

ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ  
В ИЗУЧЕНИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

УДК 902:553.3(574.3)

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕДНЫХ  
ШЛАКОВ ФИНАЛА БРОНЗОВОГО ВЕКА В САРЫАРКИНСКОМ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ОЧАГЕ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)

© 2023 г. М. Н. Анкушев<sup>1,\*</sup>, В. В. Варфоломеев<sup>2</sup>, И. А. Блинов<sup>1</sup>, П. С. Анкушева<sup>3,1</sup>,  
Д. А. Артемьев<sup>1</sup>, П. В. Хворов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс, Россия

<sup>2</sup>Карагандинский университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

<sup>3</sup>Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, Челябинск, Россия

\*E-mail: [ankushev\\_maksim@mail.ru](mailto:ankushev_maksim@mail.ru)

Поступила в редакцию 13.06.2023 г.

После доработки 26.06.2023 г.

Принята к публикации 26.06.2023 г.

Проведено исследование минералогии и геохимических особенностей медных металлургических шлаков и фрагмента руды финала бронзового века с поселений Кент, Камал, Саурамбай и Шокпартас в Центральном Казахстане. Получены радиоуглеродные AMS-датировки для поселения Саурамбай ( $3170 \pm 20$  ВР) и Камал ( $2890 \pm 20$  ВР), определяющие их металлургический горизонт в пределах финала бронзового века. Большая часть выплавляемого на поселениях металла представлена медью, часто с примесями Fe и Mn. Единичные выплавки проводились для получения Sn–As- и As–Sb-бронз. Для выплавки меди в большей степени использовались окисленные рудные концентраты при подчиненном значении сульфидных руд. Примеси марганца в шлаке и фрагменты марганцевых руд на поселениях Саурамбай и Шокпартас свидетельствуют об активном использовании минералов марганца в качестве флюсов.

DOI: 10.56304/S1992722323050035

## ВВЕДЕНИЕ

Казахстанская горно-металлургическая область, выделенная Е.Н. Черных [1], известна наличием большого количества древних рудников, заложенных во II тыс. до н.э. на медных месторождениях различных генетических типов и поселений с развитой металлургией. Разработка месторождений и выплавка металла были одними из важнейших отраслей хозяйства распространенных здесь в позднем бронзовом веке алакульско-федоровских сообществ и позднее сформировавшихся на их основе саргаринско-алексеевских и бегазы-дандыбаевских культурных групп [2]. В рамках Казахстанской горно-металлургической области в Северном и Центральном Казахстане выделен обширный Сарыаркинский металлургический очаг, локализованный от отрогов Южного Урала и лесостепного Притоболья на севере до оз. Балхаш на юге [3]. Здесь выявлено множество древних рудников, металлургических поселений и могильников периода позднего и финала бронзового века [4–10]. Исследованию металлических изделий позднего бронзового века Центрального Казахстана посвящено много работ, где освещаются химический и изотопный со-

став металла, технологии металлообработки и предполагаются возможные источники медных руд и легирующих добавок [11–16]. Исследования минералогии и состава металлургических шлаков региона представлены единичными работами, что обусловлено малым количеством находок шлаков на поселениях [12, 13, 17, 18].

Основная цель данной работы – определение технологических особенностей металлопроизводства (таких как источники меднорудного сырья, легирующие компоненты и флюсы) на нескольких поселениях Сарыаркинского металлургического очага Центрального Казахстана в финале бронзового века. Задачи работы включали в себя минералогическое и геохимическое исследование шлаков и руд поселений Кент, Камал, Саурамбай и Шокпартас, а также уточнение их хронологической позиции при помощи радиоуглеродного датирования.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Источниками выступают металлургические шлаки (9 экз.) и фрагмент руды (1 экз.) из культурного слоя поселений финала бронзового века Центрального Казахстана – Кент, Камал, Сау-



**Рис. 1.** Расположение археологических памятников: 1 – поселения, 2 – месторождения и древние рудники, 3 – современные города.

рамбай и Шокпартас. Памятники находятся на северо-востоке Карагандинской области Республики Казахстан (рис. 1).

Поселение Кент находится в 220 км к востоку–юго-востоку от г. Караганда и расположено в Кентском горнолесном массиве на берегах р. Кызылкеныш. Памятник включает в себя материалы бегазы-дандыбаевской культуры. Распространение культурного слоя на памятнике фиксируется на площади 300 тыс. м<sup>2</sup>, отмечаются остатки не менее 120 сооружений. Вокруг Кента на берегах р. Кызылкеныш зафиксировано восемь небольших синхронных поселков. В левобережной части памятника на участке Алат раскопаны металлургические печи и обнаружены отходы металлопроизводства (медные и железные шлаки), в большом количестве найдены изделия и заготовки косторезного ремесла. Это указывает на наличие специализированного квартала металлургических и косторезных мастерских на поселении [10].

Поселение Камал находится в 80 км восточнее г. Караганда, на правом берегу р. Нура, в 1,2 км к западу–юго-западу от зимовки Актас (другое название – Камал). Археологические раскопки на памятнике проведены в 2017 г., заложены два раскопа общей площадью 108 м<sup>2</sup>. Поселение площадью ~15 тыс. м<sup>2</sup> состоит из двух групп разрушенных построек. Первая группа из 26 построек с каменными стенами внутри неглубоких котлованов – предположительно донгальского этапа финала бронзового века. Вторая группа построек занимает северо-восточную периферию площадки памятника и состоит из пяти овальных котлованов, которые относятся к федоровской

культуре. На поселении обнаружены каменные и металлические изделия, металлургические шлаки [19].

Поселение Саурамбай находится в 105 км к юго-востоку от г. Караганда в глубине лога Саурамбай между горными массивами Танкара и Коньрызылтау в горах Котырмас. В 2019 г. проведены разведочное обследование и частичные раскопки памятника. Поселение площадью более 10 тыс. м<sup>2</sup> имеет два культурно-хронологических этапа функционирования: поздний – саргаринско-алексеевской культуры, и более ранний, который относится к федоровской культуре [20].

Поселение Шокпартас находится в 107 км к юго-востоку от г. Караганда на правом берегу р. Талды, рядом с поселением Саурамбай. Площадь поселения ~3000 м<sup>2</sup>, выявлены семь жилищных котлованов и одна постройка из камня. На памятнике был заложен раскоп площадью 54 м<sup>2</sup>, в котором была исследована часть жилища. Материалы, полученные из раскопа, свидетельствуют, что площадка памятника была обитаема с энеолита. Комплекс поздней бронзы относится к бегазы-дандыбаевской культуре и представлен многочисленными фрагментами керамической посуды валикового типа, каменными орудиями типа молотов, наковальней для проковки металлических изделий, костями домашних и диких животных [21].

