

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

## ВЕСТНИК АРХЕОЛОГИИ, АНТРОПОЛОГИИ И ЭТНОГРАФИИ

*Сетевое издание*

**№ 1 (64)  
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;  
Бороффка 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](mailto: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

**№ 1 (64)  
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](mailto:vestnik.ipos@inbox.ru)

URL: <http://www.ipdn.ru>

Артемяев Д.А.<sup>а</sup>, Дегтярева А.Д.<sup>б,\*</sup>, Кузьминых С.В.<sup>с</sup>, Орловская Л.Б.<sup>с</sup><sup>а</sup> ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, тер. Ильменский заповедник, Миасс, 456317<sup>б</sup> ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН, ул. Червишевский тракт, 13, Тюмень, 625008<sup>с</sup> Институт археологии РАН, ул. Дм. Ульянова, 19, Москва, 117292

E-mail: artemyev@mineralogy.ru (Артемяев Д.А.); adegyareva126@gmail.com (Дегтярева А.Д.);

kuzminykhsv@yandex.ru (Кузьминых С.В.); lborl47@rambler.ru (Орловская Л.Б.)

## ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛ ЭПОХИ БРОНЗЫ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА: ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И РУДНАЯ БАЗА

*Методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией был исследован химический состав 29 медных и бронзовых артефактов из материалов памятников петровской и алакульской культур позднего бронзового века междуречья Тобола и Ишима: могильников Джангильды 5 и Бекте-низ, поселений Семиозерное 2 и Новоникольское 1. В исследуемой выборке «чистая» медь является веду-щей металлургической группой с незначительным перевесом как в петровском, так и в алакульском ме-талле; вторая часть изделий представлена оловянными бронзами: низколегированными в петровской культуре, высоколегированными — в алакульской. Статистический анализ главных компонент элементо-примесей в металле показал разделение на 6 основных геохимических групп. Среди этих групп выделяются оловянные бронзы с неинтерпретируемым медным компонентом (10 экз.), «чистая» медь уральского проис-хождения с Fe-Co-Ni-As-Zn корреляциями (9 экз.) и «чистая» медь с полиметаллической Sn-Pb-As-Ag-Se спе-циализацией (10 экз.), соответствующей рудам медных месторождений Кокшетауского антиклинория. Обзор тектонических структур Северного Казахстана показал наличие нескольких близкорасположенных медно-порфирировых и скарновых месторождений с древними рудниками (Имантау, Баксинское, Аккан-Бурлукское и др.), которые, вероятно, являлись источником медной руды. Данные говорят о приуроченности памятников брон-зового века Северного Казахстана к рудно-сырьевой базе региона и интенсивности торгового обмена ме-таллургической продукцией между уральскими и казахстанскими очагами металлопроизводства.*

**Ключевые слова:** Северный Казахстан, металлопроизводство, петровская культура, ала-кульская культура, масс-спектрометрический анализ, геохимические группы, древние рудники.

### Введение

В археологических исследованиях одним из основных направлений является установление источников металла, путей его распространения и циркуляции в древних обществах [Черных, 2007; Pollard et al., 2018]. Основная используемая при этом методика — определение химических и изотопных характеристик металла и сравнение его с известными или предполагаемыми рудами различных месторождений. Химический состав металла широко изучается в мировой археометрии уже более 90 лет. В отечественной науке начало этому направлению исследова-ний было положено с 1930-х гг. XX в. работами В.В. Данилевского, А.А. Иессена, И.Р. Селимха-нова и др. Огромный массив спектральных анализов выполнен под руководством Е.Н. Черных в лаборатории естественнонаучных методов ИА РАН [Черных, 1966; 1970; 2007; Черных, Кузьми-ных, 1989; и др.]. В процессе осмысления этого материала Е.Н. Черных была разработана кон-цепция металлургических провинций, очагов металлопроизводства, исследованы векторы исто-рико-металлургических связей в эпоху раннего металла на территории Евразии.

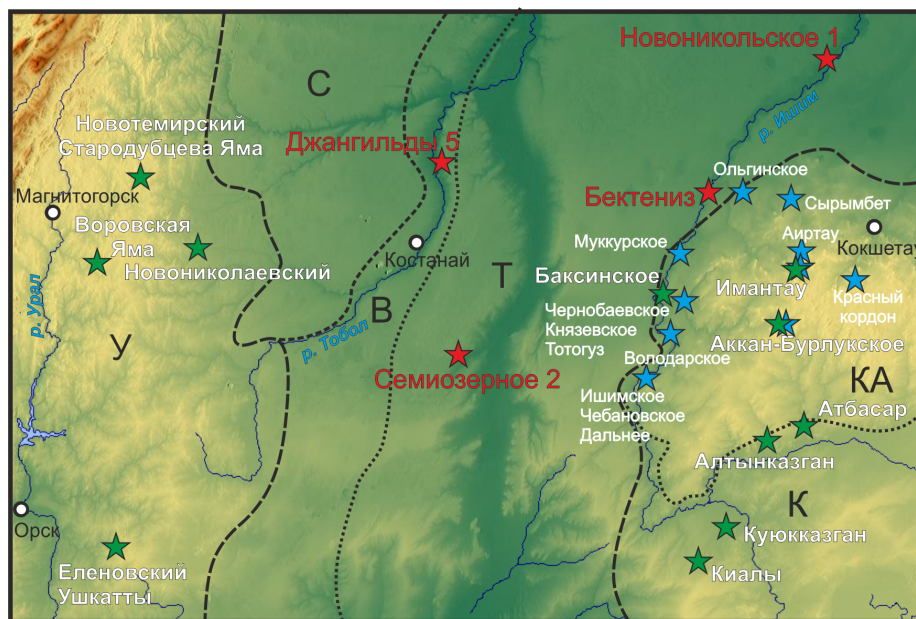
Несмотря на многочисленные работы по изучению химического состава металла эпохи бронзы и технологий его обработки в производящих центрах Уральской и Казахстанской горно-металлургических областей, наличие большой базы аналитических данных, полученных во вто-рой половине XX в. методом спектрального анализа, актуальность исследований по данной тематике не снижается. Развитие аналитических методов, увеличение чувствительности и пре-цизионности при исследовании вещества, а также применение новых широкодоступных стати-стических методов обработки позволяет под новым углом взглянуть на интерпретацию химиче-ского состава древнего металла, особенно в совокупности с увеличивающимися возможностя-ми использования геологических и минералого-геохимических данных.

\* Corresponding author.

Целью данной работы стало определение химического состава медных и бронзовых изделий памятников междуречья Тобола и Ишима Северного Казахстана для установления источников медного и оловянного сырья и выявления особенностей его циркуляции между Уральскими и Центрально-Казахстанскими производящими центрами. Актуальность исследования обусловлена ограниченным числом работ по химическому составу металла первой половины II тыс. до н.э. Петропавловского Приишимья и разрозненностью сведений о вероятных источниках меди и олова Северного Казахстана. Для решения поставленных задач в работе был использован метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией в совокупности со статистическим методом анализа главных компонент и анализом геологических данных по рудоносным тектоническим структурам региона исследования.

### Материалы и методы

В данной работе была проанализирована выборка медных и бронзовых украшений, ножей, скоб, заготовок (29 экз.) из четырех памятников междуречья Тобола и Ишима в Северном Казахстане. Металлические изделия происходят из поселений и могильников петровской (15 проб; пос. Новоникольское 1, Семиозерное 2, мог. Бектениз) и алакульской (14 проб; мог. Джангильды 5, погр. 30, 41; рис. 1) культур. Памятники исследованы в 70–80-е гг. XX в. экспедициями Петропавловского и Костанайского пединституты, Карагандинского университета под руководством Г.Б. Здановича, С.Я. Зданович, В.В. Евдокимова, С.С. Калиевой, В.Н. Логвина [Зданович, 1988; Евдокимов, 2002; Евдокимов и др., 2016; Калиева и др., 2016]. Результаты радиоуглеродного датирования, в том числе большая серия AMS-дат, показали довольно близкие интервалы существования памятников петровской культуры Южного Зауралья и Северного Казахстана в пределах XIX–XVIII вв. до н.э. [Епимахов и др., 2005; Краузе и др., 2019; Чечушков и др., 2020, с. 55]. По мнению А.В. Епимахова [2016], радиоуглеродная хронология памятников алакульской культуры достаточно сложна в связи с большой протяженностью хронологических интервалов. Эталонными могут быть даты Лисаковских могильников 1–4, имеющих высокую степень достоверности результатов датирования в интервале XVIII–XVII вв. до н.э. [Епимахов, 2016; Panyushkina et al., 2008].

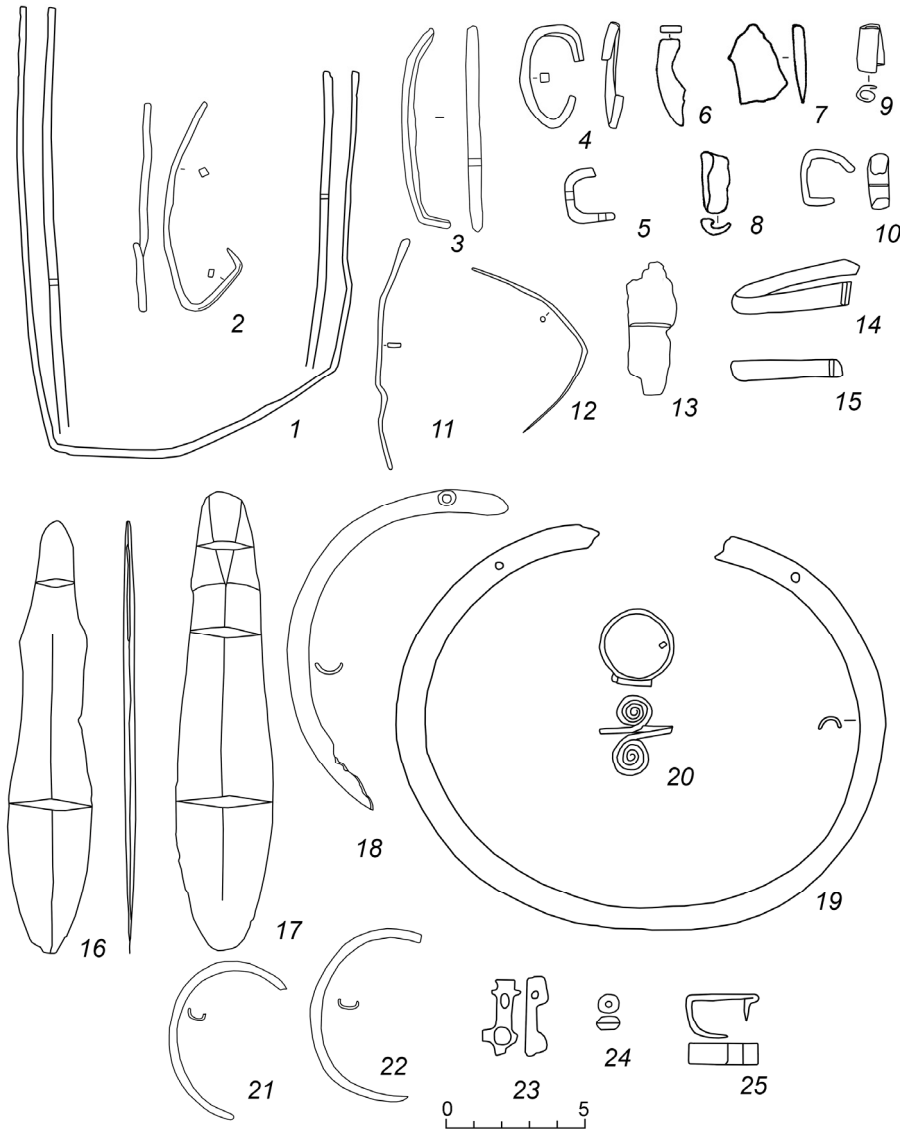


**Рис. 1.** Карта памятников бронзового века Северного Казахстана с исследованным металлом (красные звезды) с известными древними медными рудниками (зеленые звезды), оловянными проявлениями и месторождениями (синие звезды). Основные тектонические структуры: У — Уральский складчатый пояс (уралиды), С — Западно-Сибирская плита (уралиды под осадочным чехлом), В — Валерьяновская вулканно-плутоническая зона, Т — Тургайский прогиб (казахстаниды под осадочным чехлом), К — казахстаниды с Кокшетауским антиклинорием (КА).

