащих артефактов Урало-Казахстанского региона...

гораздо меньше в сравнении с предыдущими периодами бронзового века. Находки металлургических шлаков, за редким исключением, не имеют абсолютных датировок [Епимахов, Петров, 2021]. Иногда сведения о металлургии и металлообработке этого периода в регионе исчерпываются случайными находками бронзовых изделий [Дегтярева и др., 2019]. На территории Казахстана количество известных памятников финала бронзового века значительно больше, на многих отмечается развитая медная металлургия. Поселения связаны с распространением саргаринско-алексеевской и бегазы-дандыбаевской культур [Маргулан, 1979]. Работ, посвященных древней металлургии этого региона немного, сведения о металлургии железа в позднем бронзовом веке также единичны и представлены железными шлаками и изделиями [Варфоломеев и др., 2016; Koryakova, Kuzminykh, 2021].

Кроме железных артефактов и продуктов их производства интерес представляют медные изделия с высоким содержанием железа. Причина появления и возможности применения железо-медных сплавов в древности до конца не ясны. Они могут быть связаны со спецификой руды, технологическими добавками или условиями плавки. В поиске предпосылок локального зарождения черной металлургии в эпоху бронзы мы сформировали выборку металлургических артефактов из памятников II тыс. до н.э. с обширной территории Южного Урала и Центрального Казахстана. Нами была поставлена цель определить, следствием каких технологических приемов стало появление каждой из категорий железосодержащих предметов. Главный вопрос заключается в том, имеют ли они отношение к первым опытам производства железа или являются продуктом уже устоявшихся технологий металлургии меди и бронзы.

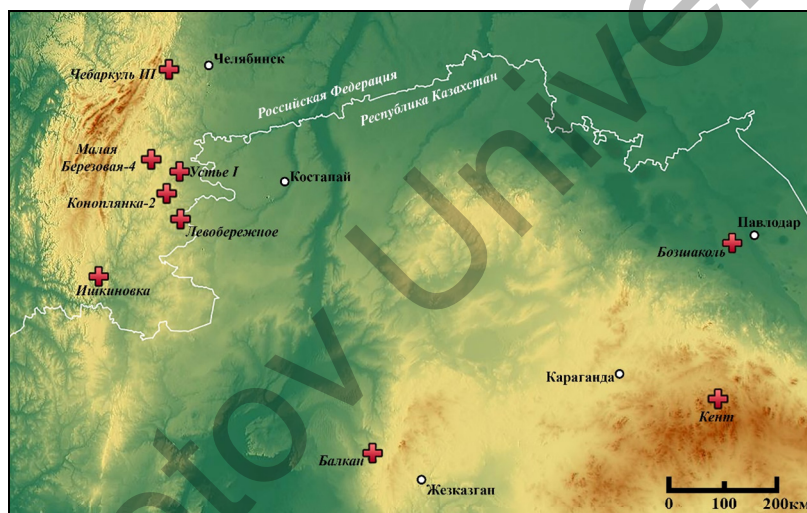


Рис. 1. Схема расположения поселений бронзового века с железосодержащими артефактами.

Fig. 1. Scheme of the Bronze Age settlements location with iron-bearing artifacts.

Материалы и методы

В статье рассмотрен ряд железосодержащих металлических изделий и продуктов металлургического передела с поселений Южного Урала и Центрального Казахстана, существовавших во II тыс. до н.э. (рис. 1, табл. 1). В выборку вошли в общей сложности 13 предметов из 9 поселений. Выделены три категории:

- металлические изделия (3 экз.);
- металлургические шлаки (9 экз.);
- биметаллическая капля (1 экз.).

Аналитические исследования проводились в ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН. Срезы образцов помещались в эпоксидную смолу и полировались. Минералогия шлаков и особенности состава металлических изделий установлены методом электронной микроскопии (Tescan VEGA 3 sbu, ускоряющее напряжение 20 кВ, живое время 120 с, поглощенный ток на эталоне Co около 260 пА, аналитик И.А. Блинов). Состав минеральных включений и различных фаз бронз анализировался точно. Для характеристики общего состава металлического изделия снимался спектр по растру площадью $1 \pm 0,1 \text{ мм}^2$. ЛА-ИСП-МС металлических изделий и шлаков выполнен на масс-спектрометре Agilent 7700x с Nd:YAG-лазером New Wave Research UP-213 (аналитик Д.А. Артемьев). Состав некоторых артефактов выражен в ppm (миллионная доля), $1 \text{ ppm} = 0,0001 \%$.

Краткая характеристика железосодержащих артефактов

Brief description of iron-bearing artifacts

Поселение	Артефакт	Культурная принадлежность	Датировка горизонта
Чебаркуль III	Медный секач с примесью железа	Черкаскульско-межовская	XV–XIV вв. до н.э. [Алаева, 2015; Анкушева и др., 2021]
	Медная бляшка с примесью железа		
	Медный металлургический шлак		
Малая Березовая-4	Медная бляшка с примесью железа	Межовская	XIV–XII вв. до н.э. [Алаева, 2014]
Устье I	Медные металлургические шлаки с каплями железа (2 фрагмента)	Сингаштинско-петровская	XX–XIX вв. до н.э. [Древнее Устье..., 2013]
Ишкиновка	Медный металлургический шлак с каплями железа	Алакульская	XVII–XII вв. до н.э. [Ткачев, 2011]
Бозшаколь	Пористый шлак с каплями железа	Поздний бронзовый век	XVIII–XVI вв. до н.э. [Park et al., 2020]
Балкан	Медный металлургический шлак с каплями железа	Саргаринско-алексеевская	XIV–XI вв. до н.э. [Байтлеу, Шагирбаев, 2021]
Левобережное	Медно-железная капля	Межовская	XIV–XI вв. до н.э. [Елимахов, Петров, 2021]
Коноплянка-2	Железный металлургический шлак	Срубно-алакульская, черкаскульская	XVIII–XVI вв. до н.э. [Корякова и др., 2020]
Кент	Железные металлургические шлаки (2 фрагмента)	Бегазы-дандыбаевская (саргаринско-алексеевская)	XVI–XIV вв. до н.э. [Варфоломеев, 2011]

Результаты исследований

Железосодержащие медные изделия поселения Чебаркуль III представлены секачом сосново-мазинского типа и бляшкой (рис. 2, 1, 2). Предметы обнаружены в заполнении и рядом с постройкой межовского времени (площадка № 5). Состав секача представлен Cu с примесью Fe 2,25–2,27 мас.% (табл. 2) [Анкушев и др., 2021]. В металле изделия присутствуют минеральные включения в виде мелких капель дигенита и борнита с примесью Se размером до 5 мкм (рис. 3, 1).

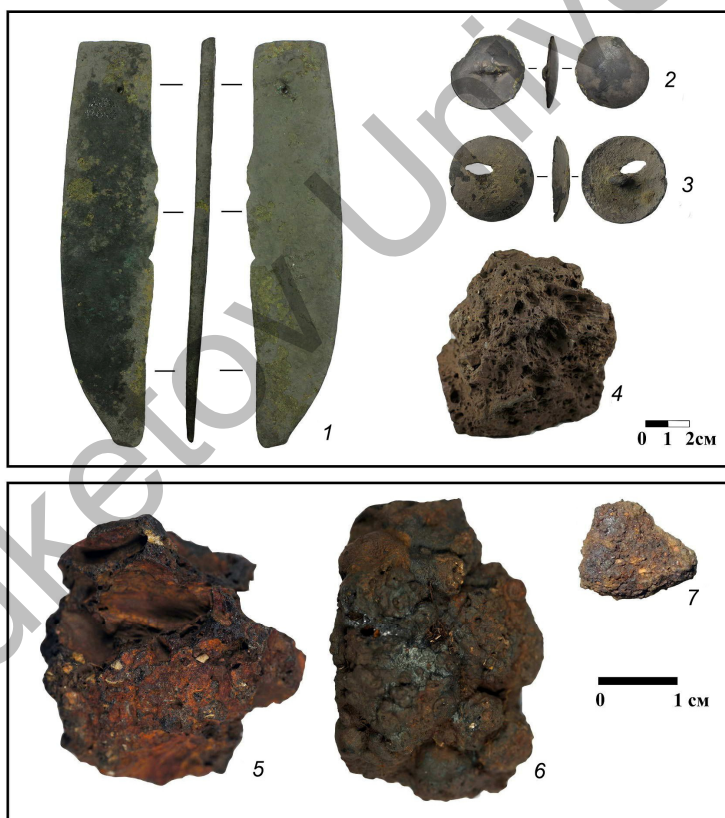


Рис. 2. Железосодержащие артефакты:

- 1 — секач, поселение Чебаркуль III, шифр 337ч/17649; 2 — бляшка, поселение Чебаркуль III, шифр 337ч/17652; 3 — бляшка, поселение Малая Березовая-4, шифр 494Б/4653; 4 — железный шлак, поселение Кент, шифр К-1; 5 — железный шлак, поселение Кент, шифр К-2; 6 — железный шлак, поселение Коноплянка-2, шифр 746/1144-1145; 7 — медно-железная капля, поселение Левобережное, шифр 709С/2135.

Fig. 2. Iron-bearing artifacts:

1 — sickle, Chebarkul III settlement, code 337ch/17649; 2 — plaque, Chebarkul III settlement, code 337ch/17652; 3 — plaque, settlement Malaya Berezovaya-4, code 494B/4653; 4 — iron slag, Kent settlement, code K-1; 5 — iron slag, Kent settlement, code K-2; 6 — iron slag, settlement Konoplyanka-2, code 746/1144-1145; 7 — copper-iron droplet, Levoberezhnoye settlement, code 709C/2135.

Природа некоторых железосодержащих артефактов Урало-Казахстанского региона...

Основу валового состава бляшки также составляет Cu, в качестве примесей присутствуют (мас.%): Fe 4,27, Ni 1,04, Co 0,27. При этом в собственно металлической меди растворено только 2,64 мас.% Fe, остальное обусловлено минеральными включениями борнита с примесью Se размером до 10 мкм (рис. 3, 2). Кроме этого, в металле содержится большое количество зональных включений, представленных Fe, Cu, Ni, Co, As в различном соотношении. Центральная часть включений более железистая, чем периферия. Включения имеют округлую и вытянутую форму, размер 5–7 мкм (рис. 3, 2). Также в бляшке содержатся субмикронные включения свинца.

