

ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ  
ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

УДК 673.1

ВЕРОЯТНЫЕ ИСТОЧНИКИ МЕТАЛЛА СОСНОВО-МАЗИНСКОГО КЛАДА  
ЭПОХИ ПОЗДНЕЙ БРОНЗЫ ПО ДАННЫМ  
ИЗОТОПНОГО СОСТАВА СВИНЦА

© 2020 г. Н. И. Шишлина<sup>1,\*</sup>, Д. В. Киселева<sup>2</sup>, А. Ю. Лобода<sup>3</sup>, А. М. Исмагулов<sup>3</sup>,  
Е. С. Ващенко<sup>3,4</sup>, В. М. Ретивов<sup>3,4</sup>, Е. Ю. Терещенко<sup>3,5</sup>

<sup>1</sup> Государственный исторический музей, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup> Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

<sup>4</sup> ИРЕА – НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, Россия

<sup>5</sup> Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН, Москва, Россия

\*E-mail: nshishlina@mail.ru

Поступила в редакцию 11.08.2020 г.

После доработки 15.09.2020 г.

Принята к публикации 15.09.2020 г.

Представлены результаты анализа изотопов свинца медных сплавов изделий Сосново-Мазинского клада и бронзовых предметов сопоставительной выборки из археологических памятников Урала и Казахстана. Сравнительный анализ этих данных с данными изотопного анализа свинца медной руды исторических месторождений Приуралья позволили высказать предположение о вероятном использовании нескольких месторождений – медно-колчеданных Южного Урала; позднепермских окисленных руд Приуралья из ареала Сакмаро-Самарского горно-металлургического района; руда третьего типа, отличающаяся сильно радиогенным  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , возможно, происходит из месторождений северного Казахстана. Вариативность изотопного состава свинца изделий клада подтверждает использование нескольких рудных месторождений и переплавку бронзового лома.

DOI: 10.1134/S1992722320050131

ВВЕДЕНИЕ

Клад у с. Сосновая Маза Саратовской области найден в 1901 г. (рис. 1). Он является вторым по весу кладом бронзового века Восточной Европы [1, 2]. Его общий вес составил 22.5 кг. Основу клада составляют серпы (44) и их фрагменты, кинжалы, фрагменты кинжалов, литник, кусок металла [3]. Первые исследования состава металла предметов клада [4] показали, что серпы отлиты из меди со значительной примесью железа (до 8%) [5, 6]. В составе металла нет традиционных для бронзового века легирующих примесей мышьяка или олова, что позволило автору отнести все предметы клада к химико-металлургической группе чистой меди. Он также предполагал, что не менее 21 серпа изготовлено из одного слитка [6]. Высокое содержание железа, по мнению исследователя, связано с медно-колчеданными (халькопиритовыми) источниками рудного сырья [5].

Изучение состава сплавов изделий Сосново-Мазинского клада методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой позволило

определить относительно высокую однородность элементного состава металла изделий клада – медь с основной примесью железа (0.02–6.85%), но с высокой вариативностью количественного содержания микропримесей, в первую очередь никеля (0.003–0.402%) и цинка (0–0.24%). Было выделено две группы сплавов: с содержанием железа 0.5–8%; с содержанием железа в пределах 0.023–0.092%. В первую группу вошло 55 серпов, во вторую – 5 (рис. 2).

Ближние характеристики элементного состава сплавов были отмечены и для сопоставительной выборки – серпа из г. Хвалынска в Поволжье, серпов из приуральских поселений II тыс. до н.э. – Чебаркуль, Старокумлякское, Таукаево, а также изделий из поселения Алексеевское саргаринской культуры в северном Казахстане (коллекция Исторического музея) [7] (рис. 3).

Технологический анализ и анализ элементного состава сплавов показал близость части серпов Сосново-Мазинского клада, серпов из приуральского поселения Чебаркуль и серпа из поселения Алексеевское северного Казахстана, что, в целом,



