

# ИСТОЧНИКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ РУСИ В XI–XIII вв. ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА СВИНЦА

© 2024 г. С.У. Меркель<sup>1,\*</sup>, И.Е. Зайцева<sup>2, \*\*</sup>, А.В. Чугаев<sup>3, \*\*\*</sup>

<sup>1</sup>*Vrije Universiteit, Амстердам, Нидерланды*

<sup>2</sup>*Институт археологии РАН, Москва, Россия*

<sup>3</sup>*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия*

\*E-mail: swmerkel@hotmail.com

\*\*E-mail: izaitseva@yandex.ru

\*\*\*E-mail: vassachay@mail.ru

Поступила в редакцию 15.06.2023 г.

После доработки 06.06.2024 г.

Принята к публикации 18.06.2024 г.

В статье обсуждаются результаты изотопного анализа свинца 43 предметов из цветных металлов XI–XIII вв. из сельских памятников Сузdalского Ополья и селищ округи г. Мурома. В ходе сопоставления полученных данных с имеющимися базами свинцово-изотопных значений археологических предметов из различных коллекций и рудных образцов было установлено, что большинство изделий из сплавов на основе меди изготовлено из меди, полученной в Вестфалии и Саксонии. Вероятно, она попадала в Северо-Восточную Русь через Балтику. Свинец многих легкоплавких украшений происходит из польских месторождений в районе Кракова. Представляется, что использование результатов изотопного анализа свинца в металлических предметах является перспективным направлением в средневековом металловедении, открывающим доступ ко многим ранее неисследованным аспектам средневековой экономической и культурной истории.

**Ключевые слова:** Северо-Восточная Русь, предметы из цветных металлов, изотопный анализ свинца, торгово-экономические связи.

**DOI:** 10.31857/S0869606324040068, **EDN:** KJBFMY

В данной работе<sup>1</sup> мы рассмотрим результаты изотопного изучения свинца в предметах из сплавов на основе меди и легкоплавких сплавов олова и свинца (пьютер). Методические аспекты работы в целом и методика анализа образцов детально изложены в первой статье. Состав металла предметов определен методами рентгено-флюоресцентного анализа (РФА) и растровой электронной микроскопии с энергодисперсионным рентгеновским микроанализом (РЭМ-ЭРМ)<sup>2</sup>. Исследование изотопного соста-

ва свинца выполнено в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН методом многоколлекторной масс-спектрометрии с ионизацией вещества в индуктивно связанный плазме (MC-ICP-MS).

Главной целью работы является изучение торгово-экономических связей Северо-Восточной Руси в области движения медных и легкоплавких металлов и сплавов в XI–XIII вв. Основой исследования стали 43 украшения из сельских памятников Сузdalского Ополья и селищ Чаадаево 5 и Катышево 1 в районе Мурома. Результаты анализов сравниваются с доступными базами данных изотопного состава свинца по различным горнорудным регионам и коллекциям археологических предметов для выявления сходства и определения районов происхождения металлов.

В процессе анализа Pb-Pb данных в целом (табл. 1, 2) становится очевидным, что в то время

<sup>1</sup>Настоящая статья является продолжением работ по изучению изотопных характеристик свинца (Pb-Pb метод) древнерусских металлических украшений из сельских памятников Сузdalского Ополья и округи Мурома. В первой части, опубликованной в журнале “Российская археология” № 2 за 2024 г., проанализированы монеты и изделия из серебра (54 экз.).

<sup>2</sup>Исследование выполнено с использованием приборной базы ЦКП при ИА РАН.

**Таблица 1. Результаты измерений предметов из сплавов на основе меди (в мас.%)**  
**Table 1. Measurement results for items made of copper-based alloys (in wt. %)**

№ предмета	Памятник	Предмет	Происхождение	Изотопные отношения свинца											
				$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Cu	Sn	Pb	Zn	Ag	As	Bi
1	Шекшово 9, 2018. № 15	Подвеска	Рейнский массив	18.334	15.638	38.325	0.8530	2.0904	58.5	32.7	1.9	6.3	0.1	0.09	0.11
2	Суворотское 8, 2015. № 509/28	Перстень	Западная Европа?	18.458	15.643	38.432	0.8475	2.0821	71.8	17.0	0.9	0.19	—	0.07	
3	Мордыш 1, 2012. № 328/73	Энколпion	Рейнский массив	18.337	15.635	38.329	0.8527	2.0903	53.6	40.2	1.9	0.9	—	0.35	—
4	Суворотское 8, 2012. № 677/74	Крест	Рейнский массив	18.367	15.637	38.361	0.8514	2.0886	48.3	43.9	4.1	1.7	—	0.66	—
5	Семеновское 2, 2018. № 683/65	Перстень	Рейнский массив	18.376	15.639	38.376	0.8510	2.0884	74.1	21.7	1.8	1.9	0.11	0.09	0.03
6	Кубаево 7, 2015. № 168/63	Крест	Рейнский массив	18.359	15.630	38.351	0.8514	2.0890	65.8	5.5	18.5	5.5	0.16	2.37	0.07
7	Кибол 5, 2017.	—“—	Рейнский массив	18.339	15.636	38.328	0.8526	2.0900	84.3	2.7	8.9	2.0	—	0.59	—
8	Шекшово 9, 2018. № 97	—“—	Рейнский массив	18.395	15.641	38.408	0.8503	2.0880	48.6	20.1	16.1	9.2	0.39	2.86	0.11
9	Шекшово 2, 2015. № 651/42	—“—	Византия?	18.539	15.661	38.637	0.8447	2.0841	76.7	10.9	8.1	0.2	0.28	1.71	0.08
10	Шекшово 2, 2014. № 1242/349	—“—	Рейнский массив	18.302	15.637	38.284	0.8544	2.0918	69.4	3.6	18.2	5.9	—	1.19	—
11	Торки 4, 2009. № 29	—“—	Рейнский массив	18.416	15.623	38.422	0.8483	2.0863	66.9	26.7	4.1	0.7	0.11	0.76	—
12	Тарбаево 5, 2011. № 608	—“—	Рейнский массив	18.306	15.637	38.287	0.8542	2.0915	80.1	11.3	5.4	0.0	—	0.89	—
13	Крапивье 6, 2018. № 15	—“—	Рейнский массив	18.372	15.633	38.372	0.8509	2.0886	80.4	17.3	1.4	0.0	0.67	0.06	—
14	Крапивье 6, 2018. № 29	Иконка	Рейнский массив	18.290	15.640	38.273	0.8551	2.0925	76.4	18.1	4.0	0.0	0.44	—	0.03
15	Шекшово 9, 2019. № 29	Конек	Рейнский массив	18.381	15.630	38.356	0.8503	2.0867	77.3	7.6	11.0	3.7	0.24	—	
16	Чаадаево 5, 2021. № 586.	Накладка лев (заяц)	Рейнский массив	18.402	15.631	38.394	0.8494	2.0864	59.7	32.2	1.3	3.8	0.3	0.1	—
17	Катышево 1, 2021. № 482	Крест	Рейнский массив	18.282	15.639	38.270	0.8554	2.0933	67.5	29.7	1.5	0.1	0.2	—	—

*Примечание:* № предмета в таблице соответствует № позиции на рис. 1.

**Таблица 2. Результаты измерений предметов из легкоплавких сплавов (в масс.%)**  
**Table 2. Measurement results for items made of low-melting alloys (in wt. %)**

№ пред- мета	№ позиции на рис. 4	Памятник, год раскопок	Предмет	Сплав	Происхождение металла	Изотопные отношения свинца				Sn	Pb	Cu	Bi	Fe	
						$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$						
18	1	Григорово 2, 2018. № 7/7	Пломба	Свинец	Олькуш (Польша)?	18.424	15.625	38.423	0.8481	2.0855	-	98.9	-	-	0.97
19	2	Крапивье 6, 2019. № 294/49	—“—	—“—	Олькуш?	18.421	15.624	38.417	0.8482	2.0855	-	99.7	-	-	0.21
20	3	Клещино, 2017. № 66/6	—“—	—“—	Олькуш?	18.419	15.626	38.412	0.8483	2.0854	-	99.9	-	-	-
21	4	Клещино, 2018. р.1. № 28	—“—	—“—	Олькуш?	18.428	15.624	38.430	0.8479	2.0854	-	99.7	-	-	0.24
22	5	Чаадаево 5, 2021. № 596	Перстень	Пьютер	Олькуш?	18.423	15.619	38.419	0.8478	2.0853	13.4	81.9	0.4	1.0	-
23	6	Чаадаево 5, 2021. № 1480	—“—	—“—	Центральная / Западная / Европа	18.441	15.623	38.399	0.8472	2.0822	95.2	0.9	-	-	-
24	7	Чаадаево 5, 2021. № 1573	—“—	—“—	Центральная / Западная / Европа	18.476	15.633	38.473	0.8461	2.0823	78.3	1.9	0.2	0.3	9.7
25	8	Чаадаево 5, 2021. № 1827	—“—	—“—	Олькуш?	18.430	15.624	38.418	0.8477	2.0845	47.4	11.1	8.4	-	-
26	9	Чаадаево 5, 2021. № 1005	Наконечник брраслета	—“—	Олькуш?	18.418	15.626	38.412	0.8484	2.0856	37.3	60.6	1.0	-	-
27	10	Чаадаево 5, 2021. № 1268	Перстень	—“—	Олькуш?	18.431	15.630	38.429	0.8480	2.0849	97	1.5	0.1	-	-
28	11	Чаадаево 5, 2021. № 174	—“—	—“—	Центральная / Западная / Европа	18.447	15.633	38.420	0.8475	2.0828	98.2	0.4	0.2	-	-
29	12	Чаадаево 5, 2021. № 185	—“—	—“—	Олькуш?	18.460	15.628	38.426	0.8466	2.0816	94.5	2.1	1.1	-	-
30	13	Чаадаево 5, 2021. № 2126	Пломба	—“—	Олькуш?	18.434	15.630	38.423	0.8479	2.0844	1.9	91.4	0.2	3.3	-
31	14	Чаадаево 5, 2021. № 1469	Перстень	—“—	Олькуш?	18.428	15.623	38.432	0.8478	2.0856	51.8	46.8	-	0.6	-
32	15	Чаадаево 5, 2021. № 1004	—“—	—“—	Олькуш?	18.425	15.620	38.426	0.8478	2.0856	3.5	90.5	-	3.8	-

Окончание таблицы 2.  
End of table 2.

