

- Flossner D., Horn W., Paul M.* Notes on the Cladocera and Copepoda Fauna of the Uvs Nuur Basis (Northwest Mongolia) // *Internat. Rev. Hydrobiol.* – 2005. – Vol. 5. – № 6. – P. 580–595.
- Forró L., Korovchinsky N.M., Kotov A.A., Petrusek A.* Global diversity of cladocerans (Cladocera; Crustacea) in freshwater // *Hydrobiologia.* – 008. – Vol. 595. – P. 177–184.
- Sladeček B.* System of water quality from the biological point of view // *Ergebnisse Limnologie.* – 1973. – H. 7. – P. 1–218.

УДК: 903.03; 54.063

DOI: 10.24411/2658-4441-2020-10039

**Т.Н. ПРУДНИКОВА<sup>1</sup>, С.В. САТ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Тувинский научный центр (Кызыл, Россия)*

<sup>2</sup> *Тувинский Национальный музей им. Алдан Маадыр Республики Тыва (Кызыл, Россия)*

## **ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ПРЕДМЕТОВ ИЗ ФОНДОВ НАЦИОНАЛЬНОГО МУЗЕЯ им. АЛДАН МААДЫР РЕСПУБЛИКИ ТЫВА**

Проведены исследования химического состава железных предметов, предоставленных фондами ГБУ «Национальный музей им. Алдан-Маадыр» Республики Тыва. Аналитические работы проведены на сканирующем электронном микроскопе Hitachi EM–1000 в ТувИКОПР СО РАН. Согласно результатам исследования, древние предметы быта и оружия были изготовлены из кричного железа. В отдельных предметах наряду с железом присутствует хром, никель, титан, цирконий.

*Ключевые слова:* Национальный музей им. Алдан-Маадыр, фонды музея, древние железные предметы, аналитические работы, сканирующий электронный микроскоп Hitachi EM–1000, углеродистое железо.

Рис. 9. Библ. 6 назв. С. 67–72.

**T.N. PRUDNIKOVA<sup>1</sup>, S.V. SAT<sup>2</sup>**

## **FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF IRON OBJECTS FROM THE FUNDS OF THE NATIONAL MUSEUM ALDAN MAADYR REPUBLIC OF TYVA**

<sup>1</sup> *Tuvan Scientific Center (Kyzyl, Russia)*

<sup>2</sup> *Aldan Maadyr National Museum of the Republic of Tyva (Kyzyl, Russia)*

Research was carried out on the chemical composition of iron items provided by the funds of the State Budgetary Institution National Museum named after Aldan-Maadyr of Tyva Republic. Analytical work was carried out on a Hitachi EM-1000 scanning electron microscope, TuvIENR SB RAS. The research results show that the ancient household items and weapons were made of pure iron, iron not always well cleaned from slags and low-carbon iron. In some objects, along with iron, chromium, nickel, titanium, zirconium are present.

*Keywords:* National Museum named after Aldan-Maadyr of Tyva Republic, museum funds, ancient iron objects, analytical work, scanning electron microscope Hitachi EM-1000, carbon iron.

Figures 9. References 6. P. 67–72.

Фонды Тувинского национального музея им. Алдан Маадыр предоставили образцы железных предметов прошедших эпох для исследования особенностей их химического состава (оружие — стрелы, ножи, шлем; бытовые предметы, элементы конского снаряжения, мотыга).

Результаты проведённой работы показали, что в образцах тюркского времени (рис. 1, 2, 3) присутствует железо (нож, стремя, см. рис. 1, 2). Высокое содержание цинка из образца ножа (см. рис. 1 б) связано, вероятно, с дополнительными элементами рукоятки. В образце пряжки (см. рис. 3 в) — высокое содержание хрома и никеля. На основе имеющегося материала пока трудно понять природу их появления — это могут быть особенности железных руд, а также искусственные легирующие добавки. Хром и никель улучшают вязкость и коррозионную стойкость углеродистого железа (Большая энциклопедия...: Электрон. ресурс).

