

# РАЗДЕЛ I

## ГЕОЛОГИЯ. СЕЙСМИКА. ГИС

### [GEOLOGY. SEISMOLOGY. GIS]

УДК: 433-903-03

DOI: 10.24412/2658-4441-2021-4-6-26

Т.Н. ПРУДНИКОВА<sup>1</sup>, С.Г. ПРУДНИКОВ<sup>2</sup>, О.В. КОВАЛЁВА<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> *Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)*

<sup>3</sup> *Хакасский научно-исследовательский институт языка, литературы и истории (Абакан, Россия)*

## МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ И ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВНЕЙ ТУВЫ

На территории Тувы, обладающей большими запасами минеральных ресурсов, в прошлом активно развивалось горнорудное производство. Наличие месторождений и многочисленных проявлений медных, железных руд, россыпного и коренного золота способствовали развитию в регионе металлургического производства в эпоху бронзы и в последующий ранний железный век. К концу I тысячелетия до н. э. в Туве всё большее место занимала плавка или варка железа. Подъём развития железоплавильного производства в Туве приходится на время хунну, что подтверждается первым радиоуглеродным датированием сыродутных горнов долины р. Бай-Сют, проведённым авторами. Радиоуглеродные датировки металлургических отходов, проведённые впервые в долине р. Ондум, подтверждают развитие древней металлургии в эпоху раннего и классического средневековья. Геологическая изученность показывает, что практически все известные в настоящее время месторождения и проявления меди, а также железа на территории Тувы в той или иной степени были вовлечены в эксплуатацию в древности. Сосредоточение артефактов и обнаруженная нами многослойная стоянка древнего человека вблизи выходов каменных углей Каа-Хемского угольного месторождения предполагает использование углей в древности. Древнее горнорудное производство оказало весьма значительное негативное воздействие на окружающую среду. В первую очередь — это сведение леса, происходившее при поиске и извлечении руд, изготовлении древесного угля, используемого при плавке. Последующее за этим понижение грунтовых вод повлекло иссушение региона, формирование безлесных и пустынных ландшафтов. Проведённые авторские исследования показали, что безлесные ландшафты в долине р. Копто являются древними техногенными ландшафтами, результатом широко развитого в районе Копто-Байсютского рудного узла железоплавильного производства.

*Ключевые слова:* древняя Тува, горнорудное производство, сыродутные горны, железоплавильное производство, радиоуглеродное датирование, месторождения угля, древние стоянки, сведение леса, техногенные ландшафты.

Фото 11. Рис. 3. Табл. 5. Библ. 30 назв. С. 6–26.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: Грант № 20-05-00605 А и в рамках базового проекта ТувИКОПР СО РАН № АААА-А17-117072710021-1*

T.N. PRUDNIKOVA<sup>1</sup>, S.G. PRUDNIKOV<sup>2</sup>, O.V. KOVALEVA<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> *Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)*

<sup>3</sup> *Khakass Scientific Research Institute of Language, Literature and History (Abakan, Russia)*

### **MINERAL RESOURCES AND ORE MINING-METALLURGICAL PRODUCTION OF ANCIENT TUVA**

In ancient times mining production actively developed on the territory of Tuva which has large reserves of mineral resources. The presence of deposits and numerous manifestations of copper, iron ores, placer and indigenous gold stimulated to the development of metallurgical production in the region during the Bronze Age and the subsequent early Iron Age. An increasing place is occupied by iron smelting or iron founding in Tuva by the end of the 1<sup>st</sup> millennium BC. The “boom” of iron-smelting production in Tuva falls on the time of the Xiongnu which is confirmed by radiocarbon dating of the melting furnaces of the Bai Syut river valley carried out by the authors for the first time. The fact that radiocarbon dating of metallurgical waste in the Ondum river valley carried out by us earlier confirm the development of ancient metallurgy in the era of the early and classical Middle Ages. Almost all known deposits and manifestations of copper and iron in the territory of Tuva were involved in exploration in ancient times. Concentration of artifacts and the multi-layered location of an ancient man found near the coal outlets of the Kaa-Khem coal deposit suggest the use of coals in ancient times. The ancient mining industry had a very significant negative impact on the environment. First of all — it is the reduction of forests that occurred during the search and extraction of ores, the manufacture of charcoal used in melting. The subsequent lowering of the ground water level caused the region to dry up, forming treeless and desert landscapes. Studies have shown that the treeless landscapes in the Kopto river valley are ancient technogenic landscapes, the result of the iron-smelting industry widely developed in the Kopto-Bai-Syut ore cluster from iron-smelting production.

*Keywords:* Ancient Tuva; mining and ore production; melting furnaces; iron-smelting production; radiocarbon dating; coal deposits; ancient places of location; forest reduction; technogenic landscapes.

Photos 11. Figures 3. Tables 5. References 30. P. 6–26.

**ВВЕДЕНИЕ.** Минерально-сырьевая база Тувы характеризуется широким набором полезных ископаемых. Наиболее ценными из них являются золото, молибден, медь, алюминий, кобальт, никель, свинец, цинк, железо, каменный уголь, асбест и др. В период современной индустриализации в хозяйственный оборот были вовлечены преимущественно россыпи золота, каменный уголь, соли и строительные материалы. В советское время началась отработка месторождений асбеста и кобальт-никелевых руд.

При проведении масштабных поисково-оценочных работ на геологических объектах открылась грандиозная картина горно-добычных работ, существовавших здесь в глубокой древности. Почти на всех известных месторождениях и проявлениях медных, медьсодержащих, железных руд, присутствуют древние выработки и плавильни, что говорит о широком развитии горнорудного производства в прошлом. Объекты древнего металлургического производства в Туве часто не подвержены разрушению более поздними горными работами. Исследованием горнорудного производства осуществляли в своё время Тувинская экспедиция ВСЕГЕИ, Я.И. Сунчугашев (1969), Л.Р. Кызласов (1969, 1979, 1993), С.В. Хаврин (1995, 2002, 2016), В.А. Попов (Попов, 2000, Попов и др., 2006), В.В. Зайков (Зайков и др., 2015), Т.Н. Прудникова, С.Г. Прудников (Prudnikova, 2012; Прудников, Прудникова, 2015) и др.

В работе представлены обобщённые авторские ранее опубликованные в разных изданиях и новые результаты исследований древнего горнорудного производства Тувы. Проведён анализ и систематизация полученного материала.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Материалы: литературные источники, результаты полевых исследований, геологические отчёты и карты (территориальные геологические фонды, Кызыл), исторические справки, ресурсы интернета, космоснимки ресурса Google Earth, материалы геоинформационных систем и аэрокосмического мониторинга компании «Совзонд».

**МЕТОДОЛОГИЯ.** Работа осуществлялась по разработанной авторами методике комплексного междисциплинарного исследования ландшафтов Центральной Азии, проведённой на стыке геологических, географических, исторических наук с использованием дистанционных методов (дешифрирование космических снимков). При этом были применены ландшафтные, геологические, исторические, археологические, этнографические методы, сравнительный анализ, палеоботанические исследования, радиоуглеродное датирование.

Определение возраста исследуемых объектов (радиоуглеродное датирование древесного угля, погребённых почв) произведено в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск), лаборатории археологической технологии ИИМК РАН (Санкт-Петербург), Киевской радиоуглеродной лаборатории Института геохимии национальной академии наук Украины (Киев), палеоботанические исследования погребённых почв выполнены палеокарпологом, канд. биол. наук В.Л. Кошкаровой (Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск), физико-химические свойства почв, микроэлементный состав определены испытательной лабораторией по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства ФГБУ ГСАС «Тувинская» по ГОСТам 26213-91, 26205-91, 27753.3-88 (Кызыл, Респ. Тыва), аналитические работы на сканирующем электронном микроскопе Hitachi EM-1000 проведены аналитиком Е.Н. Тимошенко (ТувИКОПР СО РАН, Кызыл).

**ДРЕВНЕЕ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТУВЫ.** Горно-металлургическое производство являлось важнейшим элементом в хозяйственном укладе Тувы в прошедшие эпохи. О широком его развитии свидетельствуют древние выработки, многочисленные отходы металлургического производства, плавильные печи эпохи бронзы, раннего и позднего железа, угольные копи.

Проявления и месторождения медных руд (месторождения Хову-Аксы, Чиргакы, Кызык-Чадр, Ондумская группа и др.) благоприятствовали развитию региона в эпоху бронзы. Начиная с XII по VIII вв. до н. э. на территории Тувы осваивались главным образом руды, содержащие медь, серебро и, вероятно, золото.

В VII–III вв. до н. э. медь постепенно стала вытесняться более распространённым в Туве железом. И если масштабы медного оруденения, его генетического разнообразия в Туве достаточно ограничены, здесь присутствуют практически все известные типы железного оруденения. Это метаморфогенные железистые кварциты, гидротермальные, скарновые, магматические титаномагнетитовые и ильменит-титаномагнетитовые месторождения в интрузивах базит-гипербазитовых формаций, карбонатитовые (флюорит-редкоземельные) и др. К началу I тысячелетия н. э. добыча и плавка (варка) железа стала доминирующим направлением в древнем горнорудном производстве. Следы этой деятельности можно встретить в виде древних выработок железных руд и многочисленных плавлен (сыродутных горнов) во многих районах Тувы (*фото 1*). В долинах правых притоков р. Каа-Хем старательскими отработками XX в. были вскрыты крупные объекты железоплавильного производства (Прудников, Прудникова, 2015).