Все вошедшие в выборку образцы металлургических шлаков и фрагмент руды происходят из стратиграфических горизонтов, относящихся к финальному периоду бронзового века. Всего исследованы девять фрагментов шлаков и один

**Таблица 1.** Результаты радиоуглеродного AMS-датирования костного коллагена в образцах из поселений бронзового века Саурамбай и Камал

Лаб. № IGANAMS	Памятник	Контекст	<sup>14</sup> C, Вр	+/- 1σ	Cal BC (68.3%)	Cal BC (95.4%)	Медиана Cal BC	C/N <sub>atm</sub>	δ <sup>15</sup> N, ‰	δ <sup>13</sup> C, ‰	% колл.
9713	Саурамбай	Шурф 1, валиковый слой	3170	20	1493–1421	1497–1414	1446	3.11	5.8	–19.93	7.12
9712	Камал		2890	20	1112–1018	1191–1005	1072	3.24	5.03	–20.52	5.79

фрагмент руды, из всех образцов изготовлены аншлифы. Аналитические исследования выполнены в ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (г. Миасс). Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) выполнен на портативном приборе Olympus VANTA (режим Geochemistry, время экспозиции 30 с, аналитик М.Н. Анкушев). Минералогия образцов и особенности состава минералов, стекла и металла установлены методом оптической (Olympus BX51, аналитик М.Н. Анкушев) и электронной микроскопии с энергодисперсионным анализатором (Tescan VEGA 3 sbu, ускоряющее напряжение 20 кВ, живое время 120 с, поглощенный ток на эталоне Co ~ 260 pA, аналитик И.А. Блинов). Элементы-примеси в каплях меди в шлаках исследовались методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией на масс-спектрометре Agilent 7700x с Nd:YAG-лазером New Wave Research UP-213 (аналитик Д.А. Артемьев). Рентгенофазовый анализ (РФА) двух валиковых проб металлургического шлака и руды проводился на дифрактометре SHIMADZU XRD-6000, Cu-анод, графитовый монохроматор; расчет содержания проведен методом Ритвельда в программе SIROQUANT v.4 (аналитик П.В. Хворов).

Для определения периодов функционирования поселений Камал и Саурамбай выполнено радиоуглеродное AMS-датирование двух образцов кости в Лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии Института географии РАН, Москва (IGAN<sub>AMS</sub>)Вр. Из образцов костей для датирования был выделен коллаген с применением ультрафильтрации [22–24]. Графитизацию образцов для <sup>14</sup>C AMS-датирования проводили на автоматизированной системе графитизации AGE 3 [25]. Полученные графиты были запрессованы в NEC-мишени. Измерение <sup>14</sup>C AMS в подготовленных мишенях выполнено в Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (Афины, США) на ускорительном масс-спектрометре CAIS 0.5 MeV. Калибровка отдельных значений и моделирование выполнялись в программе OxCal v4.4.4 с использованием калибровочной кривой IntCal20 [26].

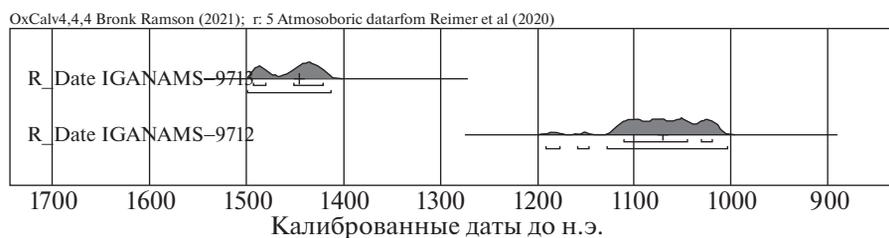
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Радиоуглеродное датирование

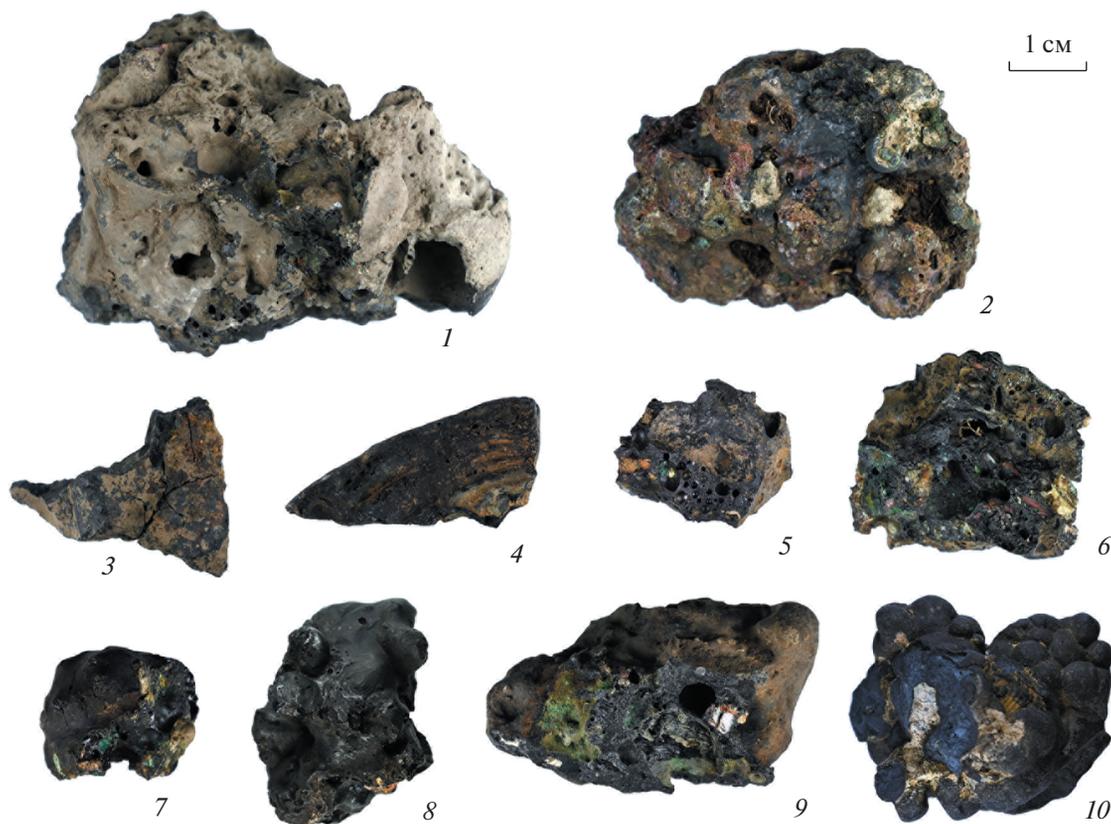
Результаты радиоуглеродного датирования представлены в табл. 1. Оценивая их достоверность, отметим, что количество выделенного коллагена составило более 1% (5.79–7.12) и достаточно для достоверных измерений. Другим критерием пригодного для датирования незагрязненного костного коллагена считается отношение C/N, находящееся в диапазоне от 2.9 до 3.5 [27]. В исследованных пробах оно соответствует норме (3.11–3.24). Значения стабильных изотопов лежат в пределах 5.03–5.8‰ для δ<sup>15</sup>N и –19.93...–20.52‰ для δ<sup>13</sup>C и совпадают с коридором значений, ранее полученных по костям животных из памятников эпохи бронзы Северного и Центрального Казахстана [28, 29]. Таким образом, нет оснований предполагать искажения календарного возраста, связанных с качеством датируемого коллагена.

