

УДК 55.902

DOI: 10.21285/2415-8739-2016-3-22-35

## ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ПОЛУЧЕНИЮ ЖЕЛЕЗА С ПОМОЩЬЮ СЫРОДУТНОГО ГОРНА

© С.В. Снопков, О.П. Зарицкий

В работе описан опыт проведения эксперимента по получению железа с помощью сыродутного горна, подобного тем, которые использовались в Приольхонье на рубеже эр. В ходе эксперимента были получены железосиликатные шлаки и крица, позволяющие вывод об условиях протекания металлургического процесса.

*Ключевые слова:* Приольхонье, ранний железный век, эксперимент, древние технологии получения железа, сыродутный горн.

**Формат цитирования:** Снопков С.В., Зарицкий О.П. Эксперимент по получению железа с помощью сыродутного горна // Известия Лаборатории древних технологий. 2016. № 3. С. 22–35. DOI: 10.21285/2415-8739-2016-3-22-35

## EXPERIMENT WITH PRODUCING IRON FORGE

© S.V. Snopkov, O.P. Zaritsky

The paper describes the experience of the experiment to obtain iron by means a bugle, like those used in the Olkhon region at the turn of the eras. The ferriferous slags and bloom, allow the conclusion that the conditions of flow of the metallurgical process were obtained during the experiment.

*Keywords:* Olkhon, the early Iron Age, the experiment, the ancient technology of iron bugle

**Citation format:** Snopkov S.V., Zaritsky O.P. Experiment with Producing Iron Forge. *Reports of the Laboratory of Ancient Technologies*. 2016. No. 3. Pp. 22–35. (In Russian) DOI: 10.21285/2415-8739-2016-3-22-35

### Роль экспериментальной археологии в изучении древних технологий

Современный уровень археологических исследований требует комплексного подхода к анализу источников информации о прошлом человечества, поэтому в арсенале археологов прочное место заняли естественнонаучные и экспериментальные методы исследования.

Основной целью экспериментальной археологии является создание опытным путем объектов, подобных археологическим памятникам. Эксперимент помогает понять, каким образом были созданы те или иные артефакты, а также изучать способы производства и применения орудий труда и предметов быта. Часто подобные эксперименты проводятся для определения правомерности предложенных археологами ин-

терпретаций, поэтому воспроизводимые опыты с элементами материальной культуры являются важным методом проверки выдвигаемых теорий (Малинова, 1988. С. 12–22).

Получение точных копий орудий труда и предметов быта с помощью экспериментов вовсе не означает, что используемые современными экспериментаторами технологии соответствуют оригинальным (древним). Экспериментальная археология редко может дать окончательные однозначные ответы – она лишь исследует возможность применения воспроизводимых технологий в древности. Многие виды деятельности древних людей не оставили после себя, либо оставили ничтожно мало, материальных следов. В этих условиях эксперименты дают богатую информацию для интерпрета-

ции, несмотря на определенную неоднозначность их результатов (Коробкова, 1975. С. 44–49).

В качестве общих правил экспериментальной археологии обычно принимаются следующие: 1) материалы должны быть именно такими, которые были доступны в данном месте определенному древнему сообществу; 2) методы, используемые в эксперименте, должны соответствовать технологическим возможностям древнего сообщества.

Экспериментальные исследования внесли немалую лепту в реконструкцию технологий получения металлов и их обработки. Исследования наиболее сложных вопросов археометаллургии, включая технику добычи разного типа руд, минералогические и технологические особенности рудного сырья, способы и приемы обогащения рудных минералов, технику и технологию получения металлов, широко используют экспериментальные и естественнонаучные методы. В изучении данной проблематики используются сложные лабораторные физико-химические и геологические методы, разного рода экспериментальные работы, в том числе метод физического моделирования (Колчин, 1965. С. 196–215).

Эксперименты по практическому получению железа с помощью сыродутного горна были проведены авторами в Приольхонье (западное Прибайкалье) летом 2014 и 2015 гг. Целью этих экспериментов была реконструкция технологических процессов, которые использовали в древности жители Прибайкалья.