Наличие минерально-сырьевой базы, присутствие медных и железных руд давало большое превосходство племенам, проживающим на территории Алтае-Саянского нагорья, в первую очередь, при изготовлении оружия. Одной из причин военных побед хунну, тюрок, енисейских кыргызов коренному населению и завоевателям Алтае-

Саян, по мнению авторов, послужило присутствие высококачественного железного оружия, которого явно не доставало, напр., насельникам Русской равнины.



Фото 1. Древняя выработка железных руд и железоплавильная печь (долина р. Ондум)  
(фото Т.Н. Прудниковой, 2009, 2010)

«Кроме бедных болотных железных руд на Русской равнине даже в средние века своего железа не было. Производство железа на Руси стало возможным благодаря применению для его варки болотных руд, повсеместно встречающихся на Руси на дне болот, озёр и на берегах рек. Это были бурые железняки (лимониты), которые начинают восстанавливаться уже при 400°C, а при 700–800°C из них уже можно было получить железо...». Плавка железа в средневековой Руси интенсивно развивалась. Его можно было «варить» в каждом доме, на каждом болоте, в каждом лесу. Так, напр., недалеко от Новгорода в районе Устюжны было такое множество «горнов для делания железа», что новгородскому губернатору, посетившему эти места, показалось, будто он «заехал в предместье вулкана» (Металлургия ..., электрон. ресурс).

Надо полагать, аналогичные «предместья вулканов», картину дымящегося металлургического производства, можно было наблюдать и на территории древней Тувы, но только значительно раньше (почти на тысячу лет), нежели на территории Русской равнины. Варка железа производилась преимущественно в сыродутных горнах<sup>1</sup>.

Сыродутные горны в Туве приурочены преимущественно к мощным толщам лёссовидных суглинков, выстилающих борта речных долин. Плотный глинистый материал значительно облегчал строительство плавильного агрегата, достаточно было выкопать яму для камеры горна.

Наиболее характерной чертой древнего горно-металлургического производства являлось почти исключительное использование древесного угля в качестве топлива для плавки руд и обработки металлов. В многочисленных тувинских плавильных печах эпохи бронзы и железного века присутствует только древесный уголь (Прудникова, 2004). Кроме того, топливо часто использовалось для обжига руд, что заметно облегчало их извлечение (Сунчугашев, 1969, с. 132). Воздействие горно-металлургического производства раннего типа чрезвычайно сильно сказывалось на экологическом состоянии региона. Сведение древесного растительного покрова на больших пространствах приводило к понижению уровня грунтовых вод, искажению гидрографического режима. Так, на правобережье р. Каа-Хем, в районе древних железорудных отработок, имеют место следы высохших и пересыхающих русел рек

<sup>1</sup> **Сыродутная печь (сыродутный горн)** — один из первых в истории металлургических агрегатов для получения металлического железа из руды путём химического восстановления. Температура нагрева материалов в горнах не превышала 1300°C, что недостаточно для плавления получавшегося в результате процесса низкоуглеродистого железа. Нагретые до тестообразного состояния пластичные частицы железа слипались и сваривались вместе, образовывали **крицу**.

**Крица** — рыхлый ком размягченного губчатого железа в смеси со шлаком и частицами несгоревшего угля, образующийся при плавке железной руды в условиях низких температур. Название произошло от древнерусского «кръч» — кузнец. Также крицу называют сыродутным железом.

(урочище Кара-Суг, рр. Терегтыг, Баян-Кол), орошающие ранее земельные наделы на высоких террасах Енисея.

Исследования древнего горнорудного производства были проведены нами на правом берегу р. Каа-Хем в долинах рр. Ондум, Бай-Сют, Хопто, Бурен-Хем, на притоках Улуг-Хема — долинах рр. Ээрбек, Элегест, а также на левобережье р. Каа-Хем в районе Каа-Хемского угольного разреза (рис. 1).

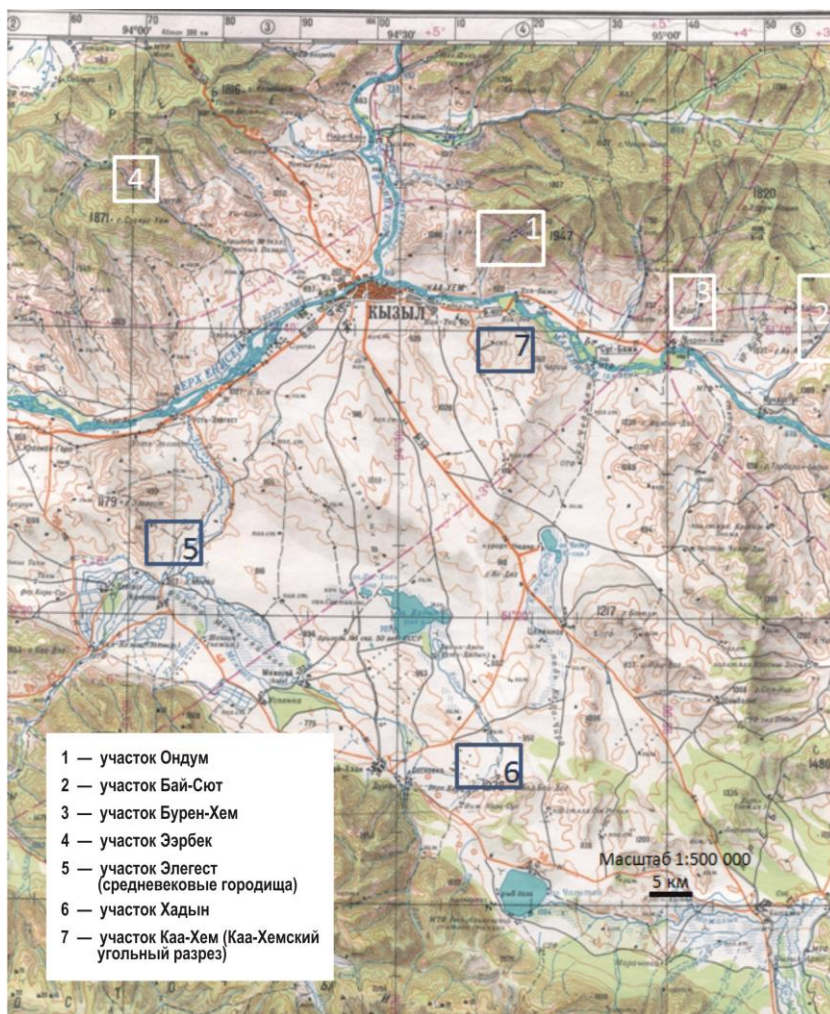


Рисунок 1. Объекты исследований

**ГОРНОРУДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО долины р. Ондум.** Долина реки Ондум вложена в вулканогенно-осадочные толщи нижнего кембрия. С нижнепалеозойскими отложениями, развитыми в бассейне реки, связано несколько крупных проявлений медных и железных руд. Рудопроявление Медное, расположенное в верховьях р. Ондум, локализуется в кислых вулканитах на границе с перекрывающими их известняками. Оруденение накладывается на жерловую фацию древнего вулкана.

Видимая рудная минерализация представлена вкрапленностью и прожилками медных минералов (халькопирита, малахита, азурита), лимонитами, а на контакте главного жерла с известняками вскрыта залежь гематит-баритовых руд. Размеры участков с видимой медной минерализацией достигают 40×50 м по простиранию при мощности от первых метров до 10–15 м, а гематит-баритовой залежи — мощностью

до 10 м, протяжённостью до 400 м. На восточном фланге рудопоявления присутствуют древние отработки медных руд (карьеры).

Ондумская группа проявлений железа приурочена к участкам кислых эффузивов, туфов, туфобрекчиям, известняков нижнего кембрия, прорванных гранитоидными интрузиями таннуольского комплекса (рис. 2).

