

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

ВЕСТНИК АРХЕОЛОГИИ, АНТРОПОЛОГИИ И ЭТНОГРАФИИ

Сетевое издание

**№ 4 (67)
2024**

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, академик 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;
Лакельма 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>

© ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, 2024

**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

**№ 4 (67)
2024**

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>

Артемьев Д.А.^{a,*}, Дегтярева А.Д.^b, Кузьминых С.В.^c, Орловская Л.Б.^c,
Алаева И.П.^d, Виноградов Н.Б.^d

^a ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, тер. Ильменский заповедник, Миасс, 456317

^b ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, ул. Червишевский тракт, 13, Тюмень, 625008

^c Институт археологии РАН, ул. Дм. Ульянова, 19, Москва, 117292

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

E-mail: artemyev@mineralogy.ru (Артемьев Д.А.); adegtyareva126@gmail.com (Дегтярева А.Д.);
kuzminykhsv@yandex.ru (Кузьминых С.В.); lbor147@rambler.ru (Орловская Л.Б.); alaevaira@mail.ru (Алаева И.П.);
vinogradov_n@mail.ru (Виноградов Н.Б.)

ХИМИЗМ ОЛОВЯННЫХ БРОНЗ И ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОЛОВА УРАЛА И КАЗАХСТАНА В ПОЗДНЕМ БРОНЗОВОМ ВЕКЕ

Рассмотрены геохимические группы, выделенные по данным ЛА-ИСП-МС-анализа оловянных бронз Урало-Казахстанского региона позднего бронзового века. На основании статистического анализа 13 элементов-примесей по 72 бронзовым и оловосодержащим медным изделиям памятников ПБВ II — начала I тыс. до н.э. Южного Зауралья и Северного Казахстана установлено 7 химически контрастных групп, которые маркируют различные типы источников олова. Значительная часть металла отражает полиметаллический характер месторождений олова, которые, вероятно, связаны со структурами Северного и Центрального Казахстана, где олово добывалось параллельно с медными рудами. Вторая часть выборки — без явной корреляции олова с другими металлами — отражает касситеритовый тип руд. В ней отчетливо наблюдается корреляция As-Co-Ni±(Sb, Fe, Au), которая характерна для медных месторождений Урала, что свидетельствует о легировании уральских медных руд касситеритовыми лигатурами. Приведены данные по металлогении олова, химизму руд, типам месторождений и известным древним рудникам Северного, Центрального и Восточного Казахстана, которые могли являться источниками сырья в металлургии позднего бронзового века.

Ключевые слова: поздний бронзовый век, Урал, Казахстан, оловянная бронза, олово, элементы-примеси, месторождения олова.

Ссылка на публикацию: Артемьев Д.А., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В., Орловская Л.Б., Алаева И.П., Виноградов Н.Б. Химизм оловянных бронз и возможные источники олова Урала и Казахстана в позднем бронзовом веке // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2024. 4. С. 19–35. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2024-67-4-2>

Введение

Олово — один из древнейших металлов, известных человечеству. Использование оловянных бронз, выплавленных из природнолегированных медно-оловянных руд, датируется серединой — концом V тыс. до н.э. [Thornton et al., 2002; Radivojević et al., 2013], а свидетельства добычи олова — началом III тыс. до н.э. [Cierny, Weisgerber, 2003]. В эпоху ранней и средней бронзы на большей части Евразии повсеместно доминируют изделия из металлургически «чистой» меди и мышьяковой бронзы [Авилова, Черных, 1989]. В системе ЦМП сплавы с оловом появляются еще в РБВ на Ближнем Востоке, в Месопотамии, Иране, но заметными они становятся только в СБВ. На юге их суммарная доля достигает 30 %, тогда как на севере они не получают широкого распространения [Авилова, 2008].

Расцвет использования оловянных бронз приходится на раннюю фазу ЕАМП (конец III — первая треть II тыс. до н.э.), когда в результате резких климатических изменений около 2200 cal BC, вызвавших аридизацию и затронувших значительную часть Старого Света, произошел слом системы ЦМП и прекратились поставки кавказской мышьяковой бронзы в степи Восточной Европы. Мышьяковые медь и бронзы еще производят в уральских абашевских и синташтинских центрах, но параллельно с ними в восточных очагах ЕАМП внедряются революционные новации в технологии металлопроизводства: оловянные бронзы и тонкостенное литье втульчатых орудий и оружия. Они связаны с культурами, которые локализованы на Алтае, в западносибир-

* Corresponding author.

ской лесостепи, зауральской тайге, северной лесостепи и лесах Восточной Европы и отождествляются с памятниками сейминско-турбинского (СТ) типа и культурами, участвовавшими в сложении уникального транскультурного феномена (одиновская, ранняя кротовская, елунинская, алкабекский тип памятников, раннеглазковская и др.) [Черных, Кузьминых, 1989; Кирюшин, 2002; Молодин и др., 2018]. Лигатура для получения оловянных и оловянно-мышьяковых бронз была получена в горно-металлургических центрах Рудного Алтая. Причем установлено, что в восточной зоне ареала, в бассейнах Иртыша и Верхней Оби, доля бронз Cu+Sn и Cu+Sn+As и само содержание олова в сплавах заметно возрастают по сравнению с памятниками западной (европейской) зоны [Черных, Кузьминых, 1989, табл. 10].

На протяжении последующих этапов развития ЕАМП бронзы Cu+Sn и Cu+Sn+As являлись основным типом сплавов в металлообработке петровской, алакульской и федоровской культур андроновского мира [Черных, 1970; Кузьминых, Черных, 1985. с. 350; Дегтярева и др., 2020; Дегтярева, Кузьминых, 2022]; они шли главным образом на изготовление украшений, оружия и значительной части орудий. Сплавы, легированные оловом, доминировали во всех производящих центрах алексеевско-саргаринской культуры, составляя на севере Казахстана 68,7 %, в центре — 80,5 %, на востоке — 88,5 % [Агапов и др., 2012]. Из сплавов Cu+Sn и Cu+Sn+As отлито подавляющее большинство предметов (в равной мере украшений, орудий и оружия) в памятниках андроновидных культур лесостепи и юга лесной зоны Западной Сибири: Черноозерье 1 — 90,1 %, Еловка 1 — 88,6 %, Сопка 2 — 76,6 % [Кузьминых, 2009, рис. 4]. В финале бронзового века на периферии ЕАМП, в частности в очагах металлообработки маклашеевской культуры Волго-Камья и восточного варианта ирменской культуры (Верхнее Приобье и Кузнецкая котловина), бронзы Cu+Sn и Cu+Sn+As замещаются сплавами Cu+As и Cu+As+Sb (без легирования оловом), а также «чистой» медью [Бобров и др., 1997, табл. 3, 4]. Но на основной территории провинции в арсенале литейщиков основным сырьем по-прежнему оставались бронзы Cu+Sn и Cu+Sn+As, поступавшие из ГМЦ Рудного Алтая и Казахстана.

Важным вопросом в исследовании металлургии позднего бронзового века (ПБВ) является установление источников олова. Этой проблеме в последние годы посвящено немало работ [Stöllner et al., 2011; Berger et al., 2019; 2023; Powell et al., 2021], в которых значительное внимание уделено крупным оловоносным районам Средней и Центральной Азии — Гиссарскому, Зирабулакскому, Памирскому, Афгано-Бадахшанскому, Гиндукушскому с многочисленными рудниками, разрабатывавшимися в древности. В публикациях на основании химических и изотопных данных сделана попытка установить источники олова для Бактрийско-Маргианской и южной части андроновского археологического комплекса Средней Азии. Однако в них не отражены оловорудные районы Центрального и Северного Казахстана, являвшиеся с большой вероятностью рудно-сырьевой базой для металлургии ЕАМП, в том числе Урала, на разных этапах развития, включая ранний, связанный с распространением петровско-нуртайских древностей и началом активного освоения рудных ресурсов Казахстана [Ермолаева и др., 2020].

При том что самородное олово впервые было открыто в 1844 г. Р. Германном в россыпи р. Миасс на Южном Урале, собственные оловорудные месторождения в уральских структурах отсутствуют [Реков, 1998]. В исторической литературе утвердилось мнение, что основные пути поставки олова и Sn-бронз на Урал, а также в Северный и Центральный Казахстан были связаны с Рудным Алтаем, где известны многочисленные касситеритовые месторождения [Айтиалиев и др., 1956] и выявлены древние оловянные рудники II–I тыс. до н.э. [Маргулан, 2001; Stöllner et al., 2011]. Однако на наличие и возможность использования в древней металлургии олова из 60 рудных проявлений и 20 россыпей Атасуских и Прибалхашских месторождений указал еще в конце 50-х гг. XX в. Г.Б. Жилинский [1959].

В связи с отсутствием целенаправленных археологических раскопок оловянных рудников, производственных объектов, связанных с переработкой руды и выплавкой олова, а также значимого сопоставления химических и изотопных анализов проблема распространения олова в эпоху бронзы все еще остается нерешенной. В статье на основании химического состава и элементов-примесей предпринята попытка разграничить оловянные бронзы ПБВ азиатской зоны ЕАМП — выделить несколько химических групп, характеризующих различные источники олова (и частично источники меди). Исследования в некоторых случаях затруднены невозможностью однозначно разграничить примесные элементы, которые могут быть связаны как с медным источником, так и с оловянными лигатурами. В работе рассмотрены также металлогенез, основные типы и закономерности распространения месторождений олова Центрального, Северного и Восточного Казахстана, часть которых могла разрабатываться горняками ПБВ.

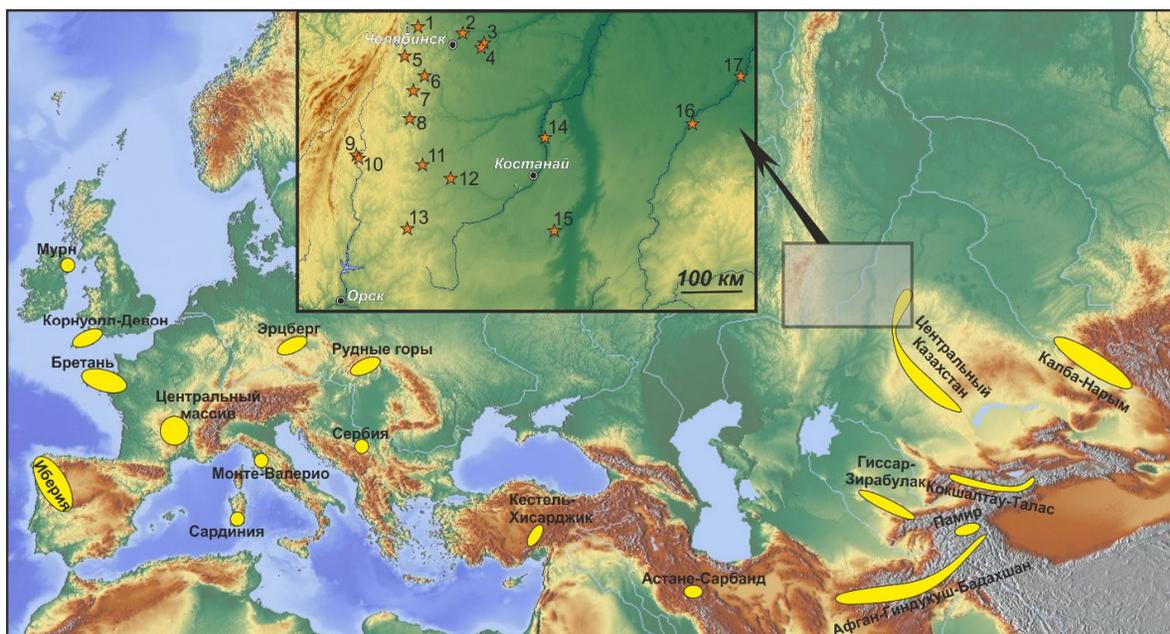


Рис. 1. Основные оловорудные провинции Западной и Центральной Евразии (по: [Berger et al., 2019, 2023] с дополнениями). На врезке — памятники эпохи бронзы Урала и Казахстана с аналитически изученным металлом: 1 — сл. нах., Аргаяш; 2 — Сычево; 3 — сл. нах., Кыскайкуль; 4 — Берсеневка; 5 — Чебаркуль 3; 6 — Звягино 1, 4; 7 — сл. нах., Старокумлякское; 8 — сл. нах., Степное; 9 — Малая Березовая 4; 10 — Большая Березовая 2; 11 — Устье 1; 12 — Кулевчи 3; 13 — сл. нах., Бреды; 14 — Джангильды 5; 15 — Семиозерное 2; 16 — Бектениз; 17 — Новоникольское 1.