№ пред- позиции метра	№ на рис. 4	Памятник, год раскопок	Предмет	Сплав	Происхождение металла	Изотопные отношения свинца				Sn	Pb	Cu	Bi	Fe
						$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$				
33	16	Чаадаево 5, 2021. № 2102	—“—	—“—	Олькуш?	18.407	15.602	38.349	0.8476	2.0834	46.7	49.5	0.9	0.5
34	17	Чаадаево 5, 2021. № 1900	—“—	Свинец	Олькуш?	18.417	15.625	38.410	0.8484	2.0855	0.8	92.9	0.1	3.9
35	18	Чаадаево 5, 2021. № 719	Крест	Пьютер	Не установлено	18.585	15.638	38.456	0.8414	2.0692	97.3	1.2	0.2	0
36	19	Чаадаево 5, 2021. № 2108	Крест	—“—	—“—	18.844	15.650	38.589	0.8305	2.0478	83.5	3.5	0.5	5.5
37	20	Чаадаево 5, 2021. № 238	Лунария	—“—	—“—	18.652	15.645	38.576	0.8388	2.0682	83.6	0.8	6.8	1.4
38	21	Гнездилово 2, 2014. № 239/151	Крест	—“—	Византия?	18.525	15.692	38.805	0.8471	2.0947	91.9	4.4	0.2	1.4
39	22	Гнездилово 2, 2014. № 482/394	Крест	—“—	Олькуш?	18.427	15.626	38.437	0.8480	2.0859	74.4	25.4		
40	23	Шекшово 9, 2013. Погр. 3. № 50	Венчик	—“—	Византия?	18.665	15.685	38.864	0.8403	2.0822	79.5	19.9	0.5	0.1
41	24	Суворотское 8, 2014. № 756/60	Крест	—“—	Олькуш	18.430	15.628	38.416	0.8480	2.0845	92.8	1.9	0.8	
42	25	Сорогужино 2, 2016. № 782/45	—“—	—“—	Олькуш	18.411	15.626	38.407	0.8487	2.0860	71.0	27.2	0.1	1.5
43	26	Шекшово 2, 2014. № 1242/349	—“—	—“—	Западная / Центральная Европа	18.361	15.633	38.356	0.8514	2.0890	4.2	95.6		0.7

Примечание: № 25: Ag – 16.1%

как находки из легкоплавких сплавов имеют широкий диапазон вариаций изотопного состава свинца, сплавы на основе меди изотопно однородны. Можно предположить, что металл предметов первой группы имеет несколько источников, тогда как металл находок из сплавов на основе меди преимущественно происходит из одного рудного региона. Этот предварительный вывод дает нам общее понимание особенностей торговли металлами и ограничивает возможные районы их происхождения. Однако следует подчеркнуть, что изотопный состав свинца в средневековых металлических предметах не обязательно напрямую связан с источником металла, поскольку на него могут влиять переработка, смешивание и другие металлургические процессы (Pernicka, 2014).

*Предметы из сплавов на основе меди.* В выборку вошли 17 предметов: 15 из Сузdalского Ополя и 2 из муромских селищ (рис. 1, табл. 1<sup>3</sup>). Целенаправленно отбирались только ранние кресты-тельники, появившиеся в регионе вскоре после принятия христианства — с грубым изображением Распятия (3 экз.) и скандинавского типа (5 экз.), — для установления источников металла для их изготовления и, возможно, определения места их производства. Остальные находки этой группы попали в выборку непреднамеренно: они имеют белый цвет (высокооловянные бронзы) и были первоначально приняты за серебряные. Это два креста-тельника и один небольшой обломок створки энколпиона, змеевик, круглая подвеска с зооморфным орнаментом в скандинавском стиле, два выпуклых квадратных щитка от перстней с рельефным орнаментом, обломок шумящей подвески — конька владимирского типа и половина плосковыпуклой накладки в виде фигуры льва.

Образцы из сплавов на основе меди изотопно образуют плотный и узкий кластер с одним выбросом (№ 9; рис. 2, 1). Несмотря на то, что в Евразии имеется множество месторождений меди, гомогенность изотопного состава свинца в исследованных предметах указывает на единственный регион-источник, которому удалось занять лидирующие позиции в торговле медью в Северо-Восточной Руси. По своим свинцово-изотопным характеристикам этот источник отличается от таких известных крупных медных провинций как эгейская, австрийская, альпийская, шведская и алтайская. Эти месторождения должны быть исключены из-за

<sup>3</sup> В тексте и таблицах дается сквозная нумерация предметов.

несопоставимости изотопов свинца с нашими данными (Gale, Stos-Gale, 1982; Gale, 1999; Pernicka et al., 2016; Forshell, 1992).

В последние годы опубликованы многочисленные свидетельства добычи и обработки меди в Пермском Предуралье в эпоху Средневековья. Местные центры являлись поставщиками сырья для мастеров Волжской Болгарии (Крыласова, 2018). Тем не менее, несмотря на относительную близость к Ополью и Мурому Уральского региона и налаженные торговые контакты с Волжской Булгарией, маркерами которых являются находимые повсеместно в Ополье многочисленные металлические детали поясной гарнитуры булгарского производства, изотопный состав свинца изученных нами бронзовых предметов оказался далек от свинцово-изотопных “меток” уральских колчеданных месторождений (рис. 3; Чернышев и др., 2008).

При поиске основного источника медного сплава большую роль играют свинцово-изотопные характеристики синхронных рассматриваемым нами коллекций предметов из других регионов (рис. 2, 1). Важное значение в связи с этим приобретают данные по Хедебю и Шлезвигу (Merkel, 2022), а также по западным регионам Германии: Корвей, VIII–XIII вв. (Хекстер, Северный Рейн-Вестфалия), и Брауншвейг, XI–XV вв. (Нижняя Саксония) (Zientek, 1998). Диапазоны значений изотопных отношений свинца основной группы медных сплавов из Сузdalского и Муромского регионов совпадают с доминирующим источником (66 из 71 артефакта), поставляющим металл в Хедебю (IX–XI вв.) и Шлезвиг (XI–XII вв.) на западном побережье Балтики, что свидетельствует о наличии прочной связи Северо-Восточной Руси с североевропейской морской торговой сетью. Оба набора, свою очередь, соответствуют по своим изотопным отношениям свинца артефактам на основе меди (13 из 13) из Вестфалии и Нижней Саксонии. Река Рейн, а возможно, также Везер и Эльба, вероятно, были основными артериями, доставлявшими добываемую в Рейнском массиве медь на побережья Северного и Балтийского морей.

В современных изотопных исследованиях пока не решена проблема смешения свинца из различных источников при переплавке лома. По мнению ряда исследователей, если свинец добавлен к меди с низким содержанием свинца, в изотопных “метках” будет доминировать картина добавленного свинца (Pollard et al., 2018).

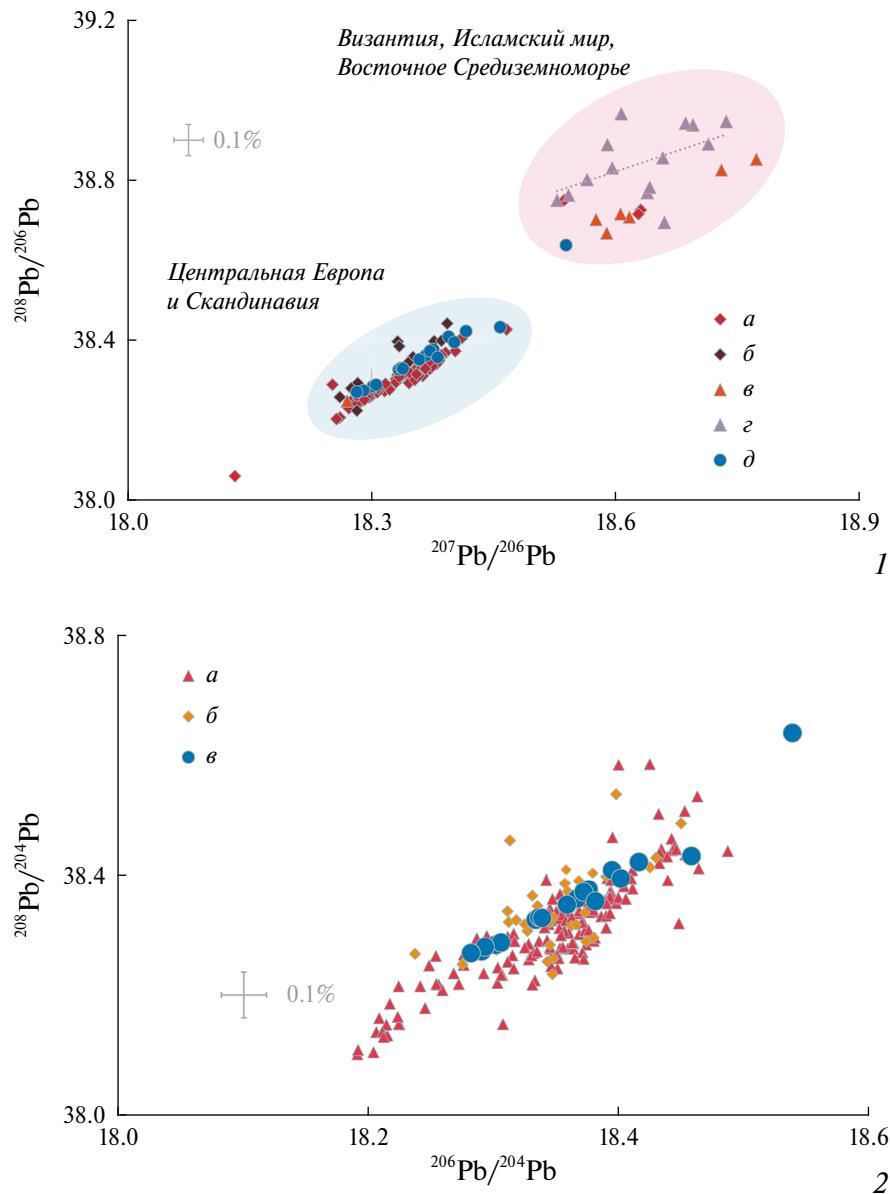


Рис. 1. Предметы из сплавов на основе меди из Суздальского Ополя и муромских селищ.