**Рис. 1.** Расположение памятников и рудных месторождений: 1 – Сосново-Мазинский клад, 2 – Хвалынский, случайная находка, 3 – поселение Чебаркуль, 4 – поселение Таукаево 1, 5 – Алексеевское поселение и могильник, 6 – Старокумлякское поселение, 7 – Турганикское поселение, 8 – поселение Ордынский овраг, 9 – Каргалинские медные рудники, 10 – Токское поселение, 11 – поселение Кызылоба, 12 – курганный могильник у хутора Барышников, 13 – курганный могильник у хутора Илекский, 14 – случайная находка у пос. Ново-Привольный, 15 – случайная находка у с. Алмала, 16 – Майорское село, 17 – случайная находка у г. Соль-Илецк, 18 – случайная находка у с. Верхнеозерное; 19 – руда с памятника Каменный Амбар, 20 – Яман-Касы, 21 – Гайское, 22 – Ишкининское, 23 – Ивановское, 24 – Дергамышское, 25 – Барсучий Лог, 26 – Джусинское, 27 – Молодежное, 28 – Учалинское, 29 – Бабарик, 30 – Александринское, 31 – Михайловский, 32 – Карповский, 33 – Белоусовский.

позволяет связать в единую технологическую группу серпы из поволжского клада, приуральских и североказахстанского поселений.

Выделенные две химические группы в составе металла изделий Сосново-Мазинского клада позволили также высказать предположение о разных в минералогическом отношении источниках сырья, исключив медистые сланцы позднепермских отложений Поволжья и Приуралья [7].

Для проверки этой гипотезы было проведено дополнительное исследование изотопов свинца в сплавах изделий Сосново-Мазинского клада и сопоставительной выборки методом квадрупольной масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Анализ изотопов свинца в древних медных сплавах является наиболее успешным методом при оценке однородности использованной рудной базы для изготовления древних изделий и



**Рис. 2.** Серпы Сосново-Мазинского клада: группа 1: 1 – серп 3, 2 – серп 4, 3 – серп 36; группа 2: 4 – серп 41.



**Рис. 3.** Изделия сопоставительной выборки: 1 – серп из г. Хвалынска, 2 – серп из Алексеевского поселения, 3 – серп из поселения Чебаркуль (1), 4 – серп из поселения Чебаркуль (2), 5 – серпы из поселения Старокумлякское, 6 – серп из поселения Таукаево 1.

**Таблица 1.** Параметры Elan DRC-e (Perkin Elmer)

Параметр	Значение	
Мощность высокочастотного генератора	1300 Вт	
Измерение изотопов	Изотоп	Время измерения, мс
	$^{204}\text{Pb}$	100
	$^{206}\text{Pb}$	20
	$^{207}\text{Pb}$	20
	$^{208}\text{Pb}$	10
Число циклов	3	
Число чтений	3	
Число реплик	200	
Расход плазмообразующего потока Ar	15 л/мин	
Расход вспомогательного потока Ar	1.2 л/мин	
Расход пробоподающего потока Ar	0.7 л/мин	

определения географического расположения этих месторождений. В основе метода лежит локальная изменчивость соотношения трех радиогенных изотопов свинца ( $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ) с неродиогенным изотопом ( $^{204}\text{Pb}$ ) в медных рудах, которая сохраняется при выплавке меди и ее переплавке, определяя геохимические характеристики археологического предмета.

Таким образом, целью работы являются оценка однородности/неоднородности использованной рудной базы при выплавке серпов Сосново-Мазинского клада и определение вероятной рудной ресурсной базы/или нескольких источников руды, металл которой/которых пошел на выплавку изделий Сосново-Мазинского клада. Для этого было проведено изучение изотопного состава свинца и изделий сопоставительной выборки – серпов из трех поселений Приуралья – Чебаркуль, Старокумлякское и Таукаево 1, изделий поселения Алексеевское и Алексеевского могильника северного Казахстана (рис. 1). Задачей исследования была проверка следующих гипотез: все изделия Сосново-Мазинского клада выплавлены из металла одного рудного источника; часть серпов Сосново-Мазинского клада, серпы из поселений Чебаркуль, Старокумлякское и Алексеевское, близкие по типу сплавов, выплавлены из металла с одинаковыми геохимическими характеристиками, предположительно, из одного или близких по типу месторождений.

Этот анализ позволил оценить сходство и различие металла в изделиях Сосново-Мазинского клада и изделиях сопоставительной выборки и обсудить локализацию вероятных источников руды.

## МЕТОДИКА И ОБРАЗЦЫ

Изучение изотопов свинца в древних сплавах – широко используемый современный метод при

решении вопросов идентификации вероятных ареалов рудных сырьевых ресурсов [8–11]. Рудные месторождения характеризуются особыми Pb-свинцовыми характеристиками, определенными разнообразными геологическими и геохимическими факторами. При переработке руд фракционирования изотопов свинца не происходит, изотопная подпись Pb в археологическом изделии остается такой же, как в исходной руде [8]. Однако при интерпретации полученных геохимических данных необходимо учитывать широко распространенную с древности технологию переплавки древнего металла – когда при изготовлении изделия могли использовать как рудные материалы одного или нескольких источников, так и металлический лом, металл которого мог происходить из других месторождений [12].