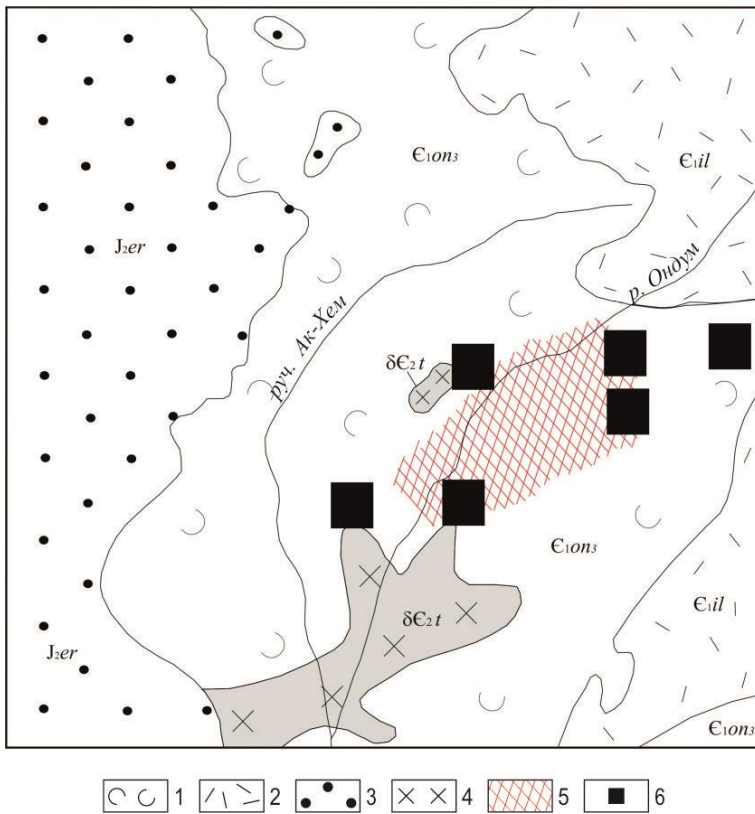


Рисунок 2. Геологическая карта бассейна р. Ондум

1 — ранний кембрий, ондумская свита, верхнеондумская подсвита ( $E_{1on3}$ ). Туфы преимущественно кислого состава, туффиты, туфопесчаники, туфогравелиты, известняки, песчаники известковистые, алевролиты, яшмы, доломиты, эффузивы кислого состава, андезиты. С породами комплекса связано колчеданно-полиметаллическое оруденение, магнетито-скарновая, золотая, серебряная и медная минерализации; 2 — ранний кембрий, ильчирская (тапсинская) свита ( $E_{1il}$ ). Известняки, доломитовые известняки и доломиты, силициты, в верхней части свиты туфы, туфопесчаники, туфоконгломераты с линзами археоциатовых известняков; 3 — юра, верхнезрбекская свита ( $J_{2er}$ ). Песчаники разнозернистые, гравелиты, алевролиты, аргиллиты, пласты углей; 4 — таннуольский габбро-диорит-плагиогранитовый комплекс ( $\delta E_{2t1}$ ). Первая фаза. Диориты, кварц-диориты; 5 — породы контактового метаморфизма: ороговикование, контактовый роговик; 6 — проявления железа, магнетитовая скарноидная рудная формация.

Проявления железа, представленные гематит-магнетитовыми рудами известны на значительной площади в пределах бассейна р. Ондум. Они локализованы на участках развития скарнов и роговиков в экзоконтакте интрузий таннуольского комплекса с нижнекембрийскими отложениями или в зонах гидротермального изменения пород, сопровождающих синвулканические разломы.

Рудные тела в скарнах обычно имеют неправильную форму (гнезда, короткие линзы), размеры рудных тел незначительны, массивные и вкрапленные руды представлены гематитом и магнетитом. Линзы гематит-магнетитового состава сосредоточены в зонах дробления. Протяжённость линз от 5 до 380 м, мощность 0,8–25 м. Содержание железа 48–70 %.

Железорудное проявление в зонах гидротермального изменения представлено протяжёнными линзами в десятки и первые сотни метров мощностью до 10–15 м. Рудные тела прослежены по обоим бортам долины от верховий до нижнего течения на протяжении 6–7 км. Оруденение представлено гематит-магнетитовыми рудами. Руды являются продуктами поствулканической деятельности, локализуются вблизи центров вулканов или в контактах субвулканических интрузий. В контактовой зоне с гранитоидами таннуольского комплекса руды метаморфизуются, обогащаются магнетитом (Геологическая карта ..., 1966).

Ландшафтные наблюдения в нижней части долины р. Ондум позволили авторам обнаружить четвертичные рыхлые отложения (ледниковые?), насыщенные крупными обломками гематит-магнетитовых руд, образующих своеобразную железорудную россыпь.

Речка Ондум не пересыхает и водоносна круглый год. Такая благодатная территория была обжита человеком в глубоком прошлом. В долине реки присутствует большое количество древних захоронений, относимых по предварительному определению археологов Центрально-Азиатской археологической экспедиции к эпохе бронзы, скифскому, а также к древнетюркскому времени, эпохе средневековых енисейских кыргызов. Почти на всём протяжении долины реки обнаружены многочисленные следы железоплавильного производства — древние выработки, горные отвалы, плавильные печи (сыродутные горны), шлаки, в большом количестве древесный уголь. Большие масштабы отходов пирометаллургического производства предполагают здесь присутствие поселений древних металлургов.

По мнению авторов, в долине р. Ондум присутствовали все предпосылки для перехода от медеплавильного производства к производству железа. В верховье реки расположено рудопроявление меди и древние его отработки, с которым структурно связаны проявления железных руд. Без всякого сомнения, массивные железные руды, при извлечении медных руд, были замечены древними рудокопами. Замечены были и гематит-магнетитовые руды в среднем течении реки, протяжённость рудных тел которых составляет более сотни метров. Можно сказать, здесь мог произойти переход к сыродутному способу получения железа, связанного с «тысячелетними бронзолитейными традициями, благодаря экспериментам древних мастеров с различными типами руд» (Водясов, Зайцева, 2020). Так, на медном руднике Темир (Хакасия) известны ямные медеплавильни позднего тагарского времени, имеющие типологическое сходство с ямными сыродутными горнами таштыкской эпохи (Сунчугашев, 1979), близкие аналоги ямных медеплавильням имеют место в сыродутных горнах раннего железа в долине р. Бай-Сют (Тува) (Сунчугашев, 1969, с. 94). Вероятно, этот способ был уже известен, надо было только применить его на практике.



Фото 2. Пирометаллургические отходы в долине р. Ондум, вскрытые временным потоком (фото Т.Н. Прудниковой, 2009)

Об опытах использования железных руд, на наш взгляд, говорят и достаточно примитивные сыродутные горны. Размеры рабочей камеры горнов небольшие, в поперечнике составляющие менее одного метра. У наблюдаемых горнов отсутствуют камеры для шлаковывпуска. И в отходах железоделательного производства, и в самих печах мы не нашли остатков сопел. Скорее всего, печи были одноразовыми. Здесь имеют место горны с крупными обломками магнетитовых руд, которые после пирометаллургического процесса остались в неизменном состоянии, в отдельных горнах металл не был из-

влечён. Всё это говорит о том, что не всегда всё удавалось, древние металлурги проводили здесь эксперименты по плавке руд, учились и получали навыки в производстве кричного железа, чему способствовал находящийся рядом неиссякаемый источник железных руд.

Таблица 1. Физико-химические свойства почвенного разреза Ондум\*

Глубина, см	pH <sub>водн.</sub>	Содержание элементов, %		
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C <sub>орг.</sub>	CO <sub>2</sub>
0–10	8,25	0,38	10,25	3,90
10–20	8,30	0,36	9,04	6,66
20–30	8,10	0,38	7,01	5,50
30–35	9,20	0,13	1,60	5,06
40–50	8,55	0,35	10,71	2,67
50–60	8,65	0,31	8,86	4,74
60–70	8,80	0,30	9,08	5,10
70–80	9,05	0,20	3,07	8,15
80–89	9,30	0,14	1,23	8,15
89–95	8,70	0,33	10,86	7,62
95–100	8,85	0,24	4,17	7,54
100–110	9,05	0,18	2,31	7,93

Примечание. \*Физико-химические свойства почв определены испытательной лабораторией по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства ФГБУ ГСАС «Тувинская»

присутствием в отложениях древесного угля), а также высокие значения фосфора, связанные с интенсивным антропогенным преобразованием территории, позволяют выделить 3 этапа в местном железоплавильном процессе.

В 2016 г. в долине р. Каа-Хем, в 2 км выше устья р. Ондум, под каменным завалом был обнаружен клад земледельческих орудий, представленный чугунами сошником и чечевицевидным плужным отвалом (Прудникова, Прудников, 2016 а) (фото 3). По форме и размерам находки соответствуют земледельческим орудиям, относимым Л.Р. Кызласовым к эпохе тан раннего средневековья (Кызласов, 2002).



Фото 3. Плужный сошник и чечевицевидный плужный отвал из клада (фото Т.Н. Прудниковой, 2016)

Обнаруженный чугунный сошник сопоставим с известными музейными образцами. Отличие в том, что одно из отверстий сошника закрыто металлическим сплавом, состав которого соответствует оловянистой бронзе. Многочисленные образцы сошников из коллекции Тувинского национального музея им. Алдан Маадыр имеют рабочие отверстия, поэтому найденный клад земледельческих орудий именно с бронзовой заклёпкой мог иметь обрядовое значение (напр., посвящение хорошему будущему урожаю). Так, к примеру, согласно С.В. Хаврину (2002), бронза кургана Аржаан-1, раннего памятника скифского времени, отливалась преимущественно из



мышьяковистой меди, а оловянистая бронза использовалась в редких случаях для изготовления, в первую очередь, украшений и кинжалов.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО ВОЗРАСТА ЖЕЛЕЗОПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.

Впервые был определён возраст древесного угля, взятого из трёх интервалов исследуемого слоя металлургических отходов в средней части долины р. Ондум (интервалы 50–55, 60–65, 85–90 см) (Prudnikova, 2012).

- Проба Ки-16496 — глубина отбора 50–55 см; возраст  $595 \pm 50$ ; р. Ондум; древесный уголь из отходов горно-металлургического производства.
- Проба СОАН-9206 — глубина отбора 60–65 см; возраст  $1145 \pm 60$  лет; долина р. Ондум (левый борт); отходы железодельательного производства.
- Проба СОАН-9205 — глубина отбора 85–90 см; возраст  $2140 \pm 60$  лет; долина р. Ондум (левый борт); погребённые аллювиальные почвы.

Возраст плавильных печей соответствует нескольким историческим эпохам. Совершенно определён мы можем говорить о существовании железоплавильного производства в раннем и классическом средневековье. Раннее средневековье может подтверждаться находками земледельческих орудий. Физико-химические свойства нижнего горизонта (инт. 89–95 см) достаточно условно (нет анализа на присутствие металлов), могут говорить о существовании производства железа в эпоху хунну. Значительные мощности металлургических отходов предполагают более широкий спектр возрастных рамок плавки или варки железа на этой территории.

**ЖЕЛЕЗОПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО КОПТО-БАЙСЮТСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РУДНОГО УЗЛА.** В бассейне рр. Бай-Сют–Хопто выделен и изучен Копто-Байсютский горно-металлургический район, являющийся одним из крупнейших центров добычи и переработки медной, железной, возможно, и золотой руды в древности (Прудников, Прудникова, 2015).

Рудной базой древнего горно-металлургического района являлись почти все ныне известные месторождения и рудопроявления Копто-Байсютского района — золоторудные, медные, медно-полиметаллические, железные (рис. 3).

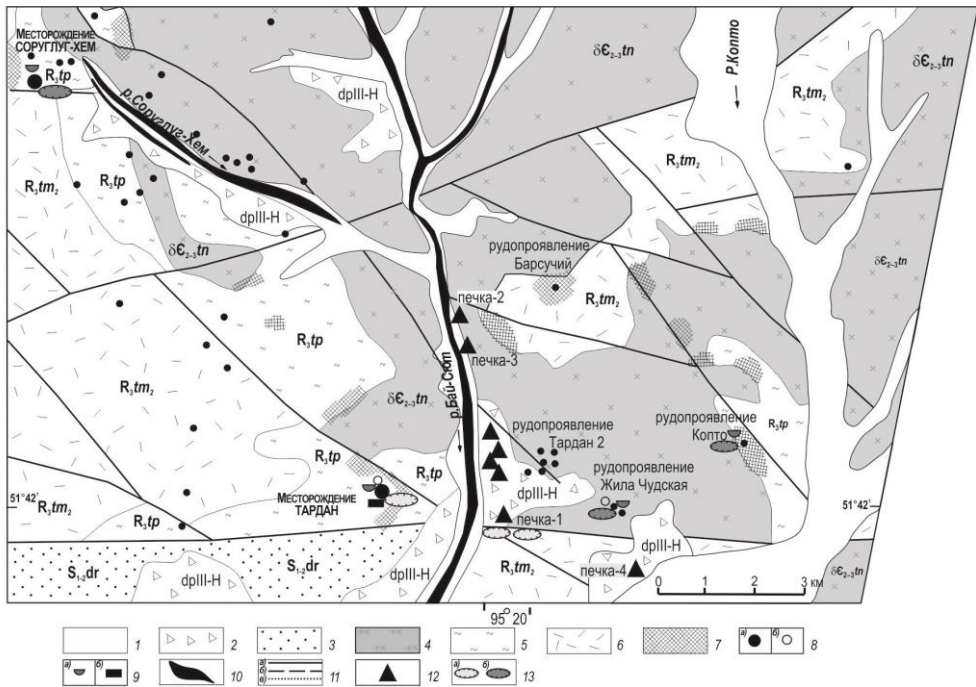


Рисунок 3. Геологическая схема Копто-Байсютского горно-металлургического района

1 — аллювиальные отложения пойм (аПН–Н); 2 — делювиально-пролювиальные отложения (др ПН–Н); 3 — силурийские отложения, дерзигская свита ( $S_{1-2dr}$ ): красноцветные песчаники, гравелиты, конгломераты, прослои известняков; 4 — таннуольский габбро-диорит-плаггиогранитный комплекс ( $C_{2-3tn}$ ): тоналиты ( $\gamma\delta$ ), диориты ( $\delta$ ); 5 — позднерифейские отложения, тапсинская свита ( $R_{3tp}$ ): песчаники, туфопесчаники, туфогравелиты, алевролиты, конгломераты, кристаллические сланцы, амфибол-хлоритовые сланцы и известняки; 6 — рифейские отложения, туматтайгинская свита, средняя подсвита ( $R_{3tm_2}$ ): базальтовые, андезитовые порфириды, прослои известняков; 7 — скарны; 8 — рудопроявления: а) золота, б) серебра; 9 — рудопроявления: а) меди, б) железа; 10 — россыпи; 11 — разломы; 12 — древние печи; 13 — древние выработки (карьеры): а) — железорудные, б) — меднорудные.

На высоких террасах, пологих склонах бортов долин рек Хопто и Бай-Сют сосредоточено большое количество железоплавильных печей, приуроченных к мощной толще лёссовидных суглинков, вскрытых добычными и строительными работами XX в. В пойменных частях рек также часто встречаются обломки шлаков, обожжённые участки почв, позволяющие предполагать наличие здесь объектов железодельного производства. В сыродутных горнах сохранились остатки древесного угля, шлаки, часто присутствуют шлаковыводные камеры, многочисленны остатки сопел.

В районах развития древней металлургии остатки древесного угля часто придают чёрный цвет окраске погребённым под современными наносами почвам, что имеет площадное распространение. Присутствие древесного угля в почвах фиксируется высоким содержанием  $C_{орг}$ .

Территория долины р. Хопто настолько насыщена плавильными печами, что её поверхность представляет подобие пчелиных сот от весьма многочисленных воронок, отчасти напоминающая Каргалинские медные рудники Приуралья, и мы впервые выделяем здесь древние техногенные ландшафты. И, хотя лесная растительность района давно сведена, западинный микрорельеф палео-металлургического производства с содержанием  $C_{орг}$  до 10% (остатки древесного угля) создаёт условия для сохранения влаги и произрастания богатой степной растительности (фото 4).



Фото 4. а — Древние техногенные ландшафты долины р. Хопто (неровности рельефа соответствуют воронкам древних железоплавильных печей)  
б — Плавильные печи в лёссовидных суглинках долины р. Хопто (фото Т.Н. Прудниковой, 2016, 2017)

В 2016 г. авторами впервые получен возраст железоплавильных печей долины р. Бай-Сют, который соответствует  $1820 \pm 30$  лет (проба № Ле-11166) — начало нашей эры, эпоха хунну в Туве (определение возраста выполнено в лаборатории археологической технологии Института истории материальной культуры РАН, Санкт-Петербург).

По находкам керамики Я.И. Сунчугашев (1969, с. 107–109) датирует древние выработки железа в верховье р. Бурен-Хем, урочище Кара-Суг, а также сыродутные

горны в долине р. Бай-Сют концом уюкской, началом шурмакской культуры (III–II вв. до н. э.), что не противоречит нашим данным.

В долинах рр. Бурен-Хем, Хопто можно наблюдать следы, на наш взгляд, небольших домниц, ранее возвышающихся над поверхностью земли, где производились первые опыты получения расплавленного высокоуглеродистого железа (выплавка чугуна<sup>1</sup>).

Возможно, это был тот первый чугун, который при остывании не ковался и которому ещё не находили применения, он считался отходом производства. Большое количество такого металла было брошено и крупные чугунные болванки можно увидеть и в настоящее время на эродированных участках долины р. Бурен-Хем.

**ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЖЕЛЕЗНЫХ ШЛАКОВ.** Химический анализ шлаков из печей № 1, 2, 3, 4 подтверждает выплавку железа (табл. 2). Интересным результатом химического анализа одной из проб плавильной печи № 4 является присутствие в железном сплаве олова (5,4%, проба 8). На территории Тувы известно всего одно небольшое месторождение олова и несколько небольших проявлений, расположенных у южной границы Тувы. Присутствие олова в железных сплавах позволяет предполагать экспериментальные работы древних металлургов — добавки олова (по аналогии с бронзой) в железные сплавы для улучшения качества полученного металла. Возможно, олово в шлак попало в результате переплавки комплексных оловосодержащих руд месторождения Тардан (Прудников, Прудникова, 2015).

Химический анализ шлаков из печей № 1–4 позволяет предположить, что источником руд для выплавки железа служили гематит-магнетитовые руды месторождения Тардан. Окисленные сульфидные медные руды золотых рудопоявлений Копто, жила Чудская и Соруглуг-Хем, видимо, служили источником для выплавки медных руд, печи которых обнаружены в долинах рек Бай-Сют и Кызыл-Торг (Сунчугашев, 1969).

Таблица 2. Химический состав образцов древних железных шлаков

Горнорудный район	№ печи	№ пробы	Содержание элементов, мас. %											
			Fe	O	C	Si	Ca	Al	Na	Mn	Mg	K	Sn	S
Долина р. Бай-Сют	1	1	68,9	21,2	–	4,2	4,3	1,3	–	–	–	–	–	–
		2	13,2	1,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	13,8
	2	3	63,7	13,3	–	16,9	3,7	2,4	–	–	–	–	–	–
		4	82,5	7,6	–	7,0	2,1	0,8	–	–	–	–	–	–
	3	5	44,9	28,6	–	13,2	8,9	2,2	–	–	0,7	1,5	–	–
		6	28,3	49,6	–	9,7	11,6	0,3	–	–	0,5	–	–	–
Долина р. Копто	4	7	35,2	21,4	33,0	3,0	3,4	0,7	–	1,8	0,4	–	–	1,1
		8	35,7	24,7	–	14,8	13,8	4,2	–	–	–	1,5	5,4	–

Примечание. Прочерк — не обнаружено. Анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе Hitachi EM-1000 в химической лаборатории ТувИКОПР СО РАН (Кызыл), аналитик Е.Н. Тимошенко.

Ландшафтные наблюдения, проводимые на объекте древнего железорудного производства долины р. Бай-Сют в районе старательских отработок золота, показали, что простые сырודутные горны модифицировались в крупные плавильные объекты.