### **Технология получения железа в древности**

Технологии получения и обработки металла являются одними из важнейших факторов, повлиявших на развитие цивилизации. Изобретение человеком способа получения железа стало одним из эпохальных событий в истории человечества. Обладание технологиями получения железа и изготовления железных орудий труда резко изменило возможности человека.

Наиболее древним способом получения железа является химическое восстановле-

ние чистого металла из окислов железа. Для этого использовались разнообразные по форме и размерам сыродутные железовосстановительные горны. Сыродутным горн назывался из-за того, что в него подавали («дули») холодный («сырой») атмосферный воздух. В Европе подобные горны использовались вплоть до 1850-х г., в Северной Америке – до 1890-х г., а в Юго-Восточной Азии и Центральной Африке – даже до середины XX века. Как правило, сыродутный горн имел форму большого, толстостенного сосуда с отверстиями для засыпания руды и угля, подачи воздуха (сопло), выхода продуктов сгорания и стекания шлака. В зависимости от того, где сооружался горн, – ниже или выше поверхности земли – выделяют два типа сыродутных горнов: ямные и наземные. Встречаются горны, рабочая камера которых имеет как подземную, так и наземную конструкцию (Беккерт, 1980. С. 18–21).

Для получения железа с помощью сыродутного горна в качестве топлива использовался древесный уголь, который получали при горении древесины в условиях слабого доступа кислорода. В качестве железной руды обычно использовали окислы железа: гематит, лимонит, магнетит, бурый железняк (смесь гидроокислов железа). Железная руда сначала измельчалась, затем прокаливалась для удаления влаги.

При большом разнообразии конструкций сыродутных горнов, технологическая схема получения железа была похожей. Древесный уголь укладывался в горн послойно с измельченной рудой. Объем руды, в зависимости от размера и устройства горна, составлял от единиц до десятков кг. После закладки топлива и руды уголь поджигался. При температуре более 500 °С под действием оксида углерода (угарного газа) происходило химическое восстановление железа. При температуре более 700–800 °С из рудных примесей происходило образование железосиликатного шлака. Зерна чистого восстановленного железа, соединяясь, превращались в пористую массу – крицу. Шлак выпускался из горна через специальное отверстие, и затем из горна доставалась крица. Крица заново нагревалась, проковывалась и использовалась для изготов-

ления железных изделий (Беккерт, 1980. С. 18–21).

По всему миру обнаружено большое количество металлургических центров, в которых в древности получали и обрабатывали железо. В Прибайкалье территорией, где в больших масштабах происходило получение железа в древности, является побережье пролива Малое море озера Байкал (Приольхонье и остров Ольхон) (Снопков, 2012б. С. 241–246).

Вопрос о масштабах и технологии получения железа древними жителями Приольхонья является одним из интереснейших, но в то же время малоизученным вопросом археологии Прибайкалья.

### **Древние металлургические центры Приольхонья**

Комплексные исследования металлургических центров по получению железа в Прибайкалье были начаты в 1997 г. под руководством профессора ИРНИТУ, доктора исторических наук А.В. Харинского. Участниками данного научного проекта, который продолжает действовать до настоящего времени, являются студенты ИРНИТУ и ИГУ, школьники образовательных учреждений Иркутской области, специалисты научных учреждений городов: Иркутск, Москва, Новосибирск, Саппоро (Япония). За этот период следы металлургической деятельности были обнаружены во многих местах Прибайкалья: на острове Ольхон и в Приольхонье, на реках Иркут, Белая, Куда и других местах Приангарья. Проведенные исследования позволили впервые получить общие представления о технологии получения железа в регионе.

Наиболее высокая концентрация следов железоделательной деятельности обнаружена на западном побережье Малого моря озера Байкал. Здесь на участке побережья Байкала, протяженностью около 40 км обнаружено несколько десятков мест, где в древности происходило получение и обработка железа.