**Fig. 1.** Map of Bronze Age sites of Northern Kazakhstan with examined metal (red stars) with known ancient copper mines (green stars), tin occurrences and deposits (blue stars). Basic tectonic structures: У — Ural fold belt (Uralids), С — West Siberian plate (Uralids under the sedimentary cover), В — Valeryanovka volcanic-plutonic zone, Т — Turgay trough (Kazakhstanide under the sedimentary cover), К — Kazakhstanids with Kokshetau anticlinorium (KA).

**Цветной металл эпохи бронзы Северного Казахстана: геохимическая характеристика и рудная база**

Выборка металла была сформирована из имеющихся в лаборатории естественнонаучных методов ИА РАН срезов от медных и бронзовых изделий (стружка для метода непригодна). Анализируемые изделия петровской культуры представлены пронизью, крюком, иглой, скобами (4 экз.), проволокой (2 экз.), пластинами (3 экз.), сплесками (3 экз.; табл. 1). Изделия алакульской культуры происходят из ям 30, 41, 44 могильника Джангильды 5. В их числе нож с выделенным перекрестьем, второй нож — с выделенным перекрестьем и перехватом, крестовидная подвеска, гривны (2 экз.), перстень с двумя симметричными плоскими щитками, браслеты с выпукло-вогнутым сечением (2 экз.), бусины усеченно-бипирамидальные в профиле (5 экз.), скоба (1 экз.).



**Рис. 2.** Металлические изделия Северного Казахстана петровской (1–15) и алакульской (16–25) культур:  
 1–8 — пос. Новоникольское 1; 9, 10 — мог. Бектениз; 11–15 — пос. Семиозерное 2; 16–25 — мог. Джангильды 5:  
 1, 11 — проволока (ан. 38615, 34610); 2 — крюк (ан. 38617); 3–5, 10, 25 — скобы (ан. 38618, 38619, 38620, 38652, 38939);  
 6–8 — сплески (ан. 38622, 38623, 38624); 12 — игла (ан. 34611); 13–15 — пластины (ан. 34609, 34607, 34608);  
 16, 17 — ножи (ан. 40469, 40461); 18, 19 — гривны (ан. 38937, 38938); 20 — кольцо (ан. 38938);  
 21, 22 — браслеты (ан. 38935, 38936); 23 — крестовидная подвеска (ан. 38928); 24 — бусина (ан. 38930–38934).

**Fig. 2.** Metal products of Northern Kazakhstan of the Petrovka (1–15) and Alakul (16–25) Cultures:  
 1–8 — Novonikolskoye 1; 9, 10 — Bekteniz; 11–15 — Semiozernoye 2; 16–25 — Dzhangilydy 5:  
 1, 11 — wire (an. 38615, 34610); 2 — hook (an. 38617); 3–5, 10, 25 — staples (an. 38618, 38619, 38620, 38652, 38939);  
 6–8 — splashes (an. 38622, 38623, 38624); 12 — needle (an. 34611); 13–15 — plates (an. 34609, 34607, 34608);  
 16, 17 — knives (an. 40469, 40461); 18, 19 — hryvnia (an. 38937, 38938); 20 — ring (an. 38938);  
 21, 22 — bracelets (an. 38935, 38936); 23 — cross-shaped pendant (an. 38928); 24 — bead (an. 38930–38934).

**Состав медных и бронзовых артефактов Северного Казахстана по результатам масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляции (Cu — мас. %, остальные элементы — ppm = 10<sup>-4</sup> мас. %)**

Table 1

Copper and bronze artifacts composition from Northern Kazakhstan by results of laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (Cu — wt.%, other elements — ppm = 10<sup>-4</sup> wt.%)

№ пробы	Предмет	Шифр ИА РАН	Группа	Тип сплава	Cu, %	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi	
<b>Могильник Бектениз (1 — кург. 3, погр. 6; 2 — кург. 4, погр. 1)</b>																			
1	Пронизь	38645	A	Cu+Sn (Pb)	91,1	710	2,56	25,2	8,5	416	9,8	561	83500	5,84	15	22,3	3760	48	
1	Пронизь	38645	A	Cu+Sn (Pb)	91,1	670	2,62	23,1	8,1	415	13,9	561	81720	4,83	22,7	21,7	5270	61,5	
1	Пронизь	38645	A	Cu+Sn (Pb)	91	520	2,29	24,8	8,6	454	9,1	562	84740	4,94	15,2	21,4	3590	55	
2	Скоба	38652	D	Cu	99,9	680	0,85	24,5	1,2	86	30,5	100,9	126	1,49	1,38	1,35	25,2	15,9	
2	Скоба	38652	D	Cu	99,8	1220	0,73	22,1	1,35	79	31,8	85,1	103,8	1,26	0,29	1,57	30	18,7	
2	Скоба	38652	D	Cu	99,7	2930	0,46	21,2	1,27	108	36,6	118	175	1,85	2,6	1,58	44,2	28,1	
<b>Поселение Новоникольское 1</b>																			
3	Проволока	38615	D	Cu+Sn	99,4	1340	0,15	6,8	7,3	184	63	391	3570	3,07	73	1,73	73,9	112	
3	Проволока	38615	D	Cu+Sn	99,1	2650	0,24	7,6	9,6	224	72	426	5300	4,27	95	1,52	49,5	62,5	
3	Проволока	38615	D	Cu+Sn	99,4	1510	0,28	10,2	7,2	180	62	370	4030	3,49	74	2,3	64,5	92	
4	Крюк	38617	A	Cu+Sn	99,1	181	0,85	45,9	19,6	541	29,3	143,7	6180	22,6	11,7	17	1940	80,1	
4	Крюк	38617	A	Cu+Sn	99	360	0,81	45,8	22	483	26,1	131,9	7030	18,1	11,5	16,2	1790	66,7	
4	Крюк	38617	A	Cu+Sn	98,8	213	0,53	43,1	21,2	543	77	149,6	7440	19,8	23,1	15,3	3120	124	
5	Скоба	38618	B	Cu	99,9	86	0,25	17,4	15,4	207	6,2	9,8	21,2	5,04	0,001	0,77	366	0,085	
5	Скоба	38618	B	Cu	99,9	54	0,19	19,8	19,9	194	0,21	7,9	20,3	5,75	0,11	0,77	318	0,098	
5	Скоба	38618	B	Cu	99,9	144	0,41	17,5	16,4	184	1,6	9,5	19,2	5,37	0,001	0,24	362	0,098	
6	Скоба	38619	BC	Cu	99,9	460	0,204	19	1,08	10	3	7,5	125	7,11	0,001	1,51	3,52	0,092	
6	Скоба	38619	BC	Cu	99,9	540	0,217	11,5	0,93	11,8	0,67	7,31	148,5	5,34	0,001	1,45	5,56	0,084	
6	Скоба	38619	BC	Cu	99,9	600	0,13	17,2	1,18	27,7	0,68	13,4	292	16,3	0,001	1,41	8,5	0,196	
7	Скоба	38620	D	Cu	99,7	2600	0,48	11,6	0,68	110	22,3	60,6	274	1,52	0,17	0,55	6,22	7,88	
7	Скоба	38620	D	Cu	99,6	3460	0,57	12,6	1,39	89,9	32,1	59,6	245	2,13	0,19	0,93	5,71	6,81	
7	Скоба	38620	D	Cu	99,7	2260	0,68	12	0,51	104,3	16,5	58,1	263,1	1,94	0,001	0,63	6,04	7,03	
8	Сплек	38622	A	Cu+Sn (Pb)	85,7	14	1,8	30,2	11,77	92	3,5	179,6	134300	5,63	0,1	322,1	7480	116,5	
8	Сплек	38622	A	Cu+Sn (Pb)	85,5	41	1,64	33	13,5	96,3	3,4	179,4	134400	3,81	0,77	316,9	9020	144,8	
8	Сплек	38622	A	Cu+Sn (Pb)	85,8	38	1,72	31,7	15,3	101,6	8	177,7	131600	10	2,07	322,8	9210	137,8	
9	Сплек	38623	A	Cu+Sn+As	94,8	83	8,71	93,7	15,1	2200	15,1	682	47300	708	2	135,2	417	37,3	
9	Сплек	38623	A	Cu+Sn+As	95,7	61	9,69	102,3	15	2200	12,1	597	39100	582	5,1	111,2	256	16,8	
9	Сплек	38623	A	Cu+Sn+As	93,3	60	8,95	81,1	15,7	2670	18,9	1070	63200	765	7,3	134,8	302	30,1	
9	Сплек	38623	A	Cu+Sn+As	95,7	70	11,8	99,6	14,4	2090	24,9	606	39400	605	4,8	11,8	228	16,3	
10	Сплек	38624	A	Cu+Sn	98,3	38	1,29	28,3	6,7	559	39,6	325	15730	63,4	4,7	10,7	177,9	10,97	
10	Сплек	38624	A	Cu+Sn	98,2	35	1,63	27,3	8,2	595	52	374	16940	64,3	7,6	11,8	233	16,7	
10	Сплек	38624	A	Cu+Sn	98	5	1,43	22,9	9,1	645	56	389	18350	72,9	6,4	12	257	19,6	
<b>Поселение Семизерное 2</b>																			
11	Пластина	34607	C	Cu	99,4	6220	1,21	14,7	5	26,2	5,8	79,2	3	3,89	0,001	0,39	10,7	0,371	
11	Пластина	34607	C	Cu	99,5	4940	1,37	14,5	2,68	29,4	6,1	77,5	3,7	2,9	0,001	0,37	10,95	0,416	
11	Пластина	34607	C	Cu	99,5	5160	1,11	16,2	4,9	21,8	0,8	65,4	11	3,32	0,11	0,55	9,05	0,337	
12	Пластина	34608	C	Cu	99,5	4760	1,43	14	5,6	30,9	4	71,2	2,84	2,88	0,09	0,47	9,04	0,344	
12	Пластина	34608	C	Cu	99,5	4500	0,93	14,7	6,5	31,5	4,1	90,9	3,5	2,94	0,001	0,39	9,96	0,395	
12	Пластина	34608	C	Cu	99,6	4250	0,95	11,5	7,1	31,5	1,2	98	1,97	4,12	0,001	0,41	10,83	0,328	
13	Пластина	34609	C	Cu	99,9	460	5,04	37,9	2,63	441	11,4	97,8	1,66	2,73	0,001	0,47	15,6	0,052	
13	Пластина	34609	C	Cu	99,8	930	5,99	40,5	3,02	489	19,4	94,5	2	2,63	0,09	0,52	15,9	0,049	
13	Пластина	34609	C	Cu	99,9	110	5,67	41,8	2,8	534	18,3	109,1	0,77	2,54	0,001	0,29	13,74	0,045	
14	Проволока	34610	AE	Cu	99,9	470	2,24	24,1	14,9	190	10	155,7	7,3	7,05	5	0,39	339	7,26	
14	Проволока	34610	AE	Cu	99,9	261	2,37	23,7	12,5	177	11,1	142	7,7	7,05	10,2	0,19	415	10,5	
14	Проволока	34610	AE	Cu	99,9	221	2,63	25,2	15,3	185	3,7	147,1	6,9	8,37	3,9	0,61	346	9,3	
15	Игла	34611	B	Cu+Sn	94,6	1690	20,86	651	28,8	1151	3,1	65,7	50700	29,6	0,05	1,15	199,8	3,35	
15	Игла	34611	B	Cu+Sn	94,3	2250	20,2	637	32,4	1209	1,8	70,3	52800	32,1	0,1	1,26	214,3	3,69	
15	Игла	34611	B	Cu+Sn	94,6	1316	22,2	659	40,7	1187	0,58	71,6	50400	31,2	0,039	1,29	192,4	3,16	
<b>Могильник Джангильды 5 (1–12 — яма 30; 14–15 — яма 41, 16 — яма 44)</b>																			
1	Подвеска	38928	B	Cu+Sn	77,7	790	2,09	27	10,3	282	1,27	6,04	221500	2,72	0,001	0,17	12,94	2,57	
1	Подвеска	38928	B	Cu+Sn	79	1	1,82	25,6	9,91	224,7	1,58	4,21	209400	2,16	0,001	0,175	10,19	1,94	
1	Подвеска	38928	B	Cu+Sn	79,9	26	1,83	23	9,48	235,2	1,38	4,28	200300	1,91	0,001	0,178	9,57	1,87	
2	Бусина	38930	E	Cu	99,7	1730	3,57	20,9	29	581	34,1	57,8	177	4,34	1,16	0,59	747	16,8	
2	Бусина	38930	E	Cu	99,6	1840	3,07	20	30,9	536	42,1	60,8	127,6	4,11	1,42	0,59	1270	25,8	
2	Бусина	38930	E	Cu	99,5	1960	2,99	21	31,9	589	19,3	63,7	156	4,57	1,45	0,52	2400	51,9	
3	Бусина	38931	E	Cu	99,5	2020	3,09	21,1	26,5	584	61	57,5	157	4,88	0,55	0,48	1980	34,4	
3	Бусина	38931	E	Cu	99,6	2200	4,25	26,8	27,1	547	25,2	59,2	156,7	5,54	2,1	0,4	799	22,2	
3	Бусина	38931	E	Cu	99,7	1750	3,2	22	24,5	550	17,9	50,1	133,1	4,45	0,79	0,56	583	12,4	
4	Бусина	38932	E	Cu	99,5	2180	3,17	24,6	29,4	576	35,5	60,7	131,1	5,15	1,42	0,35	2050	51	
4	Бусина	38932	E	Cu	99,6	2090	8,02	30,4	34,6	625	29,9	68,4	163,3	7,82	0,33	1,08	1310	33,2	
4	Бусина	38932	E	Cu	99,6	2020	5,6	29,6	28,3	532	19	57	129,8	5,79	1,37	1,11	1070	26,3	
5	Бусина	38933	E	Cu	99,6	2120	3,15	19,3	29,6	583	48	62,5	134,9	5,75	0,001	0,7	1450	34,9	
5	Бусина	38933	E	Cu	99,6	1910	3,22	21,6	35,3	626	49	71,8	157	6,11	0,71	0,51	1490	36,4	
5	Бусина	38933	E	Cu	99,6	1770	3,36	21,9	31,6	557	25,9	61,2	126	5,3	0,76	0,44	1350	30,8	
6	Бусина	38934	E	Cu	99,4	1920	3,47	23,5	34,2	629	58	75,4	155,9	7,02	3	0,45	2870	70	
6	Бусина	38934	E	Cu	99,5	1880	3,53	26	31,6	564	38	67,3	140,7	6,76	0,73				