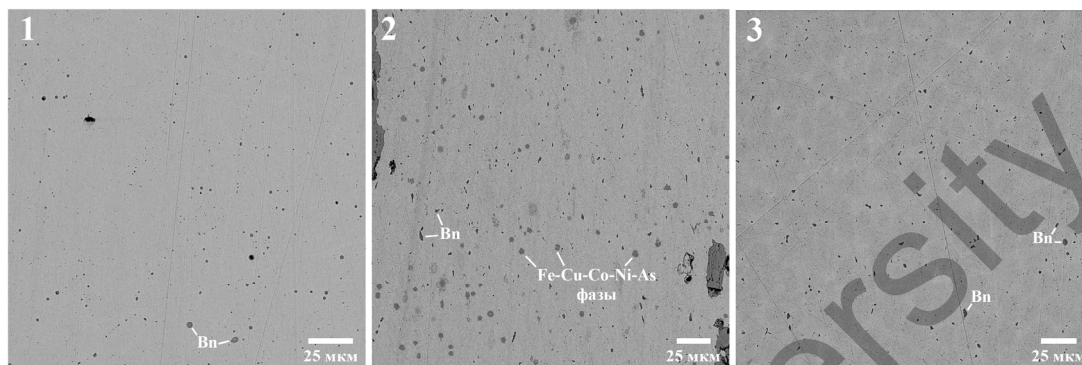


Рис. 3. Минеральные включения в металлических изделиях:

1 — включения борнита (Bn) в секаче с поселения Чебаркуль III, шифр 337ч/17649; 2 — борнит (Bn) и многофазные включения в бляшке с поселения Чебаркуль III, шифр 337ч/17652; 3 — включения борнита (Bn) в бляшке с поселения Малая Березовая-4, шифр 494Б/4653. Фото в отраженных электронах.

Fig. 3. Mineral inclusions in metal items:

1 — Bornite inclusions (Bn) in a sickle from the Chebarkul III settlement, code 337ч/17649; 2 — bornite (Bn) and multiphase inclusions in a plaque from the Chebarkul III settlement, code 337ч/17652; 3 — bornite inclusions (Bn) in a plaque from the Malaya Berezovaya-4 settlement, code 494Б/4653. BSE image.

Значительную примесь Fe в медных каплях содержит единственный фрагмент металлургического шлака, обнаруженный на поселении Чебаркуль III [Алаева, 2015]. Шлак локализовался в верхнем строительном горизонте (с керамикой межовской культуры, фрагментами валиковой посуды), у северного борта постройки (площадка № 5) этого времени, в 1 м за ее пределами. Фрагмент комковатого шлака имеет размер 2×2 см, черного цвета, плотного, слабопористый. Основную массу шлака составляет низкокремнистое высокощелочное стекло, состав которого соответствует (по трем анализам, мас.%): SiO₂ 41,1–43,3, FeO 18,5–18,7, Al₂O₃ 17,6–18,7, CaO 7,8–9,5, Na₂O 4,8–5, K₂O 5,6–6,6, P₂O₅ 0,7–1, TiO₂ 0–0,4, SO₃ 0–0,3, BaO 0–0,2. В матрице стекла вкраплены многочисленные цепочечные кристаллы новообразованного фаялита с небольшими примесями Mg и Ca, а также магнетит-вюститовые сростания, образующие скелетные кристаллы и отдельные капли (рис. 4, 1). Капли меди достаточно редки и имеют небольшой размер, варьирующий в пределах 10–15 мкм. Во всех каплях отмечается примесь Fe в 4–5 мас.%, в двух из них выявлена примесь Ni до 0,64 мас.% (табл. 2).

Железосодержащие медные изделия поселения Малая Березовая-4 представлены нашивной бляшкой (рис. 2, 3). Бляшка с петелькой обнаружена на дне центральной части постройки (жилище 1), рядом с ямой 6 с фрагментами керамики межовской культуры [Алаева, 2014]. Изделие исследовалось ранее методами рентгенофлуоресцентного анализа и сканирующей электронной микроскопии [Луньков и др., 2009; Анкушев и др., 2021]. Состав бляшки представлен медью с примесью Fe (3,16 мас. %), а также микропримесями As, Ni, Sb (табл. 2). Металл изделия неоднороден, на изображении в отраженных электронах отчетливо видны светлая фаза с повышенными содержаниями As и Sb и темная фаза с высокими концентрациями Fe (табл. 2). В металле присутствует большое количество мелких включений и капель борнита размером до 5 мкм, содержащего примесь Se (рис. 3, 3).

Железомедная капля поселения Левобережное обнаружена на уровне пола котлована жилища, содержащего культурные остатки периода финальной бронзы. Капля имеет размеры 1×1,5 см, покрыта пленками оксигидроксидов железа (рис. 2, 7). Состав и структура капли ранее изучались методами оптической микроскопии и рентгенофлуоресцентного анализа [Петров и др., 2019]. В настоящей работе мы уточнили эти данные, используя СЭМ-ЭДА и ЛА-ИСП-МС. Капля состоит из двух основных гетерогенных компонентов: железо, которое занимает ядро

капли, и медь, находящаяся на периферии (рис. 4, 2). В составе железа также фиксируются значительные примеси Cu (4,4–9,5 мас.%), As (до 2 мас.%), Ni (до 0,7 мас.%) и Sb (до 0,6 мас.%) (табл. 2). В общей массе железа находится большое количество зональных включений каплевидной и угловатой формы размером до 30 мкм. Включения представлены Cu с примесью Fe (4,4 мас.%) и Sb (9,6 мас.%), на периферии содержание Sb значительно увеличивается (до 36,7 мас.%). Медная составляющая капли также неоднородна: «темная» в отраженных электронах матрица содержит примеси Fe (3–4 мас.%) и Ni (0,3–0,4 мас.%); «светлая» в отраженных электронах акцессорная фаза содержит меньшую примесь Fe (0,7–1,8 мас.%), здесь не отмечен Ni, однако присутствуют значимые примеси Sb (3,3–5,2 мас.%), As (1,2–1,6 мас.%) и Ag (0,3–0,4 мас.%). Также в медной части капли присутствуют включения Pb размером до 10 мкм, широко распространенные в металлических изделиях позднего бронзового века [Анкушев и др., 2021]. Для установления возможных источников сырья нами был проведен ЛА-ИСП-МС анализ капли. Медная составляющая, помимо Fe, обогащена S, Sb, As, Ni, Sb и Sn (табл. 3). В железной части капли наблюдаются повышенные содержания Ni, S, As, Co, Sb, Cr (табл. 4).

Таблица 2

Состав металлических изделий, включений металла в шлаке и минеральных включений железосодержащих артефактов по данным СЭМ-ЭДС, мас.%

Table 2

The composition of metal items, metal inclusions in slag and mineral inclusions of iron-bearing artifacts according to SEM-EDS data, wt. %

Поселение и артефакт	Хранение	Cu	Fe	As	Ni	Co	S	Se	Sb	Ag	Сумма	Место анализа	
Поселение Чебаркуль III, секач	ЮУрГТТУ, шифр 337ч/17649	74,19	7,71	—	—	—	17,66	0,53	—	—	100,09	Включение дигенита	
		98,38	2,25	—	—	—	—	—	—	—	100,64	Точечный анализ металла	
		64,41	10,56	—	—	—	23,89	0,78	—	—	99,64	Включение борнита	
		97,58	2,27	—	—	—	—	—	—	—	99,84	Точечный анализ металла	
Поселение Чебаркуль III, бляшка	ЮУрГТТУ, шифр 337ч/17652	23,30	66,15	3,08	2,46	4,12	—	—	—	—	99,11	Железистое включение	
		63,28	12,58	—	—	—	22,78	0,65	—	—	99,29	Включение борнита	
		75,91	21,15	—	2,32	1,42	—	—	—	—	100,79	Железистое включение	
		30,83	60,86	1,37	3,59	4,01	—	—	—	—	100,67	Железистое включение, центр	
		78,80	17,81	0,71	1,97	1,21	—	—	—	—	100,49	Железистое включение, периферия	
		95,27	2,64	0,57	0,66	—	—	—	—	—	99,14	Точечный анализ металла	
		94,42	4,27	—	1,04	0,27	—	—	—	—	100,00	Растровый анализ металла	
Поселение Чебаркуль III, медный металлургический шлак	ЮУрГТТУ, шифр 337ч/р30013	95,06	4,94	—	—	—	—	—	—	—	100,00	Капля меди в шлаке	
		94,04	4,97	—	0,37	—	—	—	—	—	99,38	Капля меди в шлаке	
		94,47	3,94	—	0,64	—	—	—	—	—	99,04	Капля меди в шлаке	
		95,86	4,62	—	—	—	—	—	—	—	100,48	Капля меди в шлаке	
Поселение Малая Березовая-4, бляшка	ЮУрГТТУ, шифр 4945/4653	64,81	12,47	—	—	—	22,06	0,41	—	—	99,75	Включение борнита	
		94,24	1,37	2,24	0,34	—	—	—	2,48	—	100,66	Точечный анализ металла, фаза 1	
		95,91	3,60	—	0,41	—	—	—	—	—	99,81	Точечный анализ металла, фаза 2	
		95,51	3,16	0,63	0,47	—	—	—	—	0,23	—	100,00	Растровый анализ металла
		9,04	90,59	—	0,54	—	—	—	—	—	—	100,19	Железная составляющая
Поселение Левобережное, медно-железная капля	Музей-заповедник Аркаим, шифр 709С/2135	97,28	3,04	—	0,36	—	—	—	—	—	100,69	Медная составляющая	
		93,24	0,71	1,2	—	—	—	—	5,15	0,33	100,62	As-бронзовая фаза	
		9,47	88,86	0,63	0,72	—	—	—	—	—	—	99,68	Железная составляющая
		96,24	4,01	—	0,27	—	—	—	—	—	—	100,52	Медная составляющая
		93,26	1,80	1,57	—	—	—	—	3,34	0,36	—	100,33	As-бронзовая фаза
		4,38	92,91	2,03	—	—	—	—	—	0,62	—	99,95	Железная составляющая
		4,37	92,64	1,81	—	—	—	—	—	0,60	—	99,43	Железная составляющая
		85,65	4,36	—	—	—	—	—	—	9,75	—	99,77	Cu-Sb включение: центр
		58,49	4,70	—	—	—	—	—	—	36,71	—	99,88	Cu-Sb включение: периферия
		Поселение Коноплянка-2, железный шлак	ИИиА УрО РАН, шифр 746/1144-1145	0,98	98,29	—	—	—	—	—	—	—	99,26
1,17	99,09			—	—	—	—	—	—	—	100,26	Капля железа	
1,29	98,78			—	—	—	—	—	—	—	100,07	Капля железа	
Поселение Кент, железный металлургический шлак	ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, шифр К-1	—	100,00	—	—	—	—	—	—	—	100,00	Капля железа	
Поселение Кент, железный металлургический шлак	ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, шифр К-2	—	100,69	—	—	—	—	—	—	—	100,69	Капля железа	

