

## ИЗОТОПНЫЕ ОТНОШЕНИЯ МЕДИ В МЕДИСТЫХ ПЕСЧАНИКАХ ПРИУРАЛЬЯ И ПРОДУКТАХ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА ОСОБЕННОСТЕЙ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В БРОНЗОВОМ ВЕКЕ

Карпова С.В.<sup>1,2\*</sup>, Киселева Д.В.<sup>2</sup>, Червяковская М.В.<sup>2</sup>, Стрелецкая М.В.<sup>2</sup>,  
Шагалов Е.С.<sup>2</sup>, Богданов С.В.<sup>3</sup>, Ткачев В.В.<sup>3</sup>, Юминов А.М.<sup>4</sup>, Анкушев М.Н.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>) УрФУ им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

<sup>2</sup>) Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург

<sup>3</sup>) Институт степи УрО РАН, Оренбург

<sup>4</sup>) Институт минералогии УрО РАН, Миасс

\*E-mail: [svkarpo@mail.ru](mailto:svkarpo@mail.ru)

## COPPER ISOTOPE RATIOS IN CIS-URALS COPPER SANDSTONES AND PRODUCTS OF THEIR PROCESSING AS A TOOL FOR UNCOVERING THE BRONZE AGE SMELTING ACTIVITIES

Karpova S.V.<sup>1,2\*</sup>, Kiseleva D.V.<sup>2</sup>, Chervyakovskaya M.V.<sup>2</sup>, Streletskaia M.V.<sup>2</sup>, Shag-  
alov E.S.<sup>2</sup>, Bogdanov S.V.<sup>3</sup>, Tkachev V.V.<sup>3</sup>, Yuminov A.M.<sup>4</sup>, Ankushev M.N.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>) Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, Ekaterinburg, Russia

<sup>3</sup>) Steppe Institute, UB RAS, Orenburg, Russia

<sup>4</sup>) Institute of Mineralogy, UB RAS, Miass, Russia

Copper isotope ratios were determined by MC-ICP-MS in a number of Cis-Urals copper sandstones and products of their processing. Malachite crusts were characterized by positive  $\delta^{65}\text{Cu}$  (+1.33 ÷ +1.96), whereas the sludge with flux additives and experimental glassy slag had the lowest negative  $\delta^{65}\text{Cu}$  values (-4.87 ÷ -4.32).  $\delta^{65}\text{Cu} = -0.54$  was found for copper ingot obtained during the experimental smelting. Copper matte and sludge had negative  $\delta^{65}\text{Cu}$  values ranging from -2.33 to -2.61.

Медистые песчаники Приуралья являлись одним из крупнейших источников медного сырья в Северной Евразии в IV-II тысячелетиях до н.э. [1] В процессе металлургического передела изотопные отношения меди, поступающие из исходной руды и другого сырья, переходят в готовые изделия. Изотопный состав меди не дает исчерпывающей информации о конкретном месторождении (источнике происхождения) [2], а позволяет обнаружить природу минералов, содержащихся в руде, а также особенности климата, в котором происходило выветривание медных руд.

**Целью работы** являлось установление изотопных отношений меди в рудах и продуктах их передела для выявления особенностей металлургии древности.

**Материалы и методы.** Исследованные пробы включали фрагменты руд из Михайловского, Карповского и Белоусовского рудников (бронзовый век), медный штейн и шламы с флюсовыми добавками (ярозит, барит) из Михайловского горно-металлургического комплекса (ГМК) (бронзовый век), расположенных на

южной периферии Каргалинского рудного поля. Анализировались также продукты археометаллургической экспериментальной плавки в печи медных штейнов Михайловского ГМК – слиток меди, пористый и стекловидный шлаки.

Изотопные исследования выполнены в помещениях с классами чистоты 6, 7 ИСО Института геологии и геохимии УрО РАН. Изотопный анализ меди проведен согласно методике, изложенной в [3]. Измерение изотопных отношений меди проведено на МК-ИСП-МС спектрометре Neptune Plus методом бреккетинга с использованием NIST SRM 976.

**Результаты.** Полученные  $\delta^{65}\text{Cu}$  приведены в таблице.

$\delta^{65}\text{Cu}$  в изученных образцах

Шифр пробы	Объект	Место отбора	$\delta^{65}\text{Cu}$ , ‰
П-69	Корки малахита на сером песчанике (руда)	Рудник Михайловский, 2017	1.33
П-69-шт	Медный штейн (малахит)	Михайловский ГМК, 2017	1.96
П-69-шт-1	Медный штейн слабо измененный (тенорит)	Михайловский ГМК, 2017	-2.33
П-69 -шл	Шлам	Михайловский ГМК, пл. 1, 2017	-2.61
П-69-шл-1	Флюсовые добавки (ярозит, барит) Шлам	Михайловский ГМК, шламовый отвал, 2018	-4.87
П-84	Корки и прожилки медной сини и зелени на сером песчанике	Карповский рудник, 2018	-0.96
П-85	Корки и прожилки медной сини и зелени на черной породе	Белоусовский рудник, 2018	1.96
Э1-6-1	Медный слиток	Эксперимент, 2018	-0.54
Э1-6-3	Стекловидный шлак	Эксперимент, 2018	-4.32

*Изотопный анализ проведен в ЦКП «Геоаналитик» при частичной поддержке темы № АААА-А18-118053090045-8 государственного задания ИГГ УрО РАН при финансовой поддержке грантов РФФИ №№ 18-00-00030 КОМФИ, 18-00-00031 КОМФИ.*

1. Черных Е.Н. и др. Каргалы, том 1: Геолого-географические характеристики: История открытий, эксплуатации и исследований: Археологические памятники, М. (2002).
2. Анкушев М.Н. и др. Новое в познании процессов рудообразования. 49-53 (2018).
3. Стрелецкая М.В. и др. Металлогения древних и современных океанов, 24, 261-265 (2018).