Полученные датировки, несмотря на значительный хронологический разрыв между ними (более 300 лет по медианным значениям), в целом укладываются в интервал эпохи финальной бронзы на данной территории. Так, суммирование вероятностей интервалов по 38 датировкам восточного фланга валиковых древностей предполагает длительный период их существования в пределах 1454–1079 гг. до н.э. [30]. Соответственно, верхний горизонт поселения Саурамбай может относиться к его началу (IGANAMS-9713, 3170 ± 20, 1497–1414 до н.э. (2δ)), а поселения Камал – к завершению (IGANAMS-9712, 2890 ± 20, 1191–1005 до н.э. (2δ)) (рис. 2).

В первом случае хронологические параллели прослеживаются в материалах обсуждаемого в настоящей работе бегазы-дандыбаевского поселения Кент [31], связанных преимущественно с XV в. до н.э. в системе калиброванных дат. Что касается поселения Камал, то полученная датировка является одной из позднейших в выборке эпохи финала [30]. По всей видимости, она подтверждает гипотезу о донгальской культурной принадлежности данного горизонта поселения и связанных с ним металлопроизводственных артефактов [19].



**Рис. 2.** Результаты радиоуглеродного AMS-датирования костного коллагена в образцах из поселений бронзового века Саурамбай (№ 9713) и Камал (№ 9712).



**Рис. 3.** Образцы металлургических шлаков и руд с поселений Сарыаркинского металлургического очага: 1, 2 – поселение Кент, 3 – поселение Камал, 4–6 – поселение Саурамбай, 7–10 – поселение Шокпаргас.

#### *Минералогия металлургических шлаков*

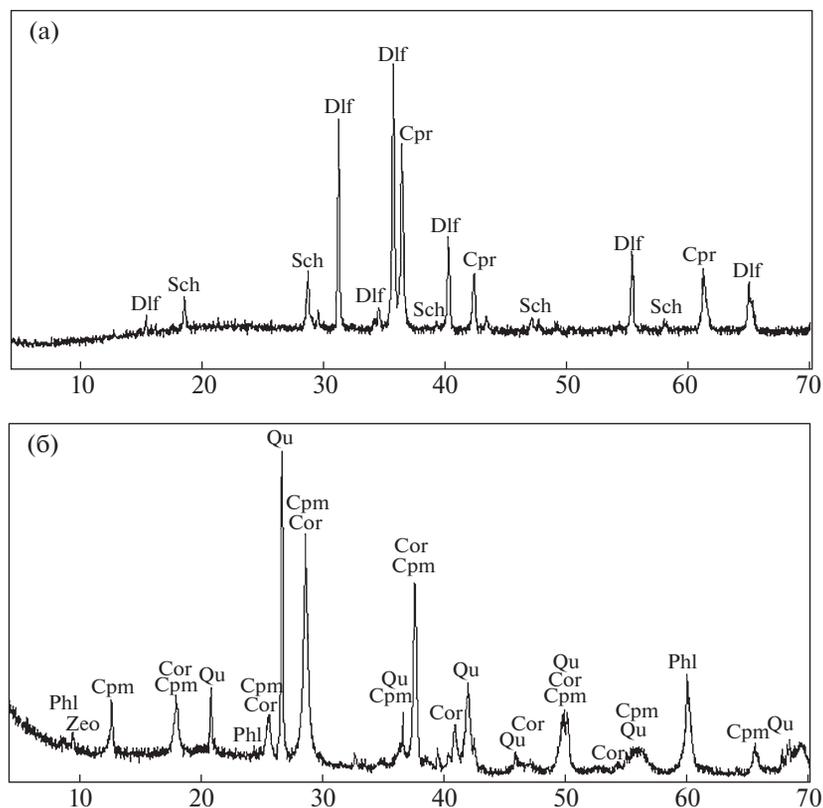
Образцы шлаков представлены фрагментами размером 3–7 см, на изломе стекловатые, черные или темно-бурые, наблюдаются нерасплавленные реликты минералов. Большинство шлаков комковатые, пористые, два образца (Камал-1 и Саур-1), вероятно, являются фрагментами шлаковых лепешек (рис. 3). По минералогии, геохимии, текстурно-структурным особенностям шлаки являются очень разнородными (табл. 2). Ниже

приведена краткая минералого-геохимическая характеристика всех изученных образцов.

*Поселение Кент.* Образец Кент 23-1 (рис. 3, 1). Основная масса шлака сложена стеклом, игольчатыми кристаллами дельфосита и скелетными кристаллами куприта. Корольки меди мелкие, распространены неравномерно. РФЛА поверхности шлака зафиксировал примеси W – до 1 мас. % и Mo – 0.16 мас. %. Анализ стекла шлака подтвердил присутствие W в его составе (табл. 3). РФА пробы шлака обнаружил присутствие шеелита

Таблица 2. Общая характеристика шлаков и руд с поселений бронзового века Центрального Казахстана

Поселение	Образец	Морфологический тип образца	Минералогический тип шлака	Новообразованные и реликтовые минералы	Геохимическая ассоциация	Полученный в результате выплавки металл
Кент	Кент 23-1	Комковатый	Стекловатый	Куприт, вюстит, дельфоссит шеелит	Cu, W	Медь
	Кент 23-2	Фрагмент слитка (капли) с комковатым шлаком	Стекловатый	Касситерит, малайит, халькозин	Cu, Sn, As, Bi	Оловянно-мышьяковая бронза
Камал	Камал-1	Лепешковидный	Оливиновый	Оливин, магнетит, куприт, халькозин, меланоталлит(?), касситерит	Cu, Zn, Pb	Медь
	Саур-1	Лепешковидный	Оливиновый	Оливин, магнетит, куприт, халькозин	Cu, Mn	Медь
Саурамбай	Саур-2	Комковатый	Оливиновый сульфидсодержащий	Оливин, магнетит, халькозин, кварц, полевой шпат, альбит	Cu, As, Sb, Pb, Ba	Мышьяковая бронза с примесью Sb
	Саур-3	Комковатый	Стекловатый	Магнетит, атакамит, куприт, халькозин, кварц, мусковит, оксиды марганца	Cu, Mn	Медь
Шокпаргас	Шпс-1	Комковатый	Стекловатый	Магнетит, халькозин	Cu, Mn	Медь
	Шпс-2	Комковатый	Стекловатый	Магнетит, куприт, малахит, кварц	Cu	Медь
	Шпс-3	Комковатый	Оливиновый сульфидсодержащий	Оливин, халькозин, пирролизит, крендерит, кварц, хлорид марганца, ковеллин	Cu, Mn, Ba	Медь
	Шпс-4	Фрагмент руды		Криптомелан, кварц, цеолит, слюда, коронадит, вернадит, барит, монацит	Mn, Ba, Pb	



**Рис. 4.** Дифрактограммы образцов Кент 23-1 (а) и Шпс-4 (б). Обозначения характеристических пиков: Cpr – куприт, Dlf – делафоссит, Sch – шеелит, Cor – коронадит, Cpm – криптомелан, Phl – слюда (флогопит), Qu – кварц, Zeo – цеолит (вернадит).