Fig. 1. The basic tin ore provinces of Western and Central Eurasia (to: [Berger et al., 2019, 2023] with additions).

The inset shows Bronze Age sites in the Urals and Kazakhstan with analytically studied metal:

- 1 — Argayash chance find (c.f.); 2 — Sychevo; 3 — Kyskaykul c.f.; 4 — Bersenevka; 5 — Chebarkul 3; 6 — Zvyagino 1, 4; 7 — Starokumlyaksoye c.f.; 8 — Stepnoye c.f.; 9 — Malaya Berezovaya 4; 10 — Bolshaya Berezovaya 2; 11 — Ustye 1; 12 — Kulevchi 3; 13 — Bredy c.f.; 14 — Dzhangilydy 5; 15 — Semiozernoye 2; 16 — Bekteniz; 17 — Novonikolskoye 1.

Материалы

Задача исследования состоит в обобщении результатов аналитического изучения методом ЛА-ИСП-МС металла петровской (XIX–XVIII вв. до н.э.) и алакульской (XVIII/XVII–XVI/XV вв. до н.э.), в меньшей степени — федоровской (XVI–XV/XIV вв. до н.э.), черкаскульской, межовской (XVII/XVI–XIX вв. до н.э.) культур Южного Зауралья (табл. 1) [Молодин и др., 2014]. Пробы металла отобраны из коллекций фондов Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета. Материалы получены в процессе работ экспедиций под руководством Н.Б. Виноградова, Г.Б. Здановича, И.П. Алаевой на поселениях и могильниках Кулевчи 3 (16 экз.), Устье 1 (13 экз.), Чебаркуль 3 (12 экз.), Звягино 1 (2 экз.), Звягино 4 (2 экз.), Малая Березовая 4 (5 экз.), Большая Березовая 2 (2 экз.), Сычево (1 экз.), Берсеневка (1 экз.), а также включают случайные находки (5 экз.) [Виноградов, 1982; Виноградов и др., 2013; Алаева, 2014; Анкушева и др., 2021, Епимахов, Алаева, 2024]. Металл из памятников Северного Казахстана (Джангильды 5 (6 экз.), Новоникольское 1 (5 экз.), Бектениз (1 экз.), Семиозерное 2 (1 экз.) получен в процессе работ экспедиций под руководством Г.Б. Здановича, С.Я. Зданович, В.В. Евдокимова, С.С. Калиевой, В.Н. Логвина (рис. 1) [Зданович, 1988; Евдокимов и др., 2016; Калиева и др., 2016]. Пробы североказахстанского металла переданы из базы данных лаборатории естественнонаучных методов Института археологии РАН.

Методика исследования

Основным методом исследования в работе являлся статистический анализ выборки химических составов цветного металла ПБВ Урала и Северного Казахстана. Элементы-примеси были получены методом лазерной абляции с масс-спектрометрией с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре Agilent 7700x, совмещенно с лазерной приставкой New Wave Research UP-213 в ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (Миасс). Абляция проводилась в линейном или точечном режиме по 3–6 анализов на артефакт. Для дальнейшего расчета состава металла использовались международные референсные материалы NIST SRM-610 (стекло) и NIST SRM-500

(медь). Расчет проводился в программе lolite с использованием ^{65}Cu в качестве внутреннего стандарта и нормированием 14 основных элементов до 100 мас. %.

Распределение по культурам и памятникам позднего бронзового века Урала и Северного Казахстана металлических изделий, исследованных методом ЛА-ИСП-МС

Distribution of metal products studied by the LA-ICP-MS method by cultures and sites of the Late Bronze Age of the Urals and Northern Kazakhstan

Металл петровской (раннеалакульской) культуры (36 экз.)
Поселение Кулевчи 3 (16 экз.)
Поселение Устье 1 (13 экз.)
Могильник Бектениз (1 экз.)
Поселение Новоникольское 1 (5 экз.)
Поселение Семиозерное 2 (1 экз.)
Металл алакульской культуры (24 экз.)
Поселение Большая Березовая (2 экз.)
Поселение Малая Березовая 4 (5 экз.)
Поселение Чебаркуль 3 (8 экз.)
Поселение Сычево (1 экз.)
Поселение Звягино 4 (2 экз.)
Могильник Джангильды 5 (6 экз.)
Металл федоровской культуры (2 экз.)
Могильник Звягино 1 (2 экз.)
Черкаскульско-межовский металл (5 экз.)
Поселение Чебаркуль 3 (4 экз.)
Поселение Берсеневка (1 экз.)
Случайные находки (5 экз.)
с. Аргаяш (1 экз.)
с. Старый Кумляк (1 экз.)
оз. Кыскайкуль (1 экз.)
п. Бреды (1 экз.)
с. Степное (1 экз.)
Всего: 72 экз. (по 3–6 анализов на каждый предмет)

При статистическом анализе использована выборка цветного металла с содержаниями выше 0.05 мас. %. За границу разделения Sn-бронз условно принято значение 0.5 мас. %. Основанием для этого послужила логарифмическая гистограмма концентраций Sn во всей исследованной выборке (рис. 2а), где виден перегиб, а затем и пик в диапазоне 0.05–0.25 мас. %, который не может быть объяснен использованием богатых медно-оловянных руд. Этот пик в районе 0.12 мас. % более четко виден на сокращенной выборке (рис. 2б). Группа с такими концентрациями Sn, вероятно, отражает нецеленаправленные (не предназначенные для легирования) переплавы медного и бронзового лома.

Для данного исследования на основании анализа содержаний олова в большой серии артефактов (210 экз.) была взята выборка химических составов предметов, относящихся к Sn-бронзам и оловосодержащей меди (среднее содержание Sn по артефакту > 0.5 мас. %) (77 экз.). При установлении лимитов естественно-легированной и намеренно легированной меди предлагаются несколько отличные границы: 1 % [Черных, 1970, с. 14], 0.3–0.5 мас. % [Дегтярева, Кузьминых, 2013], 0.5 мас. % [Авилова, 2008], 2.0 мас. % [Radivojević et al., 2013], обоснованные видимым изменением физико-химических свойств металла или использованием специфических природно-легированных руд. Но, как было показано ранее [Артемьев и др., 2024а], в выборке металла из «чистой» меди Урала (< 0.5 мас. % примесей) высока доля меди с концентрациями олова в пределах 0.05–0.5 мас. %, которые не могут быть объяснены намеренным легированием или использованием богатых медно-оловянных руд, так как содержание олова в медных рудах уральских месторождений обычно не превышает 0.01 мас. % (чаще на уровне 0.00n %). Одним из вариантов интерпретации может являться применяемая в ПБВ Урала вторичная переработка медного лома — сплавлением меди и бронз из различных источников. Данные для Северного и Центрального Казахстана [Артемьев и др., 2024b] показывают значительно большее распространение высоколегированных бронз с меньшим количеством переплавленного металла. В то же время для состава «чистой» меди Казахстана характерны и более высокие концентрации олова, в пределах 0.01–0.05 мас. % (наряду с корреляциями Sn с Pb и As), что свидетельствует о плавке медных руд полиметаллического характера.

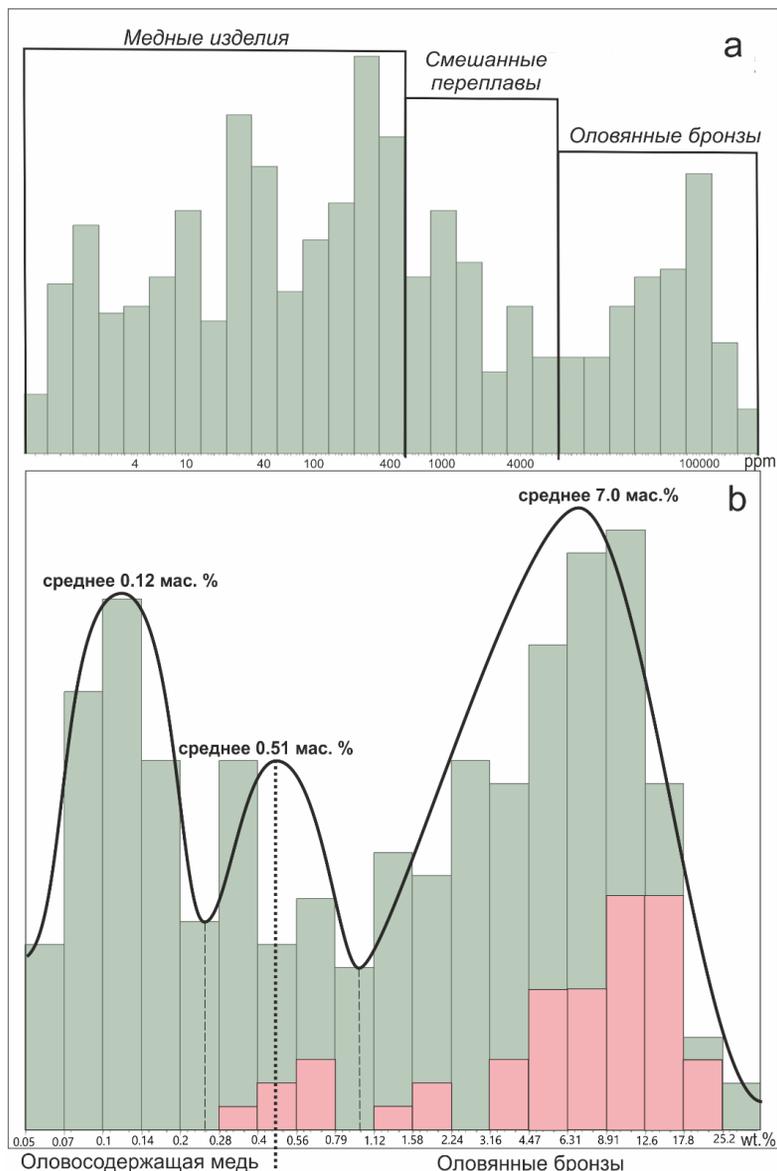


Рис. 2. Логарифмические гистограммы содержания олова в выборке химических составов цветного металла ПБВ Урало-Казахстанского региона:

a — вся выборка, b — содержание олова в металле > 0.05 мас. %. Красный — изученные артефакты Северного Казахстана (по: [Артемьев и др., 2024b]).