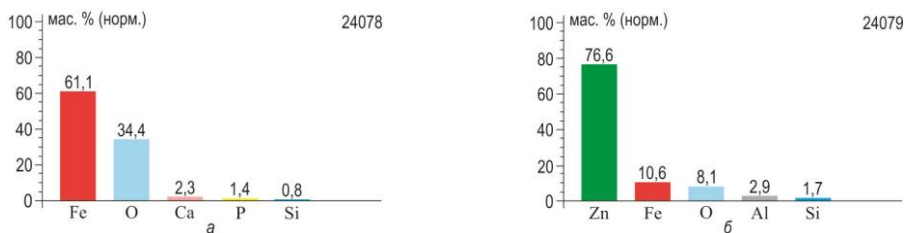


Рисунок 1. Элементный анализ ножа: а — лезвие ножа, б — предположительно, рукоятка (Арғылқыты, тюрки)

Здесь и далее анализы выполнены в ТувиКОПР СО РАН на сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM-1000 с помощью приставки для энергодисперсионного рентгено-флуоресцентного анализа XFlash MIN SVE Quantax 50 производства компании Bruker AXS, Германия. Аналитик Е.Н. Тимошенко.

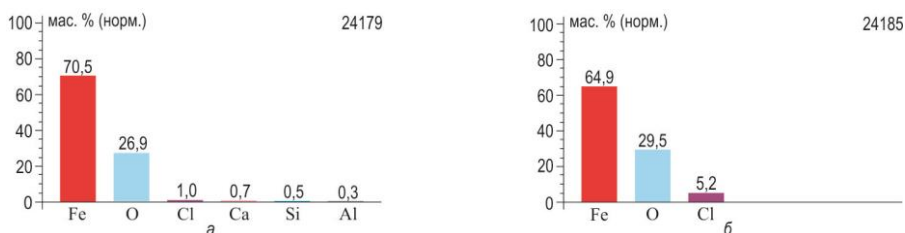
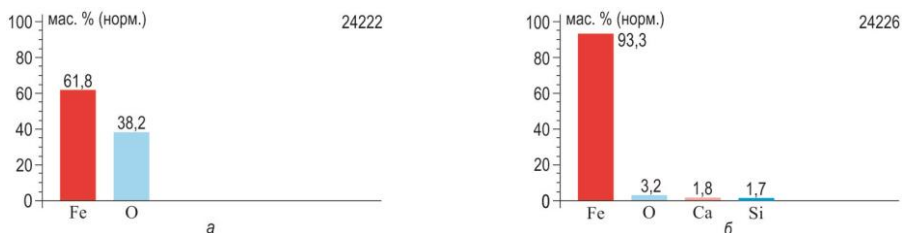


Рисунок 2. Элементный анализ стремя (Арғылқыты, тюрки)

Древние енисейские кыргызы умели получать низкоуглеродистое железо, о чём говорит микрофотография сплава, на которой мы видим образец равноосного феррита (рис. 4, б, обр. 24206). Феррит — твёрдый раствор углерода в железе (углерода около 0,02 %). Его микроструктура состоит из отдельных ферритных зёрен. Границы зёрен видны в виде тёмных границ вокруг каждого зерна. Каждое из этих зёрен является отдельным ферритным кристаллом. Зерно или кристалл феррита имеет объёмноцентрированную кубическую (ОЦК) кристаллическую структуру. Микроструктура, которая присутствует на фото, является типичной для очень низкоуглеродистой стали. Эта микроструктура или морфология является равноосной в том смысле, что размеры зёрен примерно одинаковы во всех направлениях. Такой феррит называют также полигональным ферритом (Микроструктура...: Электрон. ресурс; Феррит: Электрон. ресурс; Основные...: Электрон. ресурс; Кристаллическое...: Электрон. ресурс; Макро- и микроструктура...: Электрон. ресурс).