Цветной металл эпохи бронзы Северного Казахстана: геохимическая характеристика и рудная база

Окончание табл. 1

№ пробы	Предмет	Шифр ИА РАН	Группа	Тип сплава	Cu, %	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi
8	Браслет	38936	A	Cu+Sn	89,4	104	1,53	52,5	8,1	652	41	274	101400	20,5	11,1	2,41	3000	221
9	Гривна	38937	BC	Cu	99,6	182	0,69	35,7	12,3	1850	24	52,8	83	27,9	0,001	0,43	2160	0,38
9	Гривна	38937	BC	Cu	99,3	233	0,48	34,6	15,8	2080	136	60,3	46,9	34	0,24	0,45	4250	0,13
9	Гривна	38937	BC	Cu	98,8	206	0,73	30,7	19,1	2740	271	93	30	48,2	0,001	0,6	8600	1,32
10	Перстень	38938	A	Cu+Sn	88,6	250	3,84	53	7,3	239	23	99,4	111300	10,2	24	5,2	1740	33,2
10	Перстень	38938	A	Cu+Sn	88,2	50	2,01	64,2	6,2	221	13	102,8	116600	9,7	5,7	4,7	1412	23,9
10	Перстень	38938	A	Cu+Sn	85,2	104	2,23	61	5,3	325	19	196	145300	11,8	14,7	9	1480	20,7
10	Перстень	38938	A	Cu+Sn	87,8	227	1,53	65,3	8,2	278	29	161	119900	11,5	16,6	7,3	1560	19,7
11	Скоба	38939	F	Cu	100	300	0,015	7,3	0,06	0,8	0,05	6,9	89	0,07	0,001	0,79	7,8	0,11
11	Скоба	38939	F	Cu	100	240	0,005	7,5	1,8	4,5	1,6	8,2	72,8	0,01	0,001	0,82	4,82	0,046
11	Скоба	38939	F	Cu	100	134	0,66	6,6	1,01	11,8	5,9	11,4	92,1	1,04	0,25	1,21	13	0,295
14	Гривна	40460	C	Cu	99,3	6300	0,51	26,5	1	21,3	8	413	70	0,28	0,34	0,21	3	0,1
14	Гривна	40460	C	Cu	99,8	1780	0,24	40,8	1,6	26	8,8	535	36	0,34	0,6	0,72	3,21	0,2
14	Гривна	40460	C	Cu	99,7	1990	2,6	35,8	5	22	3,5	414	65	2,3	0,001	1,35	4,4	0,59
14	Гривна	40460	C	Cu	99,8	1470	0,99	36	2,5	27,8	6	510	100	1,3	0,001	0,21	2,93	0,25
15	Нож	40461	A	Cu+Sn	95,8	270	1,47	57,7	6,9	421	0,03	872	38200	12,1	0,001	6,5	1790	8,01
15	Нож	40461	A	Cu+Sn	95	260	1,79	62,9	8,6	510	0,02	1038	46030	14,4	2,4	7,8	2580	11,03
15	Нож	40461	A	Cu+Sn	94,6	20	1,4	51,6	10,5	528	0,02	1193	47780	15,1	0,001	7,4	4070	17,5
16	Нож	40469	A	Cu+Sn	90,1	800	1,77	85,5	30,3	1388	1	172,6	96400	57,5	0,001	8,27	582	65,1
16	Нож	40469	A	Cu+Sn	86	1210	8,11	116	45,6	1632	2,4	157	135800	73,9	1,1	8,5	679	86,1
16	Нож	40469	A	Cu+Sn	84,2	1271	3,08	99	49,9	1625	0,6	164	153500	69,2	2,4	8,5	900	124

Элементы-примеси в медных и бронзовых изделиях были определены методом лазерной абляции на лазерной приставке New Wave Research UP-213, совмещенной с квадрупольным масс-спектрометром с индуктивно связанной плазмой Agilent 7700x в ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (г. Миасс). Абляция проводилась в линейном режиме: каждая проба анализировалась 3–4 линиями длиной 600 мкм при скорости движения пучка лазера 10 мкм/с (30 с — холостой сигнал, 60 с — анализ), энергия лазера 4.5–6 Дж/см<sup>2</sup>, частота повторения импульсов 10 Hz, несущие газы — He (скорость потока 0.55–0.6 л/мин) и Ar (скорость потока 0.9–0.95 л/мин). Для калибровки масс-спектрометра применялись стандартные мультиэлементные растворы Agilent и международный референсный материал NIST SRM-610, с дальнейшей настройкой уровня оксидных ионов < 0.3 % и отношения Th/U ~ 1. Для расчета состава металла использовались международные стандарты NIST SRM-610 (стекло) и NIST SRM-500 (медь). Расчет проводился в программе Iolite с использованием <sup>65</sup>Cu в качестве внутреннего стандарта и нормированием 14 основных элементов до 100 мас. % по стандартной методике [Longerich et al., 1996].

Таблица 2

Распределение металлических изделий петровской и алакульской культур Северного Казахстана по металлургическим группам

Table 2

Metal products distribution of the Petrovka and Alakul Cultures from Northern Kazakhstan by metallurgical groups

Категория	Металлургические группы (кол-во/%)			Всего
	Cu	Cu+Sn	Cu+Sn+As	
<b>Петровская культура</b>				
Орудия труда	—	2	—	2
Украшения	—	1	—	1
Заготовки, скобы	8	1	—	9
Слитки	—	2	1	3
<b>Итого</b>	<b>8/53,3</b>	<b>6/40</b>	<b>1/6,7</b>	<b>15/100</b>
<b>Алакульская культура</b>				
Орудия	—	2	—	2
Украшения	7	4	—	11
Скоба	1	—	—	1
<b>Итого</b>	<b>8/57,1</b>	<b>6/42,9</b>	<b>—</b>	<b>14/100</b>
<b>Всего</b>	<b>16/55,2</b>	<b>12/41,4</b>	<b>1/3,4</b>	<b>29/100</b>

Результаты

«Чистая» медь является ведущей металлургической группой с незначительным перевесом как в петровской, так и в алакульской выборках (табл. 2; по 8 предметов соответственно). Из чистой меди изготовлены заготовки, скобы, бусины, гривны (алакульская серия). Вторая группа металла, немного по численности уступающая первой, представлена изделиями из оловянной бронзы (орудия, украшения); она присутствует и в отходах производства (сплески). Петровский металл относится к группе низколегированных бронз (концентрации Sn не превышали 8,5 мас. %), алакульский, особенно украшения, — к группе средне- и высоколегированных сплавов с содержанием Sn до 22 мас. %. В пролизи и сплеске (ан. 38645, мог. Бектениз; ан. 38622, пос. Новоникольское 1) обнаружены повы-

шенные концентрации свинца до 0,5–0,9 мас. %. Оловянно-мышьяковые бронзы представлены сплеском (ан. 38623; пос. Новоникольское 1), содержащим до 6,3 мас. % Sn и до 0,3 мас. % As.

Представленная аналитическая сводка небольшая, последующие исследования внесут, безусловно, определенные коррективы в полученные выводы. Однако сопоставляя имеющиеся аналитические данные по очагам металлопроизводства Южного Зауралья и Центрального Казахстана с североказахстанским, следует отметить, что в первых двух преобладают изделия, изготовленные из чистой меди (63,6 % и 69,2 % соответственно), доля легированных сплавов (Cu+Sn, Cu+Sn+As, Cu+As) в них заметно ниже (36,4 % и 30,8 % соответственно) [Дегтярева, Кузьминых, 2022]. Возможно, причины появления большей доли оловянных бронз в металле Северного Казахстана кроются в большей доступности источников олова.

#### **Могильник Бектениз**

**Пронизь, ан. 38645 (Cu+Sn):** Cu 91.1 мас. %, Sn 8.3 мас. %, Pb 0.42 мас. %. Среди микропримесей отмечаются повышенные концентрации (здесь и далее, где не указано, значения приведены в ppm) Fe (520–710), вероятно отражающие технологические особенности плавки, Ag (561) и Bi (48–61), часто присущие свинцово-оловянным лигатурам. Довольно высокие содержания имеют такие рудные элементы, как As (415–454), Te (15–23) и Au (21.4–22.3), характерные в том числе для порфировых (золоторудных и медных) месторождений (наряду с Bi). Другие элементы не имеют значительных маркирующих концентраций: Co 2.3–2.6, Ni 23–25, Zn 8.1–8.6, Se 9–14, Sb 4.8–5.8.

**Скоба, ан. 38652 (Cu):** состав довольно чистый — в среднем 99.8 мас. % меди. Среди элементов-примесей отмечаются высокие содержания Fe (до 0.3 мас. %), Sn (104–175), Ag (85–118), Se (31–37), Bi (16–28). Остальные элементы содержатся в рядовых значениях: Co 0.3–0.4, Ni 21–25, As 79–108, Pb 25–44, Sb 1.3–1.9, Zn < 2.5, Te < 2.6. Источник медных руд определить трудно, но, вероятно, они не уральского происхождения, о чем свидетельствуют повышенные концентрации олова. Несмотря на добавление оловянных лигатур, медь обоих артефактов, вероятно, связана с двумя разными рудными источниками.

#### **Поселение Новоникольское 1**

Исследован состав 8 изделий, из которых 4 изготовлены из оловянной бронзы (проволока, 2 сплеска и скоба), одно — из оловянно-мышьяковой бронзы (сплеск) и 3 — из чистой меди (скобы).

**Проволока, ан. 38615 (Cu+Sn),** сформована из оловянной бронзы (Cu 99.3 мас. %, Sn 0.43 мас. %, Fe 0.18 мас. %), но с низкими концентрациями Pb (50–74), Ni (6.8–10.2), Co (0.15–0.3), Sb (3.1–4.3) при высоких — Se (62–72), Te (73–95) и Bi (63–112). Содержания As (180–224), Ag (370–426) и Au (1.5–2.3) довольно выдержаны. Высокие концентрации Te и Bi при низких Au заметно выделяют состав металла этого изделия в исследуемой выборке.

**Крюк, ан. 381617 (Cu+Sn),** также представлен оловянной бронзой: Cu 99.0 мас. %, Sn 0.69 мас. %, Pb 0.23 мас. %. По высоким содержаниям Pb (1790–3120) и Au (15–18) заметно отличается от предыдущего образца и близок к оловянным бронзам Джангильды 5 (браслеты, ан. 38935 и 38936, перстень, ан. 38938), но с меньшими концентрациями Sn и при сходных — Bi (67–124) и Se (29–77); ниже содержания Fe (181–360), Ag (132–150), Te (11.5–23) и чуть выше As (483–543), Ni (43–46), Co (0.5–0.9), Sb (18–23). Вероятно, при изначально сходных с предыдущим артефактом оловянных лигатурах медные переплавы значительно усложнили химический состав скобы.