Для исследования было отобрано 29 образцов от серпов Сосново-Мазинского клада, характеризующихся двумя типами сплавов: 28 серпов из группы 1 (Fe 0.5–8%): СМ 10, 16, 24, 26, 28, 30, 32, 39, 43, 47, 49, 56, 58, 64, 5, 8, 12, 18, 20, 22, 35, 37, 45, 51, 53, 60, С1, С3; и один из группы 2 (Fe до 0.1%) (СМ 41). В сопоставительную выборку вошло два образца от серпов поселения Чебаркуль (СМк Ч1, СМк Ч2); один образец от серпа из поселения Старокумлякское (СМк Ч3); один – от серпа из поселения Таукаево 1 (СМк Ч4); один – от серпа из г. Хвалынска (СМ С3) и 18 образцов от различных изделий Алексеевского могильника и поселения (СМкА), включая серп сосново-мазинского типа (СМКЗ).

В данной работе использовали следующий протокол проподготовки и измерений.

Образец взвешивали с точностью до 0.01 г, помещали в полипропиленовую пробирку Sarstedt, добавляли 2 мл концентрированной азотной кислоты. После полного растворения объем пробы

**Таблица 2.** Изотопный состав свинца в предметах Сосново-Мазинского клада из собрания Исторического музея (СМ) и Саратовского областного музея краеведения (СМ С)