Fig. 2. Tin contents logarithmic histograms in non-ferrous metals chemical compositions from Ural-Kazakhstan region during the Late Bronze Age (LBA):

a — total samples, b — tin contents in metal > 0.05 wt.%. Red — studied artifacts of Northern Kazakhstan (after: [Artemyev et al., 2024b]).

Дальнейшая статистическая обработка аналитических данных состава цветного металла по 13 основным примесным элементам (Fe, Co, Ni, Zn, As, Se, Ag, Sn, Sb, Te, Au, Pb, Bi) была проведена в программе SAS JMP с предварительной нормализацией с использованием логарифмического преобразования Дж. Айчисона [Aitchison, 1986], что позволило сгруппировать данные, отличающиеся несколькими порядками, для проведения анализа методом главных компонент и факторного анализа. Также для сравнения использовался статистический метод максимального корреляционного пути [Смирнов, 1981].

Металлогения олова

Олово — ковкий металл серебристо-белого цвета, 50-й элемент периодической таблицы Д.И. Менделеева, имеет 10 стабильных изотопов: Sn¹¹² (0.96 %), Sn¹¹⁴ (0.66 %), Sn¹¹⁵ (0.35 %), Sn¹¹⁶ (14.30 %), Sn¹¹⁷ (7.61 %), Sn¹¹⁸ (24.03 %), Sn¹¹⁹ (8.58 %), Sn¹²⁰ (32.85 %), Sn¹²² (4.72 %),

Sn¹²⁴ (5.94 %). Средние значения содержания олова в земной коре составляют 2.5 ppm (0.00025 мас. %), увеличиваясь от ультраосновных (0.5 ppm) к кислым (3 ppm) породам [Жилинский, 1959; Яковлев, 1986]. В настоящее время в мире известно свыше 110 собственных минералов олова [https://www.mindat.org/]. Но лишь касситерит (SnO₂) является основной рудой на олово, к второстепенным относится станнин (Cu₂FeSnS₄), а к редким — некоторые сульфосоли, бораты и гидрокостанаты: франкеит (Pb₅Sn₃Sb₂S₁₄), тиллит (PbSnS₂), цилиндрит (Pb₆Sn₆Sb₂S₂₁), канфильдит (Ag₈SnS₆), норденшельдин (CaSn(BO₃)₂), гулсит (Fe₂SnO₂][BO₃]), малайяит (CaSnSiO₅), натанит (FeSn(OH)₆), варламовит (FeSn(O,OH)₂) [Оловянные руды..., 2007]. Остальные минералы олова встречаются очень редко и обычно в виде микроскопических выделений и практического значения не имеют. Высокие концентрации олова в виде изоморфной примеси до 1–1.5 мас. % могут содержаться в блеклых рудах, галените и висмутине. В вольфрамите его концентрации достигают 0.03 мас. % Также примесь олова в количестве 0.001–0.1 мас. % наблюдается в оловоносных скарновых гранатах, полевых шпатах и слюдах [Жилинский, 1959].

В коренных рудах содержание олова обычно составляет выше 0.1–0.3 мас. %, а в богатых — 1–5 мас. %. В россыпях рудные концентрации олова могут быть значительно ниже — 0.02–0.05 мас. %. Попутными компонентами в оловянных рудах могут быть W (вольфрамит, шеелит), As (арсенопирит, леллингит), Pb (галенит), Zn-In-Cd-Ge (сфалерит), Cu (халькопирит, халькозин), Pb-Ag (сульфосоли, аргентит), Bi (висмутин, самородный висмут), Mo (молибденит), Ta-Nb (тантало-ниобаты) [Жилинский, 1959; Оловянные руды..., 2007]. Месторождения олова обычно приурочены к апикальным частям гранитных массивов, формировавшихся в субплатформенных обстановках активных континентальных окраин. Среди основных типов коренных месторождений олова выделяются: 1) грейзеновый, 2) олово-кварцево-жильно-грейзеновый, 3) олово-силикатно-жильный (турмалиновые и хлоритовые) и зон дробления, 4) олово-сульфидные (сульфидные и сульфосольные) жильные и штокерковые, 5) скарновые, 6) пегматитовые; 7) оловоносные гранитоиды [Жилинский, 1959; Яковлев, 1986; Оловянные руды..., 2007]. Также важным источником олова, как в древности, так и в современности, являются россыпные месторождения (аллювиальные, делювиальные, прибрежно-морские и др.). Крупные оловоносные провинции известны в Андах, Юго-Восточной и Средней Азии (Узбекистан, Кыргызстан, Таджикистан), Казахстане, Афганистане, Тасмании, Рудных горах Чехии и Германии, Центральной Африке, на Алтае, в Якутии, Забайкалье, Приморье и на Чукотке.

Основные возможные минеральные типы оловянных руд, которые можно идентифицировать при использовании в древности, разделяются на чистые касситеритовые (содержащие кварц и различные силикаты) и касситерит-сульфидные (оловянные и комплексные медно-оловянные руды). Касситеритовый тип руды при легировании меди (как металла, так и руды) в большинстве случаев не дает никаких геохимических маркеров, так как кварц и другие силикаты, а также такие металлы, как W, Ta, Nb, Zr, Sc и Mo, не растворяются в меди в условиях древнего металлургического передела, и их обнаружение возможно только при исследовании древних шлаков. Касситерит-сульфидные руды (в совокупности с окисно-карбонатными развитыми по сульфидам) при легировании меди могли дополнительно обогащать металл Pb и Ag (галенит, сульфосоли), Bi (висмутин), As, Sb и Ni (арсенопирит, леллингит, сульфосоли). Содержание Zn (из сфалерита) может быть нестабильным в металле вследствие его возгонки в условиях металлургического передела (особенно при переплавах), что часто не позволяет использовать его в качестве самостоятельного маркера. Содержание Fe в меди может быть обусловлено не только рудными концентрациями, но и технологическими особенностями плавки (флюсы, температуры).

Оловянные месторождения Казахстана. Оловянные месторождения Казахстанской горно-металлургической области представлены различными генетическими типами, локализованными вдоль границ Центрально-Казахстанского палеозойского массива. Они приурочены к блокам сиалических гранитоидных комплексов, формировавшихся в обстановках активных континентальных окраин. Основными оловоносными структурами являются Кокшетауский блок на севере, Калба-Нарымская структурно-формационная зона — на востоке, Улытауская, Булаттауская, Атасуская и Сарысу-Тенизская зоны — в Центральном Казахстане (рис. 3) [Геология СССР, 1989].

Северный Казахстан. Месторождения олова и меди региона тяготеют преимущественно к западной части Кокшетауской структуры, представляющей собой древний блок земной коры, сложный архейско-протерозойскими сиалическими комплексами, подвергшимися палеозойской активизации в условиях активной континентальной окраины [Филиппова и др., 2012]. С внедрившимися гранитоидами связано крупное комплексное месторождение грейзенового типа — Сырымбет, которое помимо олова содержит высокие концентрации W, Ta, Nb, Mo, Be, Bi, Cu, Pb,

Химизм оловянных бронз и возможные источники олова Урала и Казахстана в позднем бронзовом веке

Zn, Sb [Поцелуев и др., 2012]. Первичные руды сложены кварцем, полевыми шпатами и слюдой с аксессуарными касситеритом, станнином, шеелитом, вольфрамитом, гематитом, магнетитом, висмутином, бериллом, молибденитом, халькопиритом, пиритом, галенитом, сфалеритом, золотом, цирконом, рутилом, колумбитом и др. Месторождение перекрыто оловоносными корами выветривания мощностью до 50 м с содержанием олова от 0.2 до 2.3 мас. % [Поцелуев и др., 2012]. В Кокшетауском массиве распространены родственные грейзенам небольшие кварцевожильные месторождения и проявления олова, сопровождающиеся небольшими ложковыми и озерными россыпями,— Князевское, Орлиногорское, Дальнее, Чебанайское, Ишимское, Тотугуз, Красный Кордон, Володаровское, Аиртау, Чернобаевское, Ольгинское, Мукурское [Кадастр..., 1955; Жилинский, 1959; Геология СССР, 1989]. Самым примечательным объектом этого типа является медно-оловянное месторождение Иммантау, на котором известен древний рудник [Кадастр..., 1955; Геология СССР, 1989; Месторождения меди..., 1997]. В целом мелкие кварцево-жильные месторождения олова содержат в жилах, помимо касситерита, рудную минерализацию, представленную баритом, галенитом, магнетитом, пиритом, халькопиритом, арсенопиритом и другими редкими минералами [Кадастр..., 1955; Жилинский, 1959], что может быть причиной повышенных концентраций свинца и мышьяка в связи с оловянными лигатурами.

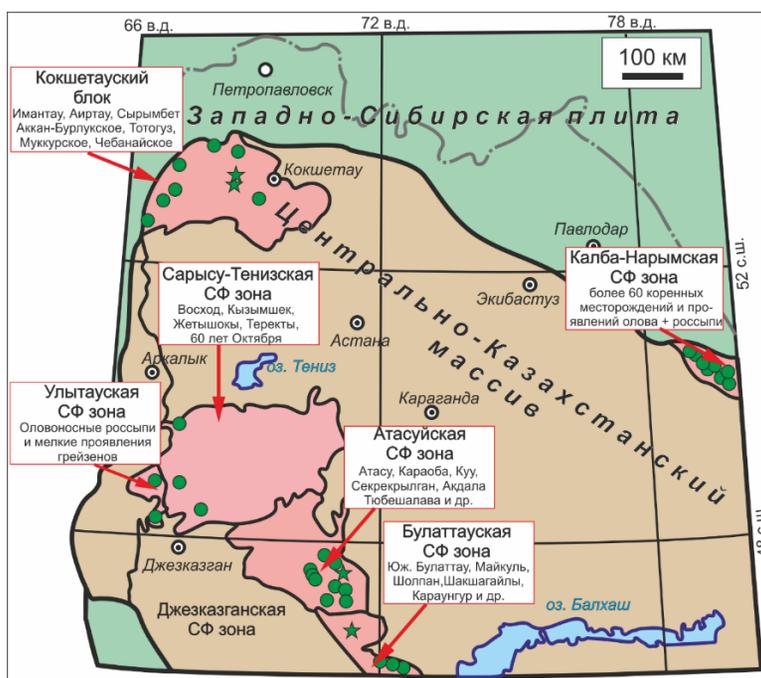


Рис. 3. Геологическая схема Центрального Казахстана с основными рудопроявлениями олова: окружности зеленого цвета — рудопроявления олова; звездочки зеленого цвета — древние рудники (по: [Геология СССР, 1989; Жилинский, 1959]).

Fig. 3. Geological map of the Central Kazakhstan with the basic tin ore deposits: green circles — tin ore deposits; green stars — ancient mines (to: [Geology of the USSR., 1989; Zhilinsky, 1959]).