**Сплеск, ан. 38622 (Cu).** По химическому составу (Cu 85.7 мас. %, Sn 13.3 мас. %, Pb 0.86 мас. %) отличается аномально высокими концентрациями Au (317–323) и Bi (117–145), вероятно связанными с оловянной лигатурой, при низких Se (3.5–8) и Te (< 2.1). Содержания других элементов, кроме Ag (178–180), относительно низки (ppm): Fe 14–41, As 92–102, Ni 30–33, Co 1.6–1.8, Zn 11–15, Sb 3.8–10. Также отмечаются повышенные значения в металле серы (> 1 мас. %), что возможно при участии в плавке сульфидов или сульфатов из зоны окисления. Низкие концентрации большинства элементов в большинстве случаев затрудняют идентификацию источника медной руды. Но высокое содержание серы в данном случае исключает использование чистых азурит-малахитовых руд и может указывать на выплавку металла из халькозин-ковеллиновых руд медистых песчаников Приуралья (Каргалы). В пользу этого (если принимать во внимание, что Pb, Au и Bi связаны с оловянными лигатурами) свидетельствуют характерные высокие концентрации S и Ag, сопоставимо низкие — Fe, Te, а также Co, Ni, As, Sb и Se. Низкие концентрации Se и Te, наряду с высокими значениями серы, также снижают потенциальную вероятность использования зон вторичного сульфидного обогащения медных месторождений в вулканогенных толщах Южного Урала и Северного Казахстана. Подтверждением или опровержением это-



го могут стать дальнейшие исследования металла методами сканирующей электронной микроскопии, которые покажут формы нахождения серы в металле и идентификацию индикаторных минеральных включений.

**Сплекс, ан. 38623 (Cu+Sn+As).** Сходен по составу с оловянно-мышьяковыми бронзами: Cu 94.9 мас. %, Sn 4.7 мас.%, As 0.23 мас. %. Помимо мышьяка высоки концентрации Sb (580–770), Ag (597–1070), Pb (228–417), Au (111–135) при чуть повышенных значениях Ni (81–102), Co (8.7–11.8), Se (12–25) и Bi (16–37). Низки концентрации Fe (60–83) и Te (2.0–7.3). Высокие концентрации Pb, Bi, Au и Ag, очевидно, связаны с оловянными лигатурами с разбавлением меди «ультрабазитовым» компонентом (Co-Ni-As-Sb).

**Сплекс, ан. 38624 (Cu+Sn),** представлен оловянной бронзой: Cu 98.2 мас. %, Sn 1.7 мас. %. В повышенных концентрациях зафиксированы (ppm) As (559–645), Ag (325–389), Pb (78–257), Sb (63–73), Se (40–56), Te (4.7–7.6), Au (11–12) и рядовых — Ni (23–28), Co (1.2–1.6), Zn (6.7–9.1), Bi (11–20). По составу металл близок к предыдущему артефакту с полиметаллическим уклоном (ан. 38623). Судя по снижению концентраций большинства компонентов (Co-Ni-As-Sb-Pb-Bi-Au-Ag) параллельно с оловом, сплекс по своему химическому составу «разбавлен» чистой медью.

**Скоба, ан. 38618 (Cu),** соответствует очень чистой меди: Cu 99.9 мас. %. Основные примеси представлены (ppm) Pb (318–366), As (184–187) и Fe (54–144). Остальные элементы находятся в незначительном количестве (ppm): Sn 19–21, Ni 17–20, Zn 15–20, Ag 7.9–9.8, Sb 5.0–5.8, Se < 6.2, Te < 3.6, Au < 0.77, Co < 0.41, Bi < 0.12.

**Скоба, ан. 38619 (Cu)** (Cu 99.9 мас. %), в отличие от предыдущей имеет более низкие концентрации As (10–28), Pb (3.5–8.5), Zn < 1.2, которые компенсируются повышенными значениями Fe (540–600), Sn (195–292), Au (1.4–1.5). Содержания остальных элементов близки (ppm): Ni 11.5–19, Ag 7.3–13.4, Sb 5.3–16, Se < 3, Te < 3, Co < 0.3, Bi < 0.20. Схожесть состава указывает на один источник или геохимически близкие медные месторождения, а обратная зависимость Sn/(Pb+As) свидетельствует о разном уровне рудного среза месторождения.

**Скоба, ан. 38620 (Cu)** (Cu 99.7 мас. %, Fe 0.27 мас. %). Основные элементы-примеси представлены Sn (245–274), As (90–110), Ag (58–61), Se (17–32). Низки концентрации Co (0.5–0.7), Ni (11.6–12.6), Sb (1.5–2.1), Pb (5.7–6.2), Bi (6.8–7.9), Au (0.6–0.9), Zn < 3, Te < 2.7. Высокие значения Sn и Fe при относительно низких — других компонентов отражают концентрации в медной руде, связанной с полиметаллической специализацией.

### Поселение Семиозерное 2

Исследован химический состав 5 изделий, изготовленных из оловянной бронзы (игла) и чистой меди (проволока и 3 пластины).

**Игла, ан. 34611 (Cu+Sn),** представлена оловянной бронзой: Cu 94.5 мас. %, Sn 5.1 мас. %, Fe 0.18 мас. %, As 0.12 мас. %. Медная составляющая артефакта выплавлена из медных руд, связанных с ультрабазитами, о чем свидетельствуют высокие концентрации и корреляция Fe-As-Ni-Co-Sb («синташтинский» тип металла) (ppm): Fe 1320–2250, As 1150–1210, Ni 637–659, Co 20–22, Sb 30–32. С оловянной составляющей (лигатурой), вероятно, связаны повышенные значения Pb (192–214). Значения Ag (66–72), Au (1.2–1.3) и Bi (3.2–3.7) незначительны при ультра-низких Se < 3.1 и Te < 1.5. Наиболее близким возможным источником медной руды являлись сутурные зоны зауральских структур в 200–300 км к западу от поселения, которые сложены ультрабазитами, включающими мелкие медно-скарновые и медно-порфиновые месторождения.

**Пластины, ан. 34607, 34608, 34609 (Cu),** изготовлены из металла одного рудного источника и по сходной технологии (возможное использование железосодержащих флюсов/руд при выплавке), но при этом пластины ан. 34607 и 34608 имеют очень близкий состав, вероятно указывающий на один слиток или фрагмент металла. По составу они соответствуют чистой меди: Cu 99.4–99.9 мас. %, Fe 0.05–0.54 мас.%. Основные различия между ними связаны с содержаниями Fe (5440, 4500 и 500 ppm соответственно), Co (1.2, 1.1 и 5.6 ppm), Ni (15, 13 и 40 ppm), As (26, 31, 488 ppm) и Se (4.2, 3.1 и 16 ppm). Также в составе пластины ан. 34609 отмечены повышенные концентрации серы (> 1 мас. %), что свидетельствует об использовании при плавке сульфидов или сульфатов меди. Концентрации остальных элементов низки и близки для всех трех пластин (ppm): Ag 65–109, Sn 0.8–11, Pb 9.0–15.9, Sb 2.5–4.1, Au 0.3–0.55, Bi 0.05–0.4, Zn и Te ниже предела обнаружения. Вариации и корреляция Fe-Co-Ni-As указывают на примесь «ультрабазитового» субстрата в металле или медных рудах с магнетитом, использовавшихся при выплавке меди, а низкие концентрации Sn и ряда других элементов (Sb, Pb, Bi) характерны для металла медных месторождений Урала.

**Проволока, ан. 34610 (Cu)**, изготовлена из «чистой» меди: Cu 99.9 мас. %. Из значительных примесей присутствуют Fe (220–470), Pb (339–415), Ag (142–156), As (177–190). Рядовые концентрации характерны для Ni (24–25), Zn (12.5–15), Bi (7.3–10.5), Sb (7.0–8.4), Sn (6.9–7.7), Te (3.9–10.2), Se (3.7–11.1), Co (2.2–2.6), Au (0.2–0.6). Такие содержания могут отражать состав металла из вулканогенно-гидротермальных месторождений Зауралья, возможно с полиметаллической (Pb-Ag-As) специализацией.

#### **Могильник Джангильды 5**

Исследован состав 14 изделий, из них 6 изготовлены из оловянной бронзы (2 ножа, крестовидная подвеска, 2 браслета, перстень); металл гривны по составу близок к мышьяково-свинцовой бронзе; 7 предметов — из «чистой» меди (гривна, скоба и 5 бусин).

**Крестовидная подвеска, ан. 38928 (Cu+Sn)**: Cu 78.9 мас. %, Sn 21.0 мас. %. Значимые микропримеси представлены As (224–232). Рядовые содержания характерны для (ppm) Co (1.8–2.1), Ni (23–27), Zn (9.5–10.3), Sb (1.9–2.7). Отмечаются очень низкие концентрации Ag (4.2–6.0), Pb (9.6–12.9), Bi (1.9–2.6), Au (0.17–0.18), Se и Te < 1.5. Низкие содержания большинства элементов указывают на использование чистых окисленных медных руд. Оловянная лигатура, вероятно, представлена чистым касситеритом, так как характерные для оловянных руд элементы Pb, Bi, Sb имеют очень низкие концентрации.

**Браслеты, ан. 38935, 38936 (Cu+Sn)**, изготовлены из одного образца медно-оловянного сплава (слиток или переплав), так как имеют сходные концентрации большинства химических элементов. Средний состав: Cu 90.0 мас. %, Sn 9.6 мас. %, Pb 0.18 мас. %. Среди элементов-примесей выделяется As (413–652), Ag (191–274), Au (2.4–3.3), Bi (109–184), Se (8–41), Te (2.5–11). Низкие содержания характерны для Co (1.2–2.6), Ni (48–66), Zn (5.7–8.6), Sb (10–21). По химическому составу браслеты ан. 38935, 38936 близки к пронизи ан. 38645 из мог. Бектениз и, вероятно, изготовлены по одним рецептурным технологиям из одного меднорудного источника и со схожей оловянной лигатурой.

Близок по составу к браслетам **перстень, ан. 38938 (Cu+Sn)**: Cu 87.5 мас. %, Sn 12.3 мас. %, Pb 0.15 мас. %. Элементы-примеси также соотносятся с химическим составом браслетов (ppm): As 221–325, Ag 99–196, Au 4.7–9.0, Bi 20–33, Se 13–29, Te 5.7–24, Co 1.5–3.8, Ni 4.4–19, Zn 5.3–8.2, Sb 9.7–11.0. Отмечается, что концентрации As, Ag, Bi, Ni, Zn, Sb чуть ниже, чем в браслетах, что связано с большими примесями олова при легировании чистой меди (разбавлении меди из одного источника). Судя по ассоциации элементов-примесей, источниками меди могли являться колчеданные или порфиоровые системы в вулканогенных толщах складчатых структур Южного Зауралья (Восточно-Уральская и Зауральская структурно-формационные зоны) и Северного Казахстана (Валерьяновская структурно-формационная зона и Кокшетауский антиклинорий). Одним из возможных ближайших месторождений со сходной геохимией (повышенными концентрациями Au, Ag, Bi, Pb) и наличием древних выработок является Бакинское медно-порфиоровое месторождение [Жуков и др., 1997] в 9 км к западу от поселка Старобелка (Кокшетауская обл.) на правобережье р. Ишим в 75 км к югу от могильника Бектениз (рис. 1). Второе возможное близлежащее месторождение с древним карьером — меднопорфиоровое месторождение Имантау [Жуков и др., 1997] в 80 км к юго-западу от г. Кокшетау и в 90 км к юго-востоку от могильника Бектениз (рис. 1). Чуть дальше расположены медные месторождения с древними карьерами Алтынказган и рудное поле Монгол [Жуков и др., 1997; Берденов, 1998].