Включения железа в медных шлаках на поселениях бронзового века обычно встречаются в виде отдельных капель. Примером такой находки могут служить включения железа в металлургических шлаках с поселения Устье I с примесями (в мас.%): Fe 88,4, As 6,4, Cu 5,1 (шифр 161у-10472) и Fe 97,0, Cu 0,7, Mg 1,06, Ni 0,5, Si 0,3, Cr 0,2 (шифр 161у-10864) (рис. 5, 1). Другие металлические включения в этих шлаках представлены каплями мышьяковых бронз, отмечаются также арсениды с составом (мас.%): As 40,0, Fe 39,3, Ni 2,9, Cu 1,8 [Блинов, Анкушев, 2018]. Минералогия обоих образцов выражена оливином, стеклом и реликтивными зёрнами хромшпинелидов, что в целом является характерной чертой шлаков синташтинской культуры Южного Зауралья.

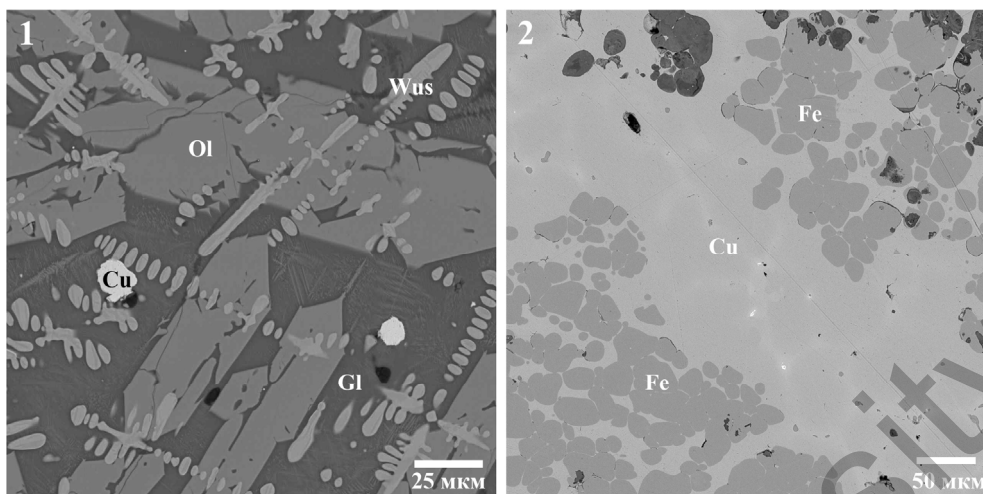


Рис. 4. Минералогия железосодержащих артефактов:

1 — скелетные кристаллы оливина (Ol) и вюстита (Wus) в матрице стекла (Gl) медного шлака с поселения Чебаркуль III, шифр 337ч/р30013; 2 — микроструктура медно-железной капли с поселения Левобережное, шифр 709С/2135.

Фото в отраженных электронах.

Fig. 4. Mineralogy of iron-bearing artifacts:

1 — skeletal crystals of olivine (Ol) and wüstite (Wus) in a glass matrix (Gl) of Chebarkul III settlement copper slag, code 337ч/р30013; 2 — microstructure of a copper-iron droplet from the Levoberezhnoye settlement, code 709C/2135. BSE image.

Таблица 3

Состав медной составляющей капли с поселения Левобережное (шифр 709С/2135) по данным ЛА-ИСП-МС

Table 3

Copper part composition of a droplet from the Levoberezhnoye settlement (code 709C/2135) according to LA-ICP-MS data

№ линии	мас.%			ppm											
	Cu	Fe	S	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Ni	Co	Au	Se	Te
1	95,8	2,56	0,15	472	88,0	3,70	56,0	855	3050	8820	1180	73,4	19,4	326	24,1
2	94,9	2,64	1,16	391	17,3	2,04	14,2	733	2600	7590	1286	89,7	17,3	146	16,1
3	94,1	4,66	0,33	292	5,27	2,43	3,58	510	1328	5840	1305	93,4	17,1	98,0	8,90
4	95,3	2,98	0,86	222	4,45	2,32	3,30	391	898	4940	1940	156	17,0	31,3	2,07
5	95,5	2,87	0,79	252	8,50	1,55	5,72	462	1096	5210	1265	62,3	14,4	79,0	6,70
Среднее	95,1	3,14	0,66	326	24,7	2,41	16,6	590	1794	6480	1395	95,0	17,0	136	11,6

Примечание: 1 ppm = 10⁻⁴ мас.%.

Таблица 4

Состав железной составляющей капли с поселения Левобережное (шифр 709С/2135) по данным ЛА-ИСП-МС

Table 4

Iron part composition of a droplet from the Levoberezhnoye settlement (code 709C/2135) according to LA-ICP-MS data

	Fe	Cu	Ni	S	Si	Mn	Cr	V	Ti	Sn	Pb	Mo	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Co	Au	Se	Te
1	82,1	16,0	1,5	1600	910	7,7	108	4	0,8	17,8	7,1	19,4	4,9	1,9	34,8	500	3057	1204	1,0	8,6	1,5
2	85,2	13,5	0,8	5500	1150	2,8	55	1,8	0,7	13,3	4,7	19,5	3,4	1,4	24,4	417	3687	696	1,3	18,6	0,6
3	86,8	11,7	1,0	3600	890	8,5	136	5,7	1,3	11,6	4,6	18	4,2	1,4	15,4	303	2991	768	1,4	18,5	0,3
4	86,2	12,2	1,1	1200	1660	9,3	113	3,9	1,4	10,7	3,7	17,9	3,8	1,0	16,8	312	3264	821	1,2	13,3	0,8
5	82,0	16,0	1,4	500	760	5,4	78	2,5	0,8	19,8	5,4	21,8	3,0	1,6	34,3	520	3727	1126	1,3	7,4	0,1

Примечание: 1 ppm = 10⁻⁴ мас.%.

Другим примером являются микровключения железа с примесями в многофазной сульфидно-металлической капле, обнаруженной в шлаке с поселения Ишкиновка (рис. 5, 2). Основная масса капли образована медью с примесью Fe (2,4 мас.%). В капле сохранились частично преобразованные реликты сульфидов (халькозина и борнита). Широко распространены включения железа различной формы с составом (мас.%): Fe 88,3, P 10,2, Ni 1,5.

На поселении Бозшаколь в пористом, слабо раскристаллизованном, лепешковидном шлаке обнаружены включения сульфида железа, по составу соответствующие троилиту, и капли железа (рис. 5, 3). Состав капель металла соответствует (мас.%): Fe 96–97,5, P 1,8, Cu 0,8, Si 0–0,5.

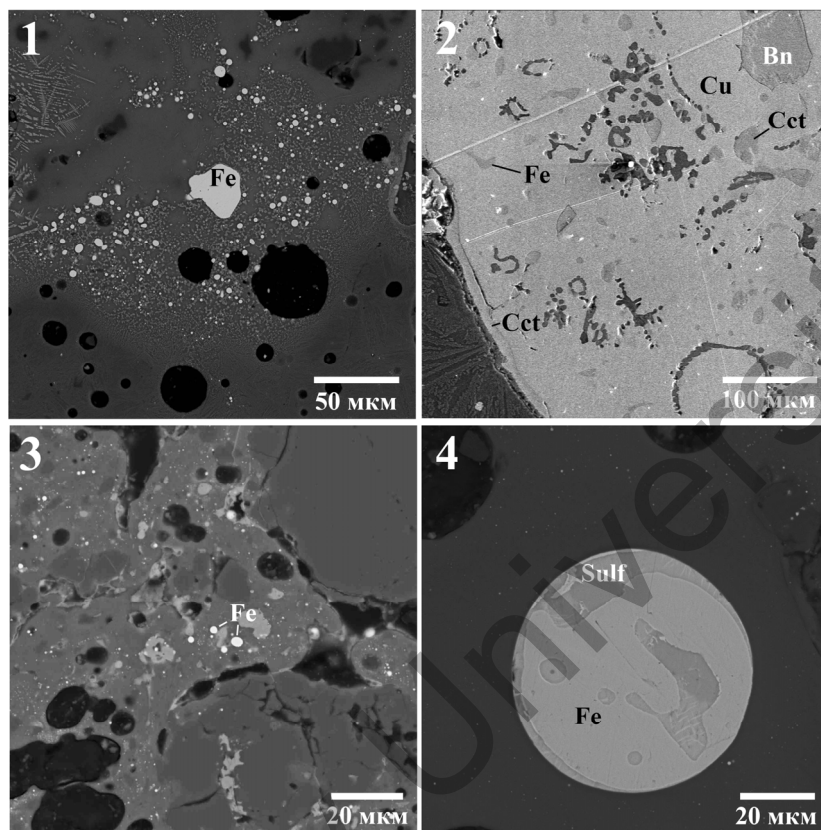


Рис. 5. Включения железа в медных шлаках позднего бронзового века:

1 — капли железа в медном шлаке с поселения Устье I, шифр 161у-10472; 2 — железо в борнит-халькозиновой (Bn, Cct) капле в медном шлаке с поселения Ишкиновка, шифр Ish-1; 3 — капли железа в пористом шлаке от выплавки меди с поселения Бозшаколь, шифр Бшз р1к8к9-1; 4 — железосульфидная капля в медном шлаке с поселения Балкан, шифр БК21_Б2_80-100-120_1.