Восточный Казахстан. Месторождения олова приурочены здесь к крупной Калба-Нарымской структуре, являющейся естественным продолжением Рудного Алтая. Девон-карбоновые островодужные вулканогенно-осадочные комплексы хребтов Калба и Нарым прорваны пермскими коллизионными гранитоидами, с которыми ассоциируют многочисленные редкометалльные месторождения, в том числе олова [Кудрявцева и др., 2022]. Калба-Нарымский олововольфрамовый комплекс со средней шириной 45 км и длиной около 370 км вытянут в северо-западном направлении и ограничен с северо-востока Рудным Алтаем с полиметаллическим колчеданным оруденением, а с юго-запада Калбинским золоторудным поясом [Айтиалиев и др., 1956]. Здесь выявлено свыше 60 оловорудных месторождений и проявлений, а также многочисленные россыпи. Большинство из них располагается в зоне контакта гранитных интрузий, редко удаляясь на 2–3 км, формируя рудные узлы (более 20), расстояние между которыми достигает нескольких десятков километров. В центральной части массивов преобладают пегмати-

товые месторождения олова (15 % от общего числа), ассоциирующие с Be, Li, Ta, Nb, Cs: Куксайское, Сосновое, Северное, Водораздел, Бакинское и др. Тогда как кварцево-жильные (75 % от общего числа) и грейзеновые (Козловское, Теректы, Палатцы, Буландинская группа) месторождения тяготеют к краевым частям массивов [Айтиалиев и др., 1956].

Кварцево-жильные месторождения с касситеритом представлены наиболее широко. Помимо кварца и касситерита руды сложены турмалином, апатитом, полевыми шпатами, бериллом, шеелитом, титанитом, топазом и рутилом. Некоторые месторождения содержат более позднюю сульфидно-кварцево-жильную минерализацию, представленную галенитом, халькопиритом, арсенопиритом, пиритом, реже молибденитом и сфалеритом. К этому типу относятся месторождения Северо- и Южно-Мохнатухинские, Измайловское, Убинское, Каиндинское, Пролетарская группа, Урунхайское, Чальча и мн. др. [Айтиалиев и др., 1956]. Древние «чудские» выработки установлены почти на всех оловянных проявлениях региона и представлены заплывшими карьерами, штольнями, расчистками, а также слабо выраженными округлыми или вытянутыми понижениями на россыпях [Айтиалиев и др., 1956]. На основании замера древних коренных выработок и россыпей Г.Н. Щерба [1951] подсчитал, что в древности здесь было добыто около 400 т металлического олова. С.С. Черников [1960] оценивал количество добытого олова в три раза меньше.

Центральный Казахстан. Месторождения олова приурочены к четырем основным структурам Сарыарки — Атасуской, Булаттауской, Улытауской и западной части Сарысу-Тенизской структурно-формационной зоны. Наибольшее количество рудопоявлений олова связано с Атасуской структурой, сложенной девонскими вулканогенными образованиями (включающими месторождения меди, барита, свинца, цинка, железа, марганца, золота, ртути и др.), прорванными интрузиями гранитоидов. С апикальными частями массивов гранитоидов (Кзылтауский, Куу, Западно-Атасуский, Караобинский и др.) связаны грейзеновые, кварцево-жильно-грейзеновые и оловорудные проявления, а также ложковые россыпи касситерита и единичные скарновые проявления. Проявления олова в настоящее время непромышленные, обычно ассоциированы с рудопоявлениями W, Mo, Bi [Геология СССР, 1989]. Основные месторождения приурочены к верховьям р. Атасу — Южное Атасу, Западное Атасу, Северо-Атасуские проявления и россыпи, Караоба, Куу, Секреккрылган и др. [Жилинский, 1959]. А.Х. Маргулан [2001] приводит свидетельства древней разработки на проявлениях Южное Атасу, Казакалаи, Кызылтабе, Шажагай, Бузауольген, Серкеккрылган, Караоба Сарыадыр и ряде россыпей, однако эти данные требуют дополнительного уточнения. Наибольшее внимания заслуживает проявление Южное Атасу, где наряду с касситеритом (содержания олова в руде достигали 3 %) широко представлена сульфидная минерализация — пирит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды [Жилинский, 1959], которые также могли использоваться в древней металлургии и служить химическими маркерами использовавшейся руды. Среди других месторождений олова Центрального Казахстана с сульфидной минерализацией известны: Караоба (с арсенопиритом, висмутином, молибденитом, халькопиритом, пиритом, галенитом и др.), Бузауульген (с молибденитом, пиритом, халькопиритом), Койтас (с пирротинном, халькопиритом и развитым по ним азуритом и малахитом), Южное (с пиритом и халькопиритом) и Артау (с халькопиритом, галенитом и молибденитом).

В пределах Булаттауской зоны развиты докембрийско-нижнепалеозойские образования (гранитогнейсы, сланцы, кварциты), перекрытые девонскими вулканитами и прорванные позднепалеозойскими гранитными интрузиями (Майкульский, Каибский, Булаттауский). Здесь известны небольшие грейзеновые и кварцево-жильно-грейзеновые проявления олова — Южное Булаттау, Шолпан, Майкуль, Караунгур, Шакшагайлы. На всех отмечены древние рудники [Маргулан, 2001], однако лишь для Южного Булаттау приведено фото выработки [Жилинский, 1959]. Оловянные руды Южного Булаттау содержат полиметаллическую минерализацию (халькопирит, пирит, галенит, арсенопирит, висмутин с содержаниями Pb в руде до 0.2 мас. %). На проявлении Майкуль также известна сульфидная минерализация (молибденит и висмутин) [Жилинский, 1959].

Проявления олова Улытауской структуры и соседних районов Сарысу-Тенизской зоны представлены небольшими грейзеновыми и кварцево-жильно-грейзеновыми объектами, не имеющими промышленной ценности, а также небольшими группами россыпей (Нагурбекдара, Кзылтасдара, Айбасдара и др.), использование которых в древности пока не доказано [Жилинский, 1959; Геология СССР, 1989].

Химизм оловянных бронз

Построенные корреляционные матрицы для всей выборки изученных составов оловянных бронз азиатской зоны ЕАМП показали слабые связи: лишь Se/Te ($R = 0.56$), Se/Ni ($R = 0.50$), Pb/Bi ($R = 0.52$)

Химизм оловянных бронз и возможные источники олова Урала и Казахстана в позднем бронзовом веке

имеют более значимые корреляции. Для дальнейшей дискриминации Sn-бронз на группы был использован анализ главных компонент по 12 элементам, нормированным логарифмическим преобразованием (без Cu и Sn), который показал разделение на несколько устойчивых групп (рис. 4).

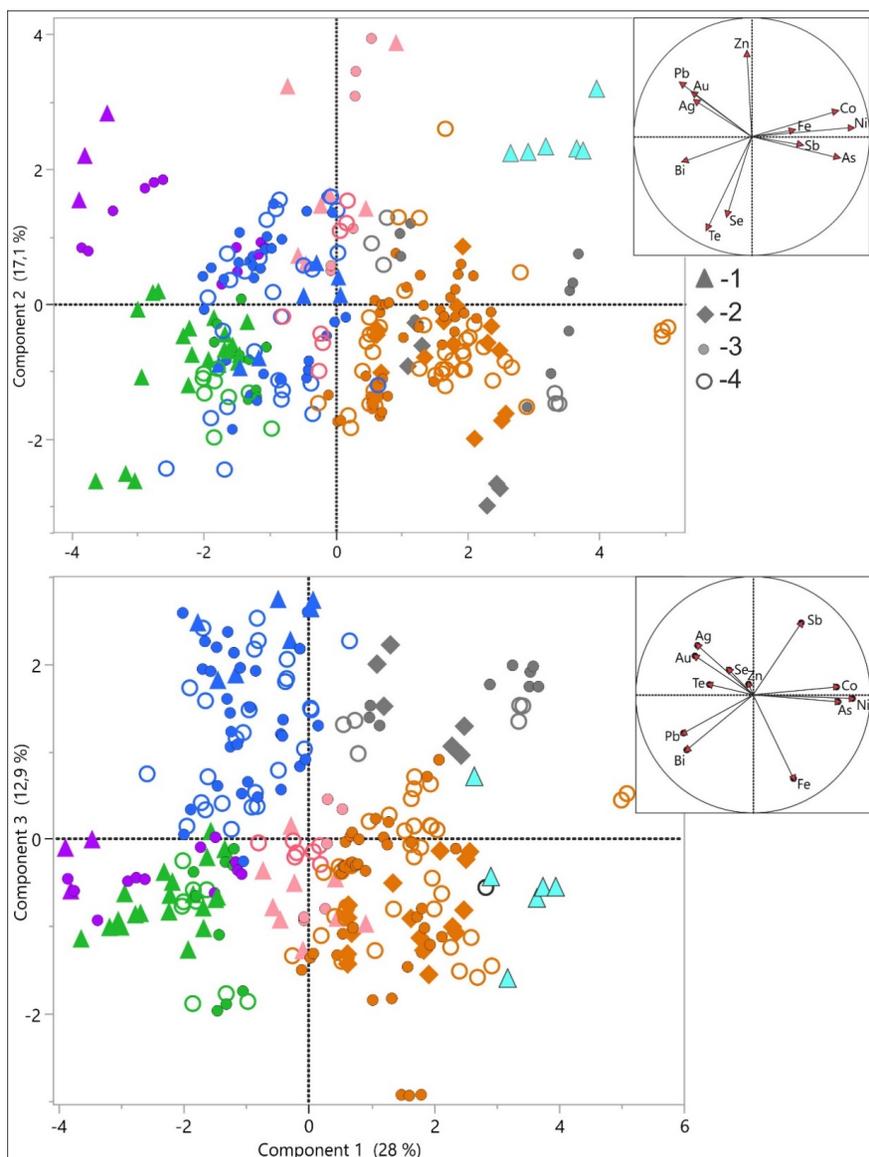


Рис. 4. Анализ главных компонент элементов-примесей оловянных бронз и оловосодержащей меди Урало-Казакхстанского региона (без учета олова):

1 — Sn-бронзы Северного Казахстана, 2 — As-Sn-бронзы Урала, 3 — Sn-бронзы Урала, 4 — смешанный переплавленный металл Урала (0.05 мас. % < Sn < 0.5 мас. %).

Fig. 4. PCA-diagram of tin bronzes and Sn-rich copper trace elements in of the Ural-Kazakhstan region during LBA (excluding tin):

1 — Sn bronze of Northern Kazakhstan, 2 — As-Sn bronze of the Urals, 3 — Sn bronze of the Urals, 4 — mixed remelted metal of the Urals (0.05 wt. % < Sn < 0.5 wt. %).