**Нож, ан. 40469 (Cu+Sn)**: Cu 86.8 мас. %, Sn 12.9 мас. %, As 0.15 мас. %, Pb 0.07 мас. %. Отмечается схожесть химического состава с предыдущим артефактом, но с дополнительным незначительным «разбавлением» ультрабазитовой ассоциацией Fe-As-Ni-Co-Sb. Несколько повышены такие элементы-примеси, как Fe (800–1270), As (1390–1630), Ni (86–116), Co (1.8–8.1), Sb (58–74), Zn (30–50) и Bi (65–124). Остальные элементы близки к металлу перстня (ppm): Ag 157–173, Au 8.3–8.5, Se и Te < 2.4. Таким образом, медь выплавлена из одного источника. Она могла быть незначительно разбавлена (сплавлена) с медью из другого источника, локализованного в ультрабазитах.

**Нож, ан. 40461 (Cu+Sn)**, также относится к оловянной бронзе: Cu 95.1 мас. %, Sn 4.4 мас. %, Pb 0.28 мас. %, Ag 0.1 мас. %. Химический состав металла отличается от предыдущих бронз высокими концентрациями Ag (870–1190 ppm), умеренными — As (420–530), Ni (52–63), Sb (12–15), Au (6.5–7.8), Bi (8.0–17.5) и низкими — Se и Te. Высокие концентрации серебра на фоне стабильно невысоких Au, Bi, Se и Te выделяют этот артефакт из всех остальных. Медные руды с повышенными концентрация серебра характерны для Алтая (Змеиногорский район). Единст-

венный представитель высокосеребряного месторождения известен в Южном Зауралье — Никольский рудник [Черных, 1970; Юминов, Зайков, 2009].

**Гривна, ан. 38937 (Cu)**, близка по составу к металлу из мышьяково-свинцовой бронзы: Cu 99.2 мас. %, Pb 0.5 мас. %, As 0.22 мас. %. Ее источником являются полиметаллические руды без дополнительного легирования, о чем свидетельствуют низкие концентрации Co (0.5–0.7) и Ni (31–36), что исключает легирование мышьяком; низкие содержания Sn (30–83) и Bi (0.13–1.32) исключают легирование Sn-Pb. Отмечаются высокие значения Se (24–271) и Sb (28–48) при низком Au (0.4–0.6) и Te (< 2). Концентрации Ag (53–93) и Zn (12.3–19.1) незначительны. Специфический состав отражает вероятное использование медных руд полиметаллических месторождений, содержащих сульфосоли свинца.

**Гривна, ан. 40460 (Cu)**, изготовлена из чистой меди с примесью железа: Cu 99.7 мас. %, Fe 0.29 мас. %. За исключением Ag (413–535), остальные элементы-примеси имеют незначительные концентрации (ppm): Co 0.5–2.6, Ni 26–41, Zn < 5, As 21–28, Se 3.5–9, Sn 36–100, Sb 0.3–2.3, Pb 3.0–4.4, Te < 0.6, Au < 1.3, Bi < 0.6. Такой химический состав может указывать на использование довольно чистых окисленных руд, а высокие концентрации Fe связаны с флюсовыми добавками, разжижающими медь.

**Медные бусины, ан. 38930, 38931, 38932, 38933, 38934 (Cu)**, имеют близкий химический состав и изготовлены из одного фрагмента (слитка) «чистой» меди: Cu 99.6 мас. %, Fe 0.2 мас. %, Pb 0.15 мас. %. Содержание остальных элементов-примесей достаточно выражено и варьирует в пределах (ppm): As — 530–640, Pb — 580–2870, Sn — 126–177, Ag — 50–79, Zn — 24.5–45, Ni — 19.3–30.4, Se — 18–61, Bi — 12.4–70, Sb — 4.1–8.6, Co — 3–8, Au — 0.35–1.1, Te < 2. С одной стороны, вариации концентраций большинства элементов схожи с составом меди в вышеописанных бронзах, с другой — имеются некоторые отличия, обусловленные разным рудным уровнем или сходными месторождениями. Вероятно, выдержанный химический состав, не связанный с разбавлением оловянными лигатурами (из-за высокого содержания Fe), указывает на медные руды полиметаллической специализации (Pb-As-Zn-Sn-Bi-Ag), характерные для гранитоидных комплексов с меднопорфировыми месторождениями (например, месторождения Кокшетауского массива: Имантау, Баксинское, Монгол и др.).

**Скоба, ан. 38939 (Cu)**, представлена очень чистой медью: Cu > 99.95 мас. %. Лишь Fe (134–300) и Sn (36–100) имеют значимые концентрации. Содержания остальных элементов незначительны (ppm): Pb 4.8–13, Ag 6.9–11.4, Ni 6.6–7.5, Au 0.8–1.2, а Co, Zn, As, Se, Sb, Te, Bi — ниже предела обнаружения.

Весь металл могильника Джангильды 5 в целом, несмотря на легирование некоторых изделий, близок по составу особенно относительно высокими концентрациями Sn (и иногда Pb, Bi, Ag) к «чистой» меди, не характерной для металла медных месторождений Урала, и скорее отражает влияние силикатных комплексов, присущих, например, Кокшетаускому антиклинорию.

## Обсуждение

### Анализ главных компонент

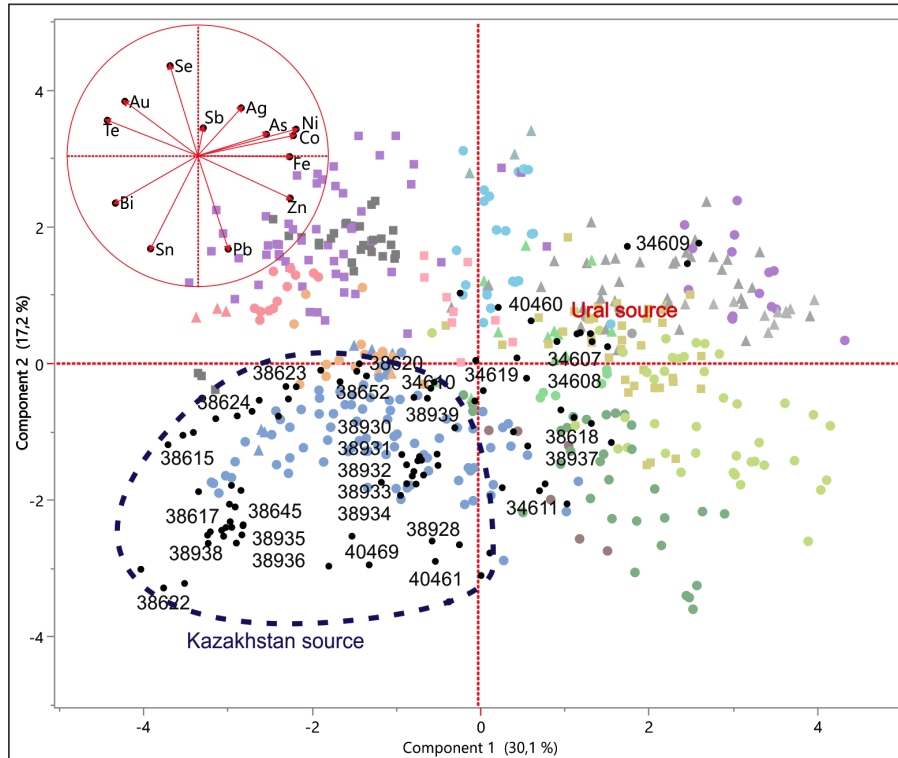
В процессе статистической обработки аналитических данных химического состава металла 13 основных элементов-примесей (Fe, Co, Ni, Zn, As, Se, Ag, Sn, Sb, Te, Au, Pb, Bi) были нормализованы с использованием логарифмического преобразования Дж. Айчисона [Aitchison, 1986]. Это позволило сгруппировать данные, отличающиеся несколькими порядками, с дальнейшим проведением статистического анализа методом главных компонент для кластеризации изученных образцов и выявления общих закономерностей в источниках вещества.

При анализе данных химического состава металла Северного Казахстана на диаграмме «чистой» меди позднего бронзового — раннего железного веков Южного и Среднего Урала выявился ряд закономерностей [Артемьев и др., 2024] (рис. 3). Лишь треть (9 экз.) изделий из 29 попали в составы меди уральского происхождения или его значительной примеси в металле (пос. Семиозерное 2, пластины — 3 экз., проволока, игла; Новоникольское 1, скобы — 2 экз.; мог. Джангильды 5, гривны — 2 экз.). Промежуточное положение между уральским металлом и оловянными артефактами занимает игла (Семиозерное 2) и 2 скобы (Новоникольское 1), что объясняется «разбавлением» уральского металла оловянными лигатурами.

Весь остальной металл попал в группу Sn-Pb вследствие использования оловянных лигатур (что часто статистически затрудняет выделение компонентов, связанных с медными рудами) и изначально высоких концентраций Sn в медной руде месторождений, связанных с гранитоидами Кокшетауского антиклинория. Однако и здесь можно увидеть как минимум три группы металла. Первая

представлена оловянными бронзами и «чистой» медью с Новоникольского 1 (провода, сплеск, скоба и пластина) и Бектениза (скоба). Для этой группы характерны относительно высокие содержания Se, Te, Pb и Bi.

Вторая группа представлена оловянными бронзами (Джангильды 5 — 2 браслета и перстень; Новоникольское 1 — пластина, скоба; Бектениз — пронизь). Она отражает типичную корреляцию Sn-Pb с повышенными содержаниями обоих элементов.



**Рис. 3.** Состав металла памятников бронзового века Северного Казахстана (показан черными точками) на диаграмме анализа главных компонент группы «чистой» меди памятников бронзового и раннего железного веков Южного и Среднего Урала.

**Fig. 3.** Metal composition of the Northern Kazakhstan Bronze Age sites (shown by black points) by the principal component analysis diagram of the pure copper group from Bronze and Early Iron Ages sites of Souths and Middle Urals.

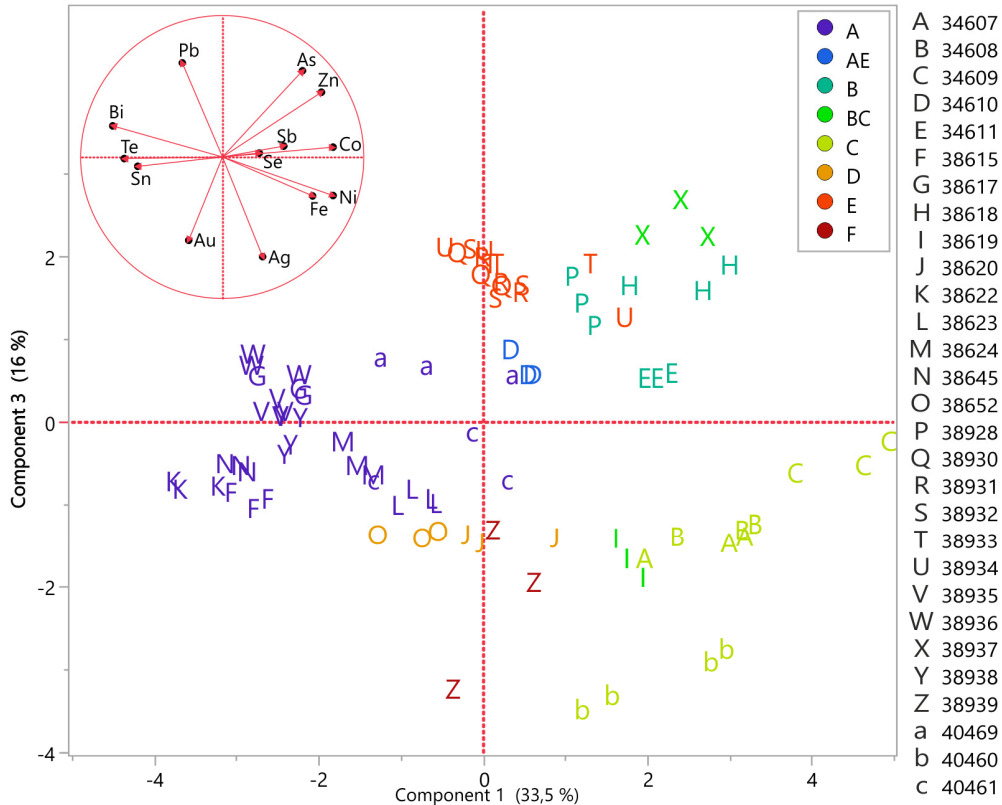
Третья группа оловянных бронз и «чистой» меди выделяется по повышенным концентрациям Sn (рудным и легированным), без прямой корреляции с Pb; в нее входят 5 бусин, скоба, подвеска и ножи из могильника Джангильды 5. После этого с использованием выборки металла Северного Казахстана также был проведен анализ главных компонент с разбивкой на статистические группы. Первоначально, чтобы исключить влияние легирования, при анализе было исключено олово, в результате чего статистически выделились 8 типов металла. Затем был проведен анализ выборки с использованием олова (рис. 4), который показал сходный результат.