(рис. 4а). В шлаке шеелит представлен мелкими скелетными кристаллами толщиной менее 1 мкм.

Образец Кент 23-2 (рис. 3, 2) представляет собой фрагмент слитка или крупной капли металла, припаянный к стекловатому шлаку. Металлическая часть образца представлена двухфазной оловянно-мышьяковой бронзой с включениями новообразованных кристаллов касситерита и мелкими зернами Se–Te-содержащего халькозина и металлического висмута (табл. 4). Касситерит образует столбчатые кристаллы, при росте захватывающие часть медного расплава (рис. 5а). Шлаковая фаза представлена высокощелочным стеклом с реликтовыми зернами калиевого полевого шпата. В шлаке также наблюдаются скелетные кристаллы касситерита и единичное зерно новообразованного малайита (эмпирическая формула  $\text{Ca}_{0.98}\text{Fe}_{0.02}\text{Sn}_{1.01}(\text{SiO}_4)\text{O}$ ) (рис. 5б).

*Поселение Камал.* Образец Камал-1 (рис. 3, 3) является фрагментом оливинного лепешковидного шлака. Основная масса сложена фаялитом, магнетитом и стеклом основного состава. Фаялит образует цепочечные кристаллы. Магнетит представлен скелетными кристаллами и кляксовидными агрегатами. В каплях чистой меди фиксируются

субмикронные включения халькозина и металлического свинца. Металл часто окислен с образованием куприта и хлоридов меди (меланоталлита?).

*Поселение Саурамбай.* Образец Саур-1 (рис. 3, 4) является фрагментом оливинного лепешковидного шлака. Основную массу образца составляют стекло, скелетные и цепочечные кристаллы оливина тефроит-фаялитового состава и скелетные кристаллы магнетита (табл. 5). Металл в шлаке представлен каплями меди с включениями Se-содержащего халькозина, в мелких каплях фиксируются значимые примеси Fe и Mn.

Образец Саур-2 (рис. 3, 5) представляет собой оливинный сульфидсодержащий шлак. Основная масса шлака сложена оливинном, магнетитом и стеклом. Оливин (фаялит) образует крупные зональные идиоморфные, скелетные и цепочечные кристаллы. Магнетит образует мелкие идиоморфные кристаллы. Кроме новообразованных минералов в шлаке фиксируются реликтовые зерна кварца, полевых шпатов и плагиоклаза. Металл в шлаке представлен каплями мышьяковой бронзы с примесью Sb до 0.6 мас. %. В каплях присутствуют субмикронные включения металличе-

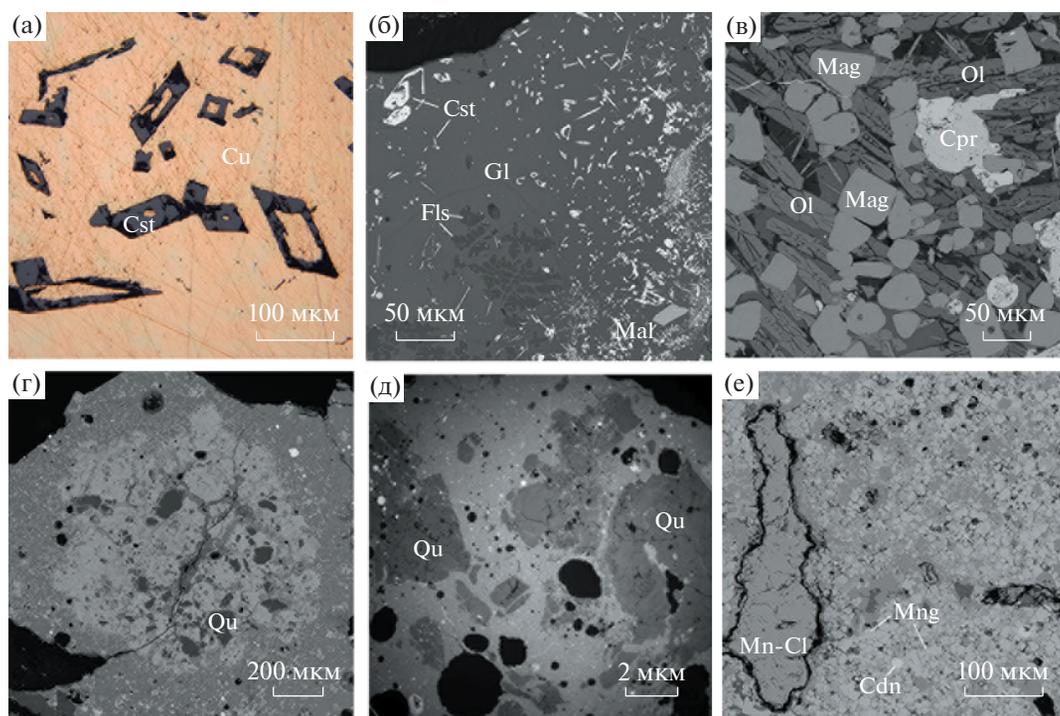
Таблица 3. Состав стекла в металлургических шлаках Сарыаркинского металлургического очага