«Синяя» группа, выделенная по результатам анализа главных компонент благодаря корреляции Ag-Au-Se-Te в общей выборке, представлена оловянными бронзами с широким варьированием Sn (от 0.5 до 9.2 мас. %). В эту группу попали петровские и алакульские артефакты Кулевчи 3 (скрепка 7757, две проволоки 6821, 8513), Сычево (нож Сыч-1), Чебаркуль 3 (три шила 27, 10449, 25808), Бол. Березовая 2 (шило 3365), Мал. Березовая 4 (капля 9010), два федоровских сплеса с Звягино 1 (141, 142), черкаскульские ножи (Берсеневка — УК-III/VII-1, Чебаркуль 3 — 25 и Степное — х/2) и пешня 2021/2 (Бреды), а также североказахстанский металл — Новоникольское 1 (пласти-

на 38623, сплеск 38624). Факторный анализ бронз (без учета смешанного переплавленного металла) этой группы показал три ассоциации, участвующих в составе металла: Sb-As-Ni-Au-Fe, Te-Se-Bi и Pb-Sn-Co-Bi-Fe. Методом максимального корреляционного пути также выявлены три сходные устойчивые ассоциации (ограничены скобками, $R > 0.35$): (As+Sb+Ni+Au)-Ag-Zn-(Co+Pb+Sn+Fe)-(Bi+Te+Se). Первый фактор (ассоциация) связан с уральской медью (медными месторождениями в ультрамафитах), второй и третий соответствуют оловянной лигатуре и меди (или смешанным медно-оловянным рудам) Северного Казахстана. Вероятно, эти составы оловянных бронз отражают смешанный металл, представленный преимущественно уральской медью, разбавленной казахстанскими оловянными бронзами. Концентрации Pb часто коррелируют с содержанием Sn (рис. 5а) и в меньшей степени — As, Bi и ряда других элементов, что отражает полиметаллический состав оловянных лигатур, где в оловянной руде присутствовали сульфиды.

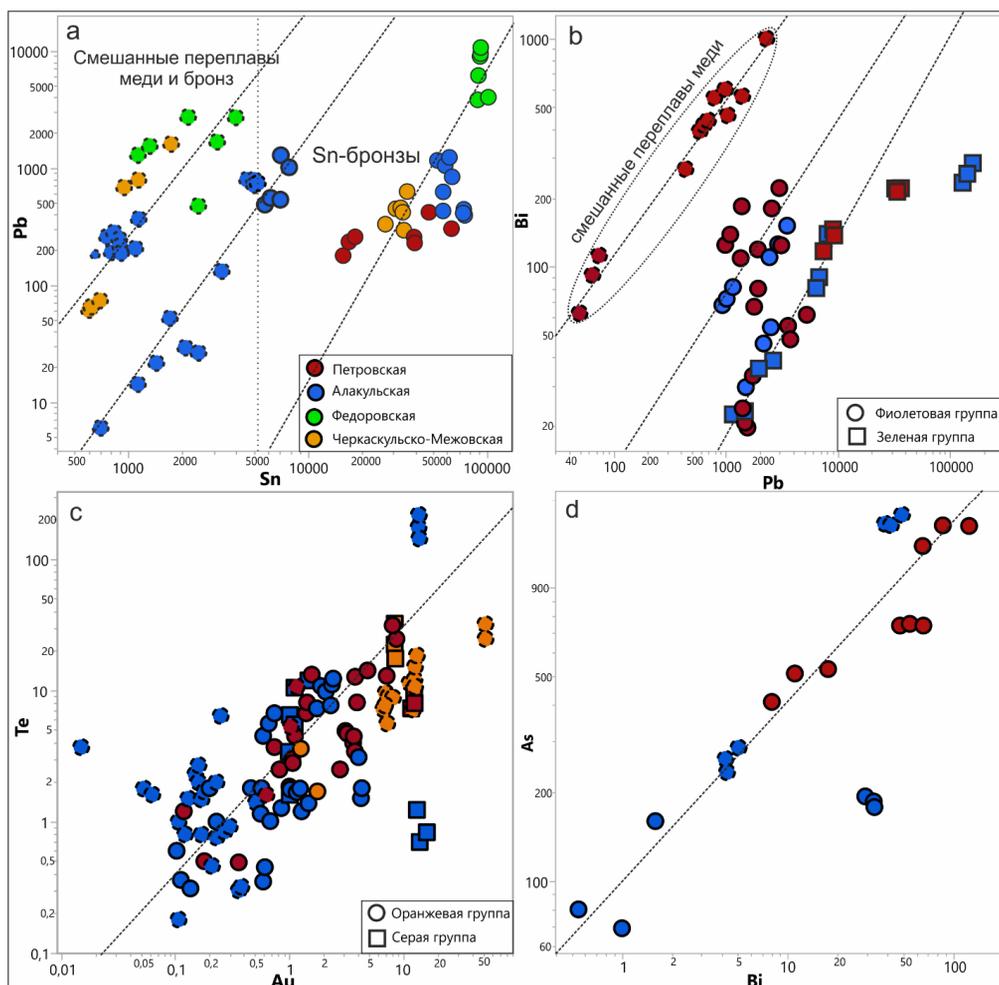


Рис. 5. Некоторые корреляции элементов-примесей в бронзах и смешанном переплавленном металле Урала и Казахстана:

a — Sn-Pb ($R = 0.63$) в бронзах «синей» группы, b — Pb-Bi ($R = 0.68$) в бронзах «зеленой» и «фиолетовой» групп, c — Au-Te в бронзах «оранжевой» ($R = 0.77$) и «серой» ($R = 0$) групп, d — Bi-As ($R = 0.74$) в металле «розовой» группы.
Fig. 5. Some correlations of trace elements in bronzes and mixed remelted metal from the Urals and Kazakhstan: a — Sn-Pb ($R = 0.63$) in bronzes of the "blue" group, b — Pb-Bi ($R = 0.68$) in bronzes of the "green" and "purple" groups, c — Au-Te in bronzes of the "orange" ($R = 0.77$) and "grey" ($R = 0$) groups, d — Bi-As ($R = 0.74$) in the metal of the "pink" group.

«Зеленая» группа близка к «синей», но выделяется более контрастной корреляцией Pb-Bi. Как и первая группа, характеризуется широкими вариациями Sn (от 0.43 до 12.7 мас. %). Факторный анализ показал выраженную ассоциацию Fe-Te-Se-Ag, с которой обратно коррелирует Ni-Sn-Bi-As-Pb-Co-Sb, что указывает на отсутствие уральского компонента в металле и полиметаллический характер оловянных лигатур, характерных для металла Северного Казахстана. Методом максимального корреляционного пути установлены сходные устойчивые ассоциации

(Sb+Co+Sn+Ni+As+Bi+Pb+Au+Zn)-(Se+Te+Fe+Ag). Среди артефактов этой группы преобладают петровские бронзы междуречья Тобола и Ишима: Джангильды 5 (браслеты 38935, 38936 и перстень 38938), Бектениз (пронизка 38645), Новоникольское 1 (провода 38615 и скрепа 38617). Лишь несколько артефактов Южного Зауралья соотносятся с этой группой: две проволоки с Кулевчи 3 (10130, 5881), а также смешанный металл с Устья 1 (нож 8239, крюк 10310), что указывает на их импортное происхождение с территории Казахстана. Корреляции Sn с As, Ni, Co, Sb при низких концентрациях последних ($As < 0.06$ мас. %) и высоких концентрациях Pb (> 0.1 мас. %) указывают на использование комплексных медно-оловянных руд, которые характерны для некоторых месторождений Центрального Казахстана.

«Фиолетовая» группа является промежуточной между «синей» и «зеленой», сходной с ними по многим показателям содержания химических элементов и корреляциям, но отличающейся повышенными концентрациями Pb и Bi при низких Se и Te. В эту группу входит капля с Кулевчи 3 (8847), проволока с Чебаркуля 3 (10447), шило с Мал. Березовой 4 (4681), пруток с Устья 1 (7375) и пластина с Новоникольского 1 (38622). Концентрации олова в целом более высоки (0.9–13.4 мас. %). Методом максимального корреляционного пути также выявлены три устойчивые ассоциации: (Sb+Ni+As)-Te-Zn+(Bi+Pb+Co+Sn)-Au-(Ag+Fe)-Se. В основном металл соответствует чистой уральской меди, разбавленной оловянными лигатурами, содержащими высокие концентрации коррелирующих между собой Pb и Bi (рис. 5b), аналогичные предыдущей группе ($As < 0.1$ мас. %, $Pb > 0.18$ мас. %), которые характерны для некоторых месторождений Центрального Казахстана (Южное Атасу, Южное Булаттау).

Наибольшее число бронзовых артефактов и смешанного переплавленного металла изученной выборки соответствует «оранжевой» группе, которую составляют преимущественно бронзовые изделия Зауралья: Кулевчи 3 (петровские игла 1224, четыре ножа 1226, 8188, 5967, 1782, три экземпляра проволоки 1222, 3047, 8514, пруток 5292), Устья 1 (петровские кинжал 2078, нож 7358, долото 7850, игла 6367, капля 7729, проволока 10203, слиток 4415, скоба 6061), Чебаркуля 3 (алакульская проволока 3374/25807 и слиток 17735; черкакульско-межовские слиток 30013, секач 17648, бляшка 17652), Малая Березовая 4 (серп 4946/4705, наконечник стрелы 4946/4710), сл. нах. Кыскайкуль (алакульское тесло) и Старокумлякское (черкакульско-межовский секач). Группа характеризуется выраженной корреляцией Fe-Co-Ni-As, указывающей на металл уральского происхождения, среди которого также выделяются Ag-Au-Te-As-Bi, Co-Pb-Ni и Sn-факторы. Методом максимального корреляционного пути выявлены две ассоциации: (Te+Bi+Au+Ag+As+Co+Pb)-Sb-(Sn)-Fe-Ni-Zn-Se. Содержание олова в металле варьирует от 0.95 до 25 мас. %, где наибольшие концентрации соответствуют импортной проволоке (1222). Олово в металле не коррелирует с другими элементами, что позволяет предположить использование чистых касситеритовых лигатур. В этой группе отмечается наибольшее число Cu+Sn+As-бронз с высокими концентрациями Ni и Co, что, вероятно, отражает сложные переплавы синташтинского металла с медью местных месторождений и оловянными бронзами. Наиболее выражена корреляция Au-Te-Bi, характерная для металла Устья 1 (рис. 5c), которая характерна для некоторых Au/Cu-порфириновых месторождений Зауралья [Артемьев и др., 2024a].

«Серая» группа сходна с предыдущей группой, характеризуется более высокими концентрациями Sb и тремя основными факторами: Ni-Bi-Se-Te-As, Pb-Ag-As-Sb, Sn-Fe. В нее входят алакульские предметы Звягино 4 (скоба 713), Чебаркуля 3 (провода 17657), Большая Березовая 2 (провода 3360), петровские артефакты Устья 1 (пластина 10064 и сплеск 7803) и сл. нах. Аргаяш (черкакульско-межовский кинжал). Методом максимального корреляционного пути выявлены две ассоциации: (Ni+Bi+Se+Te+As+Sb+Pb+Ag+Au)-(Fe+Sn+Co+Zn). Содержание олова в артефактах высокое — 2.7–13.4 мас. %. Наблюдается его корреляция с железом ($R = 0.67$), которая может быть следствием наличия изоморфной примеси железа в касситерите, но маленькая выборка не позволяет однозначно судить об этом. Высокие концентрации сурьмы (за исключением сплеска с Устья 1) и сложный полиметаллический характер ассоциации, вероятно, указывают на медные месторождения Казахстана.

