

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННО- НАУЧНЫХ МЕТОДОВ В АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

---

DOI: 10.14258/tpai(2021)33(1).-03

УДК 902'637'(470.55):549

## МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ШЛАКИ И ФРАГМЕНТЫ РУД С ПОСЕЛЕНИЯ БРОНЗОВОГО ВЕКА КАМЕННЫЙ АМБАР (ЮЖНОЕ ЗАУРАЛЬЕ): КЛЮЧ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИСТОЧНИКОВ МЕДНОГО СЫРЬЯ

М. Н. Анкушев<sup>1,2</sup>, В. В. Зайков<sup>2</sup>, И. В. Молчанов<sup>1</sup>, Л. Н. Корякова<sup>1</sup>,  
С. Е. Пантелеева<sup>1</sup>, А. М. Юминов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт истории и археологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс, Российская Федерация

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9628-5546>, e-mail: [ankushev\\_maksim@mail.ru](mailto:ankushev_maksim@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5668-6310>, e-mail: [kolis@mail.ru](mailto:kolis@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4861-344X>, e-mail: [lunikkor@mail.ru](mailto:lunikkor@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0816-7900>, e-mail: [spanteleyeva@mail.ru](mailto:spanteleyeva@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7643-3505>, e-mail: [umin@mineralogy.ru](mailto:umin@mineralogy.ru)

**Резюме:** В работе приведена характеристика металлургических шлаков и фрагментов медных руд с поселения бронзового века Каменный Амбар. По особенностям минерального и химического состава выделено две разновидности шлаков: оливиновые хромитсодержащие и оливиновые сульфидсодержащие. Оливиновые хромитсодержащие шлаки являются продуктом эксплуатации окисленных руд из месторождений, локализованных в ультрабазитах в синташтинско-петровский период функционирования поселения. Оливиновые сульфидсодержащие шлаки являются результатом использования сульфидных руд колчеданных или медно-порфиновых месторождений в срубно-алакульский период. Подобная смена типа меднорудного сырья зафиксирована также на других поселениях бронзового века в Южном Зауралье. На поселении Каменный Амбар и его аналогах выделены основные индикаторные минералы, позволяющие установить источник меднорудного сырья в древности: хромшпинелиды, сульфиды и турмалин.

**Ключевые слова:** металлургические шлаки, бронзовый век, Каменный Амбар, Южное Зауралье, медные руды, минеральные включения

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 16–18–10332-П: анализ шлаков и руд проведен М. Н. Анкушевым, В. В. Зайковым, А. М. Юминовым; археологический аспект работы проанализирован Л. Н. Коряковой, И. В. Молчановым (хроностратиграфическое распределение шлаков), С. Е. Пантелеевой (хроностратиграфическое распределение керамики и руд). Авторы выражают признательность Алаевой И. П., Артемьеву Д. А., Белогуб Е. В., Епимахову А. В., Котлярову В. А., Лонцаковой Г. Ф., Свиренко М. С., Удачиной Л. Г. Филипповой К. А., Хворову П. В., Чуринову Е. И., Шарпаповой С. В.

---

*Для цитирования:* Анкушев М. Н., [Зайков В. В.], Молчанов И. В., Корякова Л. Н., Пантелеева С. Е., Юминов А. М. Metallurgical slags and fragments of ores from the Kamenny Ambar Bronze Age settlement (Southern Urals): a key to the knowledge of copper sources // Теория и практика археологических исследований. 2021. Т. 33, № 1. С. 34–57. DOI: 10.14258/tpai(2021)33(1).-03

---

## METALLURGICAL SLAGS AND ORE FRAGMENTS FROM THE KAMENNY AMBAR BRONZE AGE SETTLEMENT (SOUTHERN URALS): A KEY TO THE KNOWLEDGE OF COPPER SOURCES

Maksim N. Ankushev<sup>1</sup>, [Viktor V. Zaykov<sup>1</sup>], Ivan V. Molchanov<sup>2</sup>,  
Lyudmila N. Koryakova<sup>2</sup>, Sofya E. Panteleyeva<sup>2</sup>, Anatoly M. Yuminov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Mineralogy SU FRC MG UB RAS, Miass, Russian Federation;

<sup>2</sup>Institute of History and Archaeology UB RAS, Ekaterinburg, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9628-5546>, e-mail: [ankushev\\_maksim@mail.ru](mailto:ankushev_maksim@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5668-6310>, e-mail: [kolis@mail.ru](mailto:kolis@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4861-344X>, e-mail: [lunikkor@mail.ru](mailto:lunikkor@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0816-7900>, e-mail: [spanteleyeva@mail.ru](mailto:spanteleyeva@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7643-3505>, e-mail: [umin@mineralogy.ru](mailto:umin@mineralogy.ru)

**Abstract:** The paper presents the characteristics of metallurgical slags and copper ore fragments from the Kamenny Ambar settlement of the Bronze Age. According to the mineral and chemical compositions we have distinguished two types of the slags: Cr-rich spinel containing olivine slags and sulfide-containing olivine slags. The Cr-rich spinel containing olivine slags are the product of oxidized ore from the copper deposits in ultramafic rocks exploited in the early Sintashta-Petrovka period the settlement functioning. The sulfide-containing olivine slags are the result of the secondary sulfide ores from the massive-sulfide, and less likely copper porphyry deposits during the latter Srubnaya-Alakul period. A similar change in the copper ore raw material type was also recorded in other Bronze Age settlements in the Southern Urals. In the Kamenny Ambar settlement and analogs, we have defined the main indicating minerals which allow us to determine the source for the Cu raw metal in historical time: Cr-rich spinels, sulfides, and tourmalines.

**Keywords:** metallurgical slags, Bronze Age, Kamenny Ambar, South Ural, copper ores, mineral inclusions

**Acknowledgements:** This work was supported by the Russian Science Foundation project No. 16–18–10332–P: analysis of slags and ores was carried out by M. N. Ankushev, [V. V. Zaykov], A. M. Yuminov; the archaeological aspect of the work was analyzed by L. N. Koryakova, I. V. Molchanov (chronostratigraphic distribution of slags), S. E. Panteleeva (chronostratigraphic distribution of ceramics and ores). The authors are grateful to I. P. Alaeva, D. A. Artemyev, E. V. Belogub, A. V. Epimakhov, V. A. Kotlyarov, G. F. Lonschakova, M. S. Svireenko, L. G. Udachina, Filippova K. A., Khvorov P. V., Churin E. I., Sharapova S. V.

---

**For citation:** Ankushev M. N., [Zaykov V. V.], Molchanov I. V., Koryakova L. N., Panteleyeva S. E., Yuminov A. M. Metallurgical Slags and Ore Fragments from the Kamenny Ambar Bronze Age Settlement (Southern Urals): a Key to Knowledge of Copper Sources. *The Theory and Practice of Archaeological Research*. 2021;33(1):34–57. (In Russ.) DOI: 10.14258/tpai(2021)33(1).-03

---

## Введение

В бронзовом веке Южный Урал с его богатыми месторождениями меди входил в Евразийскую металлургическую провинцию [Черных, 2008, с. 46–50]. В культурном слое поселений бронзового века региона обнаружены фрагменты руд и металлургических шлаков. С. А. Григорьев [1988] первым начал применять естественно-научные методы для исследования шлаков с поселений Южного Зауралья. В своих последующих работах он отметил наличие в них хромшпинелидов, которые указывают на разработку медных месторождений, приуроченных к ультрабазитам [Григорьев, Дунаев, Зайков, 2005; Григорьев, 2013, с. 118–119]. Исследование хромшпинелидов, а также других минеральных и расплавных включений было продолжено В. В. Зайковым с помощью электронной микроскопии и рентгенофлуоресцентного анализа [Зайков и др., 2005; 2013].



Рис. 1. Схема расположения памятников бронзового века в Южном Зауралье

Fig. 1. Layout of the Bronze Age sites in the Southern Trans-Urals

В настоящей статье представлены результаты исследования шлаков и медных руд из многослойного укрепленного поселения Каменный Амбар, изучавшегося международной комплексной экспедицией Института истории и археологии УрО РАН (руко-

водитель Л. Н. Корякова), Института минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, Института геофизики УрО РАН, Института экологии растений и животных УрО РАН и Франкфуртского университета. Памятник находится в Карталинском районе Челябинской области на левобережье р. Карагайлы-Аят (рис. 1).

Работа направлена на исследование минеральных и расплавных включений в металлургических шлаках Каменного Амбара, что позволит охарактеризовать типы и источники руд металлургии бронзового века. Ее задачи: 1) исследования минералогии древних металлургических шлаков и руд; 2) характеристика микровключений реликтовых минералов (хромшпинелидов, сульфидов и турмалинов) в шлаках и рудах; 3) выделение в археологических шлаках и фрагментах руд индикаторных минералов для типизации руд, использовавшихся в древности; 4) сопоставление металлургических артефактов с поселения Каменный Амбар с рудами из возможных источников металлургического сырья.

#### ***Материалы и методы исследования***

Аналитические исследования проведены с 87 фрагментами шлаков и 19 фрагментами окисленных медных руд в Институте минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН. Оптические исследования полированных и прозрачных шлифов шлаков и руд выполнялись на микроскопах Axiolab Carl Zeiss и Olympus BX-51. Состав минеральных и расплавных включений в шлаках устанавливался на электронном микроскопе РЭММА 202М (аналитик В. А. Котляров) и электронно-зондовом анализаторе JEOL-733 (аналитик Е. И. Чурин). Формулы хромшпинелидов рассчитаны анионным методом на четыре атома О. В публикации приводятся параметры хромшпинелидов: хромистость  $\#Cr/(Cr/(Cr+Al))$  и магнизиальность  $\#Mg/(Mg/(Mg+Fe^{2+}))$ .

Для рентгенофазового анализа 10 истертых проб металлургических шлаков использован дифрактометр SHIMADZU XRD-6000 (аналитик П. В. Хворов), расчеты выполнены методом Ритвельда в ПО SIROQUANT V4. Валовый состав образцов исследован методом силикатного и ICP-MS анализов в Южно-Уральском центре коллективного пользования по исследованию минерального сырья. Силикатный анализ 28 проб проводился по стандартной методике 163-X. Содержание элементов-примесей исследовано в 29 пробах с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра Perkin Elmer 3100 и масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7700x (аналитики К. А. Филиппова, М. С. Свиренко).

#### ***Геологическая обстановка***

Поселение Каменный Амбар расположено в Южном Зауралье, геологическая схема которого иллюстрируется на рис. 2. В строении района выделяются поля развития метаморфических сланцев, ультрабазитов, вулканогенных и осадочных пород, гранитов. Поселение находится среди осадочных пород — углистых и глинистых сланцев с прослоями алевролитов, песчаников и конгломератов. Рассматриваемая территория Южного Зауралья богата многочисленными меднорудными месторождениями различных генетических типов [Herrington et al., 2005; Puchkov, 2016]. Среди них наиболее значительным является медно-порфировое месторождение Михеевское [Plotinskaya et al., 2018]. К нему примыкает древний рудник Новониколаевский, заложенный на месторождении скарно-вого типа [Скарново-магнетитовая..., 1989, с. 185–189], находящийся в контактной зоне

гранитоидов и базальтов. В 50 км западнее расположен древний рудник Воровская Яма [Зайков и др., 2005, с. 104–105; 2013, с. 176–177], также относящийся к скарновому типу и приуроченный к ультрабазитам. К этому же типу относится древний рудник Новотемирский, находящийся в 70 км севернее Воровской Ямы [Блинов и др., 2018]. Кроме упомянутых объектов, в Южном Зауралье выявлены древние рудники, связанные с вулканогенными породами, такие как Бакр-Узяк, приуроченный к зоне окисления колчеданного месторождения, и рудники Никольского рудного поля, относящиеся к зоне окисления медно-порфирирового месторождения [Черных, 1970, с. 40–42].