Поселение	Образец	Анализ	SiO <sub>2</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	CuO	PbO	BaO	Сумма
Кент	Кент 23-1	23064a <sup>1</sup>	64.03	8.27	5.02	3.41	0.50	0.09	1.48				13.73			99.48
		23064c	70.04	4.89	6.08	3.29	0.42		1.73				13.09			99.52
		23064f	69.21	5.09	6.03	3.15	0.46		2.20				13.86			100.00
Камал	Кент 23-2	23067g <sup>2</sup>	50.85	2.76	5.97	17.52	3.51	1.55	6.43	2.21		0.30	1.28			100.5
		23066a <sup>3</sup>	49.18	11.9	8.22	2.71	0.12		1.61	6.25			2.94	0.94		85.11
		23074e	49.22	16.43	12.79	5.63	0.13	0.7	2.51	0.64	9.39	0.67	2.22			100.34
Саурамбай	Саур-1	23074h	45.16	10.22	7.30	4.71	0.99	0.3	0.75	0.64	29.24	0.27	0.90			100.5
		23065e	44.61	32.78	7.81	6.14	0.36	0.53	0.94	1.38			0.43	4.89		99.87
		23065f	45.54	29.53	8.46	6.88		0.54	1.14	1.66			0.50	5.12		99.36
Шокпаргас	Саур-3	23065i	47.74	28.05	7.69	7.97	0.27	0.73	1.18	1.42			0.64			100.18
		23075e	50.68	12.49	7.52	4.14	0.75	0.36	1.34	0.71	19.04	0.24	2.98			100.21
		23077c	51.81	16.29	5.89	4.06	0.39	0.38	1.39	0.51	18.11	0.25	1.40			100.45
Шпс-2	Шпс-1	23077e	47.97	14.86	5.98	6.45	0.82	0.2	0.66	0.61	22.49	0.27				100.29
		23076c	51.06	28.97	8.04	6.24	0.90	0.57	1.46	2.27	0.51	0.23				100.26
		23056d <sup>4</sup>	46.34	10.15	10.96	14.7		0.33	0.76	0.62	14.55	0.69				99.87
		23056i <sup>5</sup>	46.28	8.55	9.95	8.6		0.67	1.30	0.68	21.98		1.18		0.62	100.34

Примечание. В составе содержится (мас. %): <sup>1</sup>-WO<sub>3</sub> – 2.77, SO<sub>3</sub> – 0.17; <sup>2</sup>-SnO<sub>2</sub> – 8.14; <sup>3</sup>-ZnO – 1.08, Cl – 0.17; <sup>4</sup>-Cu<sub>2</sub>O – 0.76; <sup>5</sup>-F – 0.53.

Таблица 4. Состав металлических и сульфидных включений в металлургических шлаках Сарыаркинского металлургического очага

Поселение	Образец	Анализ	Минеральная фаза	Cu	Fe	Mn	As	Sn	Sb	S	Se	Te	Сумма	
Кент	Кент 23-2	23067b	Включение халькозина в металле	79.62						18.48	1.54	0.54	100.17	
		23067c	Бронза, фаза 1	95.60			1.48	3.16					100.25	
		23067d	Бронза, фаза 2	99.46			0.52	0.79					100.77	
Камал	Камал-1	23066i	Реликт меди в шлаке	100.16						0.36			100.52	
		23066l	Капля меди в шлаке	100.55									100.55	
		23066n	Включение халькозина в капле меди	80.26	0.24						19.61			100.11
Саурамбай	Саур-1	23074a	Включение халькозина в капле меди	80.10						19.65	1.04		100.79	
		23074b	Капля меди в шлаке	100.71									100.71	
		23074f	Капля меди в шлаке	97.00	2.01	0.73								99.74
Саур-2	Саур-2	23074j	Капля меди в шлаке	96.24	1.6	1.5				0.36			99.69	
		23065a	Капля As-Sb меди в шлаке	97.21	1.91		0.87		0.61					100.62
		23065b	Сульфидная “рубашка” вокруг капли меди	77.53	2.97						19.52			100.03
Саур-3	Саур-3	23065h	Капля As-бронзы в шлаке	96.94	0.29		1.82		0.48				99.53	
		23065i	Сульфидная “рубашка” вокруг капли бронзы	78.79	1.66					19.23				99.70
		23075b	Капля меди в шлаке	100.34	0.26	0.15								100.74
Шокпаргас	Шпс-1	23075c	Капля меди в шлаке	98.19	1.45	0.88							100.53	
		23075g	Реликт сульфида в окисленном корольке меди	78.44						20.22	1.08			99.74
		23077b	Капля меди в шлаке	100.67										100.67
Шпс-2	Шпс-3	23077f	Капля меди в шлаке	96.75	2.19	1.59							100.53	
		23076a	Капля меди в шлаке	99.16	1.36	–							100.52	
		23056b	Капля меди в шлаке	98.39	0.47	0.43								99.29
Шпс-3	Шпс-3	23056i	Включение ковеллина в шлаке	66.21	0.55	2.12				31.41			100.27	
		23056k	Капля меди в шлаке	100.47										100.47



**Рис. 5.** Минеральные включения в металле и шлаках Сарыаркинского металлургического очага: а – новообразованные скелетные кристаллы касситерита (Cst) в капле бронзы (Cu), обр. Кент 23-2, изображение в отраженном свете; б – новообразованные скелетные кристаллы касситерита (Cst) и малайита (Mal) в шлаке, обр. Кент 23-2; в – цепочечные кристаллы оливина (Ol), агрегаты магнетита (Mag) и куприта (Cpr) в оливиновом шлаке, обр. Камал-1; г – реликты марганцевых минералов и кварца в шлаке, обр. Саур-3; д – реликты кварцевых зерен в стекловатом шлаке; обр. Шпс-2; е – реликты хлоридов марганца, новообразованный манганозит (Mng) и креннерит (Cdn) в шлаке обр. Шпс-3; б–е – изображение в отраженных электронах.

ского свинца. По периферии каплей часто развита новообразованная дигенитовая “рубашка”.

Образец Саур-3 (рис. 3, б) представлен стекловатым шлаком с большим количеством реликтовых зерен кварца и мусковита. Новообразованные минералы представлены магнетитом с примесью Mn. Наиболее интересными являются реликты марганцевых руд, представленные сохранившимися в шлаке фрагментами агрегатов окси-гидроксидов марганца, цементирующими зерна кварца (рис. 5в). Металл в шлаке представлен каплями

Fe–Mn-содержащей меди, в каплях присутствуют мелкие включения Se-содержащего халькозина. По периферии капли металла окислены с образованием куприта и хлоридов меди.

*Поселение Шокпартас.* Образец Шпс-1 (рис. 3, 7) представлен стекловатым шлаком без реликтовых минералов. Основную массу шлака составляет стекло. Из новообразованных минералов отмечен Mn-содержащий магнетит. Металл в шлаке представлен крупными каплями чистой меди с

**Таблица 5.** Состав новообразованного оливина в металлургических шлаках Сарыаркинского металлургического очага

Поселение	Образец	Анализ	FeO	MnO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CuO	ZnO	Сумма
Камал	Камал-1	23066с	64.77	0.70	29.72	2.20	1.31	0.35		1.57	100.63
Саурамбай	Саур-1	23074d	25.03	41.38	30.56	0.81	1.62	0.45	0.72		100.57
	Саур-2	23065d	66.77	0.44	29.98	0.49	1.70				99.38
Шокпартас	Шпс-3	23065j	67.13		30.44	0.41	2.21				100.2
		23056с	30.08	38.79	29.94	0.66	0.76				100.23
		23056е	3.71	63.50	30.27	1.82					99.30
		23056m	23.7	44.69	29.96	0.82	1.15	0.24			100.56

субмикронными включениями сульфидов и мелкими каплями Fe–Mn-содержащей меди.