Fig. 5. Iron inclusions in Late Bronze Age copper slags:

1 — iron droplets in Ustye I settlement copper slag, code 161у-10472; 2 — iron in a bornite-chalcocite (Bn, Cct) droplet in Ishkinovka settlement copper slag, code Ish-1; 3 — iron droplets in porous slag from the Bozshakol settlement, code Бшз р1к8к9-1; 4 — iron-sulfide droplet in copper slag from the Balkan settlement, code БК21_Б2_80-100-120_1.

В медных стекловатых сульфидсодержащих шлаках поселения Балкан зафиксированы многофазные округлые капли, образованные срастаниями железа, троилита и новообразованными Fe-Cu-сульфидами, которые развиты по периферии капель (рис. 5, 4). Фазы железа в каплях имеют состав (мас.%): Fe 88,4–92,1, Cu 7,4–10,7, Si 0,2–0,3, P 0–0,5, Al 0–0,4.

Железный шлак на поселении Коноплянка 2 найден при раскопках участка памятника, где были зафиксированы культурные остатки, отнесенные к двум строительным фазам — срубно-алакульской и черкаскульской. Шлак обнаружен в слое темно-серой супеси, соответствующей заполнению черкаскульской постройки. Фрагмент металлургического шлака имеет размер 3,5×2×2 см, шлак комковатый, черного цвета, поверхность покрыта буроватыми пленками оксидов железа (рис. 2, 5). Большая часть шлака (около 95 об.% от образца) состоит из вюстита с примесями Mg, Ca, Mn и Al, который образует сплошные массы, скелетные кристаллы и отдельные каплевидные агрегаты (рис. 6, 1). Также в шлаке присутствуют новообразованные скелетные и цепочечные кристаллы Ca-Fe оливина и небольшое количество высокощелочного низкокремнистого стекла. Стекло соответствует составу (мас.%): SiO₂ 42,6, FeO 20,6, Al₂O₃ 13,2, CaO 6,6, Na₂O 3,4, K₂O 9,3, P₂O₅ 2,3, TiO₂ 0,6, SO₃ 0,7. Металлические включения в шлаке представлены каплями железа размером до 20 мкм (рис. 6, 2). В них фиксируется примесь Cu 1–1,3 мас.% (табл. 2). Также в шлаке встречаются редкие субмикронные капли чистой меди.

Железный шлак на поселении Кент найден на участке Алат в шурфе на глубине 20–40 см вместе с керамикой валикового типа. Образец шлака черного, бурого цвета, размером 10×8×5 см (рис. 2, 4). Предварительные исследования минералогии и геохимических особенностей образца железного шлака ранее проводились методами РФА И СЭМ-ЭДА [Варфоломеев и др., 2016]. Минеральный состав шлака представлен фаялитом и вюститом, которые погружены в матрицу низкокремнистого стекла с составом (мас.%): SiO₂ 42,7, FeO 15,1, Al₂O₃ 21,7, CaO 5,1, Na₂O 5,1, K₂O 8, P₂O₅ 1,2, SO₃ 0,9. Основным минералом шлака является фаялит, который образует цепочечные и скелетные кристаллы, а также перистые индивиды. Широко распространен вюстит, который образует каплевидные формы, агрегаты, симплектиты в зернах оливина. Металлические включения в шлаке представлены железом — включениями кляксовидной формы. Шлак имеет весьма неоднородную структуру, включающую участки, обогащенные агрегатами железа и зоны, где железо практически не встречается (рис. 6, 3, 4).

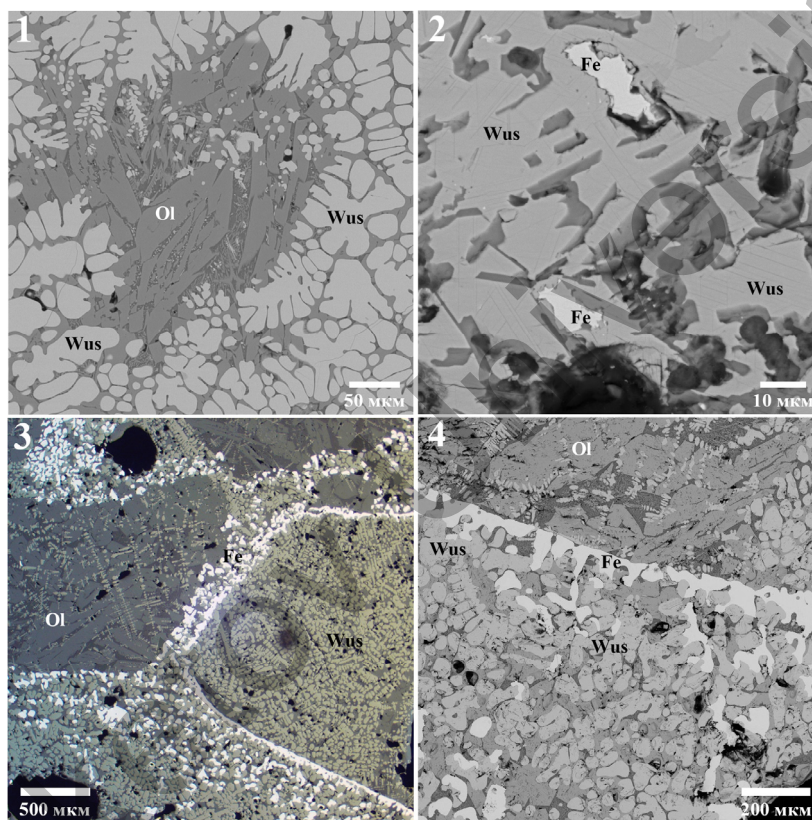


Рис. 6. Минералогия и текстурно-структурные особенности железных шлаков:

- 1 — цепочечные кристаллы оливина (Ol) и глобулярный вюстит (Wus) в шлаке с поселения Коноплянка-2; 2 — агрегаты железа в шлаке с поселения Коноплянка-2, шифр 746/1144-1145; 3 — гетерогенная структура железного шлака с поселения Кент; 4 — цепочечные кристаллы оливина (Ol) и глобулярный вюстит (Wus) в железном шлаке с поселения Кент, шифр К-1.

Fig. 6. Mineralogy and structural features of iron slags:

- 1 — chain crystals of olivine (Ol) and globular wustite (Wus) in Konoplyanka-2 settlement slag; 2 — iron aggregates in Konoplyanka-2 settlement slag, code 746/1144-1145; 3 — heterogeneous structure of iron slag from the Kent settlement; 4 — chain crystals of olivine (Ol) and globular wustite (Wus) in Kent settlement iron slag, code K-1.

Второй фрагмент железного шлака происходит также с участка Алат (жилище-мастерская 1) поселения Кент [Жауымбай, 2020]. Образец шлака бурого, красноватого цвета, размером 3×3×2 см (рис 2, 5). По минералогии и химическому составу сходен с ранее изученным фрагментом. Образован цепочечными кристаллами фаялита, скелетными кристаллами вюstitа и стеклом. Состав стекла также сходен с таковым первого образца (мас.%): SiO₂ 39,9, FeO 20,1, Al₂O₃ 19,2, CaO 9,8, Na₂O 3,7, K₂O 6,7, P₂O₅ 0,5, SO₃ 0,6. Металл представлен каплями чистого железа. Фрагмент шлака отличается от ранее изученного большей однородностью. Для установления возможных источников железного сырья нами был проведен ЛА-ИСП-МС каплеь железа в шлаке (обр. К-1). Анализ показал низкое содержание примесей черных и цветных металлов в желе-

зе. Присутствует примесь Cu с невысокими концентрациями в пределах 150–280 ppm. В некоторых точках анализа наблюдаются повышенные содержания Mn и V (табл. 5).

Таблица 5

**Состав капель железа в металлургическом шлаке с поселения Кент (обр. К-1)
по данным ЛА-ИСП-МС**

Table 5

Composition of iron droplets in metallurgical slag from the Kent settlement (sample K-1)
according to LA-ICP-MS data

№	мас. %		ppm																
	Fe	Si	Cu	Mn	Ti	Ni	V	Sn	Pb	Zn	Bi	Mo	Ag	Sb	As	Co	Au	Se	P
1	99,2	0,26	161	545	526	2,8	680	1,9	0,3	2,7	<0,1	1,8	<0,1	1,0	4,9	16,6	<0,1	4,9	96
2	100,0	0,05	276	2	<0,1	4,7	0,2	1,6	<0,1	1,2	<0,1	3,1	0,1	1,1	8,3	26,3	<0,1	4,6	84
3	99,9	0,04	203	1,6	0,6	8,6	0,2	1,6	<0,1	0,1	<0,1	3,3	<0,1	1,4	9	27,9	<0,1	1,5	1,5
4	97,3	1,13	257	84	35	7,8	2,4	2,5	<0,1	<0,1	<0,1	2,9	<0,1	1,1	12,4	28,4	<0,1	1,2	207
5	99,5	0,4	145	407	3,2	36	100	1,8	<0,1	0,7	<0,1	4,9	<0,1	1,2	15,7	26,0	<0,1	2,1	63
6	99,8	0,15	228	72	3,3	18,1	25,1	1,9	<0,1	1,2	<0,1	3,7	<0,1	1,4	15,5	30,2	<0,1	4,2	2,0
7	99,6	0,35	179	224	1	45,6	127	2,0	<0,1	1,0	<0,1	5,4	<0,1	1,1	18,2	28,4	<0,1	3,5	10
8	99,7	0,23	232	95	2,2	26,6	35,5	1,5	<0,1	<0,1	<0,1	3,1	<0,1	1,2	11,4	28,6	<0,1	1,1	20
9	98,1	0,8	201	387	271	4,8	520	2,2	0,2	1,8	<0,1	2,2	<0,1	1,3	7,4	18,8	<0,1	0,4	181
10	99,2	0,36	245	190	134	8,5	272	1,9	<0,1	1,6	<0,1	2,5	<0,1	1,5	10,6	32,6	<0,1	3,2	72
11	99,9	0,03	182	2,6	0,4	7,1	0,3	2,3	<0,1	1,1	<0,1	3,3	<0,1	0,9	9,9	16,7	<0,1	0,8	40
12	99,8	0,13	165	2,3	1,4	6,9	0,3	1,9	<0,1	0,4	<0,1	2,7	<0,1	0,7	5,6	19,0	<0,1	7,0	59
13	99,3	0,53	262	79	5,6	8,6	1,8	2,2	<0,1	1,0	<0,1	3,6	<0,1	1,5	18	34,4	<0,1	21	55
14	99,3	0,22	239	285	238	7,1	239	1,7	<0,1	1,8	<0,1	2,9	<0,1	1,7	10,6	28,0	<0,1	1,0	122
15	98,1	1,28	258	285	20,9	9,2	7,8	2,2	<0,1	0,3	<0,1	3,1	<0,1	1,7	12,2	33,5	<0,1	0,5	193