Fig. 1. Items made of copper-based alloy from Suzdal Opolye and Murom settlements

Р. 147, 151). Э. Перницка считает, что при наличии в сплаве более 5% свинца, он добавлен искусственно в чистом виде, и в этом случае мы можем обсуждать только происхождение свинца, а не меди. Чем ниже концентрация свинца в сплаве, тем больше шансов определить рудный источник меди (Pernicka, 2014. Р. 255). Тем не менее, в колчеданных и полиметаллических рудах, служивших главным сырьем при выплавке меди, свинец как примесный металл широко распространен. На рис. 2, 2 показана выборка руд из типичных

месторождений Рейнского массива, содержащих медь и свинец в концентрации от <1% до ок. 20% (Bode, 2008; Durali-Müller, 2005; Bielicki, Tischen-dorf, 1991; Krahn, Baumann, 1996; Schneider, 1994; Wagner, Schneider, 1999). Поскольку диапазон соотношений изотопов свинца в медных сплавах Германии не зависит от содержания свинца, можно полагать, что медь из этого региона, вероятно, производилась вместе со свинцом (из смешанной медно-свинцовой руды) или была сплавлена с ним перед экспортом.



**Рис. 2.** Сравнение предметов из сплавов на основе меди из Сузdalского Ополья/округи Мурома с объектами из Центральной Европы/Южной Скандинавии и Средиземноморья (1: *а* – средневековая Дания; *б* – Германия; *в* – Левант; *г* – Эгейский бассейн; *д* – Ополье и Муром) и рудами (2: *а* – Айфель и Вестфалия (Германия); *б* – Девон и Корнуолл (Англия); *в* – Ополье и Муром).

**Fig. 2.** A comparison of objects made of copper-based alloy from Suzdal Opoye/Mirom district with objects from Central Europe/Southern Scandinavia and the Mediterranean (1) and ores (2)

Соотношение изотопов свинца в изделиях из сплавов на основе меди из Сузdalского Ополья и района Мурома, как и в немецких сплавах, позволяет предположить тесную связь меди и свинца. Узкий изотопный диапазон, который сохраняется независимо от типа медного сплава: от цинкодержащих латуней до “белых” бронз с высоким содержанием олова и полностью смешанных сплавов, свидетельствует в пользу того, что свинец связан с медной составляющей.

В месторождениях Северо-западного Айфеля (Северный Рейн – Вестфалия) преобладают залежи свинца и цинка, которые добывались в римский период и в эпоху развитого Средневековья (Bartels, Klappauf, 2012. Р. 169–174; Durali-Müller et al., 2007). На восточном берегу Рейна в регионе Зауэрланд находятся несколько месторождений свинца, меди и серебра, разработка которых велась с XI в. По керамическим находкам и с помощью радиоуглеродного метода доказано,

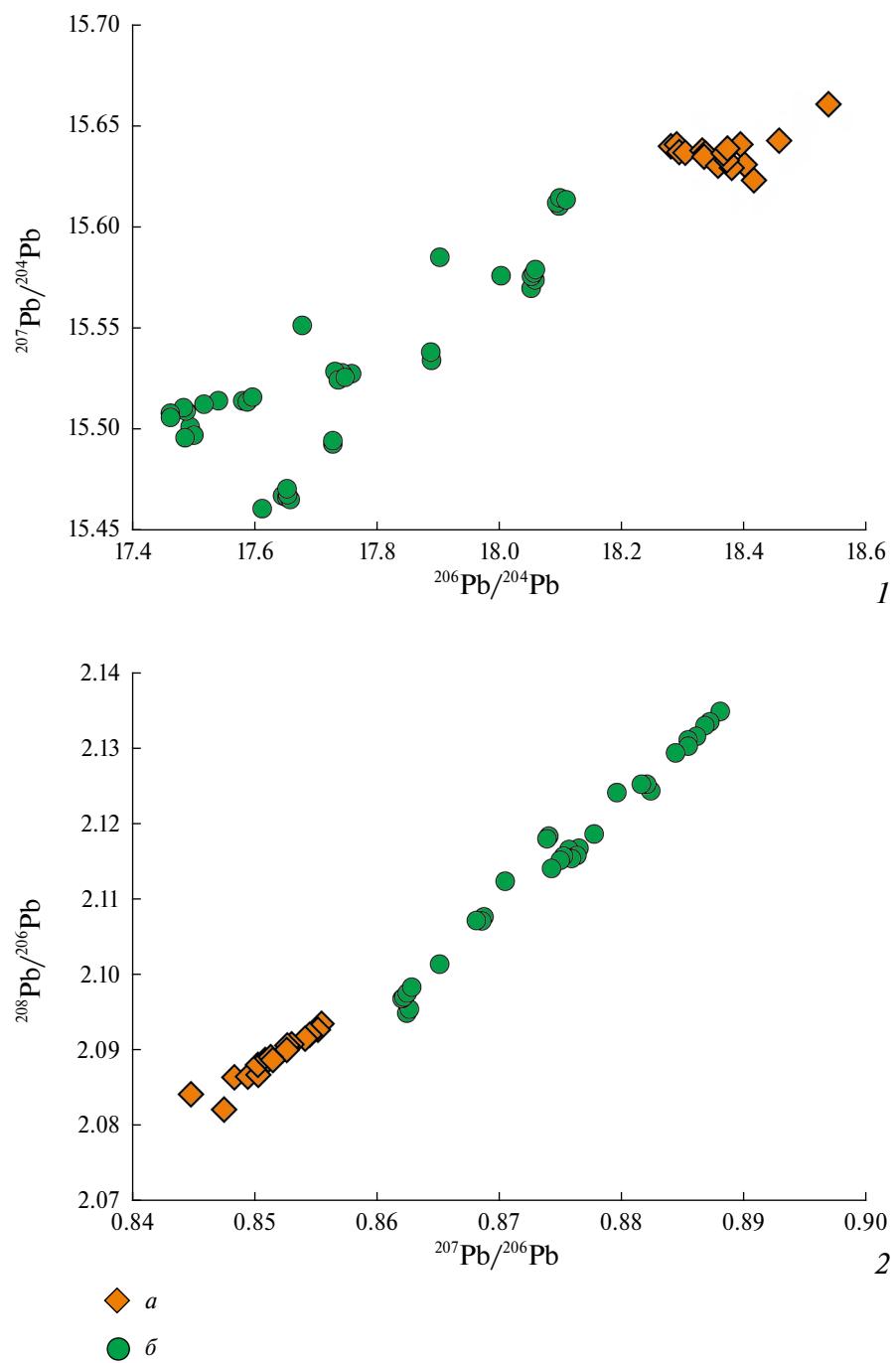


Рис. 3. Сравнение изделий на основе меди из Сузdalского Ополья/округи Мурома с медно-колчеданными месторождениями Среднего и Южного Урала (а – изделия из Сузdalского Ополья/Мурома, б – месторождения Среднего и Южного Урала).

Fig. 3. A comparison of objects made of copper-based metal from Suzdal Opolye and Murom district with copper-pyrite deposits of the Middle and Southern Urals

что медно-свинцово-серебряное месторождение Рамсбек использовалось в X–XIII вв. (Strassburg-er, 2012). Интенсивная добыча меди велась в руднике Марс-Берг, принадлежавшем монастырю Корвей, самому богатому и влиятельному аббатству Северной Германии в XII в. (Zientek, 1998.

Р. 12–16, 20–22). Согласно документу 1103 г., свинцовый рудник Брилона также снабжал аббатство Корвей (Jülich, 2006. Р. 56). По своему изотопному составу свинца руды месторождений всех вышеперечисленных районов соответствуют металлу сузdalских и муромских предметов.

Наши материалы не коррелируют непосредственно с рудными залежами меди в горах Гарца (Lehmann, 2011), но они отражают однородность соотношений изотопов свинца, которая типична для варисканских и пост-варисканских месторождений, и, следовательно, рассматриваемый металл гипотетически может происходить из смеси гарцской руды. Однако этот вариант менее вероятен, чем источники в Рейнском массиве. Близость изотопных отношений свинца в предметах из сплавов на основе меди из двух удаленных друг от друга регионов: Северо-Восточной Руси и средневековой Дании (Хедебю и Шлезвиг), может указывать на включенность этих русских территорий в систему североевропейской морской торговли и на почти монопольные условия на рынке медных сплавов в Северной Европе в XI–XII вв.

Отметим, что данные по сплавам на основе меди из Византии сильно отличаются от наших находок (рис. 2, 1). Это довольно неожиданно, поскольку специальный отбор крестов-тельников ранних группставил своей задачей именно обнаружение изотопных соответствий металла этих предметов с материалами Византии и Балкан. Типологические исследования крестов с грубым изображением Распятия позволили говорить об их балкано-дунайских прототипах (Макаров, 2018. С. 320). Тем не менее, все три сузальских креста (№ 7, 10, 12) изготовлены из сплавов на основе меди, которая, вероятно, поступила в Ополье по североевропейскому торговому пути.