**ПОСЕЛЕНИЕ ДРЕВНИХ МЕТАЛЛУРГОВ долины р. ЭЭРБЕК (КАТЫЛЫГ 5).** Долина р. Эрбек приурочена к полю развития юрских угленосных отложений западного

<sup>1</sup> Вследствие усовершенствования процесса производства железа (переслаивание руды и угля в горне) древние металлурги сумели получить не только крицу, но и расплавленный металл, который легко можно было извлечь из печи. Но застывший при выходе из печи жидкий металл оказался лишённым природных свойств железа: он не ковался, не сваривался, из него нельзя было сделать прочных инструментов, гибкого и острого оружия. Это был чугун (Пешкин, 1955, с. 15). С чугуном вначале не знали, что делать и поэтому он шёл в отвал.

фланга Улуг-Хемской впадины. В средней своей части река пересекает антиклинальную складку терригенных отложений нижнего карбона и в верховьях через Саяно-Тувинский региональный разлом уходит в поле развития осадочных девонских образований, формирующих Уюкский хребет. В средней и нижней частях долины известны месторождения каменных углей и выходы его на поверхность, а также проявления озокерита — природного нефтяного битума. Рудные проявления (Cu, Fe) в бассейне реки неизвестны.

Долина р. Эрбек, правый непересыхающий приток р. Улуг-Хем, с древнейших времён была хорошо заселена. В долине находится большое количество курганов, датируемых предскифским, скифским временем, а также временем хунну, известны курганы тюрков и кыргызов — во все исторические эпохи люди обживали эту территорию (Семёнов, 2012).

В верховье р. Эрбек в таёжной зоне археологами обнаружено городище Катылыг 5 — памятник кокзельской археологической культуры, датируемый второй половиной III, первой половиной IV вв. н.э. Это первое изучаемое поселение данной культуры. До сих пор кокзельская археологическая культура была известна по погребальным и ритуальным памятникам (Садыков, 2015).

Городище представляет кольцевое сооружение, срезанное долиной реки, окружённое двумя валами и рвом между ними (фото 5). Диаметр городища около 60 м.

К настоящему времени основная площадь городища раскопана. На этой площади зафиксированы многочисленные металлургические горны, что говорит о роде деятельности населения (Садыков, 2017). Городище приурочено к полю развития достаточно мощной лёссовидной толщи, присутствие которой является, по нашему мнению, основной причиной расположения металлургических объектов на этой местности. В нижней части долины рыхлые отложения представлены щебнистыми отложениями, не пригодными для строительства плавильных печей.



Фото 5. Поселение Катылыг 5 (III–IV вв.) (фото Т.Н. Прудниковой, 2015)

Как было сказано выше, железные руды в ближайшем окружении городища отсутствуют. Руда сюда привозилась, вероятно, с проявлений железных руд бассейна р. Ондум (барит-гематит-магнетитовые руды проявления «Медное»), что может подтверждаться высоким содержанием бария в составе катылыгских шлаков (табл. 3).

Таблица 3. Химический состав образцов железных шлаков долины р. Эрбек

Номер пробы	Содержание элементов, мас. %							
	Fe	O	Si	Ca	Al	Ba	S	Σ
13058	73,74	8,41	15,09	2,76	–	–	–	100,00
13060	20,90	15,29	3,08	–	0,64	45,16	14,93	100,00

Примечание. Прочерк — не обнаружено. Анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе Hitachi EM-1000 в химической лаборатории ТувикОПР СО РАН (Кызыл), аналитик Е.Н. Тимошенко.

В химическом составе образцов железных выплавов в кладе уйгурской крепости Пор-Бажын (VIII–IX вв.) обнаружено высокое содержание марганца, хрома, никеля, что предполагает использование древними металлургами различных источников железных руд или искусственное легирование (*табл. 4, фото 6*).

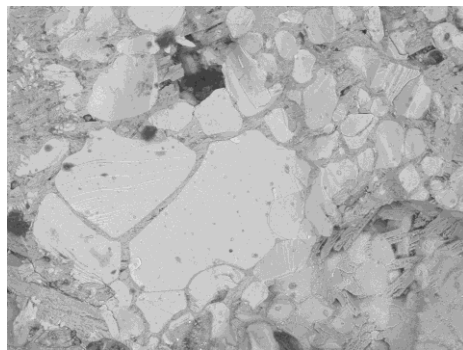
**Таблица 4. Химический состав образцов железного клада крепости Пор-Бажын**  
(образцы взяты из фондов национального музея Республики Тыва)

Номер пробы	Содержание элементов, мас. %											
	Fe	O	Si	Ca	Al	Mn	Mg	Cr	Ni	S	C	Σ
12947	45,23	10,33	13,86	2,28	2,26	16,38	2,03	–	–	–	7,62	100,00
12992	92,86	1,71	0,41	–	0,94	–	–	–	–	–	4,08	100,00
12952	95,99	4,01	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100,00
12997	79,22	2,36	–	–	–	18,42	–	–	–	–	–	100,00
12975	61,73	–	–	–	–	–	–	13,27	10,90	1,28	12,82	100,00

Примечание. Прочерк — не обнаружено. Анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе Hitachi EM-1000 в химической лаборатории ТувИКОПР СО РАН (Кызыл).  
Аналитик Е.Н. Тимошенко.



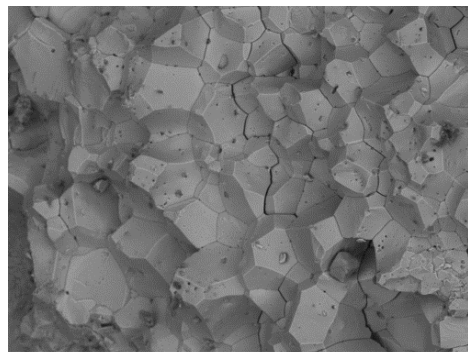
TM-1000\_12963 2016.11.22 13:55 L D2,3 x150 500 um



TM-1000\_12978 2016.11.22 15:21 L D7,6 x300 300 um

**Фото 6. Микрофотографии внутренней структуры образцов железа Пор-Бажынского клада**

Согласно исследованиям химического состава железных предметов из фондов Национального музея, в образцах стрел времени енисейских кыргызов присутствует феррит, что свидетельствует о получении низкоуглеродистого железа (стали). На микрофотографии внутренней структуры стрелы равноостный феррит (обр. 24206), твёрдый раствор углерода в железе (углерода около 0,02 %). Микроструктура является типичной для очень низкоуглеродистой стали (*фото 7*) (Прудникова, Сат, 2020).



TM-1000\_24206 2020.02.28 10:14 L D6,7 x800 100 um

КП 11523/2 Стрела Древ кыргызы

**Фото 7. Внутренняя микроструктура железной стрелы (время енисейских кыргызов)**

Случайные находки артефактов с элементами латунных вставок, обломков предметов из латуни, свинцово-медноцинковых сплавов позволяют предполагать возможное использование полиметаллических руд (Прудникова, Прудников, 2016 б; *табл. 5*). Полиметаллическое оруденение в Туве достаточно разнообразно, это скарновая, жильная, стратиформная, колчеданно-полиметаллическая рудные формации.

Таблица 5. Химический состав обломков латунных предметов  
(долина р. Тес-Хем, застава Шара-Сур (Тува); пос. Тес, Завхан (Монголия))

Номер пробы	Содержание элементов, мас. %												
	Al	O	Ca	C	Fe	Si	P	Cu	Pb	Zn	Sn	S	Σ
13030	–	–	–	–	–	–	–	77,60	–	22,40	–	–	100,00
13031	1,18	–	–	–	–	–	–	22,05	58,84	17,93	–	–	100,00
13032	1,51	–	–	–	–	–	–	31,68	45,13	21,68	–	–	100,00
13033	–	–	–	–	–	–	–	62,69	–	37,31	–	–	100,00
13029	1,91	19,98	16,83	15,43	8,64	5,21	1,54	13,45	–	17,01	–	–	100,00
13036	–	–	–	–	–	–	–	22,16	77,84	–	–	–	100,00
13038	–	–	–	–	–	–	–	82,90	11,54	–	5,55	–	100,00
13037	–	–	–	–	7,38	–	–	81,93	–	–	7,48	3,21	100,00

Примечание. Прочерк — не обнаружено. Анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе Hitachi EM-1000 в химической лаборатории ТувИКОПР СО РАН (Кызыл), аналитик Е.Н. Тимошенко.

Освоение железоделательного производства в соседней с Тувой Минусинской котловине несколько отставало. В её горном обрамлении, на юго-западе Хакасии и Горной Шории, находится ряд медных месторождений, значительная часть которых имеет промышленное значение, эти территории известны коренными и россыпными месторождениями золота. А в верховьях р. Таймет, правом притоке р. Кондомы, находится уникальный геологический объект минералогического профиля — Тайметское месторождение самородной меди. Месторождение представлено вкрапленностью и прожилками самородной меди, халькозина, борнита, халькопирита, ковеллина, куприта, малахита в гематитизированных базальтах и их туфах. Среднее содержание меди в рудных телах 0,9–0,99 % с достаточно высокой концентрацией серебра. Здесь встречаются медные самородки гигантских размеров и весом до нескольких тонн. Залежи в Верхнем Таймете относятся к рудопроявлениям группы Верхней Кондомы, протянувшимися на 40 км. В рудных зонах присутствует также Pb, Zn, Ni, Co и др. По геологическим запасам и обстоятельствам возникновения месторождение Таймет является в Евразии явлением уникальным и весьма похожим на богатейшие залежи меди Верхнего озера в США (Синяков, Чичкова, 1961).