Обсуждение результатов

Медные изделия с высокой примесью железа

Исследование металлических изделий Южного Зауралья показало наличие в них мелких сульфидных включений. Широкое распространение сульфидов в совокупности с их малым общим количеством свидетельствует о металлургическом переделе смешанных окисленно-сульфидных рудных концентратов [Анкушев и др., 2021]. Высокие примеси железа в металлических предметах с поселений Чебаркуль III и Малая Березовая-4 коррелируют с наличием в них включений сульфидов с высокими примесями железа: борнита и дигенита. Примесь железа в нашивной бляшке поселения Чебаркуль III обусловлена не только сульфидной составляющей, но и Fe-As-Ni-Co минеральными включениями (из общих 4,27 мас.% Fe в бляшке только 2,64 мас.% Fe является примесью в металлической меди, остальное железо содержится в минеральных включениях). Это говорит о том, что высокое содержание железа в меди является особенностью использованной руды, а не целенаправленных технологических добавок железных минералов или технологии плавки. Ранее этот тезис был высказан Е.Н. Черных по результатам анализа медных изделий с примесью железа [1966]. Дополнительным подтверждением является единственный фрагмент металлургического шлака, обнаруженный на поселении Чебаркуль III. Низкокремнистый оливиновый состав шлака, значимая примесь Ni в каплях меди позволяют предположить, что источник меднорудного сырья был приурочен к ультраосновным массивам Главного Уральского разлома, развитым в окрестностях поселения. Медные руды месторождений этого типа обогащены железосодержащими минералами с повышенными концентрациями Ni и Co, геохимическая ассоциация которых также прослеживается в некоторых медных изделиях этого поселения [Артемьев и др., 2023].

Ярким примером изделий из железосодержащей меди являются орудия клада Сосновая Маза. Первоначально Е.Н. Черных предположил, что повышенные значения содержания железа в предметах клада связаны с выплавкой металла из медноколчеданных руд [1966]. Последние работы, посвященные серпам Сосновой Мазы и южноуральских поселений позднего бронзового века, значительно уточнили химический и изотопный состав этих предметов, при этом высокое содержание Fe в них (до 7,85 мас.%) объясняется выплавкой меди из халькопиритовых руд [Shishlina et al., 2022]. Однако на данный момент нет археологических свидетельств добычи и использования халькопирита в бронзовом веке на территории Урало-Казахстанского региона. Вертикальные горные выработки бронзового века на этой территории использовались для разработки зон окисления и цементации медных месторождений, их глубина недостаточна для вскрытия первичных сульфидных руд. Единичные подтвержденные находки зерен халькопирита в рудах

и шлаках на поселениях бронзового века являются аксессуарными и имеют микроскопические размеры, что подтверждает незначительную роль халькопирита в металлургии бронзового века степной зоны Северной Евразии [Блинов, Виноградов, 2021; Григорьев, 2013, с. 153, 269, 278, 285, 411, 460, 503, 523; Artemyev, Ankushev, 2019]. Напротив, при активном использовании первичных сульфидных руд различных типов месторождений, халькопирит и пирит в значительных количествах отмечаются в виде включений в металлургических шлаках памятников бронзового века, известных, например, на Балканах [Mehofer et al., 2021] или в Альпах [Artioli et al., 2015].

Медные шлаки и капли, содержащие железо

Находки капель железа в медных металлургических шлаках и побочных продуктах выплавки металла являются весьма распространенным явлением и не имеют прямого отношения к металлургии железа. Случаи находок агрегатов железа в медных шлаках на поселениях позднего бронзового века распространены довольно широко [Григорьев, 2013, с. 292, 410, 471, 550]. Капли железа также зафиксированы в экспериментальных образцах, полученных в ходе реконструкции выплавки меди на поселении Талдысай [Ермолаева, Русанов, 2022, с. 157–160]. Приведенные примеры можно значительно расширить, применив для исследования образцов шлаков электронный микроскоп с высокой разрешающей способностью, который позволит фиксировать и измерять состав микровключений менее 1 мкм.

Микровключения железа в шлаке образуются при высокой температуре в восстановительной атмосфере металлургического процесса получения меди из руд, при этом субстратом для них может служить: 1) меднорудная шихта, естественно или преднамеренно обогащенная оксигидроксидами железа, в случае образцов с поселений Устье I; 2) Fe-Cu-сульфидная меднорудная шихта, в случае образцов с поселений Ишкиновка, Балкан, Бозшаколь; 3) вюстит в металлургическом шлаке, при вторичном процессе восстановления его до железа (по: [Григорьев, 2013, с. 412]).

Вероятно, биметаллическая медно-железная капля с поселения Левобережное также получена в ходе передела железосодержащей меднорудной шихты. Ni-Co-As-Sb-S-Cr ассоциация капли свидетельствует, что она выплавлена из обогащенной железом сульфидной шихты с добавками As- и Sb-содержащих минералов. Многофазные Cu-Fe-Ni-As-S корольки в шлаках являются характерными для синташтинского периода функционирования поселения, позднее мог использоваться тот же источник рудного сырья [Петров и др., 2019].

Железные шлаки

Железный шлак с поселения Коноплянка-2 обладает рядом признаков, свойственных шлакам железной металлургии [Bauvais, Fluzin, 2009]. К ним относятся минеральный состав шлака, выраженный в основном глобулярными индивидами вюстита, и замещенные гидроокислами агрегаты железа. Наличие мелких капель меди и высокая примесь меди в каплях железа также позволяет отнести этот фрагмент к побочным продуктам цветной металлургии. На поселении Коноплянка-2 металлургия меди была развита на всем протяжении функционирования поселения, сырьем, вероятно, служили высокожелезистые окисленно-сульфидные руды, приуроченные к ультрабазитам [Корякова и др., 2020].

Совершенно иной характер имеют образцы железных шлаков с поселения Кент. Капли железа в шлаках практически не загрязнены примесями, характерными для металлургии меди (например, цветные металлы, As, S). Это исключает случайное восстановление металла из обогащенной железом шихты, а также производство металла из фрагментов «железной шляпы» медных месторождений, попавших в плавку. Железо на поселении Кент было получено целенаправленно в ходе передела именно железных руд. Невысокие примеси меди в каплях железа можно объяснить использованием одних и тех же производственных комплексов как для металлургии железа, так и для металлургии меди, которая являлась основной на поселении Кент [Григорьев, 2003; Варфоломеев и др., 2017, с. 69].

Идентичные по минералогии и структурно-текстурным особенностям железные шлаки были обнаружены на металлургических площадках западной Грузии, относящихся к позднему бронзовому — раннему железному веку [Erb-Satullo et al., 2014]. Как и на Кенте, основная деятельность металлургов была направлена на получение меди. Редкие находки железных шлаков свидетельствуют о получении железа на этих же производственных площадках.

Месторождение, откуда могла происходить железная руда, пока не установлено. Территория поселения Кент приурочена к Кентскому гранитному плутону каменноугольного периода, обрамленному с запада средне- и позднедевонскими вулканитами, а с востока вулканитами каркаралинской свиты. К зоне контакта девонских вулканитов и гранитов приурочены серии скарновых месторожде-

ний железа. Примером может служить месторождение Кентобе, расположенное в 25 км к северо-востоку от поселения. Залежь сложена магнетитом, который на поверхности и до глубины 20–25 м замещен окисленными мартитизированными рудами с содержанием железа до 55–65 % [Веймарн и др., 1977]. Весьма вероятно, что для получения железа на поселении Кент использовалась окисленная мартитизированная руда месторождения Кентобе или его близлежащих аналогов.

Заключение

Проведенные исследования показали, что большинство железосодержащих артефактов изученной выборки не имеют отношения к черной металлургии. Высокие примеси железа в медных металлических изделиях позднего бронзового века на территории Южного Зауралья обусловлены использованием высокожелезистых рудных концентратов. Сырьем для этих изделий являлись смешанные окисленно-сульфидные руды подзоны цементации вулканогенных и скарновых месторождений меди. Сульфидная минерализация в таких рудах была представлена борнитом, халькозином, ковеллином. Повышенные содержания железа характерны также для меди, выплавленной из руд, которые приурочены к ультраосновным массивам.

Капли железа, часто встречаемые в медных шлаках позднего бронзового века на территории Урало-Казахстанского региона, не имеют прямого отношения к металлургии железа. Это побочный продукт медной металлургии, образующийся при восстановлении металла из обогащенных железом компонентов шихты или флюсов (бурые железняки, сульфиды железа).

Находка железного вюститового шлака на поселении позднего бронзового века Коноплянка-2 также не является свидетельством металлургии железа. Об этом говорит единичный характер артефакта, его небольшой размер и наличие примеси меди в шлаке. Шлак, вероятно, представляет собой продукт воздействия высокой температуры и восстановительной атмосферы плавки на железосодержащий концентрат (например, бурые железняки), использовавшийся в качестве флюса.

Единственными артефактами, свидетельствующими о непосредственной выплавке металла из железной руды, являются фрагменты шлаков с поселения Кент. Железные шлаки к настоящему времени отмечены на некоторых других поселениях бегазы-дандыбаевской культуры в Центральном Казахстане: Шортанды-Булак и Суукбулак [Варфоломеев и др., 2016; Жауымбай, 2020; Маргулан, 2020, с. 183–185]. Редкие находки этих артефактов подтверждают крайне малые масштабы производства железа в бронзовом веке. Для этих опытов уже намеренно использовалась железная руда, однако в полноценную отрасль металлургия железа в Урало-Казахстанском регионе развилась значительно позднее, в середине I тыс. до н.э. [Koryakova, Kuzminykh, 2021].