Один крест скандинавского типа (№ 9) имеет изотопное отношение, указывающее на иной источник металла, однако конкретный район указать затруднительно (рис. 2, 1). Высокое содержание свинца в бронзе означает, что измеренный в сплаве изотопный состав свинца отражает либо изотопный состав легирующего свинца, либо является результатом смешения свинцово-медной руды из нескольких источников. Близкими величинами изотопных отношений свинца обладают месторождения нескольких регионов, например, в Центральном Иране (Mirnejad et al., 2011; Pernicka et al., 2011). Известно, что иранские изделия на основе свинца экспорттировались и были доступны в Восточном Средиземноморье в XI в. (Stos-Gale, 2004a). Определенное сходство по свинцово-изотопным характеристикам наблюдается и с рудами месторождений из Болгарии (Pernicka et al., 1997; Stos-Gale et al., 1998), и с колчеданными месторождениями Кипра (Лимни/Лимасол) (Gale et

al., 1997; Stos-Gale et al., 1997). Однако особенностью кипрских руд является низкое содержание в них свинца (Constantinou, 1982), что не позволяет их рассматривать в качестве потенциального источника металла креста. Более вероятно, что крест из Шекшово 2 связан с рудными месторождениями Византии и/или Восточного Средиземноморья (Barnes et al., 1986; Orfanou et al., 2020; Stos-Gale, 2004a).

Важно учитывать и типы сплавов, из которых изготавливались украшения. Большинство крестов отлиты из бронзы с высоким содержанием олова, некоторые – из “белой бронзы” с исключительно высоким содержанием олова. В Западной Европе такие сплавы встречаются только в виде колокольного металла (Drescher, 1984) или литьих сосудов (Zientek, 1998). По-видимому, жительницы Сузальского Ополья и муромских селищ наряду с имитирующими золото латунными сплавами, любили и бронзу с высоким содержанием олова, визуально напоминающую серебро (Mecking, 2020).

*Предметы из легкоплавких сплавов.* Проанализировано 26 предметов: 10 из Сузальского Ополья и 16 из Чаадаево 5 под Муромом (рис. 4, табл. 2). В верхнем распахиваемом слое сельских поселений, из которого происходит большая часть сузальской коллекции индивидуальных находок, предметы из легкоплавких сплавов сохраняются очень плохо. Это приводит к искажению картины общего распределения находок по типам сплавов. Более достоверную информацию по количеству изделий из легкоплавких сплавов позволили получить полноценные раскопки муромских селищ, где такие предметы гораздо более многочисленны. Нами исследовано 10 перстней, наконечник браслета, лунница, фрагмент налобного венчика и 7 крестов-тельников, один из которых (№ 36) является литейным браком. Наряду с украшениями и предметами личного благочестия в выборку были включены 5 пломб дрогичинского типа для определения происхождения их металла.

Полученные нами свинцово-изотопные данные показывают, что металл изделий из легкоплавких сплавов имеет различные источники (табл. 2). В литературе существует мнение, что, поскольку оловянные и свинцовые руды чаще всего залегают отдельно<sup>4</sup>, то сплавы олова со свинцом являются искусственно созданными, а

<sup>4</sup>Разрабатываемым в то время основным оловянным рудным минералом был касситерит. Он, как правило, не содержит свинец (Tylecote, 1886. Р. 43–49).



Рис. 4. Предметы из легкоплавких сплавов из Сузdalского Ополя и муромских селищ.

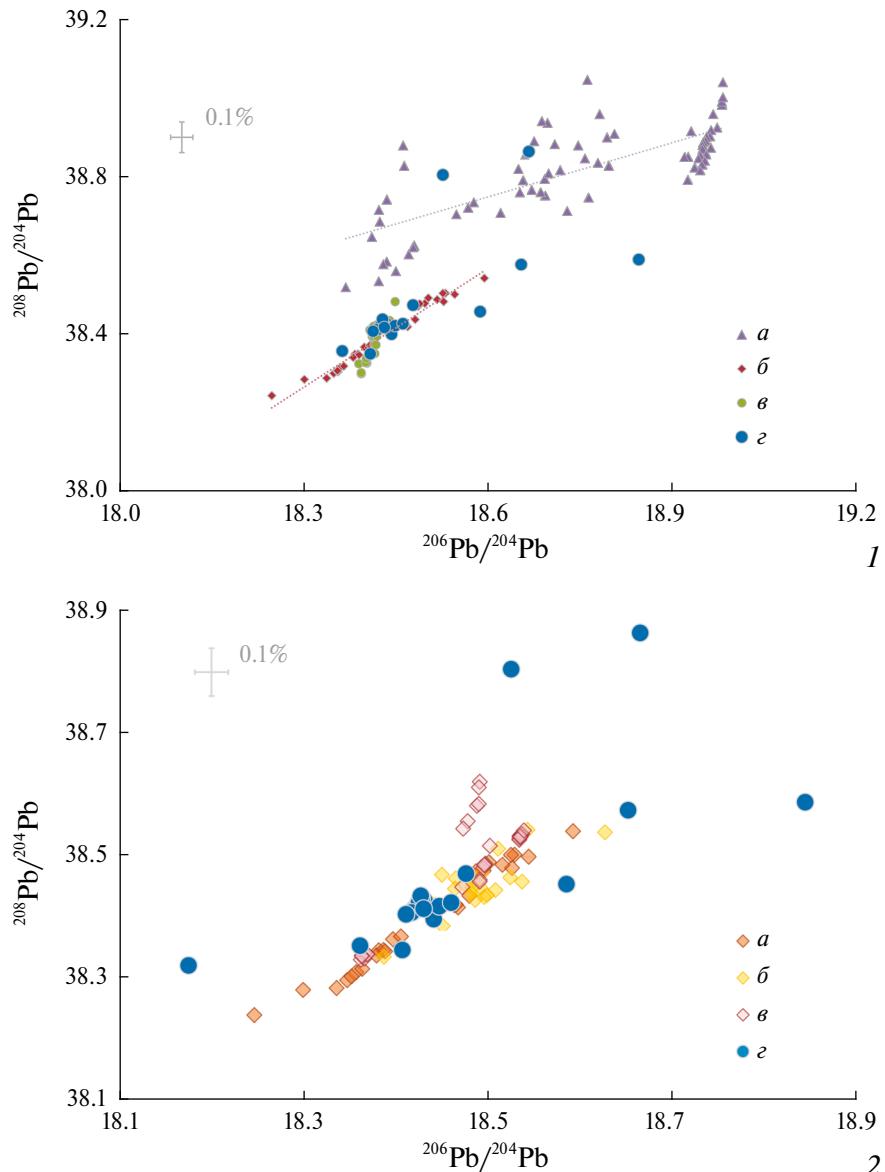
Fig. 4. Objects made of low-melting alloys from Suzdal Opolye and Murom settlements

отношения изотопов свинца дают информацию только о содержании свинца в металле (Bege-mann et al., 1999).

Полученные нами значения были сопоставлены с доступными хронологически близкими свинцово-изотопными базами данных предметов из свинца и олова. Одна из них представляет результаты изучения находок из свинца и пьютера (сплава олова со свинцом) из Хедебю (Merkel, 2016) и Шлезвига (Merkel, в печати). Проведенные по этим материалам исследования показали, что они являются отражением производства свинца в Западной Европе, главным образом в Англии. Вторая база данных получена по

находкам с затонувшего в XI в. корабля в бухте Серче Лимани у турецкого побережья недалеко от Мармариса (Stos-Gale, 2004a). Она дает представление о разнообразии металлов, которыми в то время торговали в Восточном Средиземноморье. При сравнении данных из этих массивов хорошо видно, что металлы, используемые в Северной Европе и в Восточном Средиземноморье, существенно отличаются по изотопному составу свинца (рис. 5, 1).

Можно полагать, что главные поставщики свинца для мастеров Ополя и Мурома находились в Западной или Центральной Европе. Большинство предметов (21 из 26) имеют



**Рис. 5.** Сравнение предметов из легкоплавких сплавов из Сузdalского Ополья и округи Мурома с объектами из Хедебю и Шлезвига и материалами с места кораблекрушения в бухте Серче Лимани в Эгейском море (1: *a* – свинец/свинцовое стекло (Восточное Средиземноморье); *b* – Sn-Pb/Pb (средневековая Дания); *c* – свинцовые руды (Польша); *g* – предметы из Ополья/округи Мурома) и Скандинавии (2: *a* – Хедебю/Шлезвиг (Pb/Sn-Pb); *b* – Бирка (Pb); *c* – Гокстад (Sn-Pb); *g* – Ополье и Муром (Pb/Sn-Pb)).