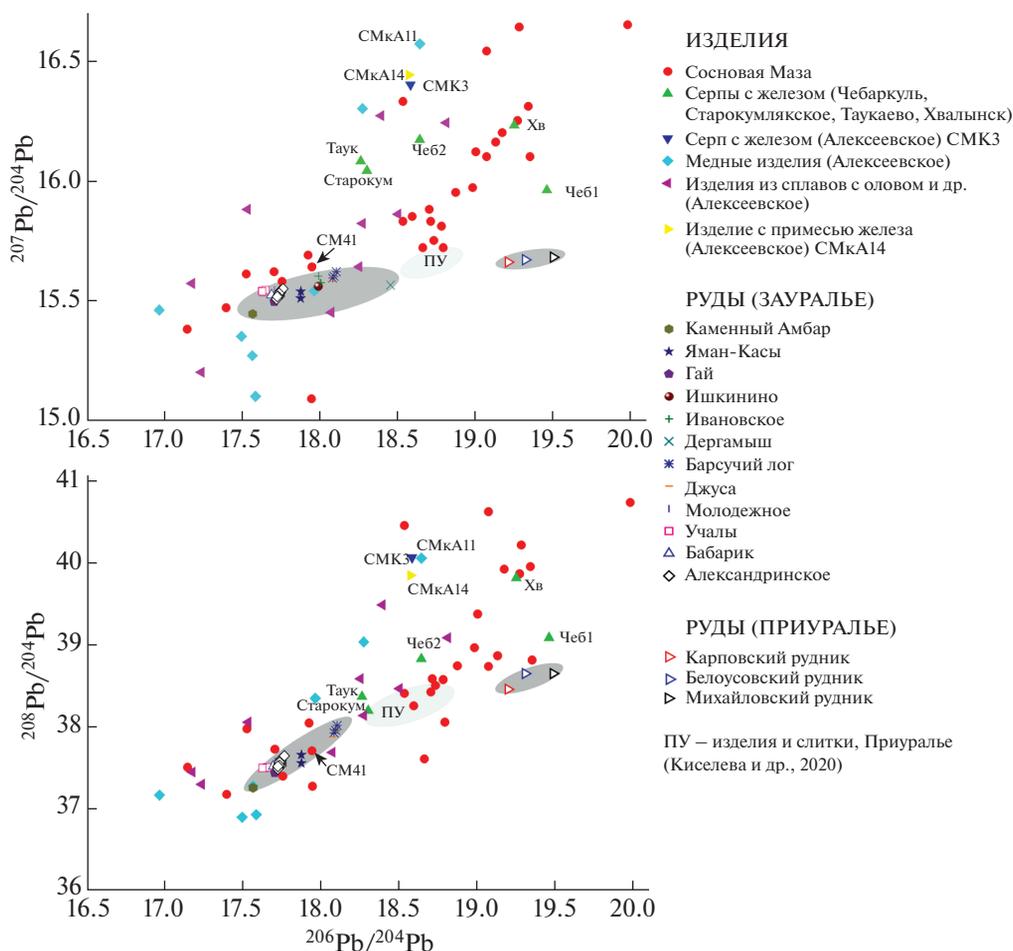
Лабораторный номер	Образец	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \pm 1\text{SE, abs}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \pm 1\text{SE, abs}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \pm 1\text{SE, abs}$
Коллекция Исторического музея				
МП164_1	Серп 41	17.954 ± 0.018	15.645 ± 0.016	37.721 ± 0.038
МП164_3	Серп 10	19.012 ± 0.019	16.130 ± 0.016	39.391 ± 0.039
МП164_5	Серп 16	18.742 ± 0.019	15.759 ± 0.016	38.519 ± 0.039
МП164_8	Серп 24	18.789 ± 0.019	15.821 ± 0.016	38.585 ± 0.039
МП164_9	Серп 26	18.710 ± 0.019	15.888 ± 0.016	38.443 ± 0.038
МП164_10	Серп 28	19.986 ± 0.020	16.665 ± 0.017	40.746 ± 0.041
МП164_11	Серп 30	18.668 ± 0.019	15.731 ± 0.016	37.624 ± 0.038
МП164_12	Серп 32	18.600 ± 0.019	15.857 ± 0.016	38.275 ± 0.038
МП164_15	Серп 39	18.797 ± 0.019	15.732 ± 0.016	38.074 ± 0.038
МП164_16	Серп 43	18.719 ± 0.019	15.840 ± 0.016	38.601 ± 0.039
МП164_18	Серп 47	18.993 ± 0.019	15.984 ± 0.016	38.978 ± 0.039
МП164_19	Серп 49	19.359 ± 0.019	16.113 ± 0.016	38.834 ± 0.039
МП164_22	Серп 56	18.880 ± 0.019	15.960 ± 0.016	38.765 ± 0.039
МП164_23	Серп 58	18.537 ± 0.019	15.841 ± 0.016	38.421 ± 0.038
МП164_25	Серп 64	19.351 ± 0.019	16.316 ± 0.016	39.971 ± 0.040
МП164_1	Серп 5	19.084 ± 0.019	16.551 ± 0.017	40.638 ± 0.041
МП164_2	Серп 8	19.281 ± 0.019	16.262 ± 0.016	39.881 ± 0.040
МП164_4	Серп 12	19.078 ± 0.019	16.113 ± 0.016	38.754 ± 0.039
МП164_5	Серп 18	17.396 ± 0.017	15.478 ± 0.015	37.187 ± 0.037
МП164_6	Серп 20	17.946 ± 0.018	15.103 ± 0.015	37.291 ± 0.037
МП164_7	Серп 22	18.540 ± 0.019	16.345 ± 0.016	40.471 ± 0.040
МП164_13	Серп 35	17.152 ± 0.017	15.392 ± 0.015	37.518 ± 0.038
МП164_14	Серп 37	17.713 ± 0.018	15.628 ± 0.016	37.743 ± 0.038
МП164_17	Серп 45	17.531 ± 0.018	15.622 ± 0.016	37.990 ± 0.038
МП164_20	Серп 51	17.926 ± 0.018	15.699 ± 0.016	38.060 ± 0.038
МП164_21	Серп 53	19.289 ± 0.019	16.655 ± 0.017	40.230 ± 0.040
МП164_24	Серп 60	17.764 ± 0.018	15.586 ± 0.016	37.410 ± 0.037
Коллекция Саратовского областного музея краеведения				
МП165	Серп С1	19.183 ± 0.019	16.214 ± 0.016	39.939 ± 0.040
МП166	Серп С3	19.143 ± 0.019	16.165 ± 0.016	38.880 ± 0.039

доводили на весах до 50.00 г. После этого проводили хроматографическое отделение свинца. Для хроматографирования использовали полипропиленовую колонку размером 15 × 10 мм с неподвижной фазой — смола Resin 100–150 mm PBA052316. Элюирование проходило по следующим стадиям: в колонку загружали 5 мл исследуемой пробы, затем промывали 5 мл деионизованной воды, 1.5 мл 8 М раствора HNO<sub>3</sub>, далее пропускали 1.5 мл 0.1 М HNO<sub>3</sub> и собирали аликвоту.