«Бирюзовая» группа представлена лишь двумя артефактами: Семиозерный 2 (игла 34611) и Джангильды 5 (подвеска 38928). Выделяется ввиду корреляции As-Sb-Co-Ni с незначительным количеством Ag, Se, Te, Pb, Bi, которые указывают на уральский источник металла. Возможно, низкие концентрации Ag могут дополнительно свидетельствовать об использовании руд Еленовско-Ушкаттинского рудного поля для этих артефактов [Фомичев и др., 2024]. Оловянные лигатуры вследствие отсутствия корреляции олова с другими химическими элементами, вероятно, связаны с чистым касситеритом.

«Розовая» группа занимает промежуточное положение между всеми группами. Факторным анализом установлено три ассоциации: Fe-Zn-Ni-Au-Co-Se, Sb-As-Bi-Sn и Ag-Pb. Метод максимального корреляционного пути дал аналогичные ассоциации: (Fe+Zn+Ni+Au+Se+Co)-Te-(Sn+Bi+Sb+As)-(Ag+Pb). В группу входит алакульский металл Джангильды 5 (ножи 40461, 40469), Звягино 4 (капля 2869), Кулевчи 3 (слиток 1781) и Малая Березовая 4 (украшение 4708). Корреляция Fe-Zn-Ni-Au-Co-Se, возможно, отражает медный кластер, связанный с колчеданными месторождениями. Содержание Sn варьирует в диапазоне 0.8–12.9 мас. %. Корреляции Sn с As, как и с Ni, Sb и Bi (рис. 5d), при их незначительных концентрациях показывают возможную ассоциацию касситерита с арсенопиритом, которая встречается в оловянных месторождениях Центрального и Восточного Казахстана.

Таким образом, на основании статистического анализа элементов-примесей в Sn-бронзах и оловосодержащей меди ПБВ Урала и Северного Казахстана выделено семь групп металла, часто имеющих смешанный характер и отражающих разные источники оловянных лигатур и разную степень смешения с металлом из медных руд Уральского региона.

Выводы

Проведенный анализ элементов-примесей в оловянных бронзах Южного Урала и Казахстана с последующей статистической обработкой показал наличие нескольких геохимических групп, которые отражают влияние на состав медных руд и оловянных лигатур. Вследствие того что основная часть химических групп представлена небольшими выборками Sn-бронз, при вероятно большем количестве источников олова и дальнейшем увеличении статистических данных возможно выделение дополнительных или уточнение выделенных групп. Незначительность выборки также сильно влияет на дискриминацию элементов, связанных с медью и оловянными лигатурами, что усложняет интерпретации.

В случае отсутствия в оловянных бронзах значимой корреляции олова с другими элементами-примесями можно предполагать использование оловянных лигатур, полученных из чистого касситерита либо касситерита, загрязненного минералами, не дающими индикаторных маркеров в металле (кварц, турмалин, вольфрамит, шеелит, тантало-ниобаты и др.) вследствие их незначительной растворимости в меди при металлургическом переделе. Более точное определение источника таких оловянных руд возможно при изучении металлургических шлаков, в которых возможна фиксация реликтовых минералов и литофильных индикаторных элементов-примесей.

Наличие корреляции олова с другими элементами-примесями указывает либо на смешение металла из разных источников (переплавы), либо на присутствие в используемых оловянных рудах сульфидных и образующихся по ним гипергенных минералов. Во втором случае это могут быть как небольшие примеси сульфидов, например галенит и сульфосоли (влияющие на содержание Pb, Ag, Bi, Sb, As), самородный висмут и висмутин (Bi), арсенопирит и лёллингит (As, Sb, Ni) и другие, так и комплексные медно-оловянные руды, характерные для некоторых оловянных месторождений Северного и Центрального Казахстана. Такие рудные элементы, как Zn, Fe, W, Mo, не являются хорошими геохимическими индикаторами руд вследствие легкой возгонки при высоких температурах (Zn), низкой растворимости в меди (Mo, W) или зависимости от технологических особенностей (на содержание Fe могут влиять не только руды, но и температуры, окислительно-восстановительные условия, флюсы в металлургическом переделе). При наличии значительного количества химических элементов, связанных с лигатурами, определение источника медной руды часто становится затруднительным. Однако для некоторых оловянных бронз Урала и Казахстана выделяется ассоциация Fe-Co-Ni-As (\pm Sb, Au), которая может свидетельствовать об уральском источнике меди, связанном с медными рудами, ассоциированными с месторождениями в ультрабазитах.

Наиболее крупные группы в исследованной выборке представлены бронзами, выделенными в «зеленую» группу, где олово коррелирует с большинством примесных элементов (Sb+Co+Sn+Ni+As+Bi+Pb+Au+Zn), «синюю» группу (Co+Pb+Sn+Fe) и «оранжевую» группу (Sn без корреляции с другими элементами и сильным влиянием Fe-Co-Ni-As, Au-Te-Bi факторов). «Зеленая» группа в основном представлена бронзами Северного Казахстана и может быть ассоциирована с медно-оловянными месторождениями Северного и Центрального Казахстана. В «синей» и «оранжевой» группах преобладают бронзы, выплавленные из уральской меди, легированной казахстанскими оловянными рудами как с «чистым» касситеритом («оранжевая»), так с комплексными сульфидно-касситеритовыми лигатурами («синяя»).

Четыре небольшие группы представлены сложными промежуточными составами. «Фиолетовая» группа (Bi+Pb+Co+Sn) сходна с металлом «синей» и «зеленой» групп и характеризуется повышенными

ми концентрациями Pb и Bi и наличием уральского компонента (Sb+Ni+As), что указывает на разбавление уральской меди сульфидно-касситеритовыми лигатурами. «Серая» группа (Fe+Sn+Co+Zn), с повышенными концентрациями Sb, характеризуется сложной полиметаллической специализацией (Ni+Bi+Se+Te+As+Sb+Pb+Ag+Au), возможно связанной с медными месторождениями Казахстана. «Бирюзовая» группа соответствует бронзам Северного Казахстана группы В [Артемьев и др., 2024b] и уральскому медному субстрату (возможно, Еленовско-Ушкаттинского рудного поля) и чистой касситеритовой лигатуре. «Розовая» группа представлена смешанным металлом, медная часть которого может соответствовать сульфидным месторождениям в базитах Урала или Казахстана (Fe-Zn-Ni-Au-Co-Se и Ag-Pb), а олово (Sb-As-Bi-Sn) ассоциируется с арсенипирит-висмутин-касситеритовыми рудами, известными как в Центральном, так и в Восточном Казахстане.

Таким образом, на основании химизма бронз и оловосодержащей меди установлено, что на протяжении всего позднего бронзового века существовал интенсивный обмен между Южным Зауральем и Северным Казахстаном в обоих направлениях. При этом в составе артефактов Южного Зауралья, наряду с Sn-бронзами, преобладает смешанный переплавленный оловосодержащий металл, полученный при вторичной переработке медного и бронзового лома. Для дальнейшего уточнения геохимических групп и источников олова в древнем металле необходимо расширение выборки исследованного металла (как географическое, так и хронологическое), привлечение изотопных методов исследования (сочетание изотопов олова и свинца), исследование мест выплавки и свидетельств металлургического передела (слитки, шлаки, руды).

Благодарности. Авторы благодарят М.Н. Анкушева за помощь в отборе проб и ценные замечания.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-18-00146 «Цветная металлургия и металлообработка Северо-Западной Азии в первой половине II тыс. до н.э. (сырье, технологии, продукция, торговля и связи)» <https://rscf.ru/project/23-18-00146/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авилова Л.И.* Металл Ближнего Востока: Модели производства в энеолите, раннем и среднем бронзовом веке. М.: Памятники исторической мысли, 2008. 227 с.
- Авилова Л.И., Черных Е.Н.* Малая Азия в системе металлургических провинций // Естественные методы в археологии. М.: Наука, 1989. С. 31–82.
- Агапов С.А., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В.* Металлопроизводство восточной зоны общности культур валиковой керамики // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2012. № 3. С. 44–59.
- Айтилиев Ж.А., Брач П.А., Брюшков В.И., Ералиев Л.Е., Шавло С.Г., Щерба Г.Н.* Калба-Нарымский редкометалльный район (перспективные площади на олово и редкие металлы). Алма-Ата: АН КазССР, 1956. 237 с.
- Алаева И.П.* Специфика керамического комплекса позднего бронзового века степной части Южного Зауралья // КСИА. 2014. Вып. 233. С. 33–45.
- Анкушева П.С., Алаева И.П., Садыков С.А., Ын Чхуен Ян, Анкушев М.Н., Зазовская Э.П., Рассадников М.Ю.* «Степные коридоры» алакульских скотоводов: Результаты изотопных и палеоботанических исследований на поселении Чебаркуль III // УИВ. 2021. № 3 (72). 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., Анкушев М.Н., Степанов И.С., Виноградов Н.Б., Алаева И.П., Анкушева П.С., Корякова Л.Н., Наумов А.М.* Геохимия металлургической группы «чистой» меди: Индикатор источников медной руды на Урале в позднем бронзовом — раннем железном веках // Археология, этнография и антропология Евразии. 2024а. Т. 52. № 2. С. 74–83. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2024.52.2.074-083>
- Артемьев Д.А., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В., Орловская Л.Б.* Цветной металл эпохи бронзы Северного Казахстана: Геохимическая характеристика и рудная база // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2024b. № 1 (64). С. 19–37. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2024-64-1-2>
- Бобров В.В., Кузьминых С.В., Тенейшвили Т.О.* Древняя металлургия Среднего Енисея (лугавская культура). Кемерово: Кузбассвуиздат, 1997. 99 с.
- Виноградов Н.Б.* Кулевчи III — памятник петровского типа в Южном Зауралье // КСИА. 1982. Вып. 169. С. 94–100.
- Виноградов Н.Б., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В.* Металлургия и металлообработка в жизни обитателей укрепленного поселения Устье 1 // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2013. № 3. С. 4–30.
- Геология СССР / Гл. ред. Е.А. Козловский. Т. XX: Центральный Казахстан. Полезные ископаемые. Кн. 1 / Ред. И.В. Орлов. М.: Недра, 1989. 541 с.*
- Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В.* Глава 6: Цветной металл поселения Устье // Древнее Устье: Укрепленное поселение бронзового века в Южном Зауралье. Челябинск: Абрис, 2013. С. 216–253.
- Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В.* Металлические орудия труда петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья: Химико-металлургическая характеристика // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2022. № 4. С. 28–41. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2022-59-4-3>

Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В., Ломан В.Г., Кукушкин И.А., Кукушкин А.И., Дмитриев Е.А. Цветной металл раннеалакульской (петровской) культуры эпохи бронзы Центрального Казахстана // Поволжская археология. 2020. № 1. С. 98–116. <https://doi.org/10.24852/pa2020.1.31.98.116>

Евдокимов В.В., Логвин А.В., Ткачев А.А. Поселение Семиозерное II // Вестник археологии антропологии и этнографии. 2016. № 2. С. 30–40. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2016-33-2-030-040>

Епимахов А.В., Алаева И.П. Радиоуглеродная хронология федоровской культуры бронзового века (новые материалы по старой проблеме) // Археология, этнография и антропология Евразии. 2024. Т. 52. № 2. С. 55–64. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2024.52.2.055-064>

Ермолаева А.С., Кузьминых С.В., Дубягина Е.В. Миграционное происхождение технологий металлопроизводства Казахской горно-металлургической области // Stratum plus. 2020. № 2. С. 103–116.