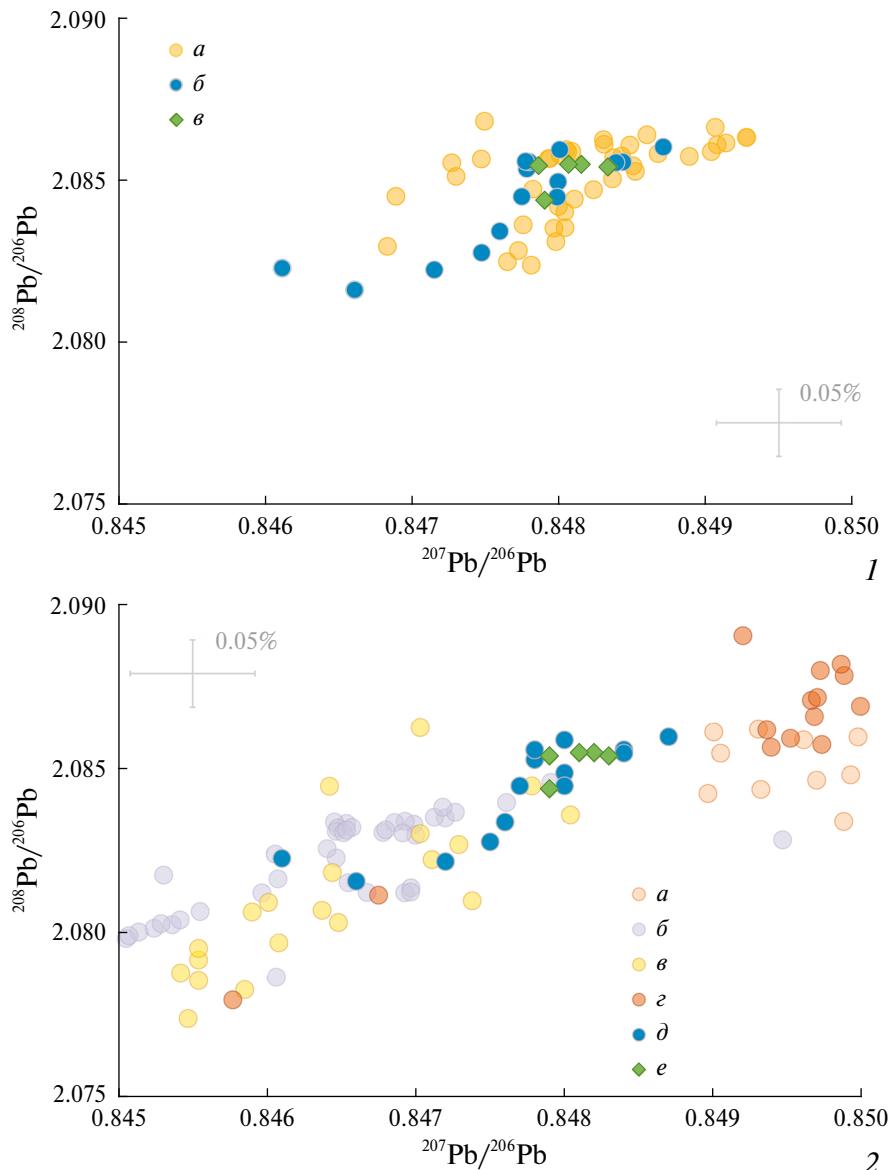
**Fig. 5.** A comparison of objects made of low-melting alloys from Suzdal Opolye and Murom district with objects from Hedeby and Schleswig and materials from the shipwreck site in Serce Limani Bay in the Aegean Sea (1) and in Scandinavia (2)

свинцово-изотопные характеристики, весьма близкие к североевропейскому свинцу<sup>5</sup> (Merkel, 2016; Merkel, в печати; Pedersen et al., 2016; Stos-Gale 2004b) (рис. 5, 2), а также к свинцовым рудам месторождений Западной Европы и Польши. Многие из них близки отношениям изотопов свинцовой руды из Краковского свинцово-рудного

<sup>5</sup>Изученные нами материалы изотопно более разнообразны, чем скандинавские данные.

района, включающего рудники Олькуша (Church, Vaughn, 1992; De Vleeschouwer et al., 2009).

Все проанализированные пломбы драгоценного типа из Ополья, селища Клещино на Плещеевом озере и Чаадаево 5 сделаны из свинца, добывшегося на месторождениях Краковского региона (рис. 6, 1). Компактное расположение точек на графике несовместимо с источниками свинца в Англии – Мендип и Дербишир (Rohl, 1996) и



**Рис. 6.** Сравнение предметов из легкоплавких сплавов из Сузdalского Ополья и округи Мурома со свинцовой рудой из района Krakowa (1: *а* – свинцовые руды района Krakowa; *б* – предметы из Ополья/округи Мурома; *в* – исследованные пломбы дробочинского типа) и с рудами из основных районов добычи свинца в Германии и Англии (2: *а* – Айфель (Германия); *б* – Верхний Гарц (Германия); *в* – Дербишир (Англия); *г* – Мендип (Англия); *д* – предметы из Ополья и района Мурома; *е* – исследованные пломбы).

**Fig. 6.** A comparison of objects made of low-melting alloys from Suzdal Opolye and Murom district with lead ore from the Krakow region (1) and with ores from the main lead mining areas in Germany and England (2)

Германии – Айфель (Bleialf, Mechernich, Maubach: Bode, 2008; Schneider 1994) и Гарц (Bad Grund: Lehmann, 2011) (рис. 6, 2). Из этого же источника происходит металл, использованный для изготовления большинства легкоплавких украшений из Ополья и муромских селищ (рис. 7).

Известно, что уже начиная с XI в., в Олькуше велась интенсивная разработка месторождений (Borón, Rozmus, 2014; Godzik, Woch, 2015),

и потенциально этот регион мог быть крупным поставщиком свинца в Восточную Европу уже в домонгольский период<sup>6</sup>. Проблема добычи, переработки и экспорта свинца в средневековой Польше имеет долгую историю исследований (Molenda, 2001) и в настоящее время изучается

<sup>6</sup>Широко известна в литературе находка сырьевого свинца весом 151 кг с клеймом Казимира Великого в Новгороде в слое XIV в. (Янин, 1966).

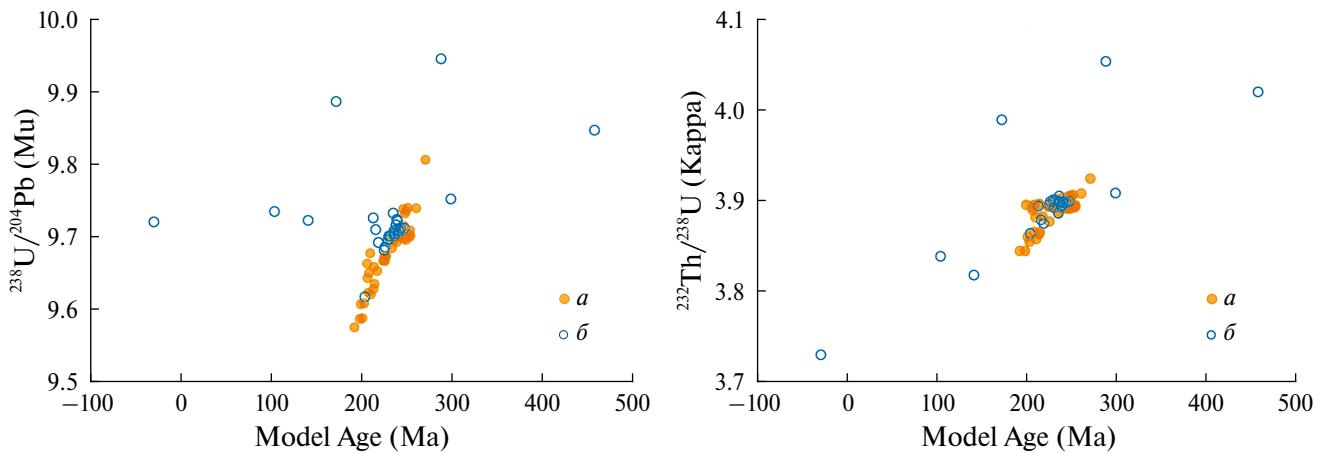


Рис. 7. Сопоставление величин модельных параметров ( $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb} = \mu$  и  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U} = \kappa$ , по модели Stacey, Kramers, 1975) источников металла сузdalских и муромских легкоплавких изделий со свинцовыми рудами месторождений района Krakova (а – свинцовые руды района Krakova; б – предметы из Opолья и района Мурома).

Fig. 7. A comparison of the values of the model parameters ( $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb} = \mu$  and  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U} = \kappa$  according to the model Stacey, Kramers, 1975) of the metal sources for the Suzdal and Murom low-melting items with lead ores from the Krakow region's deposits

с помощью изотопного анализа свинца (Miazga et al., 2022; Wajda et al., 2024; Merkel et al., 2024).

Пять предметов из нашей выборки имеют изотопные отношения свинца, отличающиеся от металла центральноевропейского источника. Два из них близки со средиземноморским металлом (крест № 38 и головной венчик № 40). Хотя крест и находится в зоне низкой плотности точек материалов из Восточного Средиземноморья (рис. 5, 1), можно предположить его попадание в Ополье из Византии через Черное море и по Днепровскому пути ввиду отсутствия такого металла в Северной Европе. Из этого же металла сделан и головной венчик из погребения начала XI в. в Сузdalском могильнике Шекшово 9.

Происхождение сырья трех находок из Чадаево 5 определить не удалось. Это два креста (№ 35, 36) и лунница (№ 37). Крест № 36 является литейным браком. Вероятно, муромские мастера имели доступ к свинцовому сырью из альтернативного, пока еще не установленного, источника.

Таким образом, благодаря изотопному анализу свинца средневековых артефактов из Сузdalского Ополья и Муромского региона появилась возможность установить достоверные связи между находимыми в Северо-Восточной Руси предметами из цветных металлов и потенциальными источниками их металлического сырья. Это важный шаг в выявлении ранее неизученных аспектов евразийской торговли

цветными металлами в XI–XIII вв. Несмотря на ограниченную доступность справочных свинцово-изотопных данных о разрабатываемых в средневековые рудные месторождениях в Европе, Восточном Средиземноморье, Востоке и на Урале и о составах коллекций археологических находок разных памятников, уже сейчас можно определить главные тренды в поступлении цветных металлов на территорию Северо-Восточной Руси. Наши исследования показали, что интегрированный в исторический контекст, каждый вид металла (серебро, медь и свинец) рассказывает свою собственную историю. Вероятно, их торговые потоки не зависели друг от друга.

Прямая корреляция сузdalских и муромских сплавов на основе меди с синхронными материалами из средневековой Дании и производящими медь регионами Вестфалией и Саксонией являются убедительными доказательствами европейского экспорта медных сплавов на восток. В XI–XII вв. медь и медные сплавы поступали в Новгород при посредничестве готландских торговцев (Ениосова и др., 2018. С. 64). Позднее это направление курировалось Ганзейским союзом. Весьма показательной является находка нескольких слитков черновой меди в Новгороде в яме XV в. со свинцово-изотопным отношением, близким к рудам восточноальпийских месторождений (Гайдуков, Олейников, 2014. С. 266).