Яркие медные минералы, золотые самородки (присутствие в ближайшем окружении месторождения Таймет золотых россыпей, а также коренных месторождений золота — Кайзасская и Мрас-Сукская группы, россыпи и коренные месторождения в бассейне р. Лебедь, золотые россыпи долины р. Таймет), не могли быть не замечены древними жителями, первыми рудокопами. В афанасьевское время, начальный этап развития металлургии в Южной Сибири, начали разрабатывать месторождения меди, чему, вероятно, способствовало наличие именно самородных её запасов — месторождения Таймет. Среди археологических находок афанасьевского времени появляются предметы, изготовленные из чистой меди. Для андроновской эпохи характерно появление большого количества медных изделий (кинжалы, кельты, наконечники копий; медные полые браслеты, бляшки-нашивки; подвески, медные, покрытые тонкими листиками золота височные кольца и др.). Карасугкая культура тоже изобилует медными предметами (Теплоухов, 1929; Хаврин, 2008).

Жители Минусинской котловины не спешили с переходом к использованию железа. Причина, вероятно, заключалась в больших ресурсах медных руд и, конечно же, самородной меди, которая была основополагающей в развитии культур энеолита и эпохи бронзы. Медные месторождения создали условия для длительного развития бронзолитейного производства. Племена тагарской культуры достигли больших успехов в развитии бронзовой металлургии и металлообработки.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАМЕННОГО УГЛЯ.** Помимо рудных месторождений Тува богата каустобиолитами. В мезозойских отложениях Улуг-Хемской впадины присутствуют пласты высококачественного каменного угля.

Во время ландшафтных наблюдений, проводимых в районе Каа-Хемского угольного разреза, на большой площади были зафиксированы предметы каменной индустрии, многочисленные обломки разнообразной древней керамики, изделия из металла — была обнаружена многослойная древняя стоянка человека (Прудникова Т.Н., Прудникова А.С., 2008). Артефакты по предварительному определению сотрудников Музея антропологии и этнографии РАН, а также Государственного Эрмитажа (Санкт-Петербург), имеют возраст от неолита до раннего железа.

Важно отметить присутствие на доступном расстоянии от выходов углей, а также древней стоянки, проявлений медных руд и древних их отработок (Ондумская группа, месторождение Чараш).

На древней стоянке была обнаружена мастерская по переработке медной руды. На песчаном раздуве вместе с рудными обломками присутствовали рудотёрка, пест для перетиранья руды, большое количество обломков разнообразной керамики (фото 8, 9). Здесь же были обнаружены металлические изделия: ножи, гвозди, бляхи, наконечники стрел, всплески меди, бусины из искусственного сплава. Вместе с артефактами находилась разложившаяся костная масса, часто обожжённая. На всей площади стоянки следы древесного угля не были обнаружены.



Фото 8. Обломки медной руды и артефакты, обнаруженные в пределах Каа-Хемского месторождения каменного угля (фото Т.Н. Прудниковой, 2007)

В мастерской, вероятно, производилась подготовка руды к плавке. Здесь, по мнению авторов, присутствуют обломки примитивных устройств (барабанов) для перетиранья руды.

Обломки каменных рудотёрок, медная руда были обнаружены также в непосредственной близости от выходов углей, уничтоженных в настоящее время добычными работами. Эти факты дают возможность предполагать использование каменного угля при плавке.

Так как уголь при выходе на поверхность самовозгорается, можно предположить использование угля для обогрева жилищ, приготовления пищи. На южном фланге месторождения на террасе бывшего водотока вместе с каменными артефактами и керамикой архаичного типа присутствуют обломки обожжённых углей. Дальнейшие ландшафтные исследования в районе угольного разреза, сосредоточение максимума артефактов вблизи угольных пластов, позволили говорить о большой заселённости этой территории. Тесное скопление артефактов вокруг выходов угля, на наш взгляд, не может объясняться случайностью.

В центральной части и на южном фланге Улуг-Хемской впадины известны средневековые угольные копи в районах Межегейского и Элегестского месторождений каменных углей. За пределами угленосных отложений на хребте Танну-Ола присут-

ствуют многочисленные проявления и месторождения медных, золотых и железных руд. Следы горно-металлургического производства известны вблизи угольных месторождений в средневековых городищах в долине р. Элегест и её притоках, а также почти во всех уйгурских городищах.



Фото 9. Артефакты, обнаруженные в пределах Каа-Хемского месторождения каменного угля (фото Т.Н. Прудниковой, 2007)

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Географическое положение Тувы, присутствие месторождений и многочисленных проявлений меди позволило активно развиваться региону в эпоху бронзы, способствовало формированию мастеров-металлургов, положивших начало звериного стиля в металлопластике, создававших великолепные образцы предметов быта и военного снаряжения. Не растроченные ещё ресурсы самородного золота способствовали созданию шедевров материальной культуры, атрибутов скифской власти.

В VII–III вв. до н. э. медь постепенно стала вытесняться более распространённым в Туве железом. В начале I тысячелетия н. э. добыча и плавка железа становится доминирующим в древнем горнорудном производстве. Следы этой деятельности (древние выработки, плавильни) можно встретить во многих районах Тувы.

Согласно радиоуглеродному датированию, можно утверждать, что важным этапом в развитии горнорудного производства в Туве является время хунну. В гунно-сарматскую эпоху прерывается процесс исторического развития местных южно-сибирских племён, происходит сложное видоизменение этнического состава населения, а также трансформация социальной и экономической структуры местного общества, сложение новых общественных и этнических взаимоотношений.

Железоплавильное производство активно развивалось как на рубеже нашей эры, так и в раннем средневековье и классическом средневековье. Все военные походы кочевников сопровождались всплесками железоплавильного производства, необходимого для создания высококачественного оружия, которое было одним из источников их побед.

Горнорудное производство, тем не менее, оказало мощное негативное воздействие на окружающую среду. Первоначальные находки руд повлекли за собой выжигание участков леса, необходимых как для добычи руды, так и для поиска новых рудных объектов. Ландшафтные наблюдения в долине р. Он-Кажаа (Хову-Аксынское рудное поле) показывают, что такое выжигание имело площадное распространение, под современным почвенно-растительным покровом на больших пространствах присутствует обуглённый горизонт. Лесная растительность на таких поверхностях не восстановлена.



Большое количество леса было сведено для переработки его в древесный уголь, необходимый для плавки металла. Находки древних шлаков с древесным углём среди развееванных песков Улуг-Хемской впадины (массив Шолу, палеостоянка Онгачи) предполагают присутствие здесь лесных массивов в прошлом. Сведение леса повлекло изменение гидрологического режима, понижение уровня грунтовых вод, формирование пустынных ландшафтов.



Фото 10. Сухостепные ландшафты долины р. Ондум (фото Т.Н. Прудниковой, 2010)

медных и железных руд на хребте Танну-Ола, очень важного орографического элемента, отделяющего центральную Туву от пустынных территорий Центральной Азии, также явилась причиной массового сведения леса, последующим понижением уровня грунтовых вод. Изменение гидрологического режима привело к иссушению прилегающей к хребту территории, высыханию источника магистрального оросительного канала долины р. Дурген, (фото 11). Уменьшился сток и других рек, стекающих с хребта.

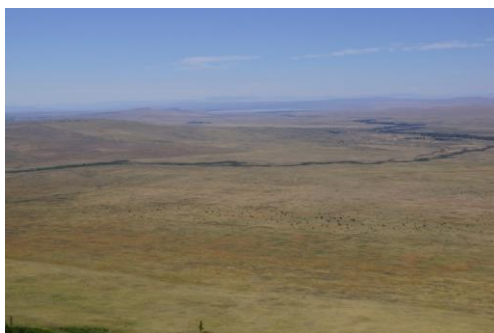


Фото 11. Сухое русло канала, протягивающегося от р. Дурген до истоков р. Хадын (фото Т.Н. Прудниковой, 2016)

Сформированный литейным производством безлесный микро рельеф с высоким содержанием  $C_{орг}$  в долинах Восточно-Тувинского нагорья (техногенные ландшафты), тем не менее, оказался благоприятным для закрепления богатой степной растительности. Присутствие более развитого лесного покрова в прошлом подтверждается результатами карпологических анализов погребённых почв в долине р. Ондум (фото 10) (Прудникова, Кошкарова, 2019).

Разработка в древности многочисленных проявлений золотых,

Комплексное исследование древнего горнорудного дела Тувы требует своего продолжения. Отдельные объекты древней металлургии и сопутствующего ему земледелия, такие, как долина р. Ондум, можно рассматривать, как территорию, нуждающуюся в ведении заповедного режима, с целью сохранения и изучения, как археологических памятников, так и геосистем.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: Грант № 20-05-00605 А и в рамках базового проекта Ту-ВИКОПР СО РАН № АААА-А17-117072710021-1*

## ЛИТЕРАТУРА

Водясов Е.В., Зайцева О.В. Древнейшие памятники чёрной металлургии в горном Алтае: новые данные из долины Юстыд // Сибирские исторические исследования. – 2020. – № 2. – С. 126–147.

Геологическая карта СССР м-ба 1 : 200 000. Серия Западно-Саянская. Лист М–46–V: Объяснительная записка. – М.: Недра, 1966. – 84 с.