По составу металл в выборке представлен 6 основными и 2 смешанными группами, последние, вероятно, отражают переплавы со смесью металла или руд двух основных групп.

*Группа А* характеризуется корреляцией Sn-Pb-Au-Bi. В эту группу попали 10 изделий из оловянных бронз: Бектениз (пронизка, ан. 38645), Джангильды 5 (браслеты, ан. 38935, 38936; перстень, ан. 38938, ножи ан. 40461, 40469), Новоникольское 1 (провода, ан. 38615, скоба, ан. 38617; пластины, ан. 38622, 38623; сплеск, ан. 38624). Ассоциация, вероятно, отражает оловянные лигатуры, содержащие свинец, висмут, золото и сложный состав медной руды с маркирующими содержаниями Ag, As, Se, Te. Вследствие большого количества примесных элементов, связанных с оловянными лигатурами и их высокими концентрациями, определение медного источника затруднительно, но ее преобладание на этой территории свидетельствует скорее о местном источнике.

**Цветной металл эпохи бронзы Северного Казахстана: геохимическая характеристика и рудная база**

Группа В представлена как оловянными бронзами, так и «чистой» медью и включает артефакты из Семиозерного 2 (игла, ан. 34611), Новоникольского 1 (скоба, ан. 38618) и Джангильды 5 (подвеска, ан. 38928). Выделяется благодаря корреляции и высоким содержаниям Sn (или Pb) с As-Sb-Co-Ni. Вероятно, медная составляющая более чистая и имеет уральское происхождение, разбавленное оловянными лигатурами без значительных примесей.



**Рис. 4.** Диаграмма анализа главных компонент состава медных и бронзовых артефактов из памятников Северного Казахстана (13 элементов).

**Fig. 4.** Principal component analysis diagram of copper and bronze artifacts composition from the Northern Kazakhstan sites.

Группа С характеризуется корреляцией Fe-Co-Ni-As-Zn+Se и включает 3 пластины из Семиозерное 2 (ан. 34607, 34608, 34609) и гривну из Джангильды 5 (ан. 40460). Отражает уральский состав металла, характерный для гидротермальных медных месторождений в ультрабазитах (Fe-Co-Ni-As).

В группу D попали артефакты из «чистой» меди с повышенной полиметаллической составляющей: Новоникольское 1 (скоба, ан. 38620), Бектениз (скоба, ан. 38652). Вероятным источником могут быть меднопорфировые месторождения Кокшетауского антиклинория, не легированные оловом.

Группа E включает набор бусин из Джангильды 5 (ан. 38930–38934) — «чистая» медь с полиметаллическим уклоном, которая близка по химическому составу с предыдущей группой (совпадает по некоторым главным компонентам), отличаясь повышенными концентрациями Pb-As.

Группа F представлена единственным предметом с очень «чистой» медью (скоба, ан. 38939 Джангильды 5). Чуть более высокие концентрации Sn и Pb также позволяют предполагать влияние оруденения с полиметаллической специализацией.

Смешанная группа AE несет промежуточные характеристики, свойственные группам А и E, и более близка последней. Представлена проволокой из Семиозерного (ан. 34610). Медь также имеет полиметаллический субстрат меднопорфировых месторождений Кокшетауского антиклинория.

Смешанная группа BC состоит из скобы (Новоникольское 1) и гривны (Джангильды 5), отражающих полиметаллический состав металла гранитоидов Казахстана.

Вследствие большого числа оловянных бронз была сделана попытка разграничить их составы по корреляциям различных элементов с оловом для установления разнообразия лигатур. По результатам анализа главных компонент по 7 химическим элементам (Au, Ag, Sb, Pb, Bi, Se, Te), которые выбраны при исключении Sn и элементов, связанных с медными рудами (Fe, As, Co, Ni, Zn), выделены два типа оловянных лигатур: 1) оловянный тип, без значительной примеси остальных элементов в оловянной руде, где лучше отражены разнообразие и характеристики медных руд (ан. 38928, 34611, 40469, 38623, 38624); 2) Sn-Pb тип, с повышенными концентрациями Au и Bi (и Te?), которые сильно затушевывают маркеры медной руды (ан. 38645, 38935, 38936, 38938, 381617, 381615). Анализ главных компонент оловянных бронз, с исключением типичных элементов медных руд (Fe, Co, Ni, As, Zn) и Sn, также позволил выделить два основных легирующих типа (рис. 5). Вследствие высоких концентраций серебра отдельно выделяется нож, ан. 40461.

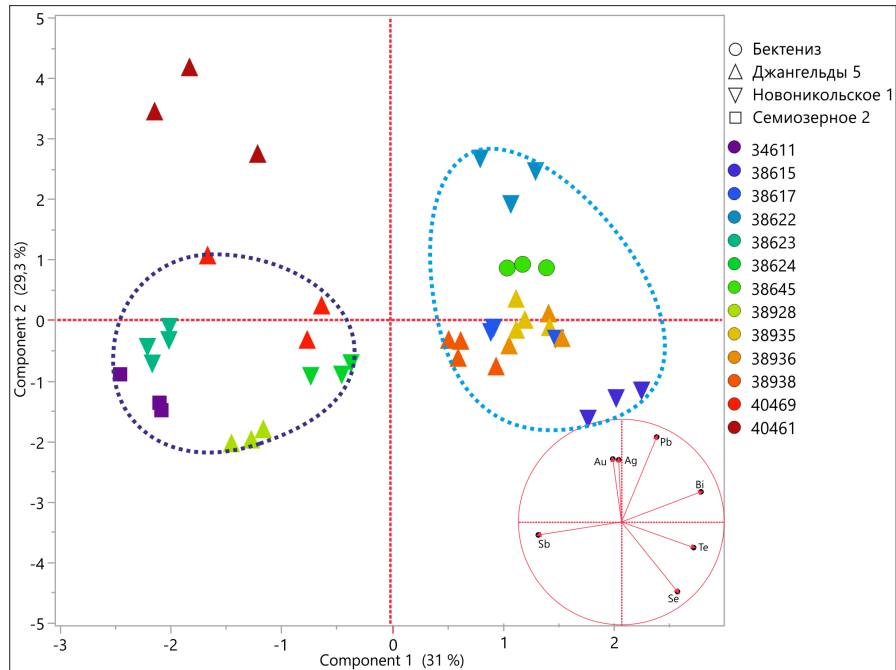


Рис. 5. Диаграмма анализа главных компонент оловянных бронз (без Fe, Co, Ni, Zn, As и Sn), показывающий основные типы оловянных лигатур.

Fig. 5. Principal component analysis diagram of bronze artifacts composition from the monuments of Northern Kazakhstan (without Fe, Co, Ni, Zn, As and Sn).

### Рудные источники

Установление возможных источников меди и олова для древних сообществ невозможно без анализа геологических и тектонических закономерностей локализации месторождений в изучаемом регионе и соседних с ним геологических структурах. Распространение и закономерности распространения медных месторождений Урала и его южных отрогов Мугоджар широко освещены в литературе, как и обнаружение на них древних рудников (напр.: [Черных, 1970; Юминов и др., 2013; Анкушев и др., 2018; и др.]). Сведения о месторождениях и древних рудниках Центрального Казахстана также представлены в литературе [Жауымбаев, 1984; Маргулан, 2001; Берденов, 1998, 2008; и др.]. Однако в связи со значительным разнообразием месторождений, их слабой изученностью и большой территорией эти данные довольно разрозненны. В Тургайском прогибе в междуречье Тобола и Ишима месторождения меди и олова неизвестны, так как рудоносные комплексы горных структур Урала и Казахстана погребены здесь под мощным мезозойским осадочным чехлом.

Ближайшие медные и оловорудные месторождения приурочены к трем основным геологическим структурам [Пучков, 2010; Филиппова и др., 2021]: 1) Уральский складчатый пояс с палеозойскими рудоносными Тагило-Магнитогорской, Восточно-Уральской и Зауральской мегазонами с островодужными и окраинно-океаническими комплексами; 2) палеозойская Валерьяновская активная континентальная окраина андского типа; 3) протерозойско-палеозойские Казах-

станско-Киргизские складчатые структуры с континентальной корой и окраинно-континентальными комплексами (Кокшетауский антиклинорий и Центрально-Казахстанские структуры). Для уральских комплексов характерно преобладание медноколчеданных месторождений с подчиненным количеством медноскарновых и меднопорфировых, связанных с вулканогенно-осадочными и офиолитовыми комплексами. Типы и закономерности распространения медных месторождений в структурах Урала широко описаны в геологической и археологической литературе. Для Валерьяновской зоны Тургайского прогиба характерны немногочисленные золото- и медно-порфировые месторождения (Бенкала, Баталы, Варваринское, Спиридоновское, Жетыгара и др.), на которых неизвестны древние рудники. Наиболее перспективны в плане поиска источников медной и оловянной руды для древних сообществ региона комплексы Центрального Казахстана с крупным сиалическим блоком Кокшетауского антиклинория. Для них характерно преобладание золото- и медно-порфировых, реже — медно-скарновых месторождений, а также наличие грейзеновых, кварцево-жильно-грейзеновых и россыпных месторождений олова.

#### **Месторождения меди Кокшетауского антиклинория**

Медные и медьсодержащие месторождения и проявления в Кокшетауском антиклинории представлены преимущественно золото- и медно-порфировым типом, реже — медно-скарновым, образование которых связано с внедрением интрузий активной континентальной окраины. Месторождения преимущественно мелкие; наиболее значимые объекты: Имантау (имеется древний рудник), Баксинское (древние выработки), Аккан-Бурлукское (древние выработки), Баксы, Лесное [Кадастр, 1955; Жуков и др., 1997]. Также известно медно-никелевое месторождение Златогоровское, локализованное в рифейском ультрабазитовом массиве [Жуков и др., 1997]. Южнее Кокшетауского антиклинория имеются небольшие проявления медистых песчаников пермского возраста, среди которых также известны древние разработки неустановленного возраста: Алтынказган (имеется древний рудник), Куюкказган (древний карьер), Киалы (древние карьеры), Атбасар (старые карьеры) [Кадастр..., 1955].

Одним из вероятных источников меди с полиметаллической минерализацией могло являться медно-порфировое месторождение Имантау, которое находится в 82 км к ЮЗ от г. Кокшетау и в 38 км к югу от станции Володарское на юго-западном берегу одноименного озера. Геологический разрез месторождения сложен метаморфическими породами докембрия, прорванными нижнепалеозойскими гранитами, слагающими основной массив Имантауских гор. Рудные тела вблизи поверхности окислены и представлены охристо-глинистой железной шляпой и в различной степени ожелезненными и выщелоченными породами с примазками медной зелени. Основной рудный выход вскрыт древней выработкой диаметром около 30 м. Руды месторождения представлены пиритом, марказитом, пирротином, халькопиритом с менее распространенными касситеритом, магнетитом, ильменитом, гематитом, сфалеритом и галенитом. В качестве проявления на олово оно приведено в [Жилинский, 1959; Геология СССР, 1989]. Зона окисления достигает глубины 35 м и сложена оксидно-железистыми минералами с малахитом, азуритом, хризоколлой, теноритом, оксидами марганца. Зона вторичного сульфидного обогащения не всегда развита, но обогащена медью (до 16 мас. %), представлена халькозином, купритом, самородной медью и ковеллином.

Еще одним меднорудным объектом с древними выработками является Баксинское медно-скарновое (медно-порфировое) месторождение [Жуков и др., 1997]. Оно локализовано в ороговикованных базальтах и аргиллитах ордовика на экзоконтакте Баксинской гранодиоритовой интрузии. Оруденение представлено 8 линзообразными телами, содержащими жилы кварца с турмалином и кальцитом. В рудах распространены пирит, халькопирит, самородное золото; реже встречаются пирротин, галенит, тетраэдрит, борнит, халькозин, ковеллин и самородная медь; в зоне окисления развиты гидрогетит, малахит, азурит [Жуков и др., 1997; Беспав и др., 1997]. Месторождение содержит медь, золото, серебро, молибден, висмут и свинец. В турмалин-эпидот-гранатовых скарнах среди базальтоидов отмечаются массивные и прожилково-вкрапленные магнетитовые руды. С поверхности распространены малахит, лимонит, гематит, тенорит, самородные медь и золото.