Этот же вектор очевиден и в случае со свинцом. Хотя изученные нами сплавы свинца отличаются гораздо большим изотопным

разнообразием, чем медь, большая часть их свинцовой составляющей могла быть привезена из Krakowskого района на юге Польши. Известно, что краковские свинцовые месторождения разрабатывались в этот период, но пути и районы распространения этого металла еще нуждаются в дополнительных исследованиях. Важным представляется заключение, что все 5 исследованных пломб дрогичинского типа сделаны из польского свинца. Некоторые из легкоплавких предметов из Северо-Восточной Руси изготовлены из восточносредиземноморского и западноевропейского металла. В связи с нашей темой необходимо упомянуть новгородскую грамоту № 439 (1190–1200 гг.), в которой ремесленник или складник Моисей пишет о том, что расprodal свинец, олово и “клепание”, и ему не надо теперь ехать в Сузdal (Рыбина, 2001. С. 320). Наше исследование является подтверждением тесных связей Сузdalской земли с Новгородом в движении цветных металлов.

Проведенное нами свинцово-изотопное исследование изделий из цветных металлов из Сузdalского Ополья и округи Мурома является крупнейшим на сегодняшний день в древнерусской археологии. Оно не только предоставило качественно новую информацию о торговле металлами в Северо-Восточной Руси в XI–XIII вв., но и определило задачи будущих исследований на основе увеличивающихся баз Pb-Pb данных. Представляется, что использование результатов изотопного анализа свинца в металлических предметах является перспективным направлением в средневековом металловедении, открывающим доступ ко многим ранее неисследованным аспектам средневековой экономической и культурной истории.

Приносим глубокую благодарность Н.А. Макарову и О.В. Зеленцовой за предоставление материалов для исследования.

Работа выполнена в рамках плановой темы ИА РАН НИОТКР 122011200266-3.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гайдуков П.Г., Олейников О.М. К вопросу об источниках сырья на новгородском рынке цветных металлов в XV веке // Новгород и Новгородская земля. История и археология. Вып. 28. Великий Новгород: Новгородский гос. объед. музей-заповедник, 2014. С. 263–266.

Ениосова Н.В., Сингх В.К., Степанов А.М. Сырьевые слитки новгородских ювелиров // “Нескончаемое

лето”: сб. ст. в честь Елены Александровны Рыбиной. М.; Великий Новгород: Любавич, 2018. С. 62–73.

Крыласова Н.Б. К развитию концепции А.М. Белавина о товарном производстве меди и сплавов на ее основе в средневековом Пермском Предуралье // Труды Камской археолого-этнографической экспедиции. Вып. XIV. Пермь: Пермский гос. гуманитар.-пед. ун-т, 2018. С. 54–69.

Макаров Н.А. Древнейшие предметы христианской культовой пластики из центральных районов Северо-Восточной Руси // У истоков и источников: на международных и междисциплинарных путях: сб. в честь Александра Васильевича Назаренко. М.; СПб.: Центр гуманитар. инициатив, 2018. С. 317–327.

Рыбина Е.А. Торговля средневекового Новгорода. Историко-археологические очерки. Великий Новгород: Новгородский гос. ун-т, 2001. 390 с.

Чернышев И.В., Викентьев И.В., Чугаев А.В. и др. Источники вещества колчеданных месторождений Урала по результатам высокоточного MC-ICP-MS изотопного анализа свинца галенитов // Доклады Академии наук. 2008. Т. 418, № 4. С. 530–535.

Янин В.Л. Нахodka польского свинца в Новгороде // Советская археология. 1966. № 2. С. 324–328.

Barnes I.L., Brill R.H., Deal E.C., Piercy G.V. Lead Isotope Studies of Some of the Finds from the Serçe Limani Shipwreck // Proceedings of the 24th International Archaeometry Symposium. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 1986. P. 1–12.

Bartels C., Klappauf L. Der Aufschwung des Bergbaus in der Zeit der Karolinger und Ottonen, die mittelalterliche Blüte und der Abschwung bis zur Mitte des 14. Jahrhunderts // Geschichte des deutschen Bergbaus. Bd. 1. Der alteuropäische Bergbau. Von den Anfängen bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts. Münster: Aschenendorff, 2012. S. 111–238.

Begemann F., Kallas K., Schmitt-Strecker S., Pernicka E. Tracing ancient tin via isotope analyses // The Beginnings of Metallurgy. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 1999 (Der Anschnitt. Beiheft; 9). P. 277–284.

Bielicki K.H., Tischendorf G. Lead Isotope and Pb-Pb Model Age Determinations of Ores from Central Europe and their Metallogenetic Interpretation // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1991. 106. P. 440–461.

Bode M. Archäometallurgische Untersuchungen zur Blei-/Silbergewinnung im Germanien der frühen römischen Kaiserzeit: Dissertation / Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, 2008.

Borón P., Rozmus D. Silver and lead production centre in southern Poland – between Bytom, Olkusz and Tarnowskie Góry in the Middle Ages. Research Problems // Acta rerum naturalium. 2014. 16. P. 51–60.

Church S.E., Vaughn R.B. Lead-isotopic characteristics of the Cracow-Silesia Zn-Pb ores, southern Poland. Denver: US Department of Interior, 1992 (US Geological Survey Open File Report; 92–393). 16 pl.

- Constantinou G.* Geological features and ancient exploitation of the cupriferous sulphide ore bodies of Cyprus // Early Metallurgy in Cyprus, 4000–500 B.C. Nicosia: Pierides Foundation, 1982. P. 13–24.
- Drescher H.* Glockenfunde aus Haithabu // Das archäologische Fundmaterial. IV. Neumünster: Wachholtz, 1984 (Berichte über die Ausgrabungen in Haithabu; 19). S. 9–62.
- Durali-Müller S.* Roman lead and copper mining in Germany: their origin and development through time, deduced from lead and copper isotope provenance studies: Dissertation zur Erlangen des Doktorgrades Der Naturwissenschaften / Johann Wolfgang Goethe-Universität. Frankfurt am Main, 2005.
- Durali-Müller S., Brey G.P., Wigg-Wolf D., Lahaye Y.* Roman lead mining in Germany: its origin and development through time deduced from lead isotope provenance studies // Journal of Archaeological Science. 2007. Vol. 34, iss. 10. P. 1555–1567.
- Forshell H.* The inception of copper mining in Falun. Stockholm, 1992.
- Gale N.H.* Lead isotope characterization of the ore deposits of Cyprus and Sardinia and its application to the discovery of the sources of copper for Late Bronze Age oxhide ingots // Metals in Antiquity. Oxford: Archaeopress, 1999 (British archaeological reports. International Series; 792). P. 110–121.
- Gale N.H., Stos-Gale Z.A.* Bronze Age copper sources in the Mediterranean: a new approach // Science. 1982. Vol. 216. P. 11–19.
- Gale N.H., Stos-Gale Z.A., Maliotis G., Annetts N.* Lead isotope data from the isotrace laboratory. Oxford: Archaeometry data base 4, ores from Cyprus // Archaeometry. 1997. 39, 1. P. 237–246.
- Godzik B., Woch M.W.* History of mining in the Olkusz region // Przyrodnicza I historyczna wartość Olkuskiego Okręgu Rudnego. Cracow: W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, 2015. P. 29–36.
- Jülich S.* Salzgewinnung und Blei am Hellweg // Bergbau im Sauerland: Westfälischer Bergbau in der Römerzeit und im Frühmittelalter. Münster: Verlag des Westfälischen Heimatbundes, 2006 (Schriften der Historischen Kommission für Westfalen; 20). S. 45–57.
- Krahn L., Baumann A.* Lead isotope systematics of epigenetic lead-zinc mineralization in the western part of the Rheinisches Schiefergebirge, Germany // Mineralium Deposita. 1996. 31. P. 225–237.
- Lehmann R.* Archäometallurgie von mittelalterlichen deutschen Silberbarren und Münzen: Dissertation [Электронный ресурс] / Leibniz Universität Hannover. 2011. URL: <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01dh11/646461346.pdf> (дата обращения: 25.01.2021).
- Mecking O.* The colours of archaeological copper alloys in binary and ternary copper alloys with varying amounts of Pb, Sn and Zn // Journal of Archaeological Science. 2020. 121. P. 105–199.
- Merkel S.W.* Silver and the Silver Economy at Hedeby. Raw Materials, Innovation, Technology of Ancient Cultures RITaK 2. Bochum: Verlag Marie Leidorf, 2016. (Der Anschnitt. Beiheft; 33). 272 S.
- Merkel S.* The elemental and lead isotope analysis of brass and other copper-based alloys from Viking Hedeby and High Medieval Schleswig // Haithabu 983–1066: Der Untergang eines dänischen Handelszentrums in der späten Wikingerzeit. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 2022 (Ausgrabungen in Haithabu; 19). P. 423–456.
- Merkel S.W.* Early to high medieval lead, pewter and tin from workshops and trading contexts in West and North Germany: elemental and lead isotope analysis. (В печати).
- Merkel S.W., Florkiewicz I., Jansen M. et al.* Evidence for Slavic lead mining and trade: Early Rus' lead seals from Czermno and Gródek on the Polish Rus' Border // Journal of Archaeological Science: Reports. 2024. Vol. 55. 104539.
- Miazga B., Duma P., Cembrzyński P. et al.* Analytical studies on medieval lead ingots from Wrocław and Kraków (Poland): a step towards understanding bulk trade of lead from Kraków and Silesia Upland Pb-Zn deposits // Heritage Science. 2022. 10. 184.
- Mirnejad H., Simonetti A., Molasalehi F.* Pb isotopic compositions of some Zn-Pb deposits and occurrences from Urumieh-Dokhtar and Sanandaj–Sirjan zones in Iran // Ore geology reviews. 2011. 39, 4. P. 181–187.
- Molenda D.* Polski ołów na rynkach Europy Środkowej w XIII–XVII wieku. Warszawa, 2001. 227 s.
- Orfanou V., Birch T., Lichtenberger A. et al.* Copper-based metalwork in Roman to early Islamic Jerash (Jordan): Insights into production and recycling through alloy composition and lead isotopes // Journal of Archaeological Science: Reports. 2020. Vol. 33. P. 102–119.
- Pedersen U., Andersen T., Simonsen S., Erambert M.* Lead isotope analysis of pewter mounts from the Viking ship burial at Gokstad: on the origin and use of raw materials // Archaeometry. 2016. 58. P. 148–163.
- Pernicka E.* Provenance Determination of Archaeological Metal Objects // Archaeometallurgy in Global Perspective: Methods and Syntheses. Heidelberg: Springer, 2014. P. 239–268.
- Pernicka E., Adam K., Böhme M. et al.* Archaeometallurgical Research on the Western Central Iranian Plateau // Early Mining and Metallurgy on the Western Central Iranian Plateau. Mainz: Philipp von Zabern, 2011 (Archäologie in Iran und Turan; 9). P. 631–688.
- Pernicka E., Begemann F., Schmitt-Strecker S. et al.* Prehistoric copper in Bulgaria: Its composition and provenance // Eurasia Antiqua. 1997. 3. P. 41–180.
- Pernicka E., Lutz J., Stöllner T.* Bronze Age copper produced at Mitterberg, Austria, and its distribution // Archaeologia Austriaca. 2016. 100. P. 19–55.