Образец Шпс-2 (рис. 3, 8) представлен стекловатым шлаком с большим количеством реликтовых зерен кварца. Основную массу шлака составляет стекло, из новообразованных минералов отмечены скелетные кристаллы магнетита. Металл в шлаке представлен медью с примесью железа.

Образец Шпс-3 (рис. 3, 9) представляет собой оливиновый сульфидсодержащий шлак. Основная масса шлака сложена оливином, магнетитом, новообразованными марганцевыми минералами, стеклом. Реликтовые включения в шлаке представлены зернами кварца и хлоридами марганца (рис. 5г). Новообразованный оливин (тефроит) представлен скелетными и перистыми кристаллами. В шлаке широко распространены новообразованный Mn–Al-магнетит, а также марганцевые минералы манганозит (эмпирическая формула  $Mn_{0,88-0,92}Fe_{0,08-0,12}O$ ) и креднерит (эмпирическая формула  $Cu_{0,97}Mn_{1,01}Fe_{0,02}O_2$ ), которые образуют глобулярные агрегаты (рис. 5г). Металл в шлаке представлен каплями чистой меди и Fe–Mn-содержащей меди, часто с включениями Se-содержащего сульфида.

Образец Шпс-4 (рис. 3, 10) представлен фрагментом марганцевой руды. По данным РФА образец имеет следующий минеральный состав (прибл. мас. %): криптомелан (формула  $K(Mn_6^{4+} Mn^{3+})O_{16}$ ) 79, кварц 13, цеолит 3, слюда 3, коронадит (формула  $Pb(Mn_6^{4+} Mn_2^{3+})O_{16}$ ) 2, вернадит (формула  $(Mn^{4+}, Fe^{3+}, Ca, Na)(O, OH)_2 \cdot nH_2O$ ) <1 (рис. 4б). Методом сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным анализом в образце также установлены единичные зерна барита и монацита.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### *Источники медных руд*

Территория Сарыаркинского металлургического очага богата медными и полиметаллическими месторождениями и рудопрооявлениями, многие из них имеют свидетельства разработки в древности [32, 33]. В рамках проведенной работы проанализированы наиболее известные места добычи медной руды в древности и выделены месторождения, расположенные поблизости от исследуемых поселений. Большое разнообразие типов металлургических шлаков в плане минералогии и геохимии, хорошо заметное даже в небольшой выборке образцов, может свидетельствовать об использовании руд с различных месторождений.

Для поселения Кент источником медных руд могли являться месторождения Кентобе-Тогайского рудного поля, расположенные в 25 км к северо-востоку от поселения. Месторождения от-

носятся к скарновому типу и локализованы вдоль контакта Кентского гранитного массива с вмещающими карбонатными толщами. Основным рудным минералом является магнетит, встречаются пирротин, пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, галенит, молибденит, гематит [34]. Контактново-метасоматические (скарновые) медно-магнетитовые месторождения отрабатывались на медь горняками алакульской культуры в Южном Зауралье [35]. Предполагается, что мартитизированные железные руды из верхней зоны окисления месторождений Кентобе-Тогайского рудного поля могли использоваться для ранних опытов получения железа на поселении Кент в позднем бронзовом веке [18]. В 10 км к юго-востоку от поселения находится медно-железное рудопрооявление Кур-Карагай, приуроченное к окварцованным гранитам Кентского плутона [32]. Однако древние выработки на месторождениях Кентобе-Тогайского рудного поля и Кур-Карагай ранее не отмечались.

Наиболее вероятным источником медной руды является группа медных и полиметаллических месторождений, расположенных в 19–25 км к западу–северо-западу от поселения: Карагайлинское (стратиформное, Ba–Pb–Zn–(Cu)), Максимоовское (скарновое, Fe–Cu), Атабайадиль или Иоанно-Предтечинский рудник (жильное, Cu–Ag–Pb), Жангызкарагай или Иваново-Богословский рудник (жильное, Cu–Ag–Pb), Байский рудник (жильное, Cu–Mo–Pb), Константиновское (жильное, Cu), Южно-Константиновское I (жильное, Cu), Южно-Константиновское II (жильное, Pb–Cu), на которых ранее были зафиксированы древние выработки с отвалами [32, 33].

Источником медных руд для поселения Камал могло являться рудопрооявление Алтын-Тюбе, расположенное в 9 км к юго-западу от поселения. Рудовмещающая кварцевая жила проявления приурочена к контакту известняков и андезитбазальтов. Медная минерализация представлена малахитом, азурином, реже купритом и самородной медью. На месторождении с XIX века известна крупная древняя горная выработка с отвалами и обнаружены фрагменты алакульской и саргаринско-алексеевской керамики [5, 33]. Еще одним возможным источником руды могло являться Ag–Cu–Pb-рудопрооявление Михаил, расположенное в 8 км к северо-западу от поселения. Известно, что месторождение отрабатывалось с XIX века [32].

Источником медных руд для поселений Саурамбай и Шокпартас могло являться стратиформное Ba–Pb–Zn-месторождение Алайгыр, расположенное в 25 км к востоку от поселений. Основным рудным минералом месторождения является галенит, второстепенными – сфалерит, пирит, халькопирит, барит, блеклые руды [36].

На месторождении выявлен древний рудник с выработкой округлой формы диаметром 10 м, глубиной до 12 м [33]. Вторым возможным источником медной руды могло являться Pb–Zn–Ag-месторождение Алабуга, расположенное в 25 км к юго-западу от поселений. Главными рудными минералами месторождения являются галенит, сфалерит, барит, второстепенными и редкими – пирит, аргентит, геокронит, арсенопирит, бурнонит, тетраэдрит, халькопирит, пирротин, киноварь. В зоне окисления месторождения отмечены окисленные медные руды [37]. На месторождении выявлено 14 древних подземных горных выработок: шахт и штреков [33]. Использование руд с месторождения Алабуга косвенно подтверждает образец шлака Саур-2 с Ва–Pb–As–Sb-примесями.

В изученных образцах шлака (кроме Кент 23-1 и Шпс-2) отмечается присутствие сульфидов в виде микровключений в каплях меди, тем не менее крупные самостоятельные агрегаты сульфиды образуют только в одном образце Саур-2. Это свидетельствует об использовании в большей степени окисленных рудных концентратов на поселениях при подчиненном значении сульфидных руд. Полученные результаты согласуются с исследованием нескольких образцов металлургических шлаков с поселений финала бронзового века Саргары, Кент, Кафарка и Тельмана XVI, которое указало на использование окисленных или смешанных окисленно-сульфидных руд на территории Центрального Казахстана в позднем бронзовом веке [17].

#### *Легирующие добавки и флюсы*

Состав капель и королек металла в шлаках показывает, что большая часть выплавляемого на поселениях металла представлена медью, часто с примесями Fe и Mn. Единичные образцы шлака были получены в ходе выплавки Sn–As- и As–Sb-бронз. Малый размер изученной выборки не позволяет достоверно оценить металлургические группы сплавов на поселениях.