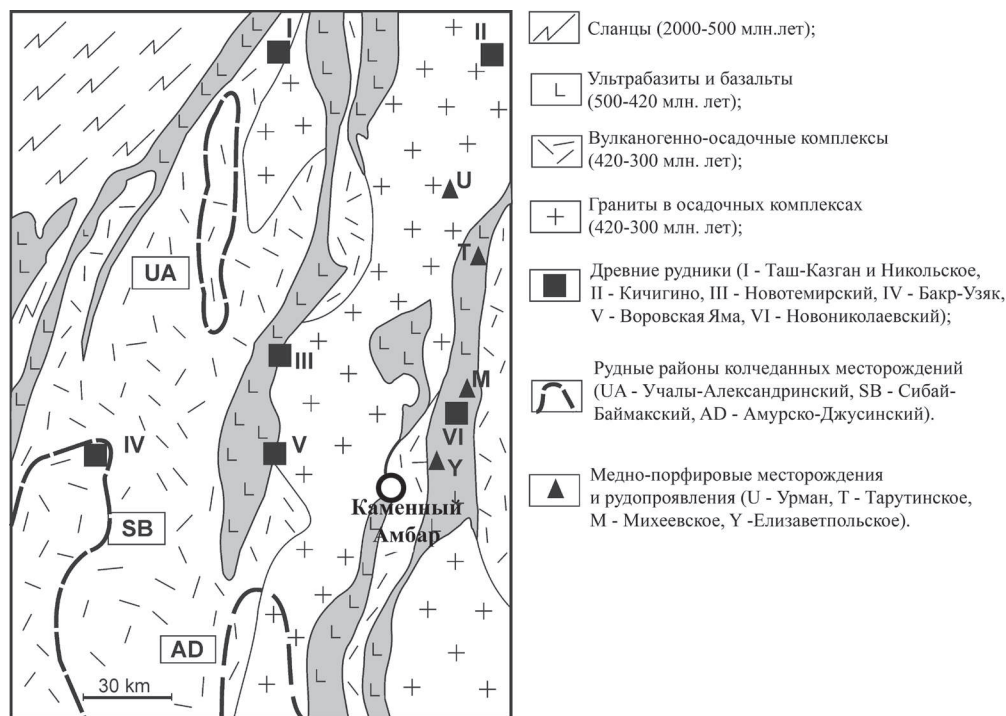


Рис. 2. Схема геологического строения Южного Зауралья (автор В. В. Зайков)  
 Fig. 2. Scheme of the geological structure of the Southern Trans-Urals (author V. V. Zaikov)

### Археологический контекст

Каменный Амбар входит в категорию укрепленных поселений бронзового века, позиция которых рассмотрена Г. Б. Здановичем и И. М. Батаниной [2007, с. 33–39]. Среди этих памятников выделяется группа поселений на субширотном отрезке долины реки Карагайлы-Аят, которая включает поселения Каменный Амбар, Коноплянка и Журумбай.

Поселение подпрямоугольной формы, окруженное системой валов и рвов. Магнитометрической съемкой (оператор А. Patzel) установлены общие размеры фортификационных сооружений поселения — 115×160 м. Площадь укрепленного поселения составляет 18 000 кв. м, а с учетом впадин за укреплениями и участков культурного слоя за границами превышает 60 000 кв. м [Корякова и др., 2011]. Несколькими раскопами, заложенными на поселении, было вскрыто около 2800 кв. м. В работе рассматриваются



предметы, происходящие из раскопов 1–5 и 6 (2005–2013 гг.), их вскрытая площадь — 1104 и 720 кв. м соответственно.

Установлено два периода функционирования поселения: синташтинско-петровский — 2030–1870 (2050–1760) гг. до н. э. и срубно-алакульский — 1980–1780 (2040–1770) гг. до н. э. [Erimakhov, Krause, 2013, с. 137–140]. С данной хронологией были соотнесены различные отложения культурного слоя, относительная датировка которых установлена по найденной в них керамике.

В пределах обозначенных выше раскопов было обнаружено 603 фрагмента шлаков. Из них 113 фрагментов из раскопов 1–5 и 490 — из раскопа 6. Точная индивидуальная привязка артефактов в ходе археологических раскопок и компьютерный анализ данных позволили определить стратиграфические и планиграфические особенности их залегания. Локализация фрагментов шлаков и руд в датированном слое позволила соотнести их с конкретным этапом жизни поселения.

#### *Минералогия фрагментов медных руд*

Фрагменты руд обнаружены на различных горизонтах культурного слоя поселения на территории построек, развалов стен, рвов и в колодцах (табл. 1). Обычно это небольшие обломки окисленных руд, размером 2–3 см. Руды представлены тремя основными типами.

1. Малахит-азуритовые руды распространены на поселении наиболее широко. Малахит образует волокнистые и чешуйчатые массы, радиальные агрегаты, часто вместе с азуритом. В составе руд зафиксированы значимые примеси Co и Ni. Изредка встречаются мелкие включения сульфидов. Вмещающей породой является серпентинит.

2. Магнетит-малахитовые руды реже встречаются в культурном слое поселения, это небольшие фрагменты массивного магнетита с прожилками и примазками малахита.

3. Турмалин-малахитовые руды встречаются весьма редко, выявлены среди рудных обломков в колодце, размер фрагментов 1–3 см.

Таблица 1

#### **Фрагменты медных руд поселения Каменный Амбар**

| № п/п | № образца | Минералогический тип | Местонахождение, горизонт                                    |
|-------|-----------|----------------------|--|
| 1     | 715–1095  | Малахитовый          | уч. Е/4, ров, гл. — 1,08, синташта/петровка                  |
| 2     | 716–2228  | Медно-магнетитовый   | постройка 2, колодец 2, гл. — 2,50, петровка                 |
| 3     | 716–2243  | Медно-магнетитовый   | уч. П/12, постройка 3, срубно-алакуль                        |
| 4     | 716–2244  | Медно-магнетитовый   | уч. П/12, постройка 3, срубно-алакуль                        |
| 5     | 717–187   | Медно-магнетитовый   | уч. Д/–1, внешняя стена, гл. — 0,28, синташта                |
| 6     | 717–1262  | Малахитовый          | уч. Т/18, зольник, гл. — 0,65, синташта                      |
| 7     | 717–1846  | Турмалин-малахитовый | уч. Л/19, постройка 2, колодец 6, гл. — 1,76, срубно-алакуль |
| 8     | 717–1855  | Малахитовый          | уч. К/19, постройка 2, колодец 6, гл. — 1,80, срубно-алакуль |
| 9     | 717–1857  | Медно-магнетитовый   | уч. Л/19, постройка 2, колодец 6, гл. — 1,60, срубно-алакуль |
| 10    | 717–1858  | Малахитовый          | уч. Л/19, постройка 2, колодец 6, гл. — 1,71, срубно-алакуль |
| 11    | 717–1859  | Малахитовый          | уч. К/19, постройка 2, колодец 6, гл. — 1,55, срубно-алакуль |
| 12    | 717–1862  | Турмалин-малахитовый | уч. К/19, постройка 2, колодец 6, гл. — 1,68, срубно-алакуль |

Окончание таблицы 1

| № п/п | № образца | Минералогический тип | Местонахождение, горизонт                                       |
|-------|-----------|----------------------|---|
| 13    | 717–1866  | Медно-магнетитовый   | уч. Л/19, постройка 2, колодец 6, гл. — 1,59, срубно-алакуль    |
| 14    | 718–416   | Малахит-азуритовый   | уч. Б'–8, гл. — 0,17, постройка 5а, срубно-алакуль              |
| 15    | 718–1433  | Малахит-азуритовый   | уч. Д'–5, гл. — 0,23, постройка 5б, срубно-алакуль              |
| 16    | 718–3394  | Медно-магнетитовый   | уч. Э/3 гл. — 0,19, срубно-алакуль                              |
| 17    | 718–3572  | Малахитовый          | уч. Ы/–5, гл. — 0,34, стена между постройками 5а и 5б, синташта |
| 18    | 718–3606  | Малахитовый          | уч. Ш/–9, постройка 5а, гл. — 0,19, срубно-алакуль              |
| 19    | 718–3631  | Медно-магнетитовый   | уч. Ю/2, постройка 5в, гл. — 40, синташта                       |

### Минералогические особенности шлаков

Металлургические шлаки Каменного Амбара разделяются на два минералогических типа, значительно отличающихся друг от друга по минералогии и химическому составу: оливиновые хромитсодержащие и оливиновые сульфидсодержащие.

Выборка **оливиновых хромитсодержащих** шлаков составляет 48 экземпляров, из которых 25 соответствуют синташтинско-петровскому комплексу, восемь — срубно-алакульскому, 15 обнаружены в переотложенном слое. Образцы представляют собой фрагменты шлаковых лепешек, которые образуются над слитком выплавленной меди. Верхняя часть лепешки неровная, с отпечатками растительности. Нижняя часть лепешки ровная, стекловидная, с большим количеством пор. Фрагменты шлаков этого типа имеют характерный бортик (закраину), образующийся при медленном стекании расплава. Наиболее крупные фрагменты достигают 7 см, но чаще имеют величину 2–3 см. Цвет шлаков темно-бурый, темно-серый, черный. Пористость невысокая (1–5% от образца), пустоты распределены неравномерно.

Таблица 2

### Минеральный состав металлургических шлаков поселения Каменный Амбар по данным рентгенофазового анализа

| № пробы  | Тип шлака         | Минеральный состав (прибл. мас.%) |           |        |       |             | аморфный кремнезем (~%) |
|----------|-------------------|-----------------------------------|-----------|--------|-------|-------------|-------------------------|
|          |                   | фаялит                            | шпинелиды | вюстит | кварц | кристобалит |                         |
| 718/2998 | Хромитсодержащий  | 63                                | 25        | —      | <1    | <1          | >10                     |
| 718/3175 |                   | 79                                | 9         | —      | <1    | —           | >10                     |
| 718/3568 |                   | 62                                | 28        | —      | <1    | —           | ~10                     |
| 718/3827 |                   | 67                                | 11        | —      | <1    | —           | >10                     |
| 718/4048 |                   | 79                                | 14        | —      | сл.   | —           | <10                     |
| 718/2036 | Сульфидсодержащий | 39                                | 28        | 27     | <1    | —           | <10                     |
| 718/2975 |                   | 48                                | 28        | 20     | —     | —           | <10                     |
| 718/3191 |                   | 58                                | 25        | 15     | —     | —           | <10                     |
| 718/4055 |                   | 46                                | 23        | 22     | сл.   | —           | <10                     |
| 718/4301 |                   | 54                                | 19        | 22     | —     | —           | <10                     |

Примечание: анализ выполнен на дифрактометре SHIMADZU XRD-6000, Си-анод, графитовый монохроматор; расчет содержаний проведен методом Ритвельда в программном продукте SIROQUANTV 4. Прочерк — ниже предела обнаружения.

По данным рентгенофазового анализа (табл. 2) и оптической микроскопии шлаки состоят из оливина (60–80%, здесь и далее доля от общего объема образца), магнетита (10–30%), стекла (10–20%) и реликтовых зерен хромшпинелидов (до 1%, иногда больше; рис. 3). Единичны реликты обломков серпентинитов и кварца.