Измерения изотопов свинца проведены на квадрупольном масс-спектрометре Elan DRC-e (Perkin Elmer). Параметры работы прибора Elan DRC-e (Perkin Elmer) представлены в табл. 1.

Для калибровки и контроля качества анализа использовали стандарт изотопного состава свинца: NIST Standard Reference Material 981, с содержанием изотопов:  $^{204}\text{Pb} - 1.4255$ ,  $^{205}\text{Pb} - 24.1442$ ,  $^{207}\text{Pb} - 22.0833$ ,  $^{208}\text{Pb} - 52.3470\%$ .

Для определения рудной базы были привлечены данные по изотопному составу свинца в современных колчеданных рудах Зауралья и северной периферии Уральско-Мугоджарского региона [13], данные по изотопному составу исторических медных рудников Приуральяского (Каргалинского) степного горно-металлургического центра из ареала Каргалинского (Сакмаро-Самарского) горно-металлургического района:



**Рис. 4.** Изотопный состав свинца в серпах Сосново-Мазинского клада, серпах и других изделиях сопоставительной выборки и образцах руды из Приуралья и Зауралья.

корки и прожилки медной сини и зелени на породах Михайловского, Карповского и Белоусовского рудников (рис. 1); изотопные соотношения свинца в медных слитках и металлических изделиях, происходящих из археологических памятников и случайных находок в Приуралье (Турганник, Ордынский овраг, Каргалы, Токское, Кызылоба, курганные могильники у хуторов Барышникова и Илекский, местонахождения рядом с пос. Ново-Привольный, с. Алмала, с. Майорское, г. Соль-Илецк, с. Верхнеозерное) преимущественно ямной культуры раннего бронзового века, а также отдельных образцов из памятников срубной и алакульской культур эпохи поздней бронзы [14] (рис. 1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты изотопного состава свинца серпов Сосново-Мазинского клада представлены в табл. 2.

Изотопный состав в общей выборке проб показал высокую степень неоднородности (рис. 4).

Анализ изотопного состава свинца серпов Сосново-Мазинского клада показал очень большой разброс изотопных соотношений. Это позволяет высказать предположение, что, хотя элементный состав проанализированной выборки сплавов близок [7], вариации изотопных данных указывают на вероятное использование нескольких источников металла с разными геохимическими характеристиками. Скорее всего на выплавку серпов пошли различные типы скарновых и колчеданных месторождений и медных руд (окисленных, сульфидных). На диаграмме (рис. 4) видно, что серп из Сосново-Мазинского клада (SM 41) из группы 2 чистой меди с минимальной примесью железа на изотопных диаграммах попал в поле, соответствующее сульфидным рудам из ультрабазитов Главного Уральского разлома, где расположены такие месторождения, как Ишкинино, Ивановское, Дергамыш и др. [15]. В эту же зону попадает ряд сосново-мазинских серпов из ожелезненной меди группы 1, что может быть объяснено использованием при пере-