В целом, открытие металлургии железа на основе передела железистых медноколчеданных руд на территории Урало-Казахстанских степей представляется весьма сомнительным фактом. Использование сульфидных руд здесь известно с XX в. до н.э. и распространяется повсеместно [Григорьев, 2013; Artemyev, Ankushev, 2019]. При этом первые железные шлаки и изделия появляются значительно позднее, и их находки являются очень разрозненными, даже единичными. Более вероятным представляется освоение черной металлургии на основе экспериментов с железными рудами. Примерами могут служить скарновые месторождения Центрального Казахстана, вероятно использовавшиеся горняками бегазы-дандыбаевской культуры, бурожелезняковые инфильтрационные и осадочные месторождения Среднего Урала, разрабатывавшиеся сообществами иткульской культуры [Артемьев и др., 2022].

Благодарности. Авторы выражают благодарность Д.А. Байтлеу, Н.Б. Виноградову, Е.В. Дубягиной за предоставление некоторых образцов шлаков; В.А. Котлярову за проведение ряда анализов; И.С. Степанову за ценные комментарии по минералогии железных шлаков.

Финансирование. Работы выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ 21-18-00576 «Предпосылки появления металлургии железа в горнолесной и лесостепной зонах Урала на рубеже бронзового и раннего железного веков» (Анкушев М.Н., Алаева И.П., Анкушева П.С., Артемьев Д.А., Блинов И.А.); археологическое сопровождение материалов поселения Коноплянка-2 выполнено в рамках госбюджетной темы Института истории и археологии УрО РАН (Пантелеева С.Е.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алаева И.П. Поселение бронзового века Малая Березовая-4 // Диалог культур Евразии в археологии Казахстана: Сборник науч. статей, посвященных 90-летию со дня рождения выдающегося археолога К.А. Акишева. Астана, 2014. С. 161–172.

Алаева И.П. Культурно-хронологическая позиция черкаскульско-межовских комплексов Южного Зауралья (по материалам поселения Чебаркуль III) // Древний Тургай и Великая степь: Часть и целое. Алматы, 2015. С. 474–484.

Природа некоторых железосодержащих артефактов Урало-Казахстанского региона...

Анкушев М.Н., Блинов И.А., Алаева И.П., Виноградов Н.Б., Петров Ф.Н., Анкушева П.С. Минеральные включения в металлических изделиях позднего бронзового века в Южном Зауралье // *Минералогия*. 2021. № 4. С. 70–82. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2021-7-4-5>

Анкушева П.С., Алаева И.П., Садыков С.А., Ын Ч. Ян., Анкушев М.Н., Зазовская Э.П., Рассадников А.Ю. «Степные коридоры» алакульских скотоводов: Результаты изотопных и палеоботанических исследований на поселении Чебаркуль III // *УИВ*. 2021. № 3. С. 26–38. [https://doi.org/10.30759/1728-9718-2021-3\(72\)-26-38](https://doi.org/10.30759/1728-9718-2021-3(72)-26-38)

Артемьев Д.А., Степанов И.С., Анкушева П.С. Ресурсно-сырьевая база иткульской металлургии раннего железного века Среднего Зауралья // *УИВ*. 2022. № 4. С. 55–68. [https://doi.org/10.30759/1728-9718-2022-4\(77\)-55-68](https://doi.org/10.30759/1728-9718-2022-4(77)-55-68)

Байтлеу Д.А., Шагирбаев М.С. Результаты палеозоологического анализа остеологического материала из поселения эпохи бронзы Балкан в центральном Казахстане // *Народы и религии Евразии*. 2021. № 4. С. 21–31. [https://doi.org/10.14258/nreur\(2021\)4-02](https://doi.org/10.14258/nreur(2021)4-02)

Блинов И.А., Анкушев М.Н. Формы нахождения меди и легирующих компонентов в шлаках поселения бронзового века Устье (Южный Урал) // *Вестник ЮУрГУ. Сер. Социально-гуманитарные науки*. 2018. № 2. С. 6–13. <https://doi.org/10.14529/ssh180201>

Блинов И.А., Виноградов Н.Б. Минеральный состав руд, использовавшихся на укрепленном поселении бронзового века Устье-I (Южное Зауралье) // *Теория и практика археологических исследований*. 2021. № 4. С. 166–184. [https://doi.org/10.14258/tpai\(2021\)33\(4\).-10](https://doi.org/10.14258/tpai(2021)33(4).-10)

Варфоломеев В.В. Кент — город бронзового века: Новые исследования в эпоху независимости // *Свидетели тысячелетий: Археологическая наука Казахстана за 20 лет (1991–2011)*. Алматы, 2011. С. 85–97.

Варфоломеев В.В., Анкушев М.Н., Блинов И.А. Металлургические шлаки из поселения Кент: (К проблеме начала получения железа на территории Казахстана) // *Вестник ЮУрГУ. Сер. Социально-гуманитарные науки*. 2016. № 2. С. 6–12. <https://doi.org/10.14529/ssh160201>

Варфоломеев В., Ломан В., Евдокимов В. Кент — город бронзового века в центре казахских степей. Астана: Казахский НИИ культуры, 2017. 338 с.

Веймарн А.Б., Максимов А.А., Петренко А.З., Розанов С.Б. Металлогения железа и марганца Центрального Казахстана // *Геология и полезные ископаемые Центрального Казахстана*. М.: Наука, 1977. С. 272–288.

Григорьев С.А. Металлургия эпохи бронзы Центрального Казахстана // *Степная цивилизация Восточной Евразии*. Астана: Кюльтегин, 2003. С. 136–158.

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

Дегтярева А.Д., Виноградов Н.Б., Кузьминых С.В., Рассомахин М.А. Металлические изделия алексеевско-саргаринской культуры среднего и верхнего Приоболья // *Вестник археологии, антропологии и этнографии*. 2019. № 4. С. 28–44. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2019-47-4-3>

Древнее Устье: Укрепленное поселение бронзового века в Южном Зауралье: Коллект. моногр. / Отв. ред. Н.Б. Виноградов; Науч. ред. А.В. Епимахов. Челябинск: АБРИС, 2013. 482 с.

Епимахов А.В., Петров Ф.Н. Радиоуглеродная хронология культурных традиций бронзового века Зауралья: по материалам поселения Левобережное (Синташта II) // *РА*. 2021. № 3. С. 67–79. <https://doi.org/10.31857/S086960630012103-2>

Ермолаева А.С., Русанов И.А. Экспериментальное моделирование металлургических печей поселения Талдысай // *Труды Института археологии им А.Х. Маргулана*. Алматы, 2022. Т. 4. 192 с.

Жауымбай С.У. Начало освоения железа в казахских степях в эпоху поздней бронзы: (Производственно-металлургический центр Алат в Сарыарке) // *Мир Большого Алтая*. 2020. № 2. С. 820–841.

Завьялов В.И., Терехова Н.Н. Археометаллография: Новый взгляд на старые проблемы истории железной индустрии // *Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов*. М., 2021. С. 131–143. <https://doi.org/10.25681/IARAS.2021.978-5-906045-24-9.131-143>

Корякова Л.Н., Краузе Р., Пантелеева С.Е., Столярчик Э., Булакова Е.А., Солдаткин Н.В., Рассадников А.Ю., Молчанова В.В., Анкушев М.Н., Молчанов И.В., Якимов А.С., Федорова Н.В., Носкевич В.В. Поселение Коноплянка 2 в Южном Зауралье: Новые аспекты исследования // *УИВ*. 2020. № 4. С. 61–73. [https://doi.org/10.30759/1728-9718-2020-4\(69\)-61-73](https://doi.org/10.30759/1728-9718-2020-4(69)-61-73)

Луньков В.Ю., Орловская Л.Б., Кузьминых С.В. Рентгено-флуоресцентный анализ: Начало исследований химического состава древнего металла // *Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов*. М.: ИА РАН, 2009. Вып. 1. С. 84–110.

Маргулан А.Х. Бегазы-дандыбаевская культура Центрального Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1979. 360 с.

Маргулан А.Х. Сарыарка. Горное дело и металлургия в эпоху бронзы. Жезказган — древний и средневековый металлургический центр (городище Милькудук). Алматы: ИА им. А.Х. Маргулана, 2020. 432 с.

Моргунова Н.Л., Кулькова М.А., Кульков А.М. Метеоритное железо в производственной и ритуальной практике ямной культуры Приуралья // *КСИА*. 2021. № 262. С. 190–206. <https://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.262>

От метеорита до крицы: Железо III — первой половины I тыс. до н.э. в Восточной Европе. Т. 1: Историография, База данных-1, начало новых исследований: Коллект. моногр. / Отв. ред.: М.Т. Кашуба, М.А. Кулькова. СПб.; Берлин: ИИМК РАН, 2021. 216 с. <https://doi.org/10.31600/978-5-907298-26-2>

Петров Ф.Н., Анкушев М.Н., Блинов И.А., Рассомахин М.А., Батанина Н.С., Малая Н.В. Новые данные по металлургии эпохи бронзы: Материалы поселения Левобережное (Синташта II) // Геоархеология и археологическая минералогия. Миасс; Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2019. С. 121–124.

Ткачев В.В. Ишкининский археологический микрорайон эпохи бронзы: Структура, периодизация, хронология // КСИА. 2011. № 225. С. 220–230.

Черных Е.Н. О химическом составе металла клада из Сосновой Мазы // КСИА. 1966. № 108. С. 123–131.

Черных Е.Н. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья. М. Наука, 1970. 181 с.

Ankusheva P.S., Zazovskaya E.P., Yuminov A.M., Ankushev M.N., Alaeva I.P., Epimakhov A.V. Radiocarbon chronology of Bronze Age mines in the Southern Trans-Urals: First results // Archaeological and Anthropological Science. 2022. № 14. 218. <https://doi.org/10.1007/s12520-022-01681-5>

Artemyev D.A., Ankushev M.N. Trace elements of Cu-(Fe)-sulfide inclusions in Bronze Age copper slags from South Urals and Kazakhstan: Ore sources and alloying additions // Minerals. 2019. № 9(12). 746. <https://doi.org/10.3390/min9120746>

Artoli G., Angelini I., Tecchiati U., Pedrotti A. Eneolithic copper smelting slags in the Eastern Alps: Local patterns of metallurgical exploitation in the Copper Age // Journal of Archaeological Science. 2015. № 63. P. 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.08.013>

Bauvais S., Fluzin P. Archaeological and Archeometrical Approaches of the Chaîne Opératoire in Iron and Steel making: Methodology for a Regional Evolution Study // Techniques and People: Anthropological perspectives on technology in the archaeology of the proto-historic and early historic periods in the Southern Levant. Workshop of the CRFJ. Jerusalem; P., 2009. P. 157–178.