Оливин образует зональные призматические и скелетные кристаллы. В крупных кристаллах зональность представляет собой железистую кайму вокруг более магнезиальной центральной зоны, иногда встречается ритмичная зональность (рис. 4). На вариации химического состава зон влияет магнезиальность/железистость исходного расплава, а на мощность, контрастность и ритмичную смену зон — изменения температуры в ходе металлургического процесса [Анкушев, Артемьев, Блинов, 2018, с. 65].

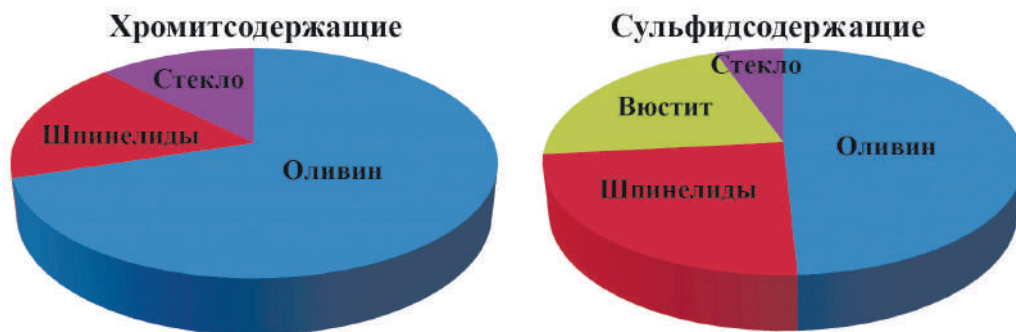


Рис. 3. Минеральный состав типов металлургических шлаков по результатам рентгенофазового анализа

Fig. 3. Mineral composition of types of metallurgical slags according to the results of XRD analysis

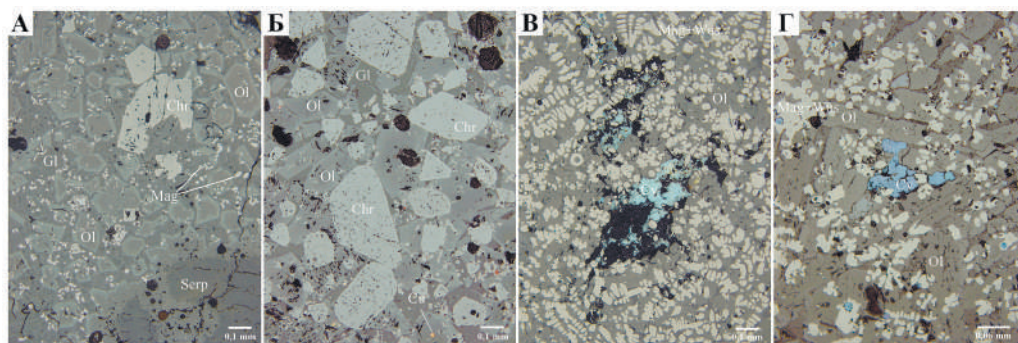


Рис. 4. Минералы оливиновых хромитсодержащих (А, Б) и оливиновых сульфидсодержащих (В, Г) шлаков Каменного Амбара: Chr – хромшпинелид; Cv – ковеллит; Cu – металлическая медь; Gl – стекло; Mag – магнетит; Ol – оливин; Serp – серпентинит; Wus – вюстит

Fig. 4. Minerals of olivine Cr-rich spinel-containing (A, B) and olivine sulfide-containing (C, D) slags of the Kamenny Ambar: Chr – Cr-rich spinel; Cv – covellite; Cu – metallic copper; Gl – glass; Mag – magnetite; Ol – olivine; Serp – serpentinite; Wus – wüstite



Основную матрицу шлака составляет *стекло*, которое вмещает мелкие кристаллы оливина и магнетита. В хромитсодержащем типе стекло соответствует горным породам основного состава нормального петрохимического ряда, при этом в разных образцах состав может значительно отличаться. В стекле шлаков концентрируются Na, K, Ca, Al, P, Ti, PЗЭ и многие другие элементы [Анкушев, Артемьев, Блинов, 2018, с. 65].

*Магнетит* образует небольшие кляксовидные индивиды, скелетные кристаллы и сростания с оливином.

В шлаках встречаются реликтовые зерна *хромшпинелидов* размером до 0,5 мм (см. рис. 4). Хромшпинелиды варьируют по содержанию основных компонентов (табл. 3), но на классификационной диаграмме они образуют тесное поле (рис. 5). Состав хромшпинелидов шлаков соответствует хромиту (высокохромистые зерна) и магнезиохромиту (большинство зерен). В шлаках этого типа встречаются также реликтовые обломки *серпентинитов* и *кварца* размером 0,1–2 мм [Чухарева, 2009].

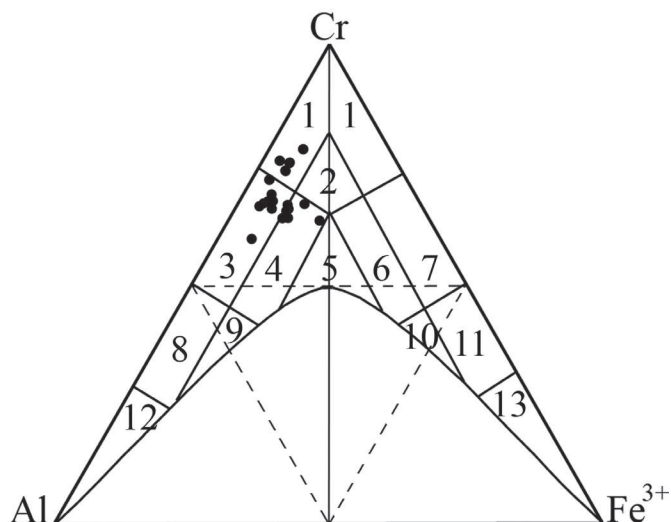


Рис. 5. Состав хромшпинелидов в шлаках поселения Каменный Амбар на классификационной диаграмме [Павлов, 1949]

Fig. 5. Composition of Cr-rich spinels in the slags of the Kamenny Ambar settlement on the classification diagram [Pavlov, 1949]

Таблица 3

## Состав хромшпинелидов в металлургических шлаках поселения Каменный Амбар

| № п/п | № анализа   | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ΣFeO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO   | TiO <sub>2</sub> | MnO  | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | NiO  | ZnO  | CoO  | Сумма  | Кристаллохим. формула  | #Cr  | #Mg  |
|-------|-------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|------|-------------------------------|------|------|------|--------|--|------|------|
| 1     | 717_469_1   | 51,60                          | 21,66 | 14,44                          | 11,38 | 0,30             | 0,28 | —                             | 0,06 | —    | 0,17 | 100,09 | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,45</sub> Mg <sub>0,44</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,32</sub> Al <sub>0,55</sub> <sup>0,12</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                    | 0,71 | 0,55 |
| 2     | 717_469_2   | 47,99                          | 32,14 | 13,26                          | 5,88  | 0,37             | 0,36 | 0,03                          | 0,02 | 0,10 | 0,06 | 100,22 | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,7</sub> Mg <sub>0,30</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,28</sub> Al <sub>0,53</sub> <sup>0,18</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                     | 0,71 | 0,30 |
| 3     | 717_521_1a  | 59,92                          | 20,07 | 8,65                           | 9,93  | 0,10             | 0,19 | 0,04                          | 0,04 | —    | 0,14 | 99,07  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,50</sub> Mg <sub>0,50</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,59</sub> Al <sub>0,34</sub> <sup>0,08</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                    | 0,82 | 0,50 |
| 4     | 717_521_2a  | 51,60                          | 20,70 | 14,57                          | 10,65 | 0,24             | 0,23 | 0,08                          | —    | 0,04 | 0,12 | 98,24  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,48</sub> Mg <sub>0,52</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,34</sub> Al <sub>0,57</sub> <sup>0,08</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                    | 0,70 | 0,53 |
| 5     | 717_875_1a  | 47,85                          | 30,22 | 12,66                          | 7,14  | 0,57             | 0,27 | 0,13                          | —    | 0,26 | 0,02 | 99,10  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,63</sub> Mg <sub>0,36</sub> Mn <sub>0,01</sub> Zn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,28</sub> Al <sub>0,51</sub> <sup>0,2</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>  | 0,72 | 0,37 |
| 6     | 717_875_2   | 50,35                          | 24,96 | 13,31                          | 8,33  | 0,29             | 0,23 | 0,11                          | —    | 0,24 | 0,04 | 97,85  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,58</sub> Mg <sub>0,42</sub> Mn <sub>0,01</sub> Zn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,35</sub> Al <sub>0,53</sub> <sup>0,11</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 0,72 | 0,43 |
| 7     | 717_875_3a  | 49,66                          | 27,54 | 12,35                          | 8,56  | 0,32             | 0,34 | 0,09                          | —    | 0,2  | 0,04 | 99,06  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,57</sub> Mg <sub>0,43</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,32</sub> Al <sub>0,49</sub> <sup>0,18</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                    | 0,73 | 0,43 |
| 8     | 717_875_4a  | 55,01                          | 22,88 | 10,37                          | 8,93  | 0,23             | 0,24 | —                             | 0,06 | 0,23 | 0,07 | 98,03  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,54</sub> Mg <sub>0,45</sub> Mn <sub>0,01</sub> Zn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,46</sub> Al <sub>0,42</sub> <sup>0,09</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 0,78 | 0,46 |
| 9     | 717_876_5a  | 54,30                          | 20,88 | 12,46                          | 9,17  | 0,27             | 0,22 | 0,02                          | —    | 0,18 | —    | 98,19  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,54</sub> Mg <sub>0,46</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,45</sub> Al <sub>0,3</sub> <sup>0,05</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                     | 0,75 | 0,47 |
| 10    | 717_876_6a  | 54,32                          | 25,17 | 13,79                          | 8,98  | 0,25             | 0,24 | —                             | —    | 0,17 | —    | 99,80  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,55</sub> Mg <sub>0,43</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,38</sub> Al <sub>0,52</sub> <sup>0,09</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                    | 0,73 | 0,43 |
| 11    | 717_876_7   | 51,44                          | 23,47 | 13,89                          | 9,50  | 0,23             | 0,28 | 0,05                          | —    | 0,19 | —    | 99,05  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,53</sub> Mg <sub>0,47</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,34</sub> Al <sub>0,54</sub> <sup>0,11</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                    | 0,71 | 0,47 |
| 12    | 717_876_8a  | 51,19                          | 21,83 | 15,30                          | 9,95  | 0,41             | 0,18 | 0,05                          | —    | 0,15 | —    | 98,01  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,52</sub> Mg <sub>0,49</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,33</sub> Al <sub>0,59</sub> <sup>0,07</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                    | 0,69 | 0,49 |
| 13    | 717_678_4a  | 44,87                          | 36,83 | 9,48                           | 3,86  | 0,35             | 1,44 | 0,03                          | 0,10 | 0,43 | 0,06 | 97,54  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,75</sub> Mg <sub>0,21</sub> Mn <sub>0,01</sub> Zn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,27</sub> Al <sub>0,4</sub> <sup>0,32</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>  | 0,76 | 0,22 |
| 14    | 717_964_1a  | 49,01                          | 30,42 | 12,64                          | 6,63  | 0,27             | 0,34 | 0,09                          | —    | 0,21 | —    | 99,60  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,66</sub> Mg <sub>0,33</sub> Mn <sub>0,01</sub> Zn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,31</sub> Al <sub>0,5</sub> <sup>0,18</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>  | 0,72 | 0,34 |
| 15    | 717_964_2a  | 56,35                          | 26,73 | 9,64                           | 6,59  | 0,24             | 0,24 | —                             | —    | 0,18 | —    | 99,98  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,66</sub> Mg <sub>0,33</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,52</sub> Al <sub>0,39</sub> <sup>0,09</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                    | 0,80 | 0,34 |
| 16    | 717_1007_2a | 58,60                          | 23,65 | 7,75                           | 8,94  | 0,06             | 0,26 | 0,07                          | —    | 0,36 | 0,06 | 99,74  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,53</sub> Mg <sub>0,47</sub> Mn <sub>0,01</sub> Zn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,57</sub> Al <sub>0,31</sub> <sup>0,12</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 0,84 | 0,46 |
| 17    | 717_1007_3a | 48,94                          | 33,60 | 10,22                          | 5,41  | 0,26             | 0,25 | 0,02                          | —    | 0,08 | 0,03 | 98,81  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,72</sub> Mg <sub>0,28</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,34</sub> Al <sub>0,42</sub> <sup>0,23</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                    | 0,76 | 0,28 |
| 18    | 717_1007_4a | 51,03                          | 23,21 | 14,04                          | 9,12  | 0,24             | 0,19 | 0,09                          | —    | 0,28 | —    | 98,32  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,54</sub> Mg <sub>0,45</sub> Mn <sub>0,01</sub> Zn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,35</sub> Al <sub>0,55</sub> <sup>0,09</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 0,71 | 0,46 |
| 19    | 717_1007_7a | 49,72                          | 28,00 | 12,12                          | 7,81  | 0,26             | 0,26 | 0,04                          | —    | 0,10 | —    | 98,31  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,6</sub> Mg <sub>0,4</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,33</sub> Al <sub>0,48</sub> <sup>0,17</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                      | 0,73 | 0,40 |
| 20    | 717_1007_8  | 57,13                          | 20,98 | 10,73                          | 9,27  | 0,08             | 0,22 | —                             | —    | 0,15 | 0,02 | 98,58  | (Fe <sup>2+</sup> <sub>0,53</sub> Mg <sub>0,46</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,52</sub> Al <sub>0,42</sub> <sup>0,06</sup> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                    | 0,78 | 0,47 |