**Таблица 3.** Изотопный состав свинца в изделиях сопоставительной выборки

Лабораторный номер	Образец	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \pm 1\text{SE, abs}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \pm 1\text{SE, abs}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \pm 1\text{SE, abs}$
МП444	СМк Ч1	19.469 ± 0.019	15.972 ± 0.016	39.104 ± 0.039
МП445	СМк Ч2	18.648 ± 0.019	16.177 ± 0.016	38.842 ± 0.039
МП446	СМк Ч3	18.310 ± 0.018	16.054 ± 0.016	38.208 ± 0.038
МП447	СМк Ч4	18.272 ± 0.018	16.088 ± 0.016	38.379 ± 0.038
МП375	СМ С2	19.260 ± 0.019	16.244 ± 0.016	39.832 ± 0.040
МП376	СМК3	18.591 ± 0.019	16.406 ± 0.016	40.082 ± 0.040
МП377	СМкА1	17.587 ± 0.018	15.110 ± 0.015	36.942 ± 0.037
МП378	СМкА4	17.571 ± 0.018	15.282 ± 0.015	37.291 ± 0.037
МП379	СМкА7	17.500 ± 0.018	15.359 ± 0.015	36.912 ± 0.037
МП380	СМкА8	18.277 ± 0.018	16.311 ± 0.016	39.050 ± 0.039
МП381	СМкА9	16.966 ± 0.017	15.470 ± 0.015	37.177 ± 0.037
МП382	СМкА11	18.646 ± 0.019	16.579 ± 0.017	40.074 ± 0.040
МП383	СМкА13	17.973 ± 0.018	15.547 ± 0.016	38.359 ± 0.038
МП384	СМкА2	18.079 ± 0.018	15.460 ± 0.015	37.703 ± 0.038
МП385	СМкА3	17.539 ± 0.018	15.892 ± 0.016	38.070 ± 0.038
МП386	СМкА5	17.177 ± 0.017	15.581 ± 0.016	37.462 ± 0.037
МП387	СМкА6	18.509 ± 0.019	15.874 ± 0.016	38.479 ± 0.038
МП388	СМкА10	18.817 ± 0.019	16.253 ± 0.016	39.103 ± 0.039
МП389	СМкА12	18.283 ± 0.018	15.828 ± 0.016	38.155 ± 0.038
МП390	СМкА15	17.235 ± 0.017	15.208 ± 0.015	37.307 ± 0.037
МП391	СМкА17	18.259 ± 0.018	15.648 ± 0.016	38.596 ± 0.039
МП392	СМкА18	18.401 ± 0.018	16.285 ± 0.016	39.497 ± 0.040
МП393	СМкА14	18.578 ± 0.019	16.451 ± 0.016	39.863 ± 0.040

Примечание. Поселение Чебаркуль (СМк Ч1 и СМк Ч2); Старокумлякское селище (СМк Ч3); поселение Таукаево 1 (СМк Ч4); серп из Алексеевского поселения (СМК3); случайная находка серпа у г. Хвалынска (СМ С2); изделия из Алексеевского могильника и поселения (СМкА).

плавке металлического лома разного состава, но с близкими геохимическими характеристиками.

С большой долей вероятности одним из источников металла для серпов клада могли служить медно-колчеданные месторождения Южного Урала (рудоносные комплексы Зауралья и северной периферии Уральско-Мугоджарского региона). К такому выводу пришел и Е.Н. Черных еще в 1966 г. [5]. Однако вариативность полученных результатов и сравнительный анализ с изотопным составом свинца в образцах руды из достоверных, использовавшихся в эпоху бронзы, месторождений, позволили высказать предположение, что вторым источником металла могли быть позднепермские окисленные руды Приуралья из ареала Каргалинского (Сакмаро-Самарского) горно-металлургического района, хотя при анализе элементного состава металла эти месторождения были исключены как неиспользовавшиеся [7]. Еще одним вероятным источником металла мог быть металл из руд, заметно отличающихся по изотопному составу свинца от Южноуральских и

характеризующихся наибольшими величинами изотопных соотношений, особенно сильно радиогенного  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (возможно, из-за повышенного содержания тория). Такие месторождения могли располагаться в Поволжье или Казахстане.

Сравнение изотопного состава свинца сосново-мазинских изделий и серпов сопоставительной выборки показало, что самые близкие сосново-мазинским по типу сплавов серпы сопоставительной выборки из поселения Чебаркуль на Урале по изотопному составу свинца близки той части сосново-мазинских серпов, вероятный источник металла которых соответствует Приуральским месторождениям (табл. 3).

Серп сосново-мазинского типа, найденный в жилище 4 Алексеевского поселения в северном Казахстане, состав сплава которого попадает в группу 1 сплавов серпов из клада у с. Сосновая Маза (ожелезненная медь), на изотопном графике находится близко к ножу из этого же поселения (СМкА14), сплав которого также характери-

зается высоким содержанием железа, но легированного оловом. В эту же группу входят два медных (практически без примесей) изделия из Алексеевского поселения (СМкА11 и СМкА8), один сосново-мазинский серп из ожелезненной меди (СМ53) и два изделия, легированных оловом, также происходящих из Алексеевского поселения (СМкА10 и СМкА18).

Таукаевские и Старокумлякский серпы сопоставительной выборки на диаграммах занимают промежуточное положение между Зауральскими рудами и Приуральскими изделиями и слитками, а серп из Хвалынска характеризуется несколько более высокими изотопными соотношениями свинца по сравнению с Южноуральскими серпами, но по изотопному составу входит в одну из групп сосново-мазинских серпов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные изотопные характеристики свинца серпов сосново-мазинского типа и изделий сопоставительной выборки (уральских поселений Таукаево, Старокумлякское, Чебаркуль; Алексеевского поселения и могильника северного Казахстана), сравнительный анализ этих данных с данными изотопного состава медной руды исторических месторождений Приуралья и медных слитков и металлических изделий из археологических памятников Приуралья эпохи бронзы позволили высказать предположение о вероятных геолого-минералогических типах месторождений и их локализации.