В ходе археологических исследований было установлено, что древними жителями Приольхонья использовалось несколько типов сыродутных горнов, наиболее древ-

ними из которых являются ямные. Рабочие камеры этих горнов имеют уникальную воронкообразную форму (Харинский, 2004. С. 167–187).

Горны сооружались в грунте на краю искусственной предгорновой ямы, достигающей глубины 1,5–2 м. Предгорновые ямы имели разнообразную форму: изометричную, овальную, траншееобразную; две ямы, соединенные проходом; и др. Вокруг ямы располагалось от 1 до 9 горнов.

Рабочая камера горна имела форму перевернутой наклонной треугольной пирамиды с закругленными ребрами. Нижнее отверстие горна выходило в яму и закрывалось куполообразным, каменно-кирпичным сооружением с отверстиями для поддува воздуха и каналом для вытекания шлаков. Выходящее на дневную поверхность верхнее отверстие горнов имело треугольную форму с закругленными углами. Нижняя стенка рабочей камеры представляла собой наклонную плоскость, опускающуюся в предгорновую яму под углом 45–55°. Объем рабочих камер горнов изменялся от 0,05 до 0,35 м<sup>3</sup>.

Возраст подобных металлургических центров относится к концу I тыс. до н. э. – началу I тыс. н. э. Сравнение приольхонских горнов с известными показывает, что они по своему строению наиболее близки к горнам, обнаруженным в Хакасии (Таштыкская эпоха, I в. до н. э. – V в. н. э.) (Снопков, 2012б. С. 241–246; Сунчугашев, 1979. С. 68–81).

Работы по изучению памятников древней металлургии в Приольхонье продолжаются. В 2015 г. в экспедиции, организованной Лабораторией археологии, палеоэкологии и систем жизнедеятельности народов Северной Азии ИРНИТУ и Ассоциацией детских краеведческих объединений Иркутской области, принимали активное участие школьники образовательных учреждений Иркутской области. Проведение экспедиции было поддержано Иркутским областным отделением Русского географического общества и ОАО «Байкальский банк Сбербанка России». Одной из задач экспедиции было проведение эксперимента по практическому получению железа, с по-

мощью сыродутного горна, подобного используемым в Прибайкалье на рубеже эр.

### Сооружение сыродутного горна

Сыродутный горн, подобный тем, которые использовались на рубеже эр в Приольхонье, сооружался следующим образом. В плотном суглинке была выкопана предгорновая яма размером 1,5 x 1,5 м, глубиной 1,2 м (рис. 1). В стенке ямы была сооружена рабочая камера горна в виде воронкообразной, перевернутой наклонной треугольной пирамиды с закругленными ребрами. Верхнее отверстие рабочей камеры горна имело форму равнобедренного треугольника с основанием 50 см и высотой 65 см. Нижняя фурма выходила в предгорновую яму на глубине 80 см и имела изометричную форму (рис. 2). Объем горна составил 0,05–0,06 м<sup>3</sup>.

Стенки рабочей камеры горна были футерованы глиняной обмазкой, толщиной около 2 см. Необходимость футеровки определяется физическими свойствами обожженной глины – низкая теплоемкость и высокая огнеупорность, позволяющими достигать высокой температуры и при этом сохранять стенки горна для последующего применения. Кроме того, обожженная глина обладает высокой гигроскопичностью и абсорбцией, благодаря чему водяные пары в рабочей камере горна частично поглощаются футеровкой, улучшая протекание восстановительных реакций в горне. После суточной сушки был проведен обжиг обмазки с помощью сухой травы и мелких веточек (рис. 3).

Верхняя фурма частично была перекрыта каменно-глиняной куполообразной кладкой, имеющей диаметр около 80–90 см и высоту 30 см. Для загрузки руды и угля, выхода дыма в сводовой части купола было оставлено центральное отверстие, диаметром около 30 см.