Примечание: анализы выполнены на электронном микроскопе JEOL-733 (аналитик Е. И. Чури). Прочерк — не обнаружено.

*Металлические включения* представлены каплями меди, которые обычно находятся в стекле шлака, в редких случаях оказываясь захваченными кристаллами новообразованного оливина. Форма округлая, размер разнообразен: от 1–2 мкм до 3–5 мм. Состав представлен металлической медью с содержанием Fe до 1,5% и небольшими примесями Sn, As, Ni, Co Ag, Zn (табл. 4).

Таблица 4

**Анализ однофазных включений меди из хромитсодержащих шлаков с поселения Каменный Амбар**

| № п/п | № обр     | Образец                  | Кол-во анализов | Содержание, мас.% |      |      |      |      |      |      |      | Сумма  |
|-------|-----------|--------------------------|-----------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
|       |           |                          |                 | Cu                | Fe   | Ni   | Co   | Sn   | Zn   | As   | Ag   |        |
| 1     | 717–20    | Окисленные корольки меди | 5               | 99,20             | 0,68 | 0,06 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 99,93  |
| 2     | 716–81    |                          | 8               | 97,92             | 0,12 | 0,14 | —    | 0,09 | 0,01 | 1,40 | 0,29 | 99,95  |
| 3     | 551–715   |                          | 15              | 99,21             | 0,22 | 0,05 | —    | 0,23 | —    | 0,03 | 0,01 | 99,73  |
| 4     | 715–1095  |                          | 15              | 99,53             | 0,05 | 0,04 | —    | 0,01 | —    | 0,01 | 0,01 | 99,63  |
| 5     | 715–1406  |                          | 15              | 97,86             | 2,27 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | —    | 0,01 | 0,01 | 100,18 |
| 6     | 717–22    |                          | 7               | 99,85             | —    | —    | —    | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 99,85  |
| 7     | 718–446   |                          | 8               | 99,94             | —    | 0,01 | —    | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 100,00 |
| 8     | 717–171–1 | Капли меди в шлаке       | 6               | 99,77             | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 0,06 | 0,02 | —    | —    | 99,95  |
| 9     | 717–171–2 |                          | 6               | 99,25             | 0,51 | 0,04 | —    | —    | —    | —    | —    | 99,80  |
| 10    | 717–171–3 |                          | 4               | 98,88             | 0,92 | 0,04 | —    | —    | —    | —    | —    | 99,84  |
| 11    | 717–171–4 |                          | 5               | 98,74             | 1,03 | 0,05 | —    | 0,03 | —    | —    | —    | 99,85  |

*Примечание:* анализы выполнены на электронном микроскопе JEOL-733, оператор Е. И. Чурин. Проверка — элемент не обнаружен.

Выборка **сульфидсодержащих** шлаков содержит 39 экз., из которых 32 соответствуют срубно-алакульскому комплексу, пять — синташтинско-петровскому, два фрагмента залегали в переотложенном слое. По минеральному составу и структурно-текстурным особенностям они отличаются от предыдущего типа. Сульфидсодержащие шлаки обычно формируют уплощенные и комковатые фрагменты, на поверхности которых отмечаются окисленные корольки меди и сульфидов, замещенные гипергенными минералами меди. Фрагменты шлаков этого типа обычно имеют размер 2–4 см, цвет черный, темно-бурый. Пористость слабая, неравномерная (1–10% от образца).

Минералогия шлаков представлена новообразованными кристаллами оливина (40–60%), магнетитом (20–30%), вюститом (15–30%), стеклом (5–10%), реликтовыми обломками и новообразованными корольками сульфидов (<1%) (табл. 2). Реликтовые хромшпинелиды в этом типе не установлены.

Цепочечные и скелетные кристаллы *оливина* имеют величину 0,1–0,3 мм, зачастую они срстаются и образуют паркетовидные текстуры. Зональность оливина фиксируется значительно слабее, чем в крупных кристаллах предыдущего типа.

Новообразованный *магнетит* и *вюстит* образуют взаимные срстания амебовидной и каплевидной формы величиной 0,1–0,2 мм (см. рис. 4).

Низкокремнистое и высокожелезистое *стекло* составляет основную матрицу шлака. Его состав соответствует субщелочным ультраосновным породам. Отличием от стекла шлаков хромитсодержащего типа является также отсутствие здесь примеси  $TiO_2$ .

В шлаках этого типа встречаются реликтовые обломки *сульфидных руд*. Обломки (частично оплавленные фрагменты) размером до 1 мм обладают угловатой формой и текстурами первичных руд (см. рис. 4). Встречаются также тонкие прожилки мелких индивидов сульфидов. Минеральный состав характеризуется ковеллином, халькозином (а также их срастаниями), редко борнитом.

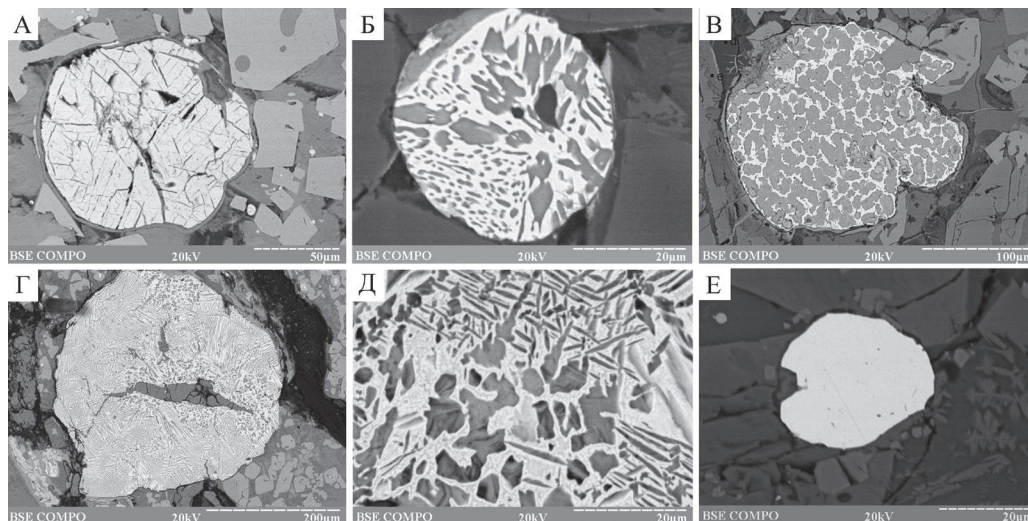


Рис. 6. Расплавные включения в шлаках Каменного Амбара: А – королек халькозина; Б, В, Г – оловянная бронза; Д – увеличенный фрагмент от Г; Е – медистое золото.

Изображение в отраженных электронах

Fig. 6. Melt inclusions in the Kamenny Ambar slags: A – chalcocite droplet; B, C, D – tin bronze; D – enlarged fragment from G; E – cuprous gold. BSE image

Расплавные включения представлены крупными корольками (0,1–0,8 мм) сульфидов (халькозина и ковеллина) и меди. В сульфидсодержащих шлаках поселения Каменный Амбар встречаются также многофазные включения сульфидов, меди и бронз. Включения оловянных бронз сложены многофазными агрегатами (рис. 6) с варьирующим содержанием олова [Зайков и др., 2013, с. 183]. В единичном случае здесь обнаружены включения медистого золота размером 10–15 мкм следующего состава (мас.%): Au 54,7–55,9; Cu 40,1–41,4; Ag 1,4–1,8; As 1,4–1,8.

Гипергенная минерализация меди представлена *купритом* и *атакамитом*, они образуются во всех типах шлаков, замещая капли меди и сульфидные включения.

#### Химический состав шлаков

Исследование основных компонентов шлаков и элементов-примесей показало сильные различия в составе выделенных минералогических групп (табл. 5, рис. 7).

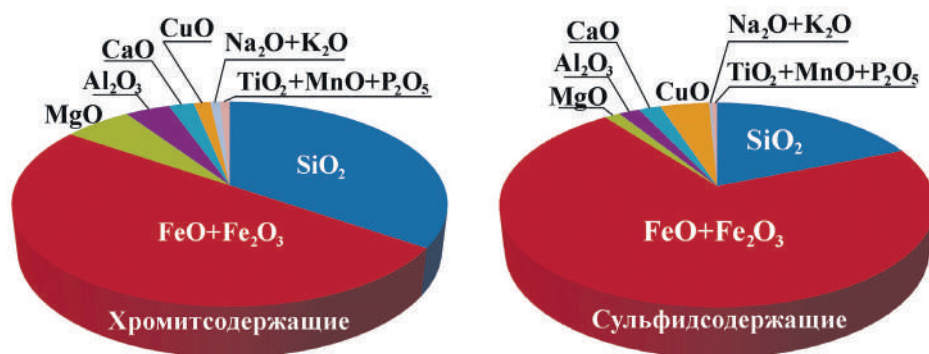


Рис. 7. Диаграммы валового химического состава оливиновых хромитсодержащих и оливиновых сульфидсодержащих шлаков поселения Каменный Амбар

Fig. 7. Diagrams of the bulk chemical composition of olivine Cr-rich spinel-containing and olivine sulfide-containing slags from the Kamenny Ambar settlement

Оливиновые хромитсодержащие шлаки отличаются от сульфидсодержащих повышенными содержаниями  $\text{SiO}_2$ ; в первой разновидности содержание  $\text{SiO}_2$  колеблется в пределах 31–40 мас.%, во второй — 15–21 мас.%. Для хромитсодержащего типа характерно высокое содержание  $\text{MgO}$  — 4–11 мас.%, в сульфидсодержащем — 0,8–1,8 мас.%. Хромитсодержащие шлаки отличаются повышенной щелочностью — суммарное содержание  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  — 0,4–1,7 мас.%, в сульфидсодержащих оно составляет 0,05–0,6 мас.%. Напротив, для оливинового сульфидсодержащего типа обычны более высокие содержания железа (мас.%): 37–57 FeO и 16–33  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В хромитсодержащих эти значения составляют (мас.%): 32–46 FeO и 4–25  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Содержание меди в сульфидсодержащих шлаках выше и составляет 2,6–8,7 мас.% CuO, в хромитсодержащих CuO варьирует в пределах 0,6–2,9 мас.%.