Единственным оловосодержащим артефактом является фрагмент слитка (капли) и шлака с поселения Кент (обр. Кент 23-2). Наличие примесей и новообразованных минералов олова (касситерит, малайяит) не только в металле, но и в шлаке указывает на добавление оловянной лигатуры на стадии выплавки из руды. Это является крайне редким случаем для бронзового века Северной Евразии [13]. Ранее новообразованный касситерит был отмечен в шлаках поселений позднего бронзового века Талдысай и Бозшаколь [38, 39]. В районе поселения проявления олова отсутствуют, касситерит встречается только в виде акцессорного минерала некоторых грейзеновых и скарновых месторождений вольфрама и молибдена. Ближайшие месторождения олова находят-

ся в Атасуйском районе, на значительном удалении от района изученных поселений, но они не имеют следов разработки в бронзовом веке [32]. Предполагается, что источником олова для Сарыаркинского металлургического очага служили алтайские месторождения [3].

Рядом с месторождением Атабайадиль (Иваново-Богословский рудник), которое, возможно, являлось источником медной руды для поселения Кент, находится W–Mo–(Pb–Cu–Bi)-рудопроявление Южно-Карагайлинское [32]. Руды с этого проявления могли быть источником W в образце шлака Кент 23-1. Другим объяснением могут быть попытки поиска оловянных руд населением Кента. Как известно, вольфрам получил свое название из-за сложностей при выплавке олова из руд, содержащих минералы вольфрама [40]. Грейзеновые месторождения часто содержат Sn- и W-минерализацию совместно, минералы касситерит и вольфрамит внешне схожи. При полном отсутствии оловянной руды в районе поселения не исключено, что горняки-металлурги Кента занимались поисками касситерита на всех известных им рудниках.

В металлургии бронзового века Северной Евразии для снижения вязкости расплава и облегчения отделения металла от шлака широко использовались флюсы, например измельченные кости животных, барит, возможно, известняк, а также оксиды и гидроксиды железа [13]. Добавление оксидов и гидроксидов марганца в шихту также способствует снижению вязкости расплава и применялось в древней металлургии, хотя и значительно реже [13]. В Центральном Казахстане ранее отмечались находки Mn-содержащих шлаков, к примеру, на многослойных поселениях Атасу, Икпень I и Талдысай [12, 13, 38]. Большие примеси марганца в минералах, стекле шлака и каплях меди, реликты гипергенных минералов марганца в шлаке и фрагменты марганцевых руд в культурном слое свидетельствуют об активном использовании минералов марганца в качестве флюсов на поселениях Саурамбай и Шокпартас. Минералогия фрагмента марганцевой руды с поселения Шокпартас, выраженная криптомеланом, коронадитом и вернадитом, свидетельствует об использовании в качестве добавок минеральных агрегатов из верхних горизонтов зоны окисления месторождений марганца. Наиболее крупные марганцевые месторождения Центрального Казахстана приурочены к вулканогенно-осадочным породам, они находятся в Атасуйском рудном районе и относятся к Жайремскому и Каражальскому рудным узлам [41]. Мелкие рудопроявления марганцевых руд, также приуроченные к вулканогенно-осадочным толщам, прослеживаются и восточнее, в Успенско-Каркаралинской зоне [42]. Некоторые из этих рудопоявлений сопряжены с полиметаллическим Pb–Zn–Cu-оруденением. Так, на месторождении Алабуга отме-

чена жила пирролизита [37]. Весьма вероятно, что марганцевые флюсы добывались на древнем руднике Алабуга попутно с медными рудами.

#### Оценка температуры шлакового расплава

Приблизительно оценить температуру расплава можно с помощью новообразованных минералов шлака. Расположение точек состава оливинов на фазовой диаграмме состояния  $\text{FeO-SiO}_2\text{-MnO}$  показывает, что тефроитовые шлаки (обр. Саур-1 и Шпс-3) кристаллизовались при температуре 1250–1300°C, фаялитовые шлаки (обр. Камал-1 и Саур-2) – 1200°C [43]. Температура расплава стекловатых шлаков с новообразованными агрегатами магнетита и вюститита (обр. Кент 23-1, Шпс-1, Шпс-2), предположительно была ниже – около 1150–1050°C. Атмосферу плавки также можно оценить по новообразованным минералам, в большинстве образцов она была восстановительной. Присутствие делафоссита в образце Кент 23-1 может указывать на слабоокислительную атмосферу [13].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Богатейшая рудная база Сарыаркинского металлургического очага, обеспеченная множеством медных и полиметаллических месторождений различного генезиса, являлась одной из важнейших причин расселения металлоносных сообществ позднего бронзового века на территории Центрального Казахстана. Крупные металлургические центры, такие как Кент, могли снабжаться меднорудным сырьем из нескольких близлежащих месторождений.

Большая часть выплавляемого на исследованных поселениях металла представлена медью, часто с примесями Fe и Mn. Единичные выплавки проводились для получения Sn-As- и As-Sb-бронз.

В большинстве изученных образцов шлака отмечается присутствие халькозина и ковеллина в виде микровключений в каплях меди, при этом крупные самостоятельные агрегаты сульфиды образуют только в одном образце. Это свидетельствует об использовании в большей степени окисленных рудных концентратов на поселениях при подчиненном значении сульфидных руд.

Высокие примеси марганца в шлаке и фрагменты марганцевых руд в культурном слое поселений свидетельствуют об активном использовании минералов марганца в качестве флюсов на поселениях Саурамбай и Шокпартас. Весьма вероятно, что марганцевые флюсы добывались на древнем руднике Алабуга попутно с медными рудами.

Соотнесение металлургических артефактов поселений Сарыарки с возможными источниками металлургического сырья проведено только на

основе минералого-геохимических исследований и географического расположения памятников и поэтому является вероятностным. Чтобы установить точную связь между поселениями и рудниками, необходимо проводить комплексные геоархеологические исследования на месторождениях.