На площади Кокчетавского антиклинория развиты многочисленные кварцевые жилы с полиметаллической специализацией, содержащие барит, халькопирит и галенит. Одним из таких медно-золоторудных проявлений является Аккан-Бурлукское, которое представлено кварцевыми жилами, локализованными в метаморфических сланцах и амфиболитах и содержащими включения барита, турмалина и вкрапленностью пирита, халькопирита, галенита арсенопирита [Беспав и др., 1997]. В «Кадастре...» [1955] отмечено, что объект «разрабатывался «чудью».

### **Месторождения олова Кокшетауского антиклинория**

Районы Северного, Центрального и Восточного Казахстана вследствие разнообразных сиалических гранитоидных комплексов специализируются на оловянных оруденениях. Проявления олова концентрируются в пяти основных районах: Кокшетауский антиклинорий (Северный Казахстан), Сарысу-Тенизское поднятие и смежные с ним участки Атасуйского синклинория, Актау-Моинтинская мегазона, Булаттауский антиклинорий (все — Центральный Казахстан) и Калба-Нарымский синклинорий (Восточный Казахстан). При этом связаны они с разновозрастными интрузиями (каледонскими, герцинскими) и принадлежат к различным генетическим типам (кварцево-жильному, грейзеновому, скарново-гидротермальному и др.) [Геология СССР, 1989].

Кокшетауский антиклинорий — наиболее близкая к исследуемым памятникам оловорудная геологическая структура. Он сложен метаморфизованными архейско-протерозойскими сиалическими комплексами, подвергшимися в раннем-среднем палеозое процессам активизации, связанными со становлением активной континентальной окраины [Филиппова и др., 2012], приведшими к внедрению гранитных интрузий, которым сопутствуют грейзеновые (Сырымбет) и кварцево-жильно-грейзеновые (Имантау, Князевское, Орлиногорское, Дальнее, Чебанайское, Ишимское, Тототуз, Красный Кордон, Володаровское, Аиртау, Чернобаевское, Ольгинское, Муккурское) месторождения олова [Кадастр..., 1955; Жилинский, 1959; Геология СССР, 1989]. Проявления и месторождения олова кварцево-жильно-грейзенового типа — мелкие, в данное время практического значения не имеют. Часто ассоциируют с вольфрамитом, турмалином, редкими землями. Присутствуют также мелкие ложковые и озерные россыпи касситерита, связанные с касситерит-кварцевыми жилами [Жилинский, 1959]. В 1985 г. скважинами было установлено наличие крупного грейзенового месторождения редкометалльно-полиметаллических руд Сырымбет (Sn, W, Ta, Nb, Mo, Be, Bi, Cu) с обогащением отдельных участков Pb, Zn, Sb. Верхняя часть месторождения перекрыта оловоносными корами выветривания со средней мощностью 50 м [Поцелуев и др., 2012]. Ввиду низкого содержания олова в рудах и глубокого залегания первичных руд месторождение вряд ли могло быть источником сырья для металлургии бронзового века, что не исключает использования небольших жильных и россыпных месторождений, широко представленных в регионе. В целом мелкие кварцево-жильно-грейзеновые месторождения олова в этом регионе иногда 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.

Анализ геологической информации по месторождениям олова Казахстана [Кадастр..., 1955; Айталиев и др., 1956; Жилинский, 1959; Геология СССР, 1989] показал, что имеется лишь два представителя оловянных месторождений Казахстана, связанных с полиметаллической специализацией (Pb, Bi, Zn, As и др.), — месторождения Южное Атасу и Южный Булаттау, расположенные значительно южнее Кокшетауского антиклинория. При этом важно, на этих месторождениях описаны древние рудники [Жилинский, 1959; Маргулан, 2001]. Месторождение Южное Атасу в Центральном Казахстане представлено кварцевыми жилами с зонами окварцевания и грейзенизации мощностью до 2 м, они содержат касситерит и акцессорную примесь пирита, арсенопирита, сфалерита, халькопирита и блеклых руд [Жилинский, 1959]. Месторождение Южное Булаттау сложено линзообразными грейзенами по гранитоидам, включающими кварцевые жилы. Рудные минералы представлены в основном пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, молибденитом и касситеритом [Жилинский, 1959], что приводит к повышенным (до 2 мас. %) концентрациям в оловянных рудах Pb, Zn, Cu и Bi [Щерба, Жилинский, 1956]. Однако точная верификация того или иного источника возможна лишь при изучении руд, металлургических шлаков и изделий с мест выплавки в древности (географические, изотопные и химические критерии).

### **Заключение**

Исследованный металл петровской и алакульской культур с 4 памятников междуречья Ишима и Тобола в Северном Казахстане представлен почти в равных соотношениях «чистой» медью и оловянными бронзами. При этом если петровский металл относится к числу низколегированных (до 8 мас. % Sn), то алакульские украшения частично представлены высоколегированными бронзами (Sn до 21 мас. %). Масс-спектрометрический анализ с индуктивно связанной плазмой и лазерным пробоотбором с последующим анализом главных компонент в сопоставлении с имеющимися данными по составу цветного металла эпохи бронзы Южного Урала по-



зволил выявить металл уральского происхождения, который составляет до трети выборки (31 %). В группу изделий из уральской меди вошли преимущественно артефакты из памятников Среднего Притоболья — Семиозерное 2 (петровская культура) и Джангильды 5 (алакульская культура) и только 2 экз. из слоя пос. Новоникольское 1. Остальные 69 % изделий связаны с медными рудами порфириновых/скарновых месторождений Кокшетауского антиклинория.

По составу меди и бронз при статистическом анализе главных компонент выделяются 6 основных групп: а) бронзы с Sn-Pb-Au-Bi корреляцией, где источник меди часто завуалирован оловянной лигатурой; б) бронзы и чистая медь с As-Sb-Co-Ni-корреляцией; в) чистая медь с «ультрабазитовым» компонентом Fe-Co-Ni-As-Zn+Se, с преимущественно уральским металлом; г) «чистая» медь с полиметаллической Sn-Pb-As-Ag-Se специализацией, е) «чистая» медь с полиметаллической Sn-Pb-As-Ag-Se специализацией с повышенными концентрациями As-Pb, ф) «очень чистая» медь. Три последние группы, вероятно, связаны с местным североказахстанским источником из числа месторождений Кокшетауского антиклинория. Обобщение опубликованных сведений о месторождениях меди в Северном Казахстане и имеющихся здесь древних рудниках позволило выявить наиболее вероятные источники меди. В числе разрабатывавшихся в эпоху бронзы следует упомянуть медно-порфировое месторождение Имантау, медно-скарновое Баксинское, кварцево-жильное с полиметаллической минерализацией Аккан-Бурлукское.

Оловянные лигатуры, вероятно, получены из касситерита оловорудных и россыпных месторождений Центрального Казахстана. На территории Кокшетауского антиклинория известны грейзеновые полиметаллические (Сырымбет) и кварцево-жильно-грейзеновые (Имантау, Князевское, Орлиногорское, Дальнее, Чебанайское, Ишимское и др.) месторождения олова. Низкие концентрации олова в рудах крупного месторождения Сырымбет и глубокое залегание первичных руд ставит под сомнение вероятность использования его древними металлургами. Однако не исключена разработка небольших жильных и россыпных объектов, широко представленных в регионе, но их локализация в качестве источников олова возможна лишь при детальном исследовании шлаков или мест выплавки исходного сырья, так как в большинстве случаев на оловорудных проявлениях Кокшетауского антиклинория древних разработок не фиксируется. Известные же древние оловянные рудники с полиметаллической специализацией установлены в 750–850 км южнее (Южное Атасу, Южное Булаттау). По составу оловянных лигатур выделяется два основных типа: чисто оловянный тип, без корреляции с другими примесными элементами, что отражает использование чистых касситеритовых руд, и олово-свинцовый с повышенными концентрациями As и корреляцией Au и Bi, что отражает использование касситерит-сульфидных руд кварцево-жильно-грейзеновых месторождений.

Проведенное исследование выявило закономерность распространения памятников бронзового века Северного Казахстана в связи с их географической приуроченностью к рудно-сырьевой базе и гидрологии региона, что ранее было показано по материалам петровской культуры Центрального Казахстана, а также по составу шлаков на памятниках финала бронзового века Центрального Казахстана с остатками металлургии [Дегтярева и др., 2020; Анкушев и др., 2023]. Также подтверждается достаточно высокая интенсивность торгового обмена металлургической продукцией — медью и сплавами Cu+Sn между уральскими и казахстанскими очагами металлопроизводства по восточной ветви трансевразийского степного коридора (и с использованием разветвленной речной системы Тоболо-Ишимья), особенно в западном направлении.

Преимущества получения данных при использовании масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией с дальнейшими статистическими методами обработки результатов достаточно ясны. Но в то же время вполне корректны в сопоставлении результаты спектрального и атомно-эмиссионного анализов, которыми определяются некоторые микропримеси с низким порогом чувствительности в тысячных-десяти тысячных долях процента. Хотя оценка легирующих компонентов не всегда точна, иногда осуществляется с учетом поправок в сопоставлении с данными металлографического анализа (при наличии). Погрешности при замерах концентраций примесей с использованием РФА более значительны в связи с более высоким порогом обнаружения элементов в десятых долях процента, что позволяет определять лишь принадлежность к металлургической группе.

**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

- Айталиев Ж.А., Брач П.А., Брюшков В.И., Ергалиев 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.
- Анкушев М.Н., Варфоломеев В.В., Блинов И.А., Анкушева П.С., Артемьев Д.А., Хворов П.В. Минерало-геохимические особенности медных шлаков финала бронзового века в Сарыаркинском металлургическом очаге (Центральный Казахстан) // Российские нанотехнологии. 2023. Т. 18. № 5. С. 590–602. <https://doi.org/10.56304/S1992722323050035>
- Анкушев М.Н., Юминов А.М., Зайков В.В., Носкевич В.В. Медные рудники бронзового века в Южном Зауралье // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Геоархеология. Этнология. Антропология. 2018. Т. 23. С. 87–110. <https://doi.org/10.26516/2227-2380.2018.23.87>
- 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. 2024. № 2.
- Берденов С.А. Казахская горно-металлургическая область // Вопросы археологии Казахстана. Алматы: Гылым, 1998. Вып. 2. С. 180–190.
- Берденов С.А. Казахские месторождения меди и олова и их разработка в бронзовом веке // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Сер. обществ. наук. 2008. № 1. С. 42–55.
- Беспяев Х.А., Глоба В.А., Абишев В.М., Гуляева Н.Я. Месторождения золота Казахстана: Справочник. Алматы, 1997. 232 с.
- 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. 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., Варфоломеев В.В. Эпоха бронзы Центрального и Северного Казахстана: Учеб. пособие. Караганда: Изд-во КарГУ, 2002. 138 с.
- Евдокимов В.В., Логвин А.В., Ткачев А.А. Поселение Семиозерное II // Вестник археологии антропологии и этнографии. 2016. № 4. С. 30–40. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2016-33-2-030-040>
- Епимахов А.В. К вопросу о радиоуглеродной аргументации ранней датировки алакульских древностей // Вестник археологии антропологии и этнографии. 2016. № 3. С. 60–67. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2016-34-3-060-067>
- Епимахов А.В., Хэнкс Б., Ренфрю К. Радиоуглеродная хронология памятников бронзового века Зауралья // РА. 2005. № 4. С. 92–102.
- Жилинский Г.В. Оловоносность Центрального Казахстана. Алма-Ата: АН КазССР, 1959. 212 с.
- Жуков Н.М., Колесников В.В., Мирошниченко Л.А., Егембаев К.М., Павлова З.Н., Бакарасов Е.В. Месторождения меди Казахстана: Справочник. Алматы, 1997. 153 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.
- Краузе Р., Епимахов А.В., Куприянова Е.В., Новиков И.К., Столярчик Э. Петровские памятники бронзового века: Проблемы таксономии и хронологии // Археология, этнография и антропология Евразии. 2019. № 1 (47). С. 54–63. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2019.47.1.054-063>
- 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.
- 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.
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- Филппова 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.
- Черных Е.Н. История древнейшей металлургии Восточной Европы. М.: Наука, 1966. 143 с.
- Черных Е.Н. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья. М.: Наука, 1970. 185 с.

## Цветной металл эпохи бронзы Северного Казахстана: геохимическая характеристика и рудная база

Черных Е.Н. Каргалы: феномен и парадоксы развития: (Каргалы в системе металлургических провинций. Потаенная жизнь (сакральная) жизнь архаичных горняков и металлургов) / Каргалы. Т. V. М.: Языки славянской культуры, 2007. 200 с.