- Pollard A.M., Bray P., Cuenod P. et al.* Beyond Provenance. New Approaches to Interpreting the Chemistry of Archaeological Copper Alloys. Leuven, 2018. 232 p.
- Rohl B.M.* Lead isotope data from the Isotrace Laboratory, Oxford: Archaeometry data base 2, galena from Britain and Ireland // Archaeometry. 1996. 38, 1. P. 165–180.
- Schneider J.* Geochemische Untersuchungen zur Genese von Buntmetallverzerrungen in der Nordeifel: Diplomarbeit / Justus-Liebig-Universität Gießen. Gießen, 1994.
- Stacey J.S., Kramers I.D.* Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth and Planetary Science Letters. 1975. Vol. 26, iss. 2. P. 207–221.
- Stos-Gale Z.* Lead-Isotope Analyses of Glass, Glazes, and Some Metal Artefacts // Serçe Limani. An Eleventh-Century Shipwreck. Vol. 1. The Ship and Its Anchorage, Crew, and Passengers. College Station: Texas A&M University Press, 2004a. P. 453–467.
- Stos-Gale Z.* Appendix 3. Lead isotope analyses of the lead weights from Birka, Sweden // Mellan Gåva Och Marknad: Handel, Tillit och Materiell Kultur under Vikingatid. Lund, 20046 (Lund Studies in Medieval Archaeology; 34). P. 324–331.
- Stos-Gale Z.A., Gale N.H., Annetts N. et al.* Lead Isotope Data the isotrace Laboratory, Oxford: Archaeometry Data Base 5, Ores from Bulgaria // Archaeometry. 1998. 40. P. 217–226.
- Stos-Gale Z.A., Maliotis G., Gale N.H., Annetts N.* Lead Isotope characteristics of the Cyprus copper ore deposits applied to provenance studies of copper oxide ingots // Archaeometry. 1997. 39. P. 83–123.
- Strassburger M.* Middle-aged silver, copper and lead mining near Ramsbeck // Acta rerum naturalium. 2012. 12. P. 31–44.
- Tylecote R.* The Prehistory of Metallurgy in the British Isles. London: Institute of Metals, 1986.
- Vleeschouwer F. de, Fagel B., Cheburkin A. et al.* Anthropogenic impacts in North Poland over the last 1300 years – A Record of Pb, Zn, Cu, Ni and S in an ombrotrophic peat bog // Science of the Total Environment. 2009. Vol. 407. P. 5674–5684.
- Wagner T., Schneider J.* Ore remobilisation related to sulphide-sulphosalt reactions in hydrothermal vein systems of the Dörnberg-Aurora (Ramsbeck) deposit, NW Germany: Evidence from small-scale Pb-isotopic studies // Mineral Deposits: Processes to Processing: Proceedings of the 5th biennial SGA meeting, London. Rotterdam: Balkema, 1999. P. 995–998.
- Wajda S., Merkel S.W., Florkiewicz I. et al.* Early medieval lead glass bangles from Czermno, Poland: results of elemental and lead isotopes analyses // Archaeometry. 2024. 66, 2. P. 306–325.
- Zientek C.* Archäometallurgische Untersuchungen an ausgewählten Buntmetallfunden des Mittelalters aus Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen: Dissertation / Johann Wolfgang Goethe-Universität. Frankfurt am Main, 1998.

## SOURCES OF NON-FERROUS METALS IN NORTH-EASTERN RUS IN THE 11th–13th CENTURIES AD BASED ON THE RESULTS OF LEAD ISOTOPIC ANALYSIS

Stephen W. Merkel<sup>1,\*</sup>, Irina E. Zaitseva<sup>2,\*\*\*</sup>, and Andrey V. Chugaev<sup>3,\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Vrije Universiteit, Amsterdam, Netherlands

<sup>2</sup>Institute of Archaeology RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia

\*E-mail: swmerkel@hotmail.com

\*\*E-mail: izaitseva@yandex.ru

\*\*\*E-mail: vassachav@mail.ru

The article discusses the results of lead isotope analysis of 43 non-ferrous metal objects from the 11th–13th centuries AD from rural sites of Suzdal Opolye and settlements in the Murom area. As a result of comparison of the obtained data with the available databases of lead isotope values of archaeological objects from various collections and ore samples, it was established that most of the copper-based alloy items were made of copper obtained in Westphalia and Saxony. Probably, it came to North-Eastern Rus via the Baltic. The lead of many low-melting ornaments comes from Polish deposits in the Krakow region. It seems that the use of the results of lead isotope analysis in metal objects is a promising direction in medieval metal studies opening up access to many previously unexplored aspects of medieval economic and cultural history.

**Keywords:** North-Eastern Rus, non-ferrous metal objects, lead isotope analysis, trade and economic ties.

## REFERENCES

- Barnes I.L., Brill R.H., Deal E.C., Piercy G.V., 1986. Lead Isotope Studies of Some of the Finds from the Serçe Limani Shipwreck. *Proceedings of the 24th International Archaeometry Symposium*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, pp. 1–12.
- Bartels C., Klappauf L., 2012. Der Aufschwung des Bergbaus in der Zeit der Karolinger und Ottonen, die mittelalterliche Blüte und der Abschwung bis zur Mitte des 14. Jahrhunderts. *Geschichte des deutschen Bergbaus*, 1. Der alteuropäische Bergbau. Von den Anfängen bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts. Münster: Aschendorff, pp. 111–238.
- Begemann F., Kallas K., Schmitt-Strecker S., Pernicka E., 1999. Tracing ancient tin via isotope analyses. *The Beginnings of Metallurgy*. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, pp. 277–284. (Der Anschluss. Beiheft, 9).
- Bielić K.H., Tischendorf G., 1991. Lead Isotope and Pb-Pb Model Age Determinations of Ores from Central Europe and their Metallogenetic Interpretation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 106, pp. 440–461.
- Bode M., 2008. Archäometallurgische Untersuchungen zur Blei-/Silbergewinnung im Germanien der frühen römischen Kaiserzeit: Dissertation. Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Münster.
- Borón P., Rozmus D., 2014. Silver and lead production centre in southern Poland – between Bytom, Olkusz and Tarnowskie Góry in the Middle Ages. Research Problems. *Acta rerum naturalium*, 16, pp. 51–60.
- Chernyshev I.V., Vikent'ev I.V., Chugaev A.V. et al., 2008. Sources of the substance of the Ural pyrite deposits based on the results of high-precision MS-ICP-MS isotope analysis of galena lead. *Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 418, 4, pp. 530–535. (In Russ.)
- Church S.E., Vaughn R.B., 1992. Lead-isotopic characteristics of the Cracow-Silesia Zn-Pb ores, southern Poland. Denver: US Department of Interior. 16 pl. (US Geological Survey Open File Report, 92–393).
- Constantinou G., 1982. Geological features and ancient exploitation of the cupriferous sulphide ore bodies of Cyprus. *Early Metallurgy in Cyprus*, 4000–500 B.C. Nicosia: Pierides Foundation, pp. 13–24.
- Drescher H., 1984. Glockenfunde aus Haithabu. *Das archäologische Fundmaterial*, IV. Neumünster: Wachholz, pp. 9–62. (Berichte über die Ausgrabungen in Haithabu, 19).
- Durali-Müller S., 2005. Roman lead and copper mining in Germany: their origin and development through time, deduced from lead and copper isotope provenance studies: Dissertation zur Erlangen des Doktorgrades Der Naturwissenschaften. Johann Wolfgang Goethe-Universität. Frankfurt am Main.
- Durali-Müller S., Brey G.P., Wigg-Wolf D., Lahaye Y., 2007. Roman lead mining in Germany: its origin and development through time deduced from lead isotope provenance studies. *Journal of Archaeological Science*, 34, 10, pp. 1555–1567.
- Eniosova N.V., Singh V.K., Stepanov A.M., 2018. Raw ingots of Novgorod jewellers. “Neskonchaemoe leto”: *sbornik stately v chest' Eleny Aleksandrovny Rybinoy* [“Endless summer”: collected articles in honour of Elena Aleksandrovna Rybina]. Moscow; Velikiy Novgorod: Lyubavich, pp. 62–73. (In Russ.)
- Forshell H., 1992. The inception of copper mining in Falun. Stockholm.
- Gale N.H., 1999. Lead isotope characterization of the ore deposits of Cyprus and Sardinia and its application to the discovery of the sources of copper for Late Bronze Age oxide ingots. *Metals in Antiquity*. Oxford: Archaeopress, pp. 110–121. (British archaeological reports. International Series, 792).
- Gale N.H., Stos-Gale Z.A., 1982. Bronze Age copper sources in the Mediterranean: a new approach. *Science*, 216, pp. 11–19.
- Gale N.H., Stos-Gale Z.A., Maliotis G., Annetts N., 1997. Lead isotope data from the isotrace laboratory. Oxford: Archaeometry data base 4, ores from Cyprus. *Archaeometry*, 39, 1, pp. 237–246.
- Gaydukov P.G., Oleynikov O.M., 2014. On the sources of raw materials on the Novgorod market of non-ferrous metals in the 15th century AD. *Novgorod i Novgorodskaya zemlya. Istoryya i arkheologiya [Novgorod and the Novgorod land. History and archaeology]*, 28. Velikiy Novgorod: Novgorodskiy gosudarstvennyy ob"edineniyy muzei-zapovednik, pp. 263–266. (In Russ.)
- Godzik B., Woch M.W., 2015. History of mining in the Olkusz region. *Przyrodnicza I historyczna wartość Olkuskiego Okręgu Rudnego*. Cracow: W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, pp. 29–36.
- Jülich S., 2006. Salzgewinnung und Blei am Hellweg. *Bergbau im Sauerland: Westfälischer Bergbau in der Römerzeit und im Frühmittelalter*. Münster: Verlag des Westfälischen Heimatbundes, pp. 45–57. (Schriften der Historischen Kommission für Westfalen, 20).
- Krahn L., Baumann A., 1996. Lead isotope systematics of epigenetic lead-zinc mineralization in the western part of the Rheinisches Schiefergebirge, Germany. *Mineralium Deposita*, 31, pp. 225–237.
- Krylasova N.B., 2018. On the development of A.M. Belavin's ideas of commercial production of copper and its alloys in the medieval Perm area of the Cis-Urals. *Trudy Kamskoy arkheologo-ethnograficheskoy ekspeditsii [Proceedings of the Kama archaeological and ethnographic expedition]*, XIV. Perm': Permskiy gosudarstvennyy gumanitarno-pedagogicheskiy universitet, pp. 54–69. (In Russ.)
- Lehmann R., 2011. Archäometallurgie von mittelalterlichen deutschen Silberbarren und Münzen: Dissertation (Electronic resource). Leibniz Universität Hannover. URL: <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01dh11/646461346.pdf>.
- Makarov N.A., 2018. The oldest objects of Christian religious plastic art from the central regions of Northeastern Rus. *U istokov i istochnikov: na mezhdunarodnykh i mezhdisciplinarnykh putyakh: sbornik v chest' Aleksandra Vasil'evicha Nazarenko [At the origins and sources: on international and interdisciplinary paths: collected papers in honour of Aleksandr Vasilievich Nazarenko]*. Moscow; St. Petersburg: Tsentr gumanitarnykh initiativ, pp. 317–327. (In Russ.)