Продолжение рис. 3

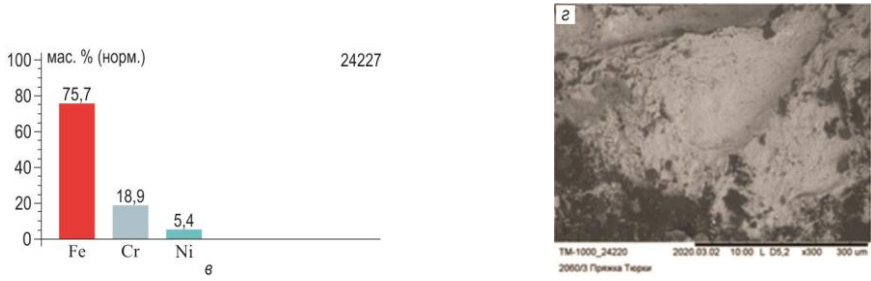


Рисунок 3. Элементный анализ (а, б, в) и микрофотография внутренней структуры (з) пряжки (тюрки)



Рисунок 4. Элементный анализ (а) и микрофотография внутренней структуры (б) стрелы (древние кыргызы)

Присутствие феррита мы наблюдаем в образцах 24083, 24095 (рис. 5 г, д).

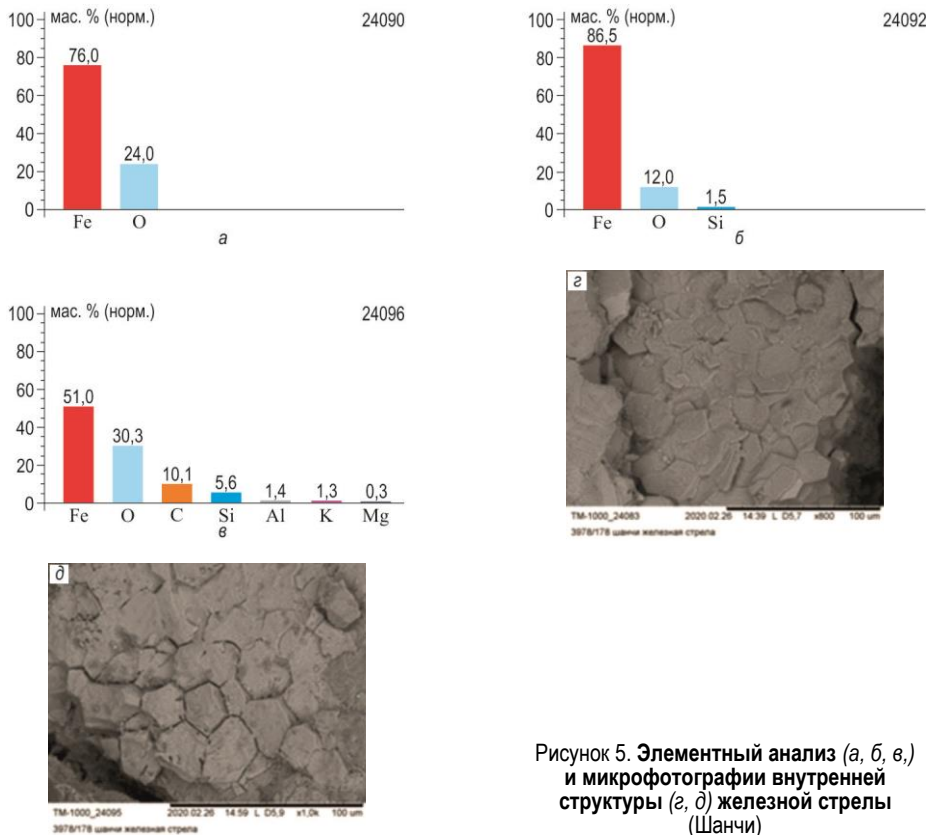


Рисунок 5. Элементный анализ (а, б, в,) и микрофотографии внутренней структуры (з, д) железной стрелы (Шанчи)