Таблица 5

#### Химический состав металлургических шлаков поселения Каменный Амбар

| № | № пробы  | № лаб | Тип              | $\text{SiO}_2$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | FeO   | MnO  | MgO   | CaO  | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{H}_2\text{O}^-$ | $\text{P}_2\text{O}_5$ | CuO  | Сумма  |
|---|----------|-------|------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------|------|-------|------|-----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------|--------|
| 1 | 718/2761 | 21591 | Хромитсодержащие | 32,58          | 0,20           | 3,99                    | 5,55                    | 41,24 | 0,14 | 11,21 | 2,20 | 0,14                  | 0,47                 | 0,14                   | 0,24                   | 1,25 | 99,35  |
| 2 | 718/2998 | 21503 |                  | 33,01          | 0,12           | 2,33                    | 18,88                   | 34,80 | 0,16 | 4,16  | 1,84 | 0,30                  | 0,43                 | 0,30                   | 0,34                   | 2,44 | 99,11  |
| 3 | 718/3027 | 21593 |                  | 37,13          | 0,31           | 5,71                    | 9,09                    | 37,56 | 0,51 | 4,90  | 1,91 | 0,14                  | 0,85                 | <0,10                  | 0,31                   | 1,34 | 99,76  |
| 4 | 718/3155 | 21594 |                  | 34,99          | 0,22           | 4,53                    | 7,97                    | 42,68 | 0,13 | 5,52  | 1,71 | 0,09                  | 0,40                 | 0,18                   | 0,26                   | 1,06 | 99,74  |
| 5 | 718/3175 | 21500 |                  | 35,57          | 0,29           | 4,89                    | 8,21                    | 41,82 | 0,65 | 4,42  | 1,66 | 0,44                  | 0,96                 | <0,10                  | 0,31                   | 0,58 | 99,80  |
| 6 | 718/3386 | 21596 |                  | 38,06          | 0,28           | 4,38                    | 5,34                    | 41,19 | 0,14 | 6,50  | 2,09 | 0,13                  | 0,50                 | 0,12                   | 0,28                   | 1,01 | 100,02 |
| 7 | 718/3393 | 21598 |                  | 30,85          | 0,17           | 3,64                    | 8,58                    | 43,56 | 0,21 | 6,82  | 2,86 | 0,16                  | 0,48                 | 0,20                   | 0,42                   | 1,66 | 99,61  |
| 8 | 718/3568 | 21599 |                  | 26,80          | 0,12           | 2,36                    | 25,38                   | 37,22 | 0,09 | 2,85  | 1,44 | 0,05                  | 0,32                 | 0,36                   | 0,52                   | 2,34 | 99,85  |



## Окончание таблицы 5

| №              | № пробы    | № лаб | Тип   | SiO <sub>2</sub>  | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO          | MnO          | MgO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | CuO         | Сумма        |              |
|----------------|------------|-------|-------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| 9              | 718/3573   | 21600 |       | 36,37             | 0,29             | 5,09                           | 7,28                           | 41,53        | 0,59         | 4,42        | 2,04        | 0,18              | 0,83             | 0,14                          | 0,32                          | 0,56        | 99,64        |              |
| 10             | 718/3827   | 21605 |       | 39,63             | 0,31             | 5,77                           | 4,42                           | 31,90        | 0,18         | 9,36        | 3,67        | 0,64              | 1,08             | 0,14                          | 0,68                          | 1,61        | 99,39        |              |
| 11             | 718/3981   | 21606 |       | 35,93             | 0,12             | 2,48                           | 3,74                           | 46,23        | 0,20         | 5,65        | 2,63        | 0,38              | 0,44             | 0,22                          | 0,36                          | 1,06        | 99,44        |              |
| 12             | 718/4027   | 21607 |       | 33,12             | 0,18             | 3,47                           | 15,85                          | 34,78        | 0,17         | 7,05        | 2,09        | 0,37              | 0,42             | 0,26                          | 0,40                          | 1,32        | 99,48        |              |
| 13             | 718/4048   | 21608 |       | 33,67             | 0,12             | 2,56                           | 7,10                           | 44,10        | 0,19         | 4,60        | 2,61        | 0,44              | 0,55             | 0,24                          | 0,37                          | 2,88        | 99,73        |              |
| <b>Среднее</b> |            |       |       | <b>34,44</b>      | <b>0,21</b>      | <b>3,94</b>                    | <b>9,80</b>                    | <b>39,89</b> | <b>0,26</b>  | <b>5,96</b> | <b>2,21</b> | <b>0,27</b>       | <b>0,59</b>      | <b>0,19</b>                   | <b>0,37</b>                   | <b>1,47</b> | <b>99,61</b> |              |
| 14             | 718/2036   | 21498 |       | Сульфидсодержащие | 14,86            | 0,07                           | 1,26                           | 18,42        | 52,88        | 0,09        | 1,18        | 1,15              | 0,10             | 0,05                          | 0,30                          | 0,33        | 8,70         | 99,39        |
| 15             | 718/2975   | 21501 |       |                   | 15,95            | <0,05                          | 1,03                           | 16,03        | 57,20        | 0,09        | 1,28        | 1,33              | 0,60             | 0,04                          | 0,22                          | 0,26        | 5,63         | 99,66        |
| 16             | 718/2697   | 21590 |       |                   | 21,34            | 0,09                           | 2,27                           | 28,16        | 38,80        | 0,05        | 1,76        | 1,34              | 0,08             | 0,11                          | 0,30                          | 0,31        | 4,78         | 99,39        |
| 17             | 718/2824   | 21592 |       |                   | 19,95            | 0,10                           | 1,93                           | 26,11        | 43,22        | 0,08        | 0,77        | 2,28              | 0,07             | 0,07                          | 0,42                          | 0,32        | 4,14         | 99,46        |
| 18             | 718/3191   | 21595 | 18,79 |                   | 0,10             | 1,70                           | 20,43                          | 49,58        | 0,07         | 1,53        | 2,39        | <0,01             | 0,05             | 0,24                          | 0,28                          | 4,78        | 99,66        |              |
| 19             | 718/3594   | 21601 | 19,51 |                   | 0,09             | 1,85                           | 24,63                          | 44,65        | 0,07         | 1,35        | 1,97        | 0,05              | 0,09             | 0,44                          | 0,35                          | 4,42        | 99,47        |              |
| 20             | 718/3608/8 | 21602 | 19,34 |                   | 0,11             | 1,97                           | 21,83                          | 48,14        | 0,06         | 1,43        | 2,84        | 0,03              | 0,06             | 0,32                          | 0,29                          | 3,18        | 99,60        |              |
| 21             | 718/3659   | 21603 | 18,53 |                   | 0,11             | 2,16                           | 32,54                          | 36,64        | 0,05         | 1,23        | 2,32        | 0,04              | 0,08             | 0,62                          | 0,27                          | 4,86        | 99,45        |              |
| 22             | 718/3826   | 21604 | 18,79 |                   | 0,08             | 1,77                           | 23,64                          | 46,42        | 0,09         | 1,47        | 1,93        | 0,04              | 0,07             | 0,32                          | 0,31                          | 4,79        | 99,72        |              |
| 23             | 718/4055   | 21609 | 19,80 |                   | 0,06             | 2,20                           | 19,19                          | 51,41        | 0,04         | 1,57        | 1,17        | 0,34              | 0,13             | 0,56                          | 0,29                          | 2,57        | 99,33        |              |
| 24             | 718/4214   | 21610 | 16,89 |                   | 0,07             | 1,67                           | 18,30                          | 54,17        | 0,08         | 1,32        | 2,42        | 0,14              | 0,04             | 0,26                          | 0,33                          | 3,73        | 99,42        |              |
| 25             | 718/4256   | 21611 | 17,57 |                   | 0,07             | 1,99                           | 27,63                          | 44,60        | 0,09         | 1,39        | 1,58        | 0,13              | 0,07             | 0,48                          | 0,34                          | 3,55        | 99,49        |              |
| 26             | 718/4301   | 21612 | 18,21 |                   | 0,09             | 1,88                           | 20,13                          | 50,64        | 0,06         | 1,34        | 2,93        | 0,15              | 0,04             | 0,34                          | 0,45                          | 3,26        | 99,52        |              |
| 26             | 718/4340   | 21613 | 20,28 |                   | 0,08             | 1,98                           | 32,06                          | 38,57        | 0,06         | 1,21        | 1,17        | 0,20              | 0,11             | 0,50                          | 0,41                          | 2,72        | 99,35        |              |
| 27             | 718/4349   | 21614 | 19,39 |                   | 0,10             | 2,15                           | 24,74                          | 44,53        | 0,06         | 1,42        | 2,36        | 0,21              | 0,09             | 0,47                          | 0,29                          | 3,55        | 99,36        |              |
| <b>Среднее</b> |            |       |       |                   | <b>18,61</b>     | <b>0,08</b>                    | <b>1,85</b>                    | <b>23,59</b> | <b>46,76</b> | <b>0,07</b> | <b>1,35</b> | <b>1,95</b>       | <b>0,15</b>      | <b>0,07</b>                   | <b>0,39</b>                   | <b>0,32</b> | <b>4,31</b>  | <b>99,48</b> |

Примечание: анализ проводился по стандартной методике 163-Х.

Элементы-примеси в этих типах также показывают различные концентрации (рис. 8). Содержание Cr в хромитсодержащем типе лежит в пределах 600–1200 ppm, Ni — 170–860 ppm, V — 55–210 ppm, As — 50–910 ppm. В сульфидсодержащем типе значения этих металлов значительно ниже (ppm): Cr — 7–23, V — 13–28, Ni — 3–52, As — 0–18. В хромитсодержащем типе фиксируются повышенные содержания щелочных и редкоземельных металлов: Li, Sc и Rb. Содержание этих элементов достигает 24 ppm, против 0–3 ppm в сульфидсодержащих. В оливиновом сульфидсодержащем типе следующие элементы-примеси показывают повышенные концентрации (ppm): Co — 300–550, Mo — 40–68, Se — 18–90. Эти элементы присутствуют в хромитсодержащих шлаках в меньшем количестве (ppm): Co — 95–200, Mo — 3–26, Se — 1–20.