Жилинский Г.В. Оловоносность Центрального Казахстана. Алма-Ата: АН КазССР, 1959. 212 с.

Зданович Г.Б. Бронзовый век Урало-Казахстанских степей (основы периодизации). Свердловск: Изд-во УрГУ, 1988. 184 с.

Кадастр месторождений полезных ископаемых Центрального Казахстана / Гл. ред. К.И. Сатпаев. М.: Госгеолтехиздат, 1955. 766 с.

Калиева С.С., Колбина А.В., Логвин В.Н. Некрополь эпохи бронзы Джангильды 5. Костанай: Костанайполиграфия, 2016. 208 с.

Кирюшин Ю.Ф. Энеолит и ранняя бронза юга Западной Сибири. Барнаул: АлтГУ, 2002. 292 с.

Кудрявцева Н.Г., Кузнецов В.В., Серавина Т.В. Геодинамические обстановки формирования месторождений цветных и благородных металлов Большого Алтая // Отечественная геология. 2022. № 2. С. 12–23.

Кузьминых С.В. О металле городища Чича-1 // Чича — городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи. Новосибирск; Берлин: ИАЭТ СО РАН, 2009. Т. 3. С. 202–212.

Кузьминых С.В., Черных Е.Н. Спектроаналитическое исследование металла бронзового века лесостепного Притоболья (предварительные результаты) // Потемкина Т.М. Бронзовый век лесостепного При-тоболья. М.: Наука, 1985. С. 346–367.

Маргулан А.Х. Сочинения: В 14 т. Т. 2: Сарыарка. Горное дело и металлургия в эпоху бронзы. Джекказган — древний и средневековый металлургический центр (городище Милькудук). Алматы: Дайк-Пресс, 2001. 144 с.

Месторождения меди Казахстана: Справочник / Под ред. А.А. Абдулина и др. Алматы, 1997. 154 с.

Молодин В.И., Дураков И.А., Мильникова Л.Н., Нестерова М.С. Адаптация сейминско-турбинской традиции в культурах эпохи бронзы юга Западно-Сибирской равнины // Археология, этнография и антропология Евразии. 2018. Т. 46. № 3. С. 49–58. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2018.46.3.049-058>

Молодин В.И., Епимахов А.В., Марченко Ж.В. Радиоуглеродная хронология культур эпохи бронзы Урала и юга Западной Сибири: принципы и подходы, достижения и проблемы // Вестник НГУ. Сер. История, филология. 2014. № 13 (3). С. 136–167.

Оловянные руды: Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. М.: ФГУ ГКЗ, 2007. 42 с.

Поцелуев А.А., Перегудов В.В., Бабкин Д.И., Ананьев Ю.С. Золото в рудах редкометалльного месторождения Сырымбет (Северный Казахстан) // Известия ТПУ. 2012. № 1. С. 41–45.

Смирнов В.И. Корреляционные методы при парагенетическом анализе. М.: Недра. 1981. 174 с.

Филиппова И.Б., Буш В.А., Диденко А.Н. Среднепалеозойские субдукционные пояса — ведущий фактор формирования структуры Центрально-Азиатского покровно-складчатого пояса // Российский журнал наук о Земле. 2021. Т. 3. № 6. С. 405–426.

Фомичев А.В., Анкушев М.Н., Артемьев Д.А., Блинов И.А. Руды и металлургические шлаки с поселений Еленовского и Ушкаттинского археологических микрорайонов в Оренбургской области // Российские нанотехнологии. 2024. В печати.

Черников С.С. Восточный Казахстан в эпоху бронзы // МИА. № 88. 1960. 272 с.

Черных Е.Н. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья // МИА. № 172. 1970. 185 с.

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

Щерба Г.Н. Археологические находки на Южном Алтае в 1949 г. // ИАН КазССР. 1951. Вып. 3. С. 117–121.

Яковлев П.Д. Промышленные типы рудных месторождений. М.: Недра, 1986. 358 с.

Aitchison J. The statistical analysis of compositional data. London: Chapman & Hall, 1986. 416 p.

Berger D., Kaniuth K., Boroffka N., Brüggmann G., Kraus S., Lutz J., Teufer M., Wittke A., Pernicka E. The rise of bronze in Central Asia: new evidence for the origin of Bronze Age tin and copper from multi-analytical research // Frontier Earth Science. 2023. Vol. 11:1224873. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1224873>

Berger D., Soles J.S., Giunlia-Mair A.R., Brüggmann G., Galili E., Lockhoff N., Pernicka E. Isotope systematics and chemical composition of tin ingots from Mochlos (Crete) and other Late Bronze Age sites in the eastern Mediterranean Sea: An ultimate key to tin provenance? // PLOS ONE. 2019. Vol. 14 (6). e0218326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218326>

Cierny J., Weisgerber G. The Bronze Age tin mines in Central Asia // Giunlia-Mair A., Lo Schiavo F. (eds.). The Problem of Early Tin. Oxford: Archaeopress, 2003. P. 23–31.

Рекон И.В. Minerals First Discovered on the Territory of the Former Soviet Union. Moscow: Ocean Pictures, 1998. 369 p.

Химизм оловянных бронз и возможные источники олова Урала и Казахстана в позднем бронзовом веке

Powell W., Johnson M., Pulak C., Yener K. A., Mathur R., Bankoff H.A., Godfrey L., Price M., Galili E. From peaks to ports: Insights into tin provenance, production, and distribution from adapted applications of lead isotopic analysis of the Uluburun tin ingots // *Journal of Archaeological Science*. 2021. Vol. 134. 105455. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105455>

Radivojević M., Rehren T., Kuzmanović-Cvetković J., Jovanović M., Northover J.P. Tainted ores and the rise of tin bronzes in Eurasia, c. 6500 years ago // *Antiquity*. 2013. Vol. 87 (338). 1030–1045.

Stöllner T., Samashev Z., Berdenov S., Cierny J., Doll M., Garner J., Gontscharov A., Gorelik A., Hauptmann A., Herd R., Kusch G., Merz V., Riese T., Sikorski B., Zickgraf B. Tin from Kazakhstan — steppe tin for the west? // *Anatolian Metal*. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 2011. Vol. V. P. 231–252.

Thornton C., Lamberg-Karlovsky C.C., Liezers M., Young S.M.M. On pins and needles: Tracing the evolution of copper-based alloying at Tepe Yahya, Iran, via ICP-MS analysis of Common-place items // *Journal of Archaeological Science*. 2002. Vol. 29 (12). P. 1451–1460.

Artemyev D.A.^{a,*}, Degtyareva A.D.^b, Kuzminykh S.V.^c, Orlovskaya L.B.^c, Alaeva I.P.^d, Vinogradov N.B.^d

^a South Ural Federal Scientific Center of Mining and Geophysics of Ural Branch RAS
Ilmenny Reserve, Miass, 456317, Russian Federation

^b Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS

Chervishevsky trakt st., 13, Tyumen, 625008, Russian Federation

^c Institute of Archaeology RAS, Dm. Ulyanova st., 19, Moscow, 1172922, Russian Federation

^d South Ural State Humanitarian Pedagogical University

prosp. Lenina, 69, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation

E-mail: artemyev@mineralogy.ru (Artemyev D.A.); adegtyareva126@gmail.com (Degtyareva A.D.);

kuzminykhsv@yandex.ru (Kuzminykh S.V.); lborl47@rambler.ru (Orlovskaya L.B.)

alaevaira@mail.ru (Alaeva I.P.); vinogradov_n@mail.ru (Vinogradov N.B.)

Chemistry of tin bronzes and possible sources of tin in the Urals and Kazakhstan in the Late Bronze Age

The article discusses geochemical groups identified according to the results of the LA-ISP-MS analysis of tin bronzes of the Ural-Kazakhstan region of the Late Bronze Age. Based on the statistical analysis of 13 impurity elements of 74 bronze and tin-containing copper products from the sites of the 2nd — early 1st mil BC in the Southern Trans-Urals and Northern Kazakhstan, seven chemically contrasting groups have been identified, which mark various types of tin sources. A significant part of the metal reflects the polymetallic nature of tin deposits, which are probably associated with the structures of Northern and Central Kazakhstan, where tin was mined together with copper ores. The second part of the sample — without a clear correlation of tin with other metals — reflects the cassiterite type of ores. It clearly shows the correlation As-Co-Ni±(Sb, Fe, Au), which is characteristic of the copper deposits of the Urals, indicating the alloying of the Ural copper ores with cassiterite master alloys. Data on tin metallogeny, ore chemistry, types of deposits, and known ancient mines of Northern, Central and Eastern Kazakhstan, which could have been sources of raw materials in the metallurgy of the Late Bronze Age, are presented. The main tin-bearing structures of Kazakhstan are the Kokshetau block in the north, the Kalba-Naryn zone in the east, and the Ulytau, Bulattau, Atasu, and Sarysu-Teniz structures in Central Kazakhstan. Greisen, quartz-vein and pegmatite types of primary tin deposits, accompanied by placers, are known here. The ores at the deposits are represented both by pure cassiterite (in association with quartz, wolframite, tourmaline, etc.) and by association with sulphides (chalcopyrite, pyrite, arsenopyrite, galena, bismuthine, etc.) and copper oxide-carbonate ores.

Keywords: Late Bronze Age, Urals, Kazakhstan, tin bronze, tin, trace elements, tin deposits.

Funding. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-18-00146 “Non-ferrous metallurgy and metalworking in Northwest Asia in the first half of the 2nd millennium BC (raw materials, technologies, products, trade and communications)” <https://rscf.ru/project/23-18-00146/>.

REFERENCES

- Abdulin, A.A., et al. (Eds.) (1997). *Copper deposits of Kazakhstan: Handbook*. Almaty. (Rus.).
- Aitchison, J. (1986). *The statistical analysis of compositional data*. London: Chapman & Hall.
- Avilova, L.I. (2008). *Metal of the Near East: production models in the Eneolithic, Early and Middle Bronze Age*. Moscow: Pamyatniki istoricheskoy mysli. (Rus.).
- Avilova, L.I., Chernykh, E.N. (1989). Asia Minor in the system of metallurgical provinces. In: *Yestestvennonauchnyye metody v arkheologii*. Moscow: Nauka, 31–82. (Rus.).
- Agapov, S.A., Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V. (2012). Metal production in the eastern zone of the roller ceramics culture community. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (3), 44–59. (Rus.).

* Corresponding author.