Нижняя фурма была закрыта «затвором» – каменно-глиняной кладкой. В верхней части затвора было сделано отверстие сечением около 20–30 см<sup>2</sup> для поступления воздуха в рабочую камеру горна. В нижней части затвора был сделан канал для стока шлаков, закрытый каменной пробкой.

### Подготовка эксперимента

Для проведения эксперимента требовалась подготовка основных компонентов металлургического процесса: железной руды, древесного угля и флюса.

В качестве возможных источников железных руд, которые могли использовать древние жители Приольхонья, являются следующие:

1. Гнейсы ольхонской серии (оценки возраста – от позднего архея до раннего палеозоя) и позднемел-палеогеновая кора выветривания, обогащенные бурым железняком. Бурожелезняковые залежи, состоящие из лимонита, гематита и мартита, приурочены к контактам гнейсов с кристаллическими известняками. Образование бурожелезнякового оруденения связано с инфильтрацией гидротермальных растворов в проницаемые зоны дробления и трещиноватости. В конце мела – среднего олигоцена, в условиях влажного жаркого субтропического и тропического климата, в Приольхонье сформировались линейно-площадные латерит-каолиновые коры выветривания. В этот период на участках развития инфильтрационных бурожелезняковых руд сформировались горизонтальные залежи бурых железняков коры выветривания. Рудная залежь коры выветривания чаще всего представляет россыпь бурожелезняковой гальки, состоящей либо из плотного чистого бурого железняка, либо из брекчиеобразных образований. Содержание железа в этих рудах колеблется от 12 до 61 % (Снопков, 2012. С. 10–30).

2. Другим возможным источником железа являются гнейсы Иликтинской свиты раннего протерозоя. Высокожелезистые разновидности гнейсов и продукты их выветривания, накапливающиеся в предгорных делювиальных отложениях Приморского хребта, содержат высокие концентрации магнетита (Снопков, 2012. С. 10–30).

Для эксперимента в качестве руды был использован бурый железняк гидротермально-инфильтрационного происхождения, встречающийся в гнейсах ольхонской серии. Проявление такой руды было обнаружено на сопке возле деревни Курма, в

200 м от места проведения эксперимента. На вершине сопки был разбит участок площадью 10 x 10 м, на котором был проведен сбор руды (рис. 4). Всего на поверхности грунта было собрано 13 кг руды (рис. 5). Собранная руда перед засыпкой в горн была предварительно измельчена до фракции крупного песка (рис. 6).

В качестве топлива в эксперименте использовался древесный уголь. Древние металлурги получали древесный уголь, отжигая древесину в небольших ямах в условиях недостатка кислорода. Для эксперимента был использован древесный березовый уголь, продаваемый в торговых предприятиях. Использование привезенного угля связано с тем, что территория находится на берегу Байкала, где рубка древесины запрещена.

В качестве флюса – материала, способствующего образованию шлака, использовался известняковый песок, добытый из подпочвенного слоя на участке распространения этой горной породы.

В сыродутном горне отделение пустой породы от железа возможно только путем ее расплавления, однако большинство примесей, содержащихся в руде, таких как кремнезем, глинозем и другие плавятся при очень высоких температурах (от 1700 до 2600 °С). Их плавление при более низких температурах возможно путем соединения их между собой или с каким-либо определенным веществом. Например, соединение в определенных пропорциях кремнезема и жженой извести начинает плавиться уже при температуре около 1200 °С.

В сыродутном горне известняк ( $\text{CaCO}_3$ ) разлагается на  $\text{Ca}$  и  $\text{CO}_2$ , в результате чего образуется известь, способствующая переводу силикатных примесей в жидкий шлак.

### Проведение экспериментов

Было проведено два эксперимента с использованием ямного горна. Целью экспериментов было выяснение ряда технологических особенностей металлургического процесса: необходимость поддува; форма и структура крицы, а также её расположение в горне.

1. Первый эксперимент проводился без использования принудительного поддува воздуха в рабочую камеру горна. В горн послойно была загружена шихта (смесь исходных материалов): 10 кг древесного