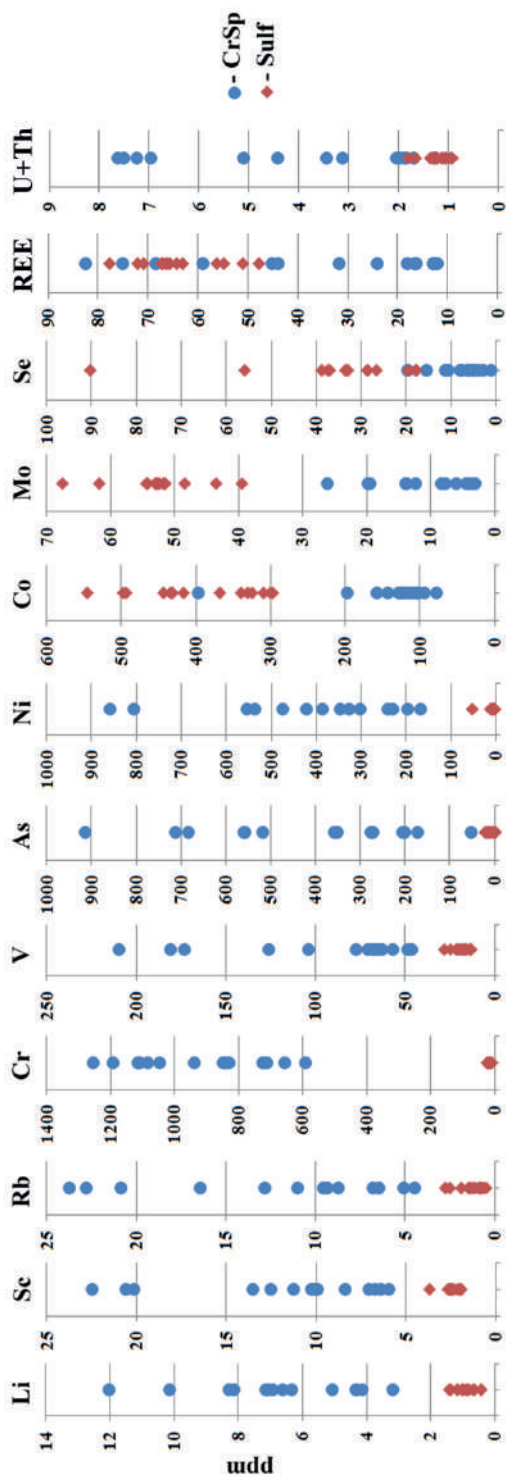


Рис. 8. Содержание некоторых элементов-примесей в шлаках Каменного Амбара  
 Fig. 8. Content of some trace elements in slags of the Kamenny Ambar

### *Обсуждение результатов*

**Стратиграфическая приуроченность шлаков поселения Каменный Амбар и сравнение с аналогичными памятниками.** В результате стратиграфического и планиграфического анализов установлено, что группа оливиновых хромитсодержащих шлаков относится к раннему синташтинско-петровскому этапу функционирования поселения. Часть оливиновых хромитсодержащих шлаков выявлена в срубно-алакульском комплексе, но для него более обычна сульфидсодержащая разновидность. Смена источников сырья в позднем бронзовом веке фиксируется именно по этому показателю.

Сравнение материала Каменного Амбара и близлежащих поселений показало сходство оливиновых хромитсодержащих шлаков укрепленных поселений синташтинского периода, таких как Сарым-Саклы, Куйсак, Устье-I, Синташта, Левобережное, Аландское [Григорьев, Дунаев, Зайков, 2005; Григорьев, 2013, с. 122; Зайков и др., 2013; Анкушев, Артемьев, Блинов, 2018]. С другой стороны, сульфидсодержащие шлаки поселения Каменный Амбар аналогичны таковым с поселений более позднего срубно-алакульского периода. Оливиновые сульфидсодержащие шлаки выявлены на близлежащем укрепленном поселении Коноплянка, которое относится к петровскому и срубно-алакульскому периоду [Шарапова и др., 2014]. По своему минеральному составу, наличию большого количества включений халькозина и ковеллина они полностью идентичны сульфидсодержащим шлакам поселения Каменный Амбар. В группе срубно-алакульских поселений, находящихся в районе р. Зингейка, металлургические шлаки представлены комковатыми обломками сульфидсодержащих разновидностей. Реликтовые минералы представлены обломками сульфидных руд (халькозина и ковеллина) [Анкушев и др., 2016, с. 117].

**Возможные источники меднорудного сырья.** Важнейшими источниками информации для определения медного сырья на поселении являются фрагменты руд в комплексе с анализом микровключений реликтовых минералов в шлаках. Ранее меднорудная сырьевая база древних обществ Южного Урала была показана в работах В. В. Зайкова с соавторами [Зайков и др., 2005]. Ведущими типами источников руды в древности были зоны окисления медных месторождений, приуроченных к вулканитам (колчеданные и медно-порфиновые), ультрабазитам (колчеданные, скарновые), гранитоидам (скарновые). Минералогический анализ руд с поселения Каменный Амбар позволяет сделать вывод, что источниками массивных и прожилково-вкрапленных малахитазуритовых руд служили верхние горизонты зоны окисления медных месторождений, приуроченных к ультрабазитам; медно-магнетитовые руды произошли из скарновых месторождений; источником турмалин-малахитовых руд могли являться медно-порфиновые месторождения.

Исследование особенностей состава реликтовых хромшпинелидов в шлаках поселения Каменный Амбар показало, что подобным составом обладают хромшпинелиды ультрабазитовых массивов Главного Уральского разлома (Ишкининский, Байгускаровский, Кемпирсайский), Восточно-Уральских разломов (Верблюжегорский, Куликовский, Варшавский) и Крака [Савельев, 2012, с. 130–136]. К этим массивам приурочены колчеданные и скарновые месторождения меди и железа с медной минерализацией, которые разрабатывались в бронзовом веке [Зайков и др., 2009, с. 35–37; Анкушев, Юминов и др., 2018]. Точки состава хромшпинелидов этих массивов группируются вблизи сто-

роны Al — Cr диаграммы, как и хромшпинелиды в шлаках поселения Каменный Амбар [Савельев, 2012, с. 130–136].

Одним из примеров месторождений, приуроченных к ультрабазитам, является древний рудник Воровская Яма, в 60 км к западу от поселения Каменный Амбар. На памятнике обнаружены остатки строительных конструкций, фрагменты керамических сосудов, а также металлургические шлаки с включениями хромшпинелидов [Зайков и др., 2005, с. 104–105]. Другим примером является Новотемирский рудник, расположенный в 90 км севернее Каменного Амбара. Окисленные руды сложены малахитом, хризоколой, азуритом. На руднике были обнаружены вертикальные горные выработки, керамика бронзового века [Блинов и др., 2018, с. 37].

Источником сульфидных руд для поселения Каменный Амбар являлись зоны цементации медных месторождений. Такие зоны, обогащенные халькозином и ковеллином, характерны для месторождений разных типов: колчеданных, медно-порфировых прожилково-вкрапленных [Samata, 1986]. Примером источника таких руд является рудник Бакр-Узьяк, расположенный в 130 км западнее поселения Каменный Амбар. Сульфидсодержащие руды в бронзовом веке могли разрабатываться также на древних рудниках Таш-Казган и Никольский в 200 км севернее Каменного Амбара [Черных, 1970, с. 40–42], где при проведении разведочных работ были обнаружены каменные орудия [Григорьев, 1988]. В рудах этих месторождений присутствуют жилы халькозина, ковеллина и продукты окисления первичных сульфидов.

Элементы-примеси в сульфидных реликтовых обломках и расплавных включениях в шлаках свидетельствуют об использовании руд месторождений определенного типа. По данным ЛА-ИСП-МС сульфиды в шлаках поселения Каменный Амбар характеризуются повышенными содержаниями селена — 0,1–0,92 мас.% (среднее по 63 анализам 0,28%) и теллура — 3,1–39 ppm (среднее по 63 анализам 13 ppm) [Artemyev, Ankushev, 2019, с. 11]. Селен и теллур характерны для базитовых колчеданных месторождений, концентрируясь в зоне окисления [Belogub et al., 2008, с. 251–253; Bullok et al., 2018]. В сульфидах колчеданных месторождений кипрского типа отмечены очень высокие содержания селена, до 0,5 мас.% [Martin et al., 2018]. Эти факты говорят о том, что в качестве источника сульфидных руд для поселения Каменный Амбар могли использоваться колчеданные месторождения кипрского типа или скарновые месторождения в базитовых комплексах [Artemyev, Ankushev, 2019, с. 17].

Изучение довольно редких турмалин-малахитовых руд с поселения Каменный Амбар показало их отличие от предполагаемого рудного источника — медно-порфирового месторождения Еленовское (Оренбургская обл.), которое разрабатывалось в бронзовом веке [Бушмакин, Зайков, 1997]. Турмалин из руд с поселения Каменный Амбар относится к промежуточному члену ряда дравит-шерл с долей оленитового минала. В рудах Еленовского месторождения выделяется две разновидности турмалина: железистый дравит и шерл-дравит, в целом минерал характеризуется более отчетливой зональностью [Анкушев, Зайков, Котляров, 2015]. Сложный химический состав и высокая степень изоморфной смесимости турмалина позволяют использовать его в качестве индикаторного при поисках источника минерального сырья.

В заключение необходимо отметить, что, несмотря на тщательный анализ геологических отчетов и длительные полевые работы в районе бассейна р. Карагайлы-Аят, древний рудник, снабжавший сырьем группу поселений Каменный Амбар — Коноплянка Журумбай, так и не был установлен. Некоторые исследователи рассматривают основополагающий характер металлургии в Южном Зауралье бронзового века, когда место расположения укрепленного поселения определяется непосредственной близостью к рудным источникам [Виноградов, 1995; Кузьмина, 2000, с. 9]. Однако последние работы, посвященные оценке масштаба металлургии на основе статистического анализа распространения артефактов на поселениях, это опровергают [Chechushkov, Petrov, 2021]. Относительно небольшое количество фрагментов медных руд и металлургических шлаков на поселении Каменный Амбар свидетельствует о том, что металлургия была, несомненно, важной, но не столь масштабной отраслью производства. Это обусловлено также малым количеством древних рудников Южного Зауралья по сравнению, например, с богатыми месторождениями медистых песчаников Южного Приуралья [Каргалы, 2002, с. 19–24]. Поэтому источниками сырья для поселений бассейна р. Карагайлы-Аят могли служить небольшие отдаленные рудники, где разрабатывалась зона окисления и зона вторичного сульфидного обогащения скарных и колчеданных месторождений, таких как Воровская Яма, Новотемирский, Бакр-Узяк, Новониколаевский.

### **Заключение**

Для металлургических шлаков и руд поселения Каменный Амбар определены индикаторные минералы, позволяющие устанавливать источники меднорудного сырья в бронзовом веке. К ним относятся хромшпинелиды, сульфиды и турмалины, которые характерны для различных типов руд и имеют ряд особенностей, позволяющих сопоставлять артефакты археологических памятников и руды. К таким особенностям можно отнести морфологию агрегатов, основной состав, элементы-примеси. Минералого-геохимические исследования включений в шлаках необходимо продолжать на других памятниках бронзового века Южного Урала, в особенности на однослойных поселениях.

Исследование состава металлургических шлаков Каменного Амбара позволило выделить предполагаемые типы источников меднорудного сырья. На протяжении бронзового века здесь эксплуатировались два основных типа руд: в ранний синташтинско-петровский период функционирования поселения использовались окисленные малахит-азуритовые руды месторождений, приуроченных к ультрабазитам, в более поздний срубно-алакульский период эксплуатировались сульфидные ковеллин-халькозинные руды колчеданных или медно-порфировых месторождений.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

Анкушев М. Н., Зайков В. В., Котляров В. А. Турмалин из обломков медных руд на поселении бронзового века Каменный Амбар (Южное Зауралье) и возможные источники металлургического сырья // Геоархеология и археологическая минералогия. 2015. С. 81–85.