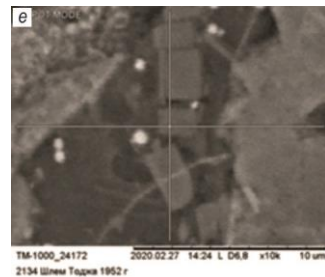
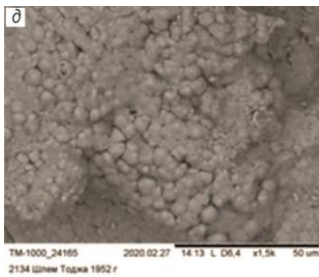
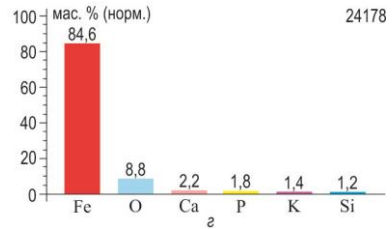
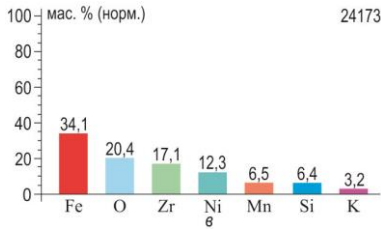
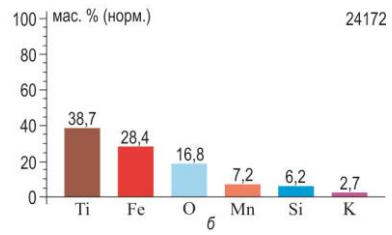
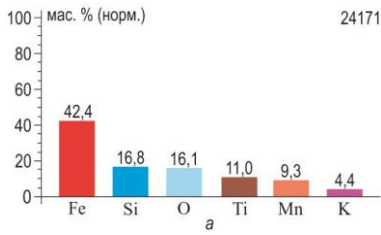
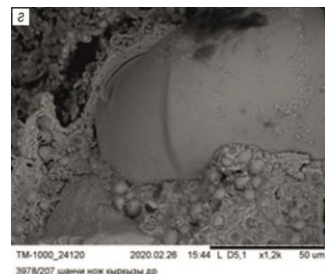
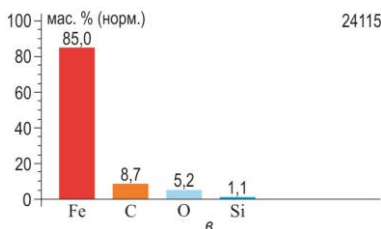
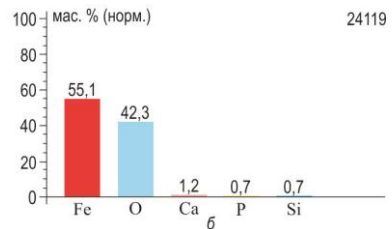
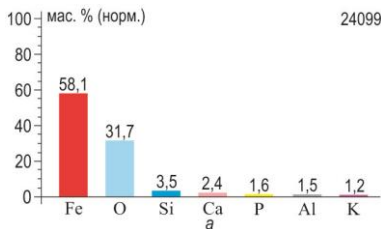


Рисунок 6. Элементный анализ (а, б, в, з) и микрофотографии внутренней структуры (д, е) шлема (монгольское время, Тоджа)

Интересен факт присутствия в образце монгольского шлема титана и циркония (рис. б, а, б, в). Присутствие этих элементов можно объяснить добычей железной руды для плавки из титаномagnetитовых и ильменит-титаномagnetитовых месторождений в интрузивах базит-гипербазитовых формаций, имеющих место в Тоджинской впадине Тувы (титан), а также карбонатитовых флюорит-редкоземельных месторождений (цирконий, карасугская группа). Титан, улучшающий прочность железа, мог быть и искусственной добавкой и, эти его свойства были уже известны в средние века в монгольское время.



Продолжение рис. 7

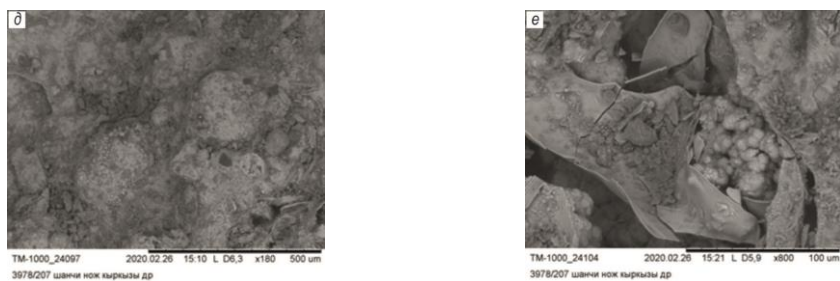


Рисунок 7. Элементный анализ (а, б, в) и микрофотографии внутренней структуры (г, д, е) ножа (Шанчи, Чаа-Холь)

Во взятом для анализа образце ножа присутствует большой процент углерода (рис. 7 в), оставшегося от древесного угля и превращённого, вероятно, в графит. На рисунке 7 г, д — предположительно реликты структуры кричного железа.