Erb-Satullo N.L., Gilmour B.J.J., Khakhtaishvili N. Late Bronze and Early Iron Age copper smelting technologies in the South Caucasus: The view from ancient Colchis c. 1500–600 BC // Journal of Archaeological Science. 2014. № 49. P. 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.03.034>

Koryakova L., Kuzminykh S. Origin and Introduction of Iron in Northern Eurasia // Time and Materiality: Periodization and Regional Chronologies at the Transition from Bronze to Iron Age in Eurasia (1200–600 BCE). Rahden/Westf.: Leidorf, 2021. P. 299–332.

Mehofer M., Gavranovic M., Kapuran A., Mitrovic J., Putica A. Copper production and supra-regional exchange networks — Cu-matte smelting in the Balkans between 2000 and 1500 BC // Journal of Archaeological Science. 2021. № 129, 105378. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105378>

Park J.S., Voyakin D., Beisenov A. The implication of diachronic changes reflected in LBA bronze assemblages of Central Kazakhstan // Archaeological and Anthropological Science. 2020. 12. 7. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00989-z>

Shishlina N.I., Loboda A.Yu., Bogdanov S.V., Vaschenkova E.S., Tereschenko E.Yu. Sickles from the Sosnovaya Maza hoard of the Late Bronze Age from the Lower Volga region: Technological analyses, experiments and chronology // Journal of Archaeological Science: Reports. 2022. № 44. 103539. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103539>

**Ankushev M.N.^{a,*}, Alaeva I.P.^b, Ankusheva P.S.^{a,b}, Artemyev D.A.^a, Blinov I.A.^a,
Varfolomeev V.V.^c, Panteleeva S.E.^d, Petrov F.N.^e**

^a South Ural Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, territory of the Ilmensky State Reserve, Miass, 456317, Russian Federation

^b South Ural State Humanitarian-Pedagogical University prosp. Lenina, 69, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation

^c Karaganda Buketov University, University, st. 28, Karaganda, 100024, Republic of Kazakhstan

^d Institute of History and Archaeology UB RAS, S. Kovalevskoy st., 16, Yekaterinburg, 620108, Russian Federation

^e Chelyabinsk State University, Br. Kashirinykh st., 129, Chelyabinsk, 454001, Russian Federation

E-mail: ankushev_maksim@mail.ru (Ankushev M.N.); artemyev@mineralogy.ru (Artemyev D.A.); ivan_a_blinov@mail.ru (Blinov I.A.); alaevaira@mail.ru (Alaeva I.P.); polenke@yandex.ru (Ankusheva); vicvarfolomeev@mail.ru (Varfolomeev V.V.); spanteleyeva@mail.ru (Panteleeva S.E.); steppe_exp@mail.ru (Petrov F.N.)

The nature of some Late Bronze Age iron-bearing artefacts of the Ural-Kazakhstan region

The problem of the beginning of iron production in the Late Bronze Age of the Ural-Kazakhstan region is discussed. For this, 13 iron-bearing artefacts from nine settlements that functioned in the 2nd mil. BC were studied using the SEM-EDS and LA-ICP-MS methods: metal objects, metallurgical slags, and a bimetallic droplet. Most of the studied artefacts are not related to the iron metallurgy. High ferric impurities in copper metal products of the Late Bronze Age on the territory of the Southern Trans-Urals are caused by the use of iron-rich ore concentrates. The raw materials for these products were represented by mixed oxidized-sulphide ores from the cementation subzone of the volcanogenic massive sulphide and skarn copper deposits. Iron droplets, frequently found in the

* Corresponding author.

Late Bronze Age copper slag in the Ural-Kazakhstan region, are not directly related to iron metallurgy. They are by-products of the copper metallurgy formed in the process of copper extraction from the iron-rich components of the furnace charge or fluxes (brown iron ore, iron sulphides). The only artefacts that indicate direct smelting of metal from iron ore are the slag fragments from the Kent settlement. Presumably, oxidized martitized ore of the Kentobe skarn deposit or its nearby analogues was used to extract iron at the Kent settlement. Rare finds of iron slags from the Late Bronze Age, known only in the territory of Central Kazakhstan, confirm an extremely small scale of iron production. Iron ore had been already deliberately used for these experiments. However, iron metallurgy in the Ural-Kazakhstan region developed into a mature industry much later. The discovery of iron metallurgy based on the smelting of copper-sulphide ores in the Ural-Kazakhstan steppes is doubtful. The use of sulphide ores here is known from the 20th c. BC, and it was widespread. In the meantime, the first iron slags and products appear much later, and their finds are sporadic. The development of iron metallurgy on the basis of experiments with iron ores seems more likely.

Keywords: iron metallurgy, copper metallurgy, Late Bronze Age, Final Bronze Age, South Trans-Urals, Republic of Kazakhstan.

Acknowledgments. The authors are grateful to D.A. Baitleu, E.V. Dubyagina, N.B. Vinogradov for presenting some slag samples; V.A. Kotlyarov for conducting a series of analyses; I.S. Stepanov for valuable comments on the iron slags mineralogy.

Funding. The work was supported by the RSF project № 21-18-00576 "Contributing factors for the development of iron metallurgy in mountain-forest and forest-steppe zones of the Urals during late Bronze Age / early Iron Age transition" (Ankushev M.N., Alaeva I.P., Ankusheva P.S., Artemyev D.A., Blinov I.A.); archaeological support of Konoplyanka-2 settlement materials was carried out within the framework of the Institute of History and Archeology UB RAS budgetary theme (Panteleeva S.E.).

REFERENCES

- Alaeva, I.P. (2014). Settlement of the Bronze Age Malaya Berezovaya-4. In: *Dialog kul'tur Yevrazii v arkheologii Kazakhstana: Sbornik nauchnykh statey, posvyashchennykh 90-letiyu so dnya rozhdeniya vydayushchegosya arkheologa K.A. Akisheva*. Astana, 161–172. (Рус.).
- Alaeva, I.P. (2015). Cultural and chronological position of the Southern Trans-Urals Cherkaskul-Mezhovka complexes (based on the Chebarkul III settlement materials). In: *Drevniy Turgay i Velikaya step': Chast' i tseloye*. Almaty, 474–484. (Рус.).
- Ankushev, M.N., Blinov, I.A., Alaeva, I.P., Vinogradov, N.B., Petrov, F.N., Ankusheva, P.S. (2021). Mineral inclusions in the Late Bronze Age metal objects of Southern Transurals. *Mineralogiya*, (4), 70–82. (Рус.). <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2021-7-4-5>
- Ankusheva, P.S., Alaeva, I.P., Sadykov, S.A., Ng, Y.C., Ankushev, M.N., Zazovskaya, E.P., Rassadnikov, A.Yu. (2021). "Steppe corridors" of Alakul pastoralists: Isotope and paleobotanical studies at the Chebarkul III settlement. *Ural'skiy istoricheskiy vestnik*, (3), 26–38. (Рус.). [https://doi.org/10.30759/1728-9718-2021-3\(72\)-26-38](https://doi.org/10.30759/1728-9718-2021-3(72)-26-38)
- Ankusheva, P.S., Zazovskaya, E.P., Yuminov, A.M., Ankushev, M.N., Alaeva, I.P., Epimakhov, A.V. (2022). Radiocarbon chronology of Bronze Age mines in the Southern Trans-Urals: First results. *Archaeological and Anthropological Science*, (14). <https://doi.org/10.1007/s12520-022-01681-5>
- Artemyev, D.A., Ankushev, M.N. (2019). Trace elements of Cu-(Fe)-sulfide inclusions in Bronze Age copper slags from South Urals and Kazakhstan: Ore sources and alloying additions. *Minerals*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/min9120746>
- Artemyev, D.A., Stepanov, I.S., Ankusheva, P.S. (2022). Metallic ore resources in the itkul culture of the Middle Trans-urals during the Early Iron Age. *Ural'skiy istoricheskiy vestnik*, (4), 55–68. (Рус.). [https://doi.org/10.30759/1728-9718-2022-4\(77\)-55-68](https://doi.org/10.30759/1728-9718-2022-4(77)-55-68)
- Artioli, G., Angelini, I., Tecchiati, U., Pedrotti, A. (2015). Eneolithic copper smelting slags in the Eastern Alps: Local patterns of metallurgical exploitation in the Copper Age. *Journal of Archaeological Science*, (63), 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.08.013>
- Baitleu, D.A., Shagirbaev, M.S. (2021). Results of paleozoological analysis of osteological material from Bronze Age settlements the Balkan in Central Kazakhstan. *Peoples and religions of Eurasia*, (4), 21–31. (Рус.). [https://doi.org/10.14258/nreur\(2021\)4-02](https://doi.org/10.14258/nreur(2021)4-02)
- Bauvais, S., Fluzin, P. (2009). Archaeological and Archeometrical Approaches of the Chaîne Opératoire in Iron and Steel making: Methodology for a Regional Evolution Study. In: *Techniques and People: Anthropological perspectives on technology in the archaeology of the proto-historic and early historic periods in the Southern Levant*. Workshop of the CRFJ, Jerusalem, Paris, 157–178.
- Blinov, I.A., Ankushev, M.N. (2018). Forms of copper and alloying components in the slags of the ancient settlement Ustye (South Ural). *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Sotsial'no-gumanitarnyye nauki*, (2), 6–13. (Рус.). <https://doi.org/10.14529/ssh180201>
- Blinov, I.A., Vinogradov, N.B. (2021). Mineral composition of ores used at Ustye-I, a fortified settlement of the Bronze Age (Chelyabinsk region). *Teoriya i praktika arkheologicheskikh issledovaniy*, (4), 166–184. (Рус.). [https://doi.org/10.14258/tpai\(2021\)33\(4\).-10](https://doi.org/10.14258/tpai(2021)33(4).-10)