Анкушев М. Н., Алаева И. П., Медведева П. С., Чечушков И. В., Шарапов Д. В. Минеральные микровключения в металлургических шлаках поселений бронзового века в долине р. Зингейка (Южный Урал) // Геоархеология и археологическая минералогия. 2016. С. 116–120.



Анкушев М. Н., Артемьев Д. А., Блинов И. А. Элементы-примеси в зональных оливинах металлургических шлаков бронзового века на Южном Урале // *Минералогия*. 2018. Т. 4, № 1. С. 55–67.

Анкушев М. Н., Юминов А. М., Зайков В. В., Носкевич В. В. Медные рудники бронзового века в Южном Зауралье // *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Геоархеология. Этнология. Антропология*. 2018. Т. 23. С. 87–110. DOI:10.26516/2227–2380.2018.23.87

Блинов И. А., Анкушев М. Н., Рассомахин М. А., Медведева П. С. Минералы меди, никеля и мышьяка в рудах Новотемирского проявления железа (Южный Урал) // *Минералогия*. 2018. Т. 4, № 3. С. 36–45.

Бушмакин А. Ф., Зайков В. В. Еленовское медно-турмалиновое месторождение — вероятный источник руды для медеплавильного производства Аркаима // *Уральский минералогический сборник*. Миасс: ИМин УрО РАН, 1997. № 7. С. 221–232.

Виноградов Н. Б. Хронология, содержание и культурная принадлежность памятников синташтинского типа бронзового века в Южном Зауралье // *Вестник ЧГПИ. История*. 1995. № 1. С. 16–26.

Григорьев С. А. Новые материалы к истории металлургии Южного Урала // *Проблемы археологии Урало-Казахстанских степей*. Челябинск : ЧГУ, 1988. С. 45–59.

Григорьев С. А., Дунаев А. Ю., Зайков В. В. Хромшпинелиды как индикатор источника медных руд для древней металлургии // *Доклады РАН*. 2005. Т. 400, № 2. С. 228–232.

Григорьев С. А. Металлургическое производство в Северной Евразии в эпоху бронзы. Челябинск : Цицеро, 2013. 660 с.

Зайков В. В., Юминов А. М., Дунаев А. Ю., Зданович Г. Б., Григорьев С. А. Геолого-минералогические исследования древних медных рудников на Южном Урале // *Археология, этнография и антропология Евразии*. 2005. № 4 (24). С. 101–114.

Зайков В. В., Мелекесцева И. Ю., Артемьев Д. А., Юминов А. М., Симонов В. А., Дунаев А. Ю. Геология и колчеданное оруденение южного фланга Главного Уральского разлома. Миасс : ИМин УрО РАН, 2009. 375 с.

Зайков В. В., Юминов А. М., Анкушев М. Н., Ткачев В. В., Носкевич В. В., Епимахов А. В. Горно-металлургические центры бронзового века в Зауралье и Мугоджарах // *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Геоархеология. Этнология, Антропология*. 2013. Т. 1. С. 174–195.

Зданович Г. Б., Батанина И. М. Аркаим — «Страна городов». Пространство и образы. Челябинск : Крокус, 2007. 260 с.

Каргалы. Т. I: Геолого-географические характеристики: История открытий, эксплуатации и исследований: Археологические памятники / сост. и науч. ред. Е. Н. Черных. М. : Языки славянской культуры, 2002. 112 с.

Корякова Л. Н., Краузе Р., Епимахов А. В., Шарапова С. В., Пантелеева С. Е., Берсенева Н. А., Форнасье Й., Кайзер Э., Молчанов И. В., Чечушков И. В. Археологическое исследование укрепленного поселения Каменный Амбар (Ольгино) // *Археология, этнография и антропология Евразии*. 2011. № 4 (48). С. 61–74.

Кузьмина Е. Е. Первая волна миграции индоиранцев на юг // *Вестник древней истории*. 2000. № 4 (235). С. 3–20.

Павлов Н. В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // *Труды Геологического института РАН*. 1949. Вып. 103. 91 с.

Савельев Д. Е. Хромитоносность гипербазитовых массивов Южного Урала : дис. ... д-ра г.-м. наук. Пермь, 2012. 313 с.

Скарново-магнетитовая формация Урала: Средний и Южный Урал / отв. ред. В. И. Смирнов, А. М. Дымкин. Свердловск : УрО АН СССР, 1989. 212 с.

Черных Е. Н. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья. М. : Наука, 1970. 181 с.

Черных Е. Н. Формирование евразийского «степного пояса» скотоводческих культур: взгляд сквозь призму археометаллургии и радиоуглеродной хронологии // *Археология, этнография и антропология Евразии*. 2008. № 3 (35). С. 36–53.

Чухарева Н. С. Сравнительный анализ хромшпинелидов из обломков пород и металлургических шлаков поселений бронзового века (Южный Урал) // *Уральский минералогический сборник*. № 16. Миасс ; Екатеринбург : ИМин УрО РАН, 2009. С. 182–185.

Шарапова С. В., Краузе Р., Молчанов И. В., Штоббе А., Солдаткин Н. В. Междисциплинарные исследования поселения Коноплянка в Южном Зауралье: предварительные результаты // *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: История, филология*. 2014. Т. 13, № 3. С. 101–109.

Artemyev D. A., Ankushev M. N. Trace elements of Cu- (Fe) — sulfide inclusions in Bronze Age copper slags from South Urals and Kazakhstan: ore sources and alloying additions // *Minerals*. 2019. 9 (12).746. DOI: 10.3390/min9120746

Belogub E. V., Novoselov K. A., Yakovleva V. A., Spiro B. Supergene sulphides and related minerals in the supergene profiles of VHMS deposits from the South Urals // *Ore Geology Review*. 2008. 33. Pp. 239–254. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2006.03.008

Bullock L. A., Perez M., Armstrong J. G., Parnell J., Still J., Feldmann J. Selenium and tellurium resources in Kisgruva Proterozoic volcanogenic massive sulphide deposit (Norway) // *Ore Geology Review*. 2018. 99. Pp. 411–424. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.06.023

Chechushkov I. V., Petrov F. N. The Annual Metal Production at the Late Bronze Age Sites from the Southern Urals. In: Yuminov A., Ankusheva N., Ankushev M., Zaykova E., Artemyev D. (eds) *Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy. GAM 2019. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. Springer, Cham. 2021. Pp. 7–19. DOI: 10.1007/978-3-030-48864-2\_2

Epimakhov A., Krause R. Relative and absolute chronology of the settlement Kamennyi Ambar // *Multidisciplinary investigations of the Bronze Age settlements in the Southern Trans-Urals (Russia)*. *Frankfurter Archäologische Schriften* 23. Bonn. 2013. Pp. 129–146.

Herrington R., Maslennikov V. V., Zaykov V. V., Seravkin I. VMS deposits of the South Urals, Russia // *Ore Geology Review*. 2005. V. 27. Pp. 238–239. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2005.07.023

Martin A. J., McDonald I., MacLeod C. J., Prichard H. M., McFall K. Extreme enrichment of selenium in the Apliki Cyprus-type VMS deposit, Troodos, Cyprus // *Mineralogical Magazine*. 2018. 82 (3). Pp. 697–724. DOI: 10.1180/mgm.2018.81

Plotinskaya O. Y., Abramov S. S., Groznova E. O., Azovskova O. B., Novoselov K. A., Seltmann R., Spratt J. Precious metals assemblages at the Mikheevskoe porphyry copper deposit (South Urals, Russia) as proxies of epithermal overprinting // *Ore Geology Reviews*. 2018. V. 94. Pp. 239–260. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.01.025

Puchkov V. N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why // *Ore Geology Reviews*. 2017. Vol. 85. Pp. 4–29. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.01.005

Samama J. C. *Ore fields and continental weathering*. Van Nostrand Reinhold Co. 1986. 326 p.

## REFERENCES

Ankushev M. N., Zajkov V. V., Kotlyarov V. A. Turmalin iz oblomkov mednyh rud na poselenii bronzovogo veka Kamennyj Ambar (Yuzhnoe Zaurale) i vozmozhnye istochniki metallurgicheskogo syr'ya [Tourmaline from Fragments of Copper Ores at the Bronze Age Settlement Kamenny Ambar (South Trans-Urals) and Possible Sources of Metallurgical Raw Materials]. *Geoarheologiya i arheologicheskaya mineralogiya [Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy]*. 2015. Pp. 81–85. (*In Russ.*)

Ankushev M. N., Alaeva I. P., Medvedeva P. S., Chechushkov I. V., Sharapov D. V. Mineral'nye mikrovklyucheniya v metallurgicheskikh shlahkah poselenij bronzovogo veka v doline r. Zingejka (Yuzhnyj Ural) [Mineral Microinclusions in Metallurgical Slags of the Bronze Age Settlements in the Valley of

the Zingeyka (South Urals)]. *Geoarcheologiya i arheologicheskaya mineralogiya* [Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy]. 2016. Pp. 116–120. (*In Russ.*)

Ankushev M. N., Artemev D. A., Blinov I. A. Elementy-primesi v zonal'nyh olivinah metallurgicheskikh shlakov bronzovogo veka na Yuzhnom Urale [Trace Elements in Zonal Olivines of Metallurgical Slags of the Bronze Age in the Southern Urals]. *Mineralogiya* [Mineralogy]. 2018. Vol. 4. №1. Pp. 55–67. (*In Russ.*)

Ankushev M. N., Yuminov A. M., Zajkov V. V., Noskevich V. V. Mednye rudniki bronzovogo veka v Yuzhnom Zaurale [Copper Mines of the Bronze Age in the Southern Trans-Urals]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geoarcheologiya. Etnologiya. Antropologiya* [Bulletin of the Irkutsk State University. Series: Geoarcheology. Ethnology. Anthropology]. 2018. Vol. 23. Pp. 87–110. (*In Russ.*) DOI:10.26516/2227-2380.2018.23.87 (*In Russ.*)

Blinov I. A., Ankushev M. N., Rassomahin M. A., Medvedeva P. S. Mineraly medi, nikelya i mysh'yaka v rudah Novotemirskogo proyavleniya zheleza (Yuzhnyj Ural) [Minerals of Copper, Nickel and Arsenic in the Ores of the Novotemir Iron Occurrence (South Urals)]. *Mineralogiya* [Mineralogy]. 2018. Vol. 4. №3. Pp. 36–45. (*In Russ.*)

Bushmakina A. F., Zajkov V. V. Elenovskoe medno-turmalinovoe mestorozhdenie — veroyatnyj istochnik rudy dlya medeplavil'nogo proizvodstva Arkaima [Yelenovskoe Copper-tourmaline Deposit — a Probable Source of Ore for the Copper-smelting Production of Arkaim]. *Ural'skij mineralogicheskij sbornik* [Ural Mineralogical Collection]. Miass : IMin UrO RAN, 1997. №7. Pp. 221–232. (*In Russ.*)

Vinogradov N. B. Hronologiya, sodержanie i kul'turnaya prinalozhnost' pamyatnikov sintashtinskogo tipa bronzovogo veka v Yuzhnom Zaurale [Chronology, Content, and Cultural Identity of the Sintashta Type Sites of the Bronze Age in the Southern Trans-Urals]. *Vestnik ChGPI. Istoriya* [ChGPI Bulletin. Story]. 1995. №1. Pp. 16–26. (*In Russ.*)

Grigor'ev S. A. Novye materialy k istorii metallurgii Yuzhnogo Urala [New Materials to the History of Metallurgy of the Southern Urals]. *Problemy arheologii Uralo-Kazahstanskih stepej* [Problems of Archaeology of the Ural-Kazakhstan Steppes]. Chelyabinsk : ChGU, 1988. Pp. 45–59. (*In Russ.*)