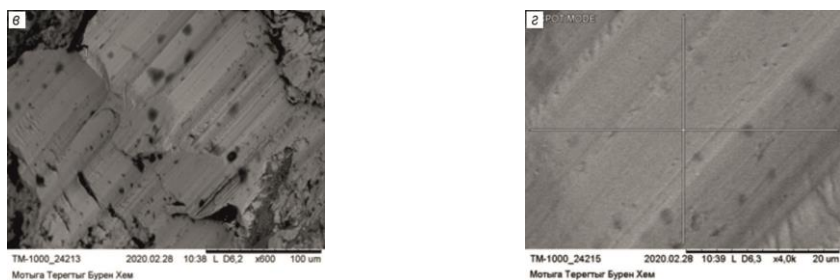
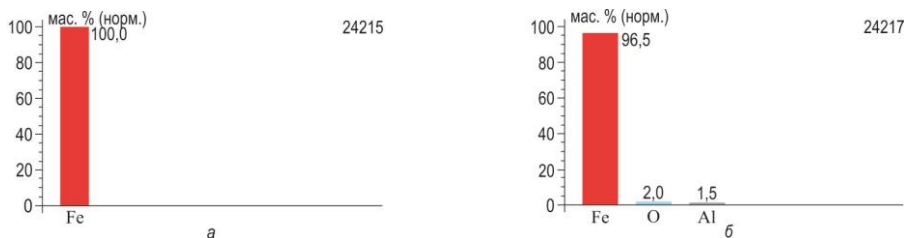


Рисунок 8. Элементный анализ (а, б) и микрофотографии внутренней структуры (в, г) мотыги (Бурен-Хем)

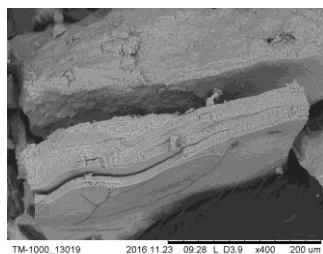


Рисунок 9. Микрофотография внутренней структуры гвоздя (Пор-Бажын)

Представленная для анализа мотыга, вероятно, сельскохозяйственное орудие, сделана из чистого железа (рис. 8 а, б), либо из очень низкоуглеродистой стали (ниже порога чувствительности микроскопа), что соответствует её функциональности. Микрофото 24213, 24215 (рис. 8 в, г) подчёркивают ковкость железного образца.

В целом, в отдельных представленных образцах имеют место элементы (реликты) зернистой структуры кричного железа, следствие не достаточной проковки крицы, а также следыковки на бытовых предметах (рис. 9) и оружии.

Вероятно, присутствовало науглероживание их внешней поверхности. Предметы, возраст которых составляет более 1000 лет, находятся в окисленном состоянии, что отражается на диаграммах высоким содержанием

кислорода. Присутствуют кремний, кальций, фосфор, алюминий, калий, магний. В отдельных образцах — большое количество углерода (остатки метаморфизованного древесного угля).

#### ЛИТЕРАТУРА

*Большая энциклопедия нефти и газа. Добавка — никель* [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ngpedia.ru/id008911p1.html>, свободный (дата обращения 06.10.2020).

*Кристаллическое строение металлов и сплавов* [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://allrefrs.ru/5-20293.html>, свободный (дата обращения 01.09.2020).

*Макро- и микроструктура металлов. Аустенит,  $\alpha$ -феррит,  $\delta$ -феррит* [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://delta-grup.ru/bibliot/30/95.htm>, свободный (дата обращения 01.09.2020).

*Микроструктура стали: феррит* [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://steel-guide.ru/mikrostruktura-stali-ferrit>, свободный (дата обращения 01.10.2020).

*Основные элементы микроструктуры стали и чугуна* [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://markmet.ru/kontrol-metalla/osnovnye-elementy-mikrostruktury-stali-i-chuguna>, свободный (дата обращения 01.09.2020).

*Феррит* [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/82>, свободный (дата обращения 01.10.2020).