Широкий разброс изотопных показателей 28 серпов Сосново-Мазинского клада указывает на использование материалов нескольких рудных источников, предположительно, медно-колчеданных месторождений Южного Урала (рудоносные комплексы Зауралья и северной периферии Уральско-Мугоджарского региона); позднепермских окисленных руд Приуралья из ареала Каргалинского (Сакмаро-Самарского) горно-металлургического района и месторождений, для которых характерен сильно радиогенный  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , локализация которых в настоящий момент затруднена.

Из руды третьего типа с высокими изотопными соотношениями свинца выплавлен один серп сосново-мазинского типа, серп из жилища 4 Алексеевского поселения и часть изделий из Алексеевского поселения и могильника. Поэтому пока можно высказать предположение, что третий горно-металлургический район располагался в северном Казахстане.

Таким образом, часть серпов Сосново-Мазинского клада и серпы из приуральского поселения Чебаркуль, близкие по технологическим характеристикам и составу сплава, оказались также в одном геохимическом поле с рудой из Приуральских месторождений.

Вариативность изотопного состава свинца в серпах Сосново-Мазинского клада подтверждает использование нескольких рудных месторождений и переплавку бронзового лома.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 17-29-04176 офи\_м и 20-09-00194).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малов Н.М. // Археология Восточно-европейской степи. Вып. 15. Отв. ред. В.А. Лопатин. Саратов: Саратов. гос. ун-т, 2019. С. 76.
2. Добровольский А. // Археология. 1948. № 2. С. 152.
3. Гольмстен В.В. // Из истории докапиталистических формаций: Сборник статей к 45-летию научной деятельности Н.Я. Марра. М.; Л: Гос. соц.-экон. изд-во, 1933. С.100–124.
4. Спицын А.А. // Известия Императорской археологической комиссии. 1909. № 29. С. 65.
5. Черных Е.Н. // Краткие сообщения о докладах и полевых исследованиях Института археологии. Вып. № 108: Археологические памятники Кавказа и Средней Азии. М.: Наука, 1966. С. 123.
6. Черных Е.Н. Древнейшая металлургия Урала и СССР. М.: Наука, 1970. 185 с.
7. Shishlina N.I., Loboda A. Yu., Bogdanov S.V. et al. Sickles from the Sosnovaya Maza hoard of the Late Bronze Age from the Lower Volga region: technological analyses, experiments and chronology. prepared for the publication.
8. Чугаев А.В., Чернышев И.В. // Влияния ахеменидской культуры в Южном Приуралье (V–III вв. до н.э.). Отв. ред. М.Ю. Трейстер, Яблонский Л.Т. М.: Таус, 2012. С. 239.
9. Pollard A.M., Bray P. // Archaeometallurgy in Global Perspective / Eds. Roberts B.W., Thornton C.P. New York; Heidelberg; Dordrecht; London: Springer, 2014. P. 217.
10. Pernicka E. // Archaeometallurgy in Global Perspective / Eds. Roberts B.W., Thornton C.P. New York; Heidelberg; Dordrecht; London: Springer, 2014. P. 239.
11. Pollard A.M. // Encyclopedia of Geoarchaeology / Ed. Gilbert A.S. Springer, 2017. P. 469.
12. Pollard A.M., Bray P., Hommel P. et al. Beyond Provenance. New approaches to Interpretation the chemistry of Archaeological copper Alloys. Belgium: Leuven Univ. Press, 2018. 233 p.
13. Tessalina S.G., Herrington R.J., Taylor R.N. et al. // Ore Geology Reviews. 2016. V. 72. P. 22. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.06.016>
14. Киселева Д.В., Солошенко Н.Г., Стрелецкая М.В. и др. // Материалы XI Всероссийской молодежной научной конференции “Минералы: строение, свойства, методы исследования”. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2020. С. 122.
15. Зайков В.В., Мелекесцева И.Ю., Артемьев Д.А. и др. // Геология и колчеданное оруденение южного фланга Главного Уральского разлома. Миасс: ИМин УрО РАН. 2009. 375 с.