Авторы выражают благодарность А.В. Епимихову за консультации по вопросам радиоуглеродной хронологии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ННФИ в рамках научного проекта № 20-59-56007.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черных Е.Н. // Советская археология. 1978. № 4. С. 53.
2. Кузьмина Е.Е. Откуда пришли индоарии? Материальная культура племен андроновской общности и происхождение индоиранцев. М.: Восточная литература, 1994. 464 с.
3. Агапов С.А., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В. // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2012. № 3 (18). С. 44.
4. Маргулан А.Х. Бегазы-дандыбаевская культура Центрального Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1979. 360 с.
5. Жауымбаев С.У. Древняя металлургия и горное дело Центрального Казахстана (эпоха бронзы). Дис. ... канд. истор. наук. Караганда, 1984. 181 с.
6. Кадырбаев М.К., Курманкулов Ж.К. Культура древних скотоводов и металлургов Сары-Арки (по материалам Северной Бетпак-Далы). Акад. наук Республики Казахстан, Ин-т археологии им. А.Х. Маргулана. Алма-Ата: Гылым, 1992. 244 с.
7. Берденов С.А. // Вопросы археологии Казахстана Алматы. 1998. № 2. С. 180.
8. Ткачев А.А. // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2009. № 10. С. 35.
9. Бейсенов А.З., Варфоломеев В.В., Касеналин А.Е. Памятники бегазы-дандыбаевской культуры Центрального Казахстана. Алматы, 2014. 192 с.
10. Варфоломеев В., Ломан В., Евдокимов В. Кент – город бронзового века в центре казахских степей. Астана: Казахский научно-исследовательский институт культуры, 2017. 338 с.
11. Дегтярева А.Д. Металлообрабатывающее производство Казахстана и Киргизии в эпоху поздней бронзы. Дис. ... канд. ист. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1985.
12. Кузнецова Э.Ф., Тепловодская Т.М. Древняя металлургия и гончарство Центрального Казахстана. Алматы: Гылым, 1994. 208 с.
13. Григорьев С.А. Металлургическое производство в Северной Евразии в эпоху бронзы. Челябинск: Цицеро, 2013. 660 с.
14. Stöllner T., Gontscharov A. // METALLA. 2020. V. 25. № 2. P. 45. <https://doi.org/10.46586/metalla.v25.2019.i2.45-76>

15. *Agapov S., Degtjareva A., Kuz'minych S.* // Die Metallverarbeitung Kasachstans am Ende der Bronzezeit / Eds. Stöllner Th., Samašev Z. 2013. Unbekanntes Kasachstan. Archäologie im Herzen Asiens. Katalog der Ausstellung des DBM. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, 192. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum. P. 455.
16. *Park J.S., Voyakin D., Beisenov A.* // Archaeological and Anthropological Science. 2020. V. 12. P. 7. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00989-z>
17. *Григорьев С.А.* // Степная цивилизация Восточной Евразии. Астана: Кюльтегин, 2003. С. 136.
18. *Варфоломеев В.В., Анкушев М.Н., Блинов И.А.* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Социально-гуманитарные науки. 2016. Т. 16. № 2. С. 6.
19. *Варфоломеев В.В.* // “Маргулановские чтения – 2018. Духовная модернизация и археологическое наследие”. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Алматы-Актобе. 2018. С. 62.
20. *Варфоломеев В.В., Кайыржан А.К.* // Археология Казахстана. 2021. № 3 (13). С. 38. <https://doi.org/10.52967/akz2021.3.13.38.48>
21. *Варфоломеев В.В., Джашибеков А.К.* // Материалы республиканской научно-практической конференции, проводимой в рамках XVI Букуровских чтений, посвященной теме 170-летия открытия междуродного месторождения в Улутау, Жезказганском регионе. С. 23.
22. *Brown T.A., Nelson D.E., Vogel J.S., Southon J.R.* // Radiocarbon. 1988. V. 30 (2). P. 171. <https://doi.org/0044118> <https://doi.org/10.1017/S003382220>
23. *Bronk Ramsey C., Higham T., Bowles A., Hedges R.* // Radiocarbon. 2004. V. 46 (1) P. 155.
24. *Higham T., Jacobi R.M., Bronk Ramsey C.* // Radiocarbon. 2006. V. 48 (2). P. 179. <https://doi.org/10.1017/S0033822200066388>
25. *Wacker L., Nemeš M., Bourquina J.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B. 2010. V. 268 (7–8) P. 931. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2009.10.067>
26. *Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. et al.* // Radiocarbon. 2020. V. 62 (4). P. 725. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
27. *DeNiro M.J.* // Nature. 1985. V. 317. P. 806. <https://doi.org/10.1038/317806a0>
28. *Ventresca Miller A., Usmanova E.R., Logvin V.N. et al.* // J. Archaeol. Sci. 2014. V. 42. P. 525. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.11.012>
29. *Lightfoot E., Motuzaitė-Matuzevičiūtė G., O'Connell T.C. et al.* // Archaeometry. 2015. V. 57. P. 232. <https://doi.org/10.1111/arcm.12123>
30. *Епимахов А.В.* // Евразия в энеолите – раннем средневековье (инновации, контакты, трансляции идей и технологий). Материалы международной научной конференции, посвященной 120-летию со дня рождения выдающегося исследователя древностей Южной Сибири и Центральной Азии Михаила Петровича Грязнова (1902–1984). Санкт-Петербург, 2022. С. 147.
31. *Librado P., Khan N., Fages A. et al.* // Nature. 2021. V. 598. № 7882. P. 634. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04018-9>
32. Кадастр месторождений и рудопоявлений черных металлов, меди, полиметаллов и редких металлов. Комплексная металлогеническая карта Центрального Казахстана. Гл. ред. К.И. Сатпаев. Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр. М.: Гостеолиздат, 1955. 396 с.
33. *Маргулан А.Х.* Сочинения в 14 т. Т. 2. Сарыарка. Горное дело и металлургия в эпоху бронзы. Джек-казган – древний и средневековый металлургический центр (городище Милыкудук). Алматы: Дайк-Пресс, 2001. 144 с.
34. Геология СССР. Гл. ред. Козловский Е.А. Том XX. Центральный Казахстан. Полезные ископаемые. В двух книгах. Кн. 1. М.: Недра, 1989. 541 с.
35. *Ankushcheva P.S., Zazovskaya E.P., Yuminov A.M. et al.* // Archaeological and Anthropological Science. 2022. № 14. P. 218. <https://doi.org/10.1007/s12520-022-01681-5>
36. *Париллов Ю.С.* Генезис основных типов месторождений цветных металлов Казахстана (по результатам изучения флюидных включений). 2012. 266 с.
37. *Реутовский В.С.* Полезные ископаемые Сибири. Основания для поисков и разведок рудных месторождений. Санкт-Петербург. Издание Горного Департамента, типолитография А.Г. Розена (Ландау), 1905. 874 с.
38. Талдысай – поселение древних металлургов позднебронзового века в Улытауской степи: Коллективная монография. Отв. ред. Курманкулов Ж. Алматы: Институт археологии им. А.Х. Маргулана, 2020. 240 с.
39. *Воякин Д.А., Усманова Э.Р.* Горно-металлургический комплекс Бозшаколь 1. Алматы: МИЦАИ, 2023. 282 с.
40. *Зеликман А.Н., Никитина Л.С.* Вольфрам. М.: Металлургия, 1978. 272 с.
41. *Брусницын А.И., Перова Е.Н., Верецагин О.С. и др.* // Минералогия. 2018. Т. 4. № 3. С. 82.
42. *Веймарн А.Б., Максимов А.А., Петренко А.З., Розанов С.Б.* // Геология и полезные ископаемые Центрального Казахстана. М.: Наука, 1977. С. 272.
43. *Riboud P.V., Muan A.* // Trans. Metall. Soc. 1962. V. 224. P. 27.