- Chernykh, E.N. (1966) On the chemical composition of the metal of the hoard from Sosnovaya Maza. *Kratkiye soobshcheniya o dokladakh i polevykh issledovaniyakh Instituta arkheologii*, (108), 123–131. (Rus.).
- Chernykh, E.N. (1970). *Ancient metallurgy of the Urals and the Volga region*. Moscow: Nauka. (Rus.).
- Degtyareva, A.D., Vinogradov, N.B., Kuzminykh, S.V., Rassomahin, M.A. (2019). Metal products of the Alekseyevka-Sargary culture from the Middle and Upper Tobol areas. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (4), 28–44. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2019-47-4-3>
- Epimakhov, A.V., Petrov, F.N. (2021). Radiocarbon chronology of the Bronze Age cultural traditions in the Trans-Urals: Based on the materials of the Levoberezhnoe (Sintashta II) settlement. *Rossiiskaia arkheologiya*, (3), 67–79. (Rus.). <https://doi.org/10.31857/S086960630012103-2>
- Erb-Satullo, N.L., Gilmour, B.J.J., Khakhutaishvili, N. (2014) Late Bronze and Early Iron Age copper smelting technologies in the South Caucasus: The view from ancient Colchis c. 1500–600 BC. *Journal of Archaeological Science*, (49), 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.03.034>
- Ermolaeva, A.S., Rusanov, I.A. (2022) Experimental modeling of metallurgical furnaces in the Taldysai settlement. In: *Trudy Instituta arkheologii im A.Kh. Margulana. T. 4*. Almaty. (Rus.).
- Grigoriev, S.A. (2003). Metallurgy of the Bronze Age of Central Kazakhstan. In: *Stepnaya tsivilizatsiya Vostochnoy Yevrazii*. Astana: Kultegin, 136–158. (Rus.).
- Grigoriev, S.A. (2013). *Metallurgical production in Northern Eurasia in the Bronze Age*. Chelyabinsk: Tsitsero. (Rus.).
- Kashuba, M.T., Kulkova, M.A. (Eds.). (2021). *From Meteorite to Iron Bloom: Iron of the 3rd — the first half of the 1st millennium BC in Eastern Europe. Volume 1: Historiography, Database-1, initiation of new studies*. St. Petersburg; Berlin: Institut istorii material'noy kul'tury RAN. (Rus.). <https://doi.org/10.31600/978-5-907298-26-2>
- Koryakova, L.N., Krause, R., Panteleeva, S.E., Stolyarchik, E., Bulakova, E.A., Soldatkin, N.V., Rassadnikov, A.Yu., Molchanova, V.V., Ankushev, M.N., Molchanov, I.V., Yakimov, A.S., Fedorova, N.V., Noskevich, V.V. (2020). The settlement of Konoplyanka 2 in the Southern Trans-Urals: New aspects of research. *Ural'skiy istoricheskiy vestnik*, (4), 61–73. (Rus.). [https://doi.org/10.30759/1728-9718-2020-4\(69\)-61-73](https://doi.org/10.30759/1728-9718-2020-4(69)-61-73)
- Koryakova, L., Kuzminykh, S. (2021). Origin and Introduction of Iron in Northern Eurasia. In: *Time and Materiality: Periodization and Regional Chronologies at the Transition from Bronze to Iron Age in Eurasia (1200–600 BCE)*. Rahden/Westf.: Leidorf, 299–332.
- Lunkov, V.Yu., Orlovskaya, L.B., Kuzminykh, S.V. (2009). X-ray fluorescence analysis: The beginning of research into the chemical composition of ancient metal. In: Chernykh E.N. (Ed.) *Analiticheskiye issledovaniya laboratorii yestestvennonauchnykh metodov*. Moscow: Taus, 84–110. (Rus.).
- Margulan, A.Kh. (1979). *Begazy-Dandybay culture of Central Kazakhstan*. Alma-Ata: Nauka. (Rus.).
- Margulan, A.Kh. (2020). *Saryarka. Mining and metallurgy in the Bronze Age. Jezkazgan — ancient and medieval metallurgical center (ancient settlement Milikuduk)*. Almaty: Institut arkheologii imeni A.Kh. Margulana.
- Mehofer, M., Gavranovic, M., Kapuran, A., Mitrovic, J., Putica, A. (2021). Copper production and supra-regional exchange networks — Cu-matte smelting in the Balkans between 2000 and 1500 BC. *Journal of Archaeological Science*, (129), 105378. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105378>
- Morgunova, N.L., Kulkova, M.A., Kulkov, A.M. (2021). Meteoric iron in production and religious practice of the yamnaya culture in the Urals region. *Kratkiye soobshcheniya Instituta arkheologii*, (262), 190–206. (Rus.). <https://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.262>
- Park, J.S., Voyakin, D., Beisenov, A. (2020). The implication of diachronic changes reflected in LBA bronze assemblages of Central Kazakhstan. *Archaeological and Anthropological Science*, (12), 7. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00989-z>
- Petrov, F.N., Ankushev, M.N., Blinov, I.A., Rassomakhin, M.A., Batanina, N.S., Malaya, N.V. (2019). New data on the metallurgy of the Bronze Age: Materials from the settlement of Levoberezhnoye (Sintashta II). In: *Geoarkheologiya i arkheologicheskaya mineralogiya*. Miass; Yekaterinburg: Fort Dialog-Iset, 121–124. (Rus.).
- Shishlina, N.I., Loboda, A.Yu., Bogdanov, S.V., Vaschenkova, E.S., Tereschenko, E.Yu. (2022). Sickles from the Sosnovaya Maza hoard of the Late Bronze Age from the Lower Volga region: Technological analyses, experiments and chronology. *Journal of Archaeological Science: Reports*, (44), 103539. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103539>
- Tkachev, V.V. (2011). The Bronze Age Ishkinovka archaeological micro-region: Structure, periodization, chronology. *Kratkiye soobshcheniya Instituta arkheologii*, (225), 220–230. (Rus.).
- Varfolomeev, V.V. (2011). Kent is a Bronze Age city: New research in the era of independence. In: *Svideteli tysyacheletiy: Arkheologicheskaya nauka Kazakhstana za 20 let (1991–2011)*. Almaty, 85–97. (Rus.).
- Varfolomeev, V.V., Ankushev, M.N., Blinov, I.A. (2016). Metallurgical slag from the Kent settlement (about the problem of iron producing starting on the Kazakhstan territory). *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Sotsial'no-gumanitarnyye nauki*, (2), 6–12. (Rus.). <https://doi.org/10.14529/ssh1602011977>
- Varfolomeev, V., Loman, V., Evdokimov, V. (2017). *Kent — the Bronze Age city in the center of Kazakh steppes*. Astana: Kazakhskii nauchno-issledovatel'skii institut kul'tury. (Rus.).
- Veimarn, A.B., Maksimov, A.A., Petrenko, A.Z., Rozanov, S.B. (1977). Metallogeny of iron and manganese of Central Kazakhstan. In: *Geologiya i poleznyye iskopayemyye Tsentral'nogo Kazakhstana*. Moscow: Nauka, 272–288. (Rus.).

Природа некоторых железосодержащих артефактов Урало-Казахстанского региона...

Vinogradov, N.B., Epimakhov, A.V. (Eds.) (2013). *Ancient Ustye: Bronze Age Fortified Settlement in the Southern Trans-Urals*. Chelyabinsk: ABRIS. (Rus.).

Zavyalov, V.I., Terekhova, N.N. (2021). Archeometallography: A new look at old problems in the history of the iron industry. In: *Analiticheskiye issledovaniya laboratorii yestestvennonauchnykh metodov*. Moscow: Taus, 131–143. (Rus.). <https://doi.org/10.25681/IARAS.2021.978-5-906045-24-9.131-143>

Zhauymbay, S.U. (2020). The beginning of the iron development in the the Late Bronze Age Kazakh steppes: (Industrial and metallurgical center Alat in Saryarka). *Mir Bol'shogo Altaya*, (2), 820–841. (Rus.).

Анкушев М.Н., <https://orcid.org/0000-0001-9628-5546>

Алаева И.П., <https://orcid.org/0000-0001-8322-5835>

Анкушева П.С., <https://orcid.org/0000-0002-1826-9919>

Артемьев Д.А., <https://orcid.org/0000-0003-1813-8932>

Блинов И.А., <https://orcid.org/0000-0001-7397-4760>

Варфоломеев В.В., <https://orcid.org/0000-0002-3598-2345>

Пантелеева С.Е., <https://orcid.org/0000-0002-0816-7900>

Петров Ф.Н., <https://orcid.org/0000-0001-8212-7424>

Сведения об авторах:

Анкушев Максим Николаевич, кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, территория Ильменский заповедник, Миасс.

Алаева Ирина Павловна, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, Челябинск.

Анкушева Полина Сергеевна, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, Челябинск,

Артемьев Дмитрий Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, территория Ильменский заповедник, Миасс.

Блинов Иван Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, территория Ильменский заповедник, Миасс.

Варфоломеев Виктор Васильевич, кандидат исторических наук, доцент, Карагандинский государственный университет им. Е. А. Букетова, Караганда.

Пантелеева Софья Евгеньевна, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник, Институт истории и археологии УрО РАН, Екатеринбург.

Петров Федор Николаевич, кандидат философских наук, заместитель директора Учебно-научного центра изучения проблем природы и человека, Челябинский государственный университет, Челябинск.

About the authors:

Ankushev Maksim N., candidate of geological and mineralogical science, junior researcher, South Ural Federal Research Center of Mineralogy and Geocology UB RAS, territory of Ilmensky State Reserve, Miass.

Alaeva Irina P., candidate of historical science, senior researcher, South Ural State Humanitarian-Pedagogical University, Chelyabinsk.

Ankusheva Polina S., candidate of historical science, senior researcher, South Ural State Humanitarian-Pedagogical University, Chelyabinsk.

Artemyev Dmitriy A., candidate of geological and mineralogical science, researcher, Federal Research Center of Mineralogy and Geocology UB RAS, territory of Ilmensky State Reserve, Miass.

Blinov Ivan A., candidate of geological and mineralogical science, researcher, Federal Research Center of Mineralogy and Geocology UB RAS, territory of Ilmensky State Reserve, Miass.

Varfolomeev Victor V., candidate of historical science, Associate Professor, Karaganda Buketov University, Karaganda.

Panteleeva Sofia E., candidate of historical science, senior researcher, Institute of History and Archaeology UB RAS, Yekaterinburg.

Petrov Fedor N., candidate of philosophical science, Deputy Director of the Educational and Scientific Center for the Study of the Problems of Nature and Man, Chelyabinsk State University, Chelyabinsk State University, Chelyabinsk.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Accepted: 08.06.2022

Article is published: 15.09.2023