- Зайков В.В., Чугунов К.В., Юминов А.М., Зайкова Е.В., Котляров В.А.* Состав золотых изделий из погребально-поминального комплекса Аржан-2 (Тува) и вероятные источники металла // *Геоархеология и археологическая минералогия.* – Миасс: ИМин УрО РАН, 2015. – С. 142–149.
- Кызласов Л.Р.* История Тувы в средние века. – М.: МГУ, 1969. – 212 с.
- Кызласов Л.Р.* Древняя Тува / Рец.: В.Л. Янин, Г.А. Федоров-Давыдов. – М.: МГУ, 1979. – 208 с.
- Кызласов Л.Р.* К истории карасукской металлургии // *Российская археология.* – 1993. – № 3. – С. 43–49.
- Кызласов Л.Р.* Клад земледельческих орудий с надписями XIII века на верхнем Енисее // *Древности Алтая. Известия лаборатории археологии: Межвузовский сб. науч. тр., посвящ. памяти А.В. Исова. Вып. 8 / Отв. ред. В.И. Соёнов.* – Горно-Алтайск: ГАГУ, 2002. – С. 73–88.
- Металлургия древней Руси* [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://voprosik.net/metallurgiya-drevnej-rusi>, свободный.
- Пешкин И.С.* Как рождается сталь. – М.: Детиздат, 1955. – 168 с.
- Попов В.А.* О древнем горнорудном промысле в Туве // *Металлогения древних и современных океанов.* – Миасс, ИМин УрО РАН, 2000. – С. 24–28.
- Попов В.А., Монгуш А.А., Аюнова О.Д.* Горно-металлургическое производство в древней Туве (предварительные итоги работ 2004 г.) // *Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества: Науч. тр. ТувИКОПР СО РАН / Отв. ред. В.И. Лебедев.* – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2007. – С. 208–227.
- Прудникова Т.Н.* Ландшафты Чаа-Хольской котловины как пример антропогенных катастроф // *Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества: Науч. тр. ТувИКОПР СО РАН / Отв. ред. докт. геол. мин. наук В.И. Лебедев.* – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2004. – С. 176–178.
- Прудникова Т.Н., Прудникова А.С.* Палеогеографические загадки Центрально-Тувинской котловины — углекопы эпохи бронзы в Туве? // *Номо Eurasicus в глубинах и пространствах истории: Материалы Всерос. науч. конф., посвящ. 100-летию академика А.П. Окладникова (03–06.10.2008, Санкт-Петербург) / Отв. ред. Е.А. Окладникова.* – СПб.: Астерион, 2008. – С. 142–145.
- Прудников С.Г., Прудникова Т.Н.* Копто-Байсютский горно-металлургический район древней Тувы // *Успехи современного естествознания.* – 2015. – № 12. – С. 164–168.
- Прудникова Т.Н., Прудников С.Г.* Долина р. Ондум — территория древних мастеров и земледельцев // *Успехи современной науки и образования.* – 2016 а. – Т. 8. – № 11. – С. 72–75.
- Прудникова Т.Н., Прудников С.Г.* Находки древней латуни в Убсунурской котловине // *Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Эколого-экономические проблемы природопользования: Науч. тр. ТувИКОПР СО РАН: Вып. 14 / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев.* – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2016 б. – С. 145–150.
- Прудникова Т.Н., Кошкарлова В.Л.* Результаты палеокарпологических исследований в верховьях Енисея (на примере древних агроландшафтов долин рек Ондум и Бай-Сют) // *Российский палеоботанический журн.* – 2019. – Т. 19. – С. 9–16.
- Прудникова Т.Н., Сам С.В.* Особенности химического состава железных предметов из фондов Национального музея им. Алдан Маадыр Республики Тыва // *Природные ресурсы, среда и общество: Электрон. науч. журн. [Электрон. ресурс].* – 2020. – Вып. 4 (8). – С. 67–72. – Режим доступа: <http://tikopr-journal.ru/images/2020/04/ART/10.pdf>, свободный. – DOI: 10.24411/2658-4441-2020-10039.
- Садыхов Т.Р.* Катлыгы 5 — городище кокзельской культуры // *Актуальные вопросы археологии и этнологии Центральной Азии: Материалы Междунар. науч. конф. (07–08.04.2015, Улан-Удэ) / Отв. ред. Б.В. Базаров.* – Иркутск: Отгиск, 2015. – С. 286–295.
- Садыхов Т.Р.* Следы бытовых и хозяйственных практик на городище Катлыгы 5 в Центральной Туве // *Известия лаборатории древних технологий.* – 2017. – Т. 13. – № 3. – С. 19–29.
- Семенов В.А.* Археологические памятники правобережья Тувы // *Новые исследования Тувы [Электрон. ресурс].* – 2012. – № 4. – С. 119–124. – Режим доступа: <https://nit.tuva.asia/nit/article/view/290/571>, свободный.

- Синяков В.И., Чичкова Т.А. Крупная плита самородной меди из Горной Шории // ЗВМО. – 1961. – Т. 90. – № 3. – С. 282.
- Сунчугашев Я.И. Горное дело и выплавка металлов в древней Туве / Отв. ред. Л.Р. Кызласов. – М.: Наука, 1969. – 140 с.
- Сунчугашев Я.И. Древняя металлургия Хакасии: Эпоха железа / Отв. ред. Л.Р. Кызласов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. – 192 с.
- Теплоухов С.А. Опыт классификации древних металлических культур Минусинского края // Материалы по этнографии. – 1929. – Т. 4, вып. 2. – С. 41–62.
- Хаврин С.В. Окуневские бронзы // Проблемы изучения окуневской культуры: Тез. докл. конф. (04–05.05.1995, Санкт-Петербург) / Отв. ред. Д.Г. Савинов. – СПб., 1995. – С. 67–70.
- Хаврин С.В. Металлургия Саяно-Алтая скифского времени // Ладога и Северная Евразия от Байкала до Ла-Манша. Организующие пути и связывающие центры: Сб. ст. VI чт. памяти А.Д. Мачинской (21–23.12.2001, Старая Ладога) / Науч. ред. Д.А. Мачинский. – СПб.: Староладожский историко-архитектурный и археологический музей-заповедник, 2002. – С. 70–71.
- Хаврин С.В. Древнейший металл Саяно-Алтая (энеолит–ранняя бронза) // Изв. АлтГУ. – 2008. – № 4–2 (60). – С. 210–216.
- Хаврин С.В. Металл эпохи хунну могильника Терезин (Тува) // Археологические вести. – 2016. – Вып. 22. – С. 105–107.
- Prudnikova T.N. Polygenetic Deposits on the Sites of Ancient Metallurgy in Central Tuva // Geography and Natural Resources. – 2012. – Vol. 33. – № 1. – P. 58–61.

## REFERENCES

- Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1 : 200 000. Seriya Zapadno-Sayanskaya. List M–46–V: Ob'yasnitel'naya zapiska* [Geological map of the USSR on a scale of 1 : 200 000. West Sayan series. Sheet M–46–V: Explanatory note]. Moscow, Nedra Publ., 1966, 84 p. (In Russ.)
- Khavrin S.V. Drevneyshiy metall Sayano-Altaya (eneolit – rannaya bronza) [The most ancient metal of the Sayan–Altai (Eneolithic – Early Bronze)]. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Altai State University*, 2008, no. 4–2 (60), pp. 210–216. (In Russ.)
- Khavrin S.V. Metall epokhi khunnu mogil'nika Terezin (Tuva) [Metal of the Xiongnu era from the Terezin burial ground (Tuva)]. *Arkheologicheskiye vesti = Archaeological news*, 2016, is. 22, pp. 105–107. (In Russ.)
- Khavrin S.V. Metallurgiya Sayano-Altaya skifskogo vremeni [Metallurgy of the Sayan–Altai of the Scythian time]. *Ladoga i Severnaya Yevraziya ot Baykala do La-Mansha. Organizuyushchiye puti i svyazyvayushchiye tsentry* [Ladoga and Northern Eurasia from Baikal to the English Channel. Organizing paths and connecting centers]: Collection of articles of VI readings in memory of A.D. Machinskaya (21–23.12.2001, Staraya Ladoga) / ed. by D.A. Machinsky. St. Petersburg: Staroladozhsky Historical, Architectural and Archaeological Museum-Reserve, 2002, pp. 70–71. (In Russ.)
- Khavrin S.V. Okunevskiy bronzy [Okunev bronzes]. *Problemy izucheniya okunevskoy kultury* [Problems of studying the Okunev culture]: Abstracts of the conference (04–05.05.1995, St. Petersburg) / ed. by D.G. Savinov. St. Petersburg, 1995, pp. 67–70. (In Russ.)
- Kyzlasov L.R. Klad zemledel'cheskikh orudiy s nadpisyami XIII veka na verkhnem Yeniseye [A treasure of agricultural tools with inscriptions of the 13th century on the upper Yenisei]. *Drevnosti Altaya. Izvestiya laboratorii arkheologii: Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov, posvyashchenny pamyati A.V. Isova* [Antiquities of Altai. Bulletin of the laboratory of archeology: Interuniversity collection of scientific papers dedicated to the memory of A.V. Isova]: Is. 8 / ed. by V.I. Soyonov. Gorno-Altaysk, GAGU Publ., 2002, pp. 73–88. (In Russ.)
- Kyzlasov L.R. *Drevnyaya Tuva* [Ancient Tuva] / reviewers: V.L. Yanin, G.A. Fedorov-Davydov. Moscow State University Publ., 1979, 208 p. (In Russ.)
- Kyzlasov L.R. *Istoriya Tuvy v sredniye veka* [History of Tuva in the Middle Ages]. Moscow State University Publ., 1969, 212 p. (In Russ.).
- Kyzlasov L.R. K istorii karasukoy metallurgii [On the history of Karasuk metallurgy]. *Rossiyskaya arkheologiya = Russian archeology*, 1993, no. 3, pp. 43–49. (In Russ.)
- Metallurgiya drevney Rusi [Metallurgy of ancient Russia]*. Available at: <http://voprosik.net/metallurgiya-drevnej-rusi>. (In Russ.)