- Aitaliev, Zh.A., Brach, P.A., Bryushkov, V.I., Ergaliev, L.E., Shavlo, S.G., Shcherba, G.N. (1956). *Kalbanarymsky rare metals region (promising areas for tin and rare metals)*. Alma-Ata: AN KazSSR. (Rus.).
- Alaeva, I.P. (2014). Specifics of the ceramic complex of the Late Bronze Age of the steppe part of the Southern Trans-Urals. *Kratkiye soobshcheniya Instituta arkheologii*, (233), 33–45. (Rus.).
- Ankusheva, P.S., Alaeva, I.P., Sadykov, S.A., Eun Chhuen Yang, Ankushev, M.N., Zazovskaya, E.P., Ras-sadnikov, M.Yu. (2021). “Steppe corridors” of the Alakul cattle breeders: Results of isotope and paleobotanical studies at the Chebarkul III settlement. *Ural'skiy istoricheskiy vestnik*, 72(3), 26–38. (Rus.). [https://doi.org/10.30759/1728-9718-2021-3\(72\)-26-38](https://doi.org/10.30759/1728-9718-2021-3(72)-26-38)
- Artemyev, D.A., Ankushev, M.N., Stepanov, I.S., Vinogradov, N.B., Alaeva, I.P., Ankusheva, P.S., Koryakova, L.N., Naumov, A.M. (2024a). Geochemistry of the metallurgical group of “pure” copper: An indicator of copper ore sources in the Urals in the Late Bronze — Early Iron Ages. *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*, 52(2), 74–83. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2024.52.2.074-083>
- Artemyev, D.A., Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V., Orlovskaya, L.B. (2024b). Non-ferrous metal of the Bronze Age of Northern Kazakhstan: Geochemical characteristics and ore base. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, 64(1), 19–37. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2024-64-1-2>
- Berger, D., Kaniuth, K., Boroffka, N., Brüggmann, G., Kraus, S., Lutz, J., Teufer, M., Wittke, A., Pernicka, E. (2023). The rise of bronze in Central Asia: New evidence for the origin of Bronze Age tin and copper from multi-analytical research. *Frontier Earth Science*, 11, 1224873. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1224873>
- Berger, D., Soles, J.S., Giunlia-Mair, A.R., Brüggmann, G., Galili, E., Lockhoff, N., Pernicka, E. (2019). Isotope systematics and chemical composition of tin ingots from Mochlos (Crete) and other Late Bronze Age sites in the eastern Mediterranean Sea: An ultimate key to tin provenance? *PLOS ONE*, 14(6), e0218326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218326>
- Bobrov, V.V., Kuzminykh, S.V., Teneyshvili, T.O. (1997). *Ancient metallurgy of the Middle Yenisei (Lugavskaya culture)*. Kemerovo: Kuzbassvuzdat. (Rus.).
- Chernikov, S.S. (1960). Eastern Kazakhstan in the Bronze Age. *Materialy i issledovaniya po arkheologii SSSR*, (88). (Rus.).
- Chernykh, E.N. (1970). The most ancient metallurgy of the Urals and the Volga region. *Materialy i issledovaniya po arkheologii SSSR*, (172). (Rus.).
- Chernykh, E.N., Kuzminykh, S.V. (1989). *Ancient metallurgy of Northern Eurasia (Seima-Turbino phenomenon)*. Moscow: Nauka. (Rus.).
- Ciorny, J., Weisgerber, G. (2003). The Bronze Age tin mines in Central Asia. In: Giunlia-Mair A., Lo Schiavo F. (Eds.). *The Problem of Early Tin*. Oxford: Archaeopress, 23–31.
- Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V. (2013). Chapter 6: Non-ferrous metal of the Ustye site. In: *Drevneye Ust'ye: Ukrepennoye poseleniye bronzovogo veka v Yuzhnom Zaural'ye*. Chelyabinsk: Abris, 216–253. (Rus.).
- Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V. (2022). Metal tools of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and Middle Tobol region: Chemical and metallurgical characteristics. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (4), 28–41. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2022-59-4-3>
- Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V., Loman, V.G., Kukushkin, I.A., Kukushkin, A.I., Dmitriev, E.A. (2020). Non-ferrous metal of the early Alakul (Petrovka) Culture of the Bronze Age of Central Kazakhstan. *Povolzhskaya arkheologiya*, (1), 98–116. (Rus.). <https://doi.org/10.24852/pa2020.1.31.98.116.10>
- Evdokimov, V.V., Logvin, A.V., Tkachev, A.A. (2016). Site Semiozernoye II. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (2), 30–40. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2016-33-2-030-040>
- Epimakhov, A.V., Alaeva, I.P. (2024). Radiocarbon chronology of the Fyodorovskaya culture of the Bronze Age (new materials on an old problem). *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*, 52(2), 55–64. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2024.52.2.055-064>
- Ermolaeva, A.S., Kuzminykh, S.V., Dubyagina, E.V. (2020). Migration origin of metal production technologies of the Kazakhstan mining and metallurgical region. *Stratum plus*, (2), 103–116. (Rus.).
- Filippova, I.B., Bush, V.A., Didenko, A.N. (2021). Middle Paleozoic subduction belts are the leading factor in the formation of the structure of the Central Asian fold-nappe belt. *Rossiyskiy zhurnal nauk o Zemle*, 6(3), 405–426. (Rus.).
- Kalieva, S.S., Kolbina, A.V., Logvin, V.N. (2016). *Bronze Age necropolis Dzhangildy 5*. Kostanay: Kostanay-polygrafiya. (Rus.).
- Kiryushin, Yu.F. (2002). *Eneolithic and early bronze in the south of Western Siberia*. Barnaul. (Rus.).
- Kozlovsky, E.A. (Ed.) (1989). *Geology of the USSR. Vol. XX: Central Kazakhstan. Useful Fossils. Book 1*. Moscow: Nedra. (Rus.).
- Kudryavtseva, N.G., Kuznetsov, V.V., Seravina, T.V. (2022). Geodynamic settings for the formation of non-ferrous and precious metal deposits in the Greater Altai. *Otechestvennaya geologiya*, (2), 12–23. (Rus.).
- Kuzminykh, S.V. (2009). On the metal of the Chicha 1 site. In: *Chicha — a site of the transitional period from Bronze to Iron in the Baraba forest-steppe. Vol. 3*. Novosibirsk; Berlin: IAET SB RAS, 202–212. (Rus.).
- Kuzminykh, S.V., Chernykh, E.N. (1985). Spectroanalytical study of the metal of the Bronze Age of the forest-steppe Tobol region (preliminary results). In: Potemkina T.M. *Bronzovyy vek lesostepnogo Pribol'ya*. Moscow: Nauka, 346–367. (Rus.).
- Margulan, A.Kh. (2001). *Works: In 14 volumes. Vol. 2: Saryarka. Mining and metallurgy in the Bronze Age. Dzhezkazgan is an ancient and medieval metallurgical center (Milykuduk sites)*. Almaty: Dyke-Press. (Rus.).

Molodin, V.I., Epimakhov, A.V., Marchenko, Zh.V. (2014). Radiocarbon Chronology of the South Urals and The South of the Western Siberia Cultures: Principles and Approaches, Achievements and Problems. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Istoriya, filologiya*, 13(3), 136–167.

Molodin, V.I., Durakov, I.A., Mylnikova, L.N., Nesterova, M.S. (2018). Adaptation of the Seima-Turbino tradition in the Bronze Age cultures of the south of the West Siberian Plain. *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*, 46(3), 49–58. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2018.46.3.049-058>

Potseluev, A.A., Peregudov, V.V., Babkin, D.I., Ananyev, Yu.S. (2012). Gold in the ores of the Syrymbet rare metal deposit (Northern Kazakhstan). *Izvestia Tomskogo Polytechnicheskogo Universiteta*, (1), 41–45. (Rus.).

Pekov, I.V. (1998). *Minerals First Discovered on the Territory of the Former Soviet Union*. Moscow: Ocean Pictures.

Powell, W., Johnson, M., Pulak, C., Yener, K. A., Mathur, R., Bankoff, H.A., Godfrey, L., Price, M., Galili, E. (2021). From peaks to ports: Insights into tin provenance, production, and distribution from adapted applications of lead isotopic analysis of the Uluburun tin ingots. *Journal of Archaeological Science*, 134, 105455. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105455>

Radivojević, M., Rehren, T., Kuzmanović-Cvetković, J., Jovanović, M., Northover, J.P. (2013). Tainted ores and the rise of tin bronzes in Eurasia, c. 6500 years ago. *Antiquity*, 87(338), 1030–1045.

Satpayev, K.I. (Ed.) (1955). *Cadastr of mineral deposits of Central Kazakhstan*. Moscow: Gosgeoltekhizdat. (Rus.).

Shcherba, G.N. (1951). Archaeological finds in the Southern Altai in 1949. *IAN KazSSR*, (3), 117–121. (Rus.).

Smirnov, V.I. (1981). *Correlation methods in paragenetic analysis*. Moscow: Nedra. (Rus.).

Stöllner, T., Samashev, Z., Berdenov, S., Cierny, J., Doll, M., Garner, J., Gontscharov, A., Gorelik, A., Hauptmann, A., Herd, R., Kusch, G., Merz, V., Riese, T., Sikorski, B., Zickgraf, B. (2011). Tin from Kazakhstan — steppe tin for the west? *Anatolian Metal*, V. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 231–252.

Thornton, C., Lamberg-Karlovsky, C.C., Liezers, M., Young, S.M.M. (2002). On pins and needles: Tracing the evolution of copper-based alloying at Tepe Yahya, Iran, via ICP-MS analysis of Common-place items. *Journal of Archaeological Science*, 29(12), 1451–1460.

Vinogradov, N.B. (1982). Kulevchi III — a site of the Petrovka type in the Southern Trans-Urals. *KSIA*, (169), 94–100. (Rus.).

Vinogradov, N.B., Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V. (2013). Metallurgy and metalworking in the life of the inhabitants of the fortified site of Ustye 1. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (3), 4–30. (Rus.).

Yakovlev, P.D. (1986). *Industrial types of ore deposits*. Moscow: Nedra. (Rus.).

Zdanovich, G.B. (1988). *Bronze Age of the Ural-Kazakh steppes (basics of periodization)*. Sverdlovsk: UrGU. (Rus.).

Zhilinsky, G.V. (1959). *Tin content of Central Kazakhstan*. Alma-Ata: AN KazSSR. (Rus.).

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

Дегтярева А.Д., <https://orcid.org/0000-0002-1945-7145>

Кузьминых С.В., <https://orcid.org/0000-0002-3926-2185>

Орловская Л.Б., <https://orcid.org/0000-0002-2449-4098>

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

Виноградов Н.Б., <https://orcid.org/0000-0002-0434-6012>

Сведения об авторах:

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

Дегтярева Анна Давыдовна, кандидат исторических наук, ведущий научный сотрудник, Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень.

Кузьминых Сергей Владимирович, кандидат исторических наук, ведущий научный сотрудник, Институт археологии РАН, Москва.

Орловская Любовь Болеславовна, старший научный сотрудник, Институт археологии РАН, Москва.

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

Виноградов Николай Борисович, доктор исторических наук, профессор, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, Челябинск.

About the authors:

Artemyev, D.A., Candidate of Geological and Mineralogical Science, Researcher, Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, territory of Ilmensky State Reserve, Miass.

Degtyareva, A.D., Candidate of Historical Sciences, Leading Researcher, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen.

Kuzminykh, S.V., Candidate of Historical Sciences, Leading researcher, Institute of Archeology RAS, Moscow.

Orlovskaya, L.B., Senior Researcher, Institute of Archaeology RAS, Moscow.

Alaeva, I.P., Candidate of Historical Sciences, Senior Researcher, South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk.

Vinogradov, N.B., Doctor of Historical Sciences, Professor, The South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk.



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

Accepted: 03.10.2024

Article is published: 15.12.2024