Grigor'ev S. A., Dunaev A. Yu., Zajkov V. V. Hromshpinelidy kak indikator istochnika mednyh rud dlya drevnej metallurgii [Chromium Spinel as an Indicator of the Source of Copper Ores for Ancient Metallurgy]. *Doklady RAN*. 2005 [Reports of RAS. 2005]. Vol. 400, №2. Pp. 228–232. (*In Russ.*)

Grigor'ev S. A. Metallurgicheskoe proizvodstvo v Severnoj Evrazii v epohu bronzy [Metallurgical Production in Northern Eurasia During the Bronze Age]. Chelyabinsk : Cicero, 2013. 660 p. (*In Russ.*)

Zajkov V. V., Yuminov A. M., Dunaev A. Yu., Zdanovich G. B., Grigor'ev S. A. Geologo-mineralogicheskie issledovaniya drevnih mednyh rudnikov na Yuzhnom Urale [Geological and Mineralogical Studies of Ancient Copper Mines in the Southern Urals]. *Arheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii* [Archaeology, Ethnography and Anthropology of Eurasia]. 2005. №4 (24). Pp. 101–114. (*In Russ.*)

Zajkov V. V., Melekesceva I. Yu., Artemev D. A., Yuminov A. M., Simonov V. A., Dunaev A. Yu. Geologiya i kolchedannoe orudnenie yuzhnogo flanga Glavnogo Ural'skogo razloma [Geology and Pyrite Mineralization of the Southern Flank of the Main Ural Fault]. Miass : IMin UrO RAN, 2009. 375 p. (*In Russ.*)

Zajkov V. V., Yuminov A. M., Ankushev M. N., Tkachev V. V., Noskevich V. V., Epimahov A. V. Gorno-metallurgicheskie centry bronzovogo veka v Zaurale i Mugodzharah [Mining and Metallurgical Centers of the Bronze Age in the Trans-Urals and Mugodzhary]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geoarcheologiya. Etnologiya. Antropologiya* [Bulletin of the Irkutsk State University. Series: Geoarchaeology. Ethnology. Anthropology]. 2013. Vol. 1. Pp. 174–195. (*In Russ.*)

Zdanovich G. B., Batanina I. M. Arkaim — «Strana gorodov». Prostranstvo i obrazy [«Country of Cities». Space and Images]. Chelyabinsk : Krokus, 2007. 260 p. (*In Russ.*)

Kargaly. T. I. Geologo-geograficheskie karakteristiki: Istoriya otkrytij, ekspluatcii i issledovanij: Arheologicheskie pamyatniki / sost. i nauch. red. E. N. Chernyh [Geological and Geographical

Characteristics: History of Discoveries, Exploitation and Research: Archaeological Sites. Ed. E.N. Chernyh]. M. : Yazyki slavyanskoj kul'tury, 2002. 112 p. (*In Russ.*)

Koryakova L. N., Krauze R., Epimahov A. V., Sharapova S. V., Panteleeva S. E., Berseneva N. A., Fornasè J., Kajzer E., Molchanov I. V., Chechushkov I. V. Arheologicheskoe issledovanie ukreplennogo poseleniya Kamennyj Ambar (Ol'gino) [Archaeological Research of the Fortified Settlement Kamenny Ambar (Olginio)]. *Arheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii* [Archaeology, Ethnography and Anthropology of Eurasia]. 2011. №4 (48). Pp. 61–74. (*In Russ.*)

Kuz'mina E. E. Pervaya volna migracii indoirancev na yug [The First Wave of Migration of Indo-Iranians to the South]. *Vestnik drevnej istorii* [Bulletin of Ancient History]. 2000. №4 (235). Pp. 3–20. (*In Russ.*)

Pavlov N. V. Himicheskiy sostav hromshpinelidov v svyazi s petrograficheskim sostavom porod ul'traosnovnyh intruzivov [Chemical Composition of Cr-spinels in Connection with the Petrographic Composition of Rocks of Ultrabasic Intrusions]. *Trudy Geologicheskogo instituta RAN* [Proceedings of the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences]. 1949. Issue 103. 91 p. (*In Russ.*)

Savelev D. E. Hromitonosnost' giperbazitovyh massivov Yuzhnogo Urala : dis. ... d-ra g.-m. nauk. Perm', 2012. [Chromite Content of Hyperbasite Massifs of the South Urals: dis. ... Dr. G.-M. Sciences]. Perm, 2012. 313 p. (*In Russian*)

Skarnovo-magnetitovaya formaciya Urala: Srednij i Yuzhnyj Ural [Skarn-magnetite Formation of the Urals: Middle and South Urals]. Sverdlovsk : UrO AN SSSR, 1989. 212 p. (*In Russ.*)

Chernyh E. N. Drevnejshaya metallurgiya Urala i Povolzh'ya [The Most Ancient Metallurgy of the Urals and the Volga Region]. M. : Nauka, 1970. 181 p. (*In Russ.*)

Chernyh E. N. Formirovanie evrazijskogo «stepnogo poyasa» skotovodcheskih kul'tur: vzglyad skvoz' prizmu arheometallurgii i radiouglerodnoj hronologii [Formation of the Eurasian «Steppe Belt» of Pastoral Cultures: a View Through the Prism of Archaeometallurgy and Radiocarbon Chronology]. *Arheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii* [Archaeology, Ethnography and Anthropology of Eurasia]. 2008. №3 (35). Pp. 36–53. (*In Russ.*)

Chuhareva N. S. Sravnitel'nyy analiz hromshpinelidov iz oblomkov porod i metallurgicheskikh shlakov poselenij bronzovogo veka (Yuzhnyj Ural) [Comparative Analysis of Cr-spinels from Rock Fragments and Metallurgical Slags of Bronze Age Settlements (Southern Urals)]. *Ural'skij mineralogicheskij sbornik* [Ural Mineralogical Collection]. №16. Miass ; Ekaterinburg : IMin UrO RAN, 2009. Pp. 182–185. (*In Russ.*)

Sharapova S. V., Krauze R., Molchanov I. V., Shtobbe A., Soldatkin N. V. Mezhdisciplinarnye issledovaniya poseleniya Konoplyanka v Yuzhnom Zaurale: predvaritel'nye rezul'taty [International Studies of the Konoplyanka Settlement in the South Trans-Urals: Preliminary Results]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Istoriya, filologiya* [Bulletin of the Novosibirsk State University. Series: History, Philology]. 2014. Vol. 13. №3. Pp. 101–109. (*In Russ.*)

Artemyev D. A., Ankushev M. N. Trace Elements of Cu-(Fe)-Sulfide Inclusions in Bronze Age Copper Slags from South Urals and Kazakhstan: Ore Sources and Alloying Additions. *Minerals*. 2019. 9(12).746. DOI: 10.3390/min9120746 (*In Eng.*)

Belogub E. V., Novoselov K. A., Yakovleva V. A., Spiro B. Supergene Sulphides and Related Minerals in the Supergene Profiles of VHMS Deposits from the South Urals. *Ore Geology Review*. 2008. 33. Pp. 239–254. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2006.03.008. (*In Eng.*)

Bullock L. A., Perez M., Armstrong J. G., Parnell J., Still J., Feldmann J. Selenium and Tellurium Resources in Kisgruva Proterozoic Volcanogenic Massive Sulphide Deposit (Norway). *Ore Geology Review*. 2018. 99. Pp. 411–424. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.06.023. (*In Eng.*)

Chechushkov I. V., Petrov F. N. The Annual Metal Production at the Late Bronze Age Sites from the Southern Urals. In: Yuminov A., Ankusheva N., Ankushev M., Zaykova E., Artemyev D. (eds) *Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy. GAM 2019. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. Springer, Cham. 2021. Pp. 7–19. DOI: 10.1007/978-3-030-48864-2\_2. (*In Eng.*)

Epimakhov A., Krause R. Relative and Absolute Chronology of the Kamennyi Ambar Settlement. Multidisciplinary Investigations of the Bronze Age Settlements in the Southern Trans-Urals (Russia). Frankfurter Archäologische Schriften 23. Bonn. 2013. Pp. 129–146. (*In Eng.*)

Herrington R., Maslennikov V. V., Zaykov V. V., Seravkin I. VMS Deposits of the South Urals, Russia. Ore Geology Review. 2005. V. 27. Pp. 238–239. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2005.07.023 . (*In Eng.*)

Martin A. J., McDonald I., MacLeod C. J., Prichard H. M., McFall K. Extreme Enrichment of Selenium in the Apliki Cyprus-type VMS deposit, Troodos, Cyprus. Mineralogical Magazine. 2018. 82(3). Pp. 697–724. DOI: 10.1180/mgm.2018.81. (*In Eng.*)

Plotinskaya O. Y., Abramov S. S., Groznova E. O., Azovskova O. B., Novoselov K. A., Seltmann R., Spratt J. Precious Metals Assemblages at the Mikheevskoe Porphyry Copper Deposit (South Urals, Russia) as Proxies of Epithermal Overprinting. Ore Geology Reviews. 2018. V. 94. Pp. 239–260. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.01.025. (*In Eng.*)

Puchkov V. N. General Features Relating to the Occurrence of Mineral Deposits in the Urals: What, Where, When and Why. Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. Pp. 4–29. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.01.005. (*In Eng.*)

Samama J. C. Ore Fields and Continental Weathering. Van Nostrand Reinhold Co. 1986. 326 p. (*In Eng.*)

---

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Анкушев Максим Николаевич**, кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник Института истории и археологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация; младший научный сотрудник Института минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс, Российская Федерация.

**Maksim Nikolaevich Ankushev**, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Junior Researcher, Institute of History and Archaeology UB RAS, Yekaterinburg, Russian Federation; Junior Researcher, Institute of Mineralogy SU FRC MG UB RAS, Miass, Russian Federation.

**Зайков Виктор Владимирович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор Института минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс, Российская Федерация.

**Viktor Vladimirovich Zaykov**, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Institute of Mineralogy SU FRC MG UB RAS; 456317, Miass, Russian Federation.

**Молчанов Иван Владимирович**, кандидат исторических наук, научный сотрудник Центра археологии эпохи металла, г. Екатеринбург, Российская Федерация.

**Ivan Vladimirovich Molchanov**, Candidate of Historical Sciences, Researcher, Center of Metal Age Archaeology, Yekaterinburg, Russian Federation.

**Корякова Людмила Николаевна**, доктор исторических наук, профессор, и. о. зав. центром Археологии эпохи металла, главный научный сотрудник Института истории и археологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация.

**Lyudmila Nikolaevna Koryakova**, Doctor of Historical Sciences, Professor, Acting Head of the Center of Metal Age Archaeology, Chief Researcher, Institute of History and Archeology UB RAS, Yekaterinburg, Russian Federation.



---

**Пантелеева Софья Евгеньевна**, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь Центра археологии эпохи металла, г. Екатеринбург, Российская Федерация.

**Sofya Evgenyevna Panteleeva**, Candidate of Historical Sciences, Senior Researcher, Scientific Secretary of the Center of Metal Age Archaeology, Yekaterinburg, Russian Federation.

**Юминов Анатолий Михайлович**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс, Российская Федерация.

**Anatoly Mikhailovich Yuminov**, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Institute of Mineralogy SU FRC MG UB RAS, Miass, Russian Federation.

---

*Материал представлен в редколлегию 01.10.2020 г.*

*Статья принята в номер 18.01.2021 г.*