- Peshkin I.S. *Kak rozhdayetsya stal'* [How steel is born]. Moscow: Children's publishing house, 1955, 168 p. (In Russ.)
- Popov V.A. O drevnem gornorudnom promysle v Tuve [About ancient mining in Tuva] *Metallogeniya drevnykh i sovremennykh okeanov* [Metallogeny of ancient and modern oceans]. Miass, Institute of Mineralogy UB RAS Publ., 2000, pp. 24–28. (In Russ.)
- Popov V.A., Mongush A.A., Ayunova O.D. Gorno-metallurgicheskoye proizvodstvo v drevney Tuve (predvaritel'nyye itogi rabot 2004 g.) [Mining and metallurgical production in ancient Tuva (preliminary results of work in 2004)] *Sostoyaniye i osvoyeniye prirodnykh resursov Tuvy i sopredel'nykh regionov Tsentral'noy Azii. Geoekologiya prirodnoy sredy i obshchestva* [State and development of natural resources of Tuva and adjacent regions of Central Asia. Geoecology of the natural environment and society]: Scientific works TuvIENR SB RAS / ed. by V.I. Lebedev. Kyzyl, TuvIENR SB RAS Publ., 2007, pp. 208–227. (In Russ.)
- Prudnikov S.G., Prudnikova T.N. Kopto-Baysyutskiy gorno-metallurgicheskoye rayon drevney Tuvy [Kopto-Baysyutsky mining and metallurgical region of ancient Tuva]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya = Successes of modern natural science*, 2015, no. 12, pp. 164–168. (In Russ.)
- Prudnikova T.N. Landshafty Chaa-Khol'skoy kotloviny kak primer antropogennykh katastrof [Landscapes of the Chaa-Khol basin as an example of anthropogenic catastrophes]. *Sostoyaniye i osvoyeniye prirodnykh resursov Tuvy i sopredel'nykh regionov Tsentral'noy Azii. Geoekologiya prirodnoy sredy i obshchestva* [State and development of natural resources of Tuva and adjacent regions of Central Asia. Geoecology of the natural environment and society]: Scientific works TuvIENR SB RAS / ed. by V.I. Lebedev. Kyzyl, TuvIENR SB RAS Publ., 2004, pp. 176–178. (In Russ.)
- Prudnikova T.N. Polygenetic Deposits on the Sites of Ancient Metallurgy in Central Tyva. *Geography and Natural Resources*, 2012, vol. 33, no. 1, pp. 58–61. (In Russ.)
- Prudnikova T.N., Koshkarova V.L. Rezul'taty paleokarpologicheskikh issledovaniy v verkhov'-yakh Yeniseya (na primere drevnykh agrolandshaftov dolin rek Ondum i Bay-Syut) [Results of paleocarpological studies in the upper reaches of the Yenisei (on the example of ancient agrolandscapes of the valleys of the Ondum and Bai-Syut rivers)]. *Rossiyskiy paleobotanicheskiy zhurnal = Russian paleobotanical journal*, 2019, vol. 19, pp. 9–16. (In Russ.)
- Prudnikova T.N., Prudnikov S.G. Dolina r. Ondum — territoriya drevnykh masterov i zemledel'tsev [Ondum River Valley — the territory of ancient masters and farmers]. *Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya = Successes of modern science and education*, 2016 b, vol. 8, no. 11, pp. 72–75. (In Russ.)
- Prudnikova T.N., Prudnikov S.G. Nakhodki drevney latuni v Ubsunurskoy kotlovine [Finds of ancient brass in the Ubsunur depression] *Sostoyaniye i osvoyeniye prirodnykh resursov Tuvy i sopredel'nykh regionov Tsentral'noy Azii. Ekologo-ekonomicheskiye problemy prirodopol'zovaniya* [State and exploration of natural resources of Tuva and Adjacent regions of Central Asia. Ecological-economic problems of natural resources use]: is. 14 / ed.by V.I. Lebedev. Kyzyl, TuvIENR SB RAS Publ., 2016 a, pp. 145–150. (In Russ.)
- Prudnikova T.N., Prudnikova A.S. Paleogeograficheskiye zagadki Tsentral'no-Tuvinskoy kotloviny — uglekopy epokhi bronzy v Tuve? [Paleogeographic mysteries of the Central Tuva basin – coal miners of the Bronze Age in Tuva?] *Homo Eurasicus v glubinakh i prostranstvakh istorii: Materialy Vseros* [Homo Eurasicus in the depths and spaces of history]: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference dedicated to the 100<sup>th</sup> anniversary of Academician A.P. Okladnikov (03-06.10.2008, St. Petersburg) / Resp. ed. E.A. Okladnikova. St. Petersburg, Asterion Publ., 2008, pp. 142–145. (In Russ.)
- Prudnikova T.N., Sat S.V. Osobennosti khimicheskogo sostava zheleznykh predmetov iz fondov Natsional'nogo muzeya im. Aldan Maadyr Respubliki Tyva [Features of the chemical composition of iron objects from the funds of the National museum named after Aldan Maadyr of the Republic of Tyva] *Prirodnyye resursy, sreda i obshchestvo = Natural resources, environment and society*: Electronic scientific journal, 2020, vol. 4 (8), pp. 67–72. Available at: <http://tikopr-journal.ru/images/2020/04/ART/10.pdf>, doi: 10.24411/2658-4441-2020-10039. (In Russ.)
- Sadykov T.R. Katylyg 5 — gorodishche kokel'skoy kul'tury [Katylyg 5 — a settlement of the Kokel culture] *Aktual'nyye voprosy arkheologii i etnologii Tsentral'noy Azii* [Actual problems of archeology and ethnology of Central Asia]: Proceedings of the International Scientific Conference (07–08.04.2015, Ulan-Ude) / ed. by B.V. Bazarov. Irkutsk, Ottisk Publ., 2015, pp. 286–295. (In Russ.)

- Sadykov T.R. Sledy bytovykh i khozyaystvennykh praktik na gorodishche Katalyg 5 v Tsentral'noy Tuve [Traces of household and economic practices at the Katalyg 5 settlement in Central Tuva] *Izvestiya laboratorii drevnikh tekhnologiy = News of the laboratory of ancient technologies*, 2017, vol. 13, no. 3, pp. 19–29. (In Russ.)
- Semenov V.A. Arkheologicheskiye pamyatniki pravoberezh'ya Tuvy [Archaeological monuments of the right bank of Tuva]. *Novyye issledovaniya Tuvy = The New Research of Tuva*, 2012, no. 4, pp. 119–124. Available at: <https://nit.tuva.asia/nit/article/view/290/571>. (In Russ.)
- Sinyakov V.I., Chichkova T.A. Krupnaya plita samorodnoy medi iz Gornoy Shorii [A large plate of native copper from Gornaya Shoria]. *Zapiski vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva = Notes of the All-Union Mineralogical Society*, 1961, vol. 90, no. 3, pp. 282. (In Russ.)
- Sunchugashev Ya.I. Drevnyaya metallurgiya Khakasii: Epokha zheleza [Ancient metallurgy of Khakassia: The Iron Age] / ed. by L.R. Kyzlasov. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979, 192 p. (In Russ.)
- Sunchugashev Ya.I. Gornoye delo i vyplavka metallov v drevney Tuve [Mining works and metal melting in ancient Tuva] / ed. by L.R. Kyzlasov. Moscow, Nauka Publ., 1969, 140 p. (In Russ.)
- Teploukhov S.A. Opyt klassifikatsii drevnikh metallicheskikh kul'tur Minusinskogo kraya [Experience in the classification of ancient metal cultures of the Minusinsk region]. *Materialy po etnografii = Materials on ethnography*, 1929, vol. 4, is. 2, pp. 41–62. (In Russ.)
- Vodyasov Ye.V., Zaytseva O.V. Drevneyshiye pamyatniki chornoy metallurgii v gornom Altaye: novyye dannyye iz doliny Yustyd [The earliest iron melting monuments in the Altai republic: new data from the Yustyd river valley]. *Sibirskiy istoricheskiy issledovaniya = Siberian historical research*, 2020, no. 2, pp. 126–147. (In Russ.)
- Zaykov V.V., Chugunov K.V., Yuminov A.M., Zaykova Ye.V., Kotlyarov V.A. Sostav zolotykh izdeliy iz pogrebal'no-pominal'nogo kompleksa Arzhan–2 (Tuva) i veroyatnyye istochniki metalla [Composition of gold items from the burial and memorial complex Arzhan–2 (Tuva) and probable sources of metal]. *Geoarkheologiya i arkheologicheskaya mineralogiya = Geoarcheology and archaeological mineralogy*, Miass, Institute of Mineralogy UB RAS Publ., 2015, pp. 142–149. (In Russ.)