- Mecking O., 2020. The colours of archaeological copper alloys in binary and ternary copper alloys with varying amounts of Pb, Sn and Zn. *Journal of Archaeological Science*, 121, pp. 105–199.
- Merkel S., 2022. The elemental and lead isotope analysis of brass and other copper-based alloys from Viking Hedeby and High Medieval Schleswig. *Haithabu 983–1066: Der Untergang eines dänischen Handelszentrums in der späten Wikingerzeit*. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil, pp. 423–456. (Ausgrabungen in Haithabu, 19).
- Merkel S.W. Early to high medieval lead, pewter and tin from workshops and trading contexts in West and North Germany: elemental and lead isotope analysis. (In print).
- Merkel S.W., 2016. Silver and the Silver Economy at Hedeby. Raw Materials, Innovation, Technology of Ancient Cultures RITaK 2. Bochum: Verlag Marie Leidorf. 272 p. (Der Anschnitt. Beiheft, 33).
- Merkel S.W., Florkiewicz I., Jansen M., Bode M., Wołoszyn M., 2024. Evidence for Slavic lead mining and trade: Early Rus' lead seals from Czermno and Gródek on the Polish Rus' Border. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 55, 104539.
- Miazga B., Duma P., Cembrzynski P. et al., 2022. Analytical studies on medieval lead ingots from Wrocław and Kraków (Poland): a step towards understanding bulk trade of lead from Kraków and Silesia Upland Pb-Zn deposits. *Heritage Science*, 10, 184.
- Mirnejad H., Simonetti A., Molasalehi F., 2011. Pb isotopic compositions of some Zn-Pb deposits and occurrences from Urumieh-Dokhtar and Sanandaj–Sirjan zones in Iran. *Ore geology reviews*, 39, 4, pp. 181–187.
- Molenda D., 2001. Polski ołów na rynkach Europy Środkowej w XIII–XVII wieku. Warszawa. 227 p.
- Orfanou V., Birch T., Lichtenberger A. et al., 2020. Copper-based metalwork in Roman to early Islamic Jerash (Jordan): Insights into production and recycling through alloy composition and lead isotopes. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 33, pp. 102–119.
- Pedersen U., Andersen T., Simonsen S., Erambert M., 2016. Lead isotope analysis of pewter mounts from the Viking ship burial at Gokstad: on the origin and use of raw materials. *Archaeometry*, 58, pp. 148–163.
- Pernicka E., 2014. Provenance Determination of Archaeological Metal Objects. *Archaeometallurgy in Global Perspective: Methods and Syntheses*. Heidelberg: Springer, pp. 239–268.
- Pernicka E., Adam K., Böhme M. et al., 2011. Archaeometallurgical Research on the Western Central Iranian Plateau. *Early Mining and Metallurgy on the Western Central Iranian Plateau*. Mainz: Philipp von Zabern, pp. 631–688. (Archäologie in Iran und Turan, 9).
- Pernicka E., Begemann F., Schmitt-Strecker S. et al., 1997. Prehistoric copper in Bulgaria: Its composition and provenance. *Eurasia Antiqua*, 3, pp. 41–180.
- Pernicka E., Lutz J., Stöllner T., 2016. Bronze Age copper produced at Mitterberg, Austria, and its distribution. *Archaeologia Austriaca*, 100, pp. 19–55.
- Pollard A.M., Bray P., Cuenod P. et al., 2018. Beyond Provenance. New Approaches to Interpreting the Chemistry of Archaeological Copper Alloys. Leuven. 232 p.
- Rohl B.M., 1996. Lead isotope data from the Isotrace Laboratory, Oxford: Archaeometry data base 2, galena from Britain and Ireland. *Archaeometry*, 38, 1, pp. 165–180.
- Rybina E.A., 2001. Torgovlya srednevekovogo Novgoroda. Istoriko-arkheologicheskie ocherki [Trade of medieval Novgorod. Historical and archaeological studies]. Velikiy Novgorod: Novgorodskiy gosudarstvennyy universitet. 390 p.
- Schneider J., 1994. Geochemische Untersuchungen zur Genese von Buntmetallvererzungen in der Nordeifel: Diplomarbeit. Justus-Liebig-Universität Gießen. Gießen.
- Stacey J.S., Kramers I.D., 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, 26, 2, pp. 207–221.
- Stos-Gale Z., 2004a. Lead-Isotope Analyses of Glass, Glazes, and Some Metal Artefacts. *Serçe Limani. An Eleventh-Century Shipwreck*, 1. The Ship and Its Anchorage, Crew, and Passengers. College Station: Texas A&M University Press, pp. 453–467.
- Stos-Gale Z., 2004b. Appendix 3. Lead isotope analyses of the lead weights from Birka, Sweden. *Mellan Gåva Och Marknad: Handel, Tillit och Materiell Kultur under Vikingatid*. Lund, pp. 324–331. (Lund Studies in Medieval Archaeology, 34).
- Stos-Gale Z.A., Gale N.H., Annetts N. et al., 1998. Lead Isotope Data the isotrace Laboratory, Oxford: Archaeometry Data Base 5, Ores from Bulgaria. *Archaeometry*, 40, pp. 217–226.
- Stos-Gale Z.A., Maliotis G., Gale N.H., Annetts N., 1997. Lead Isotope characteristics of the Cyprus copper ore deposits applied to provenance studies of copper oxhide ingots. *Archaeometry*, 39, pp. 83–123.
- Strassburger M., 2012. Middle-aged silver, copper and lead mining near Ramsbeck. *Acta rerum naturalium*, 12, pp. 31–44.
- Tylecote R., 1986. The Prehistory of Metallurgy in the British Isles. London: Institute of Metals.
- Vleeschouwer F. de, Fagel B., Cheburkin A. et al., 2009. Anthropogenic impacts in North Poland over the last 1300 years – A Record of Pb, Zn, Cu, Ni and S in an ombrotrophic peat bog. *Science of the Total Environment*, 407, pp. 5674–5684.
- Wagner T., Schneider J., 1999. Ore remobilisation related to sulphide-sulphosalt reactions in hydrothermal vein systems of the Dörnberg-Aurora (Ramsbeck) deposit, NW Germany: Evidence from small-scale Pb-isotopic studies. *Mineral Deposits: Processes to Processing: Proceedings of the 5th biennial SGA meeting, London*. Rotterdam: Balkema, pp. 995–998.
- Wajda S., Merkel S.W., Florkiewicz I. et al., 2024. Early medieval lead glass bangles from Czermno, Poland: results of elemental and lead isotopes analyses. *Archaeometry*, 66, 2, pp. 306–325.
- Yanin V.L., 1966. Finds of Polish lead in Novgorod. *Sovetskaya arkheologiya [Soviet archaeology]*, 2, pp. 324–328. (In Russ.)
- Zientek C., 1998. Archäometallurgische Untersuchungen an ausgewählten Buntmetallfunden des Mittelalters aus Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen: Dissertation. Johann Wolfgang Goethe-Universität. Frankfurt am Main.