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

Чечушков И.В., Овсянников А.А., Усманова Е.Р. К вопросу о времени начала использования желобчатых псалив и возникновения всадничества (по материалам могильника Новоильиновский II в Северном Казахстане) // Археология, этнография и антропология Евразии. 2020. № 2 (48). С. 49–58. <https://doi.org/10.17746/1563-0110.2020.48.2.049-058>

Щерба Г.Н., Жилинский Г.Б. Геология, редкометальные формации и оловоносные районы Центрального Казахстана. Алма-Ата: АН КазССР. 1956. 200 с.

Юминов А.М., Зайков В.В. Никольское месторождение серебряно-медных руд (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов. 2009. № 1. С. 194–197.

Юминов А.М., Зайков В.В., Коробков В.Ф., Ткачев В.В. Добыча медных руд в бронзовом веке в Мугоджарах // Археология, этнография и антропология Евразии. 2013. № 3 (55). С. 87–96.

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

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. Vol. 9 (12). P. 746. <https://doi.org/10.3390/min9120746>

Longerich H.P., Jackson S.E., Günther D. Inter-laboratory note. Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometric transient signal data acquisition and analyte concentration calculation // J. Anal. Atomic Spectrom. 1996. 11. 899–904.

Panyushkina I., Mills B.J., Usmanova E.R., Li Cheng. Calendar Age of Lisakovsky Timber Attributed to Andronovo Community of Bronze Age in Eurasia // Radiocarbon. 2008. Vol. 50. N 3. P. 459–469.

Pollard A.M., Bray P., Cuenod A., Hommel P., Hsu Y.-K., Liu R., Perucchetti L., Pouncett J. and Saunders M. Beyond Provenance New Approaches to Interpreting the Chemistry of Archaeological Copper Alloys. Leuven University Press, 2018. 232 p.

## ИСТОЧНИКИ

Жауымбаев С.У. Древняя металлургия и горное дело Центрального Казахстана (эпоха бронзы): Дис. ... канд. ист. наук. Караганда, 1984.

**Artemyev D.A.<sup>a</sup>, Degtyareva A.D.<sup>b,\*</sup>, Kuzminykh S.V.<sup>c</sup>, Orlovskaya L.B.<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> SUSC MEG UBRAS, ter. Ilmensky State Reserve, Miass, 456317, Russian Federation

<sup>b</sup> Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS

Cherishhevskiy tract st., 13, Tyumen, 625008, Russian Federation

<sup>c</sup> Institute of Archeology RAS, Dm. Ulyanova st., 19, Moscow, 117292, 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.)

## Non-ferrous metal of the Bronze Age of Northern Kazakhstan: geochemical characteristics and ore base

The chemical composition of 29 copper and bronze artifacts from the sites of the Petrovka and Alakul Cultures located between the Tobol and Ishim Rivers (the burial grounds of Bekteniz and Dzhangildy 5, and the sites of Novonikolskoye 1 and Semiozernoye 2; Northern Kazakhstan) were analysed using mass spectrometry with inductively coupled plasma and laser ablation. The sites are <sup>14</sup>C dated to the interval between the 19<sup>th</sup>–17<sup>th</sup> centuries BC. In the examined sample, the leading metallurgical group with a slight prevalence in both Petrovka and Alakul metals was “pure” copper; the second part of the metal was represented by tin bronzes — low-alloyed (up to 8 wt.% Sn) in the Petrovka, and high-alloyed (Sn up to 21 wt.%) in the Alakul Culture. The statistical analysis of the main components of trace elements in the metal demonstrated a division into six main geochemical groups. Among these, tin bronzes with an uninterpretable copper component (10 specimens), “pure” copper of Ural origin with Fe-Co-Ni-As-Zn correlations (9 specimens), and “pure” copper with polymetallic Sn-Pb-As-Ag-Se specialization (10 copies), corresponding to the ores of copper deposits of the Kokshetau anticlinorium, can be identified. An overview of the tectonic structures of Northern Kazakhstan shows the nearby presence of several porphyry copper and skarn deposits with ancient mines (Imantau, Baksinskoye, Akkan-Burlukskoye, etc.), which likely served as sources of copper ore. Closely associated with these are Greisen and quartz-vein-greisen tin deposits, but there is no reliable information about their use in ancient times. According to the composition of tin alloys in the analysed metal, two main types can be distinguished: tin (without correlation with other impurity elements) when using pure cassiterite, and tin-lead (with increased concentrations and correlation of As, Au, Bi, etc.) when using cassiterite-sulfide ores. The data show the association of the Bronze Age sites of Northern Kazakhstan with the ore and raw materials base in this region, and the intensity of trade exchange of metallurgical products between the Ural and Kazakhstan centers of metal production.

**Keywords:** Northern Kazakhstan, metal production, Petrovka Culture, Alakul Culture, mass spectrometric analysis, geochemical groups, ancient mines.

\* Corresponding author.

**Funding.** The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-18-00146 “Non-ferrous metallurgy and metalworking of North-West 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

- Aitaliev, Zh.A., Brach, P.A., Bryushkov, V.I., Ergaliev, L.E., Shavlo, S.G., Shcherba, G.N. (1956). *Kalba-Narymsky rare metals region (promising areas for tin and rare metals)*. Alma-Ata: AN KazSSR. (Rus.).
- Aitchison, J. (1986). *The statistical analysis of compositional data*. Chapman & Hall, London.
- Ankushev, M.N., Varfolomeev, V.V., Blinov, I.A., Ankusheva, P.S., Artemyev, D.A., Khvorov, P.V. (2023). Mineralogical and geochemical features of copper slags of the final Bronze Age in the Saryarka metallurgical center (Central Kazakhstan). *Rossiyskiye nanotekhnologii*, 18(5), 590–602. (Rus.). <https://doi.org/10.56304/S1992722323050035>
- Ankushev, M.N., Yuminov, A.M., Zaikov, V.V., Noskevich, V.V. (2018). Bronze Age copper mines in the Southern Trans-Urals. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geoarkheologiya. Etnologiya. Antropologiya*, 23, 87–110. (Rus.). <https://doi.org/10.26516/2227-2380.2018.23.87>
- 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*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/min9120746>
- Artemyev, D.A., Ankushev, M.N., Stepanov, I.S., Vinogradov, N.B., Alaeva, I.P., Ankusheva, P.S., Koryakova, L.N., Naumov, A.M. Geochemistry of the “pure” copper metallurgical group: indicator of copper ore sources from the Urals during the late Bronze — Early Iron Ages. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*, 2024, 2.
- Berdenov, S.A. (1998). Kazakhstan mining and metallurgical region. *Voprosy arkheologii Kazakhstana*, (2). Almaty: Gylm, 180–190. (Rus.).
- Berdenov, S.A. (2008). Kazakhstan copper and tin deposits and their development in the Bronze Age. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Respubliki Kazakhstan. Seriya obshchestvennykh nauk*, (1), 42–55. (Rus.).
- Bespaev, Kh.A., Globa, V.A., Abishev, V.M., Gulyaeva, N.Ya. (1997). *Gold deposits of Kazakhstan. Directory*. Almaty. (Rus.).
- Chechushkov, I.V., Ovsyannikov, A.A., Usmanova, E.R. (2020). On the question of the time of the beginning of the use of grooved cheekpieces and the emergence of horsemanship (based on materials from the Novoilnovskiy II burial ground in Northern Kazakhstan). *Archeology, ethnography and anthropology of Eurasia*, 48(2), 49–58. <https://doi.org/10.17746/1563-0110.2020.48.2.049-058>
- Chernykh, E.N. (1966). *History of ancient metallurgy in Eastern Europe*. Moscow: Nauka. (Rus.).
- Chernykh, E.N. (1970). *The most ancient metallurgy of the Urals and the Volga region*. Moscow: Nauka. (Rus.).
- Chernykh, E.N. (2007). *Kargaly: phenomenon and paradoxes of development: (Kargaly in the system of metallurgical provinces. The hidden life (sacred) life of archaic miners and metallurgists)*. Moscow: Yazyki slavyanskoy kultury. (Rus.).
- Chernykh, E.N., Kuzminykh, S.V. (1989). *Ancient metallurgy of Northern Eurasia (Seima-Turbino phenomenon)*. Moscow: Nauka. (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>
- 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>
- Evdokimov, V.V., Varfolomeev, V.V. (2002). *Bronze Age of Central and Northern Kazakhstan: Textbook*. Karaganda: KarGU. (Rus.).
- Epimakhov, A.V. (2016). On the issue of radiocarbon argumentation for the early dating of Alakul antiquities. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (3), 60–67. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2016-34-3-060-067>
- Epimakhov, A.V., Hanks, B., Renfrew, K. (2005). Radiocarbon chronology of Bronze Age monuments in Trans-Urals. *Rossiyskaya arkheologiya*, (4), 92–102. (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.).
- Kaliev, S.S., Kolbina, A.V., Logvin, V.N. (2016). *Bronze Age necropolis Dzhangeldy 5*. Kostanay: Kostanaypolyografiya. (Rus.).
- Kozlovsky, E.A. (Ed.) (1989). *Geology of the USSR. Vol. 20: Central Kazakhstan. Minerals. Book 1*. Moscow: Nedra. (Rus.).
- Krause, R., Epimakhov, A.V., Kupriyanova, E.V., Novikov, I.K., Stolyarchik, E. (2019). Petrovka sites of the Bronze Age: problems of taxonomy and chronology. *Archeology, ethnography and anthropology of Eurasia*, 1 (47), 54–63. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2019.47.1.054-063>
- Longerich, H.P.; Jackson, S.E.; Günther, D. (1996). Inter-laboratory note. Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometric transient signal data acquisition and analyte concentration calculation. *J. Anal. Atomic Spectrom*, (11), 899–904.
- 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.).
- Panyushkina, I., Mills, B.J., Usmanova, E.R., Li, Cheng. (2008). Calendar Age of Lisakovskiy Timber Attributed to Andronovo Community of Bronze Age in Eurasia. *Radiocarbon*, 50(3), 459–469.
- Pollard, A.M., Bray, P., Cuenod, A., Hommel, P., Hsu, Y.-K., Liu, R., Perucchetti, L., Pouncett, J. and Saunders, M. (2018). *Beyond Provenance New Approaches to Interpreting the Chemistry of Archaeological Copper Alloys*. Leuven University Press.
- Potseluev, A.A., Peregodov, 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.).
- Puchkov, V.N. (2010). *Geology of the Urals and the Urals (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)*. Ufa: DesignPoligraphServis. (Rus.).

## Цветной металл эпохи бронзы Северного Казахстана: геохимическая характеристика и рудная база

- Satpayev, K.I. (Ed.) (1955). *Cadastre of mineral deposits in Central Kazakhstan*. Moscow: Gosgeoltekhizdat. (Rus.).
- Shcherba, G.N., Zhilinsky, G.B. (1956). *Geology, rare metal formations and tin-bearing areas of Central Kazakhstan*. Alma-Ata: AN KazSSR. (Rus.).
- Yuminov A.M., Zaikov, V.V. (2009). Nikolskoye silver-copper deposit (Southern Urals). *Metallogeniia drevnikh i sovremennykh okeanov*, (1), 194–197. (Rus.).
- Yuminov, A.M., Zaikov, V.V., Korobkov, V.F., Tkachev, V.V. (2013). Mining of copper ores in the Bronze Age in Mugodzhary. *Arkheology, ethnography and anthropology of Eurasia*, 55(3), 87–96. (Rus.).
- Zhilinsky, G.V. (1959). *Tin content of Central Kazakhstan*. Alma-Ata: AN KazSSR. (Rus.).
- Zhukov, N.M., Kolesnikov, V.V., Miroshnichenko, L.A., Egembayev, K.M., Pavlova, Z.N., Bakarasov, E.V. (1997). *Copper deposits of Kazakhstan: Directory*. Almaty. (Rus.).
- Zdanovich, G.B. (1988). *Bronze Age of the Ural-Kazakh steppes (basics of periodization)*. Sverdlovsk: UrGU. (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>

### 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.

### About the authors:

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

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

Kuzminykh Sergey V., Candidate of Historical Sciences, Leading Researcher, Institute of Archeology of the RAS, Moscow.

Orlovskaya Lyubov B., Senior Researcher, Institute of Archeology RAS, Moscow.



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

Accepted: 18.12.2023

Article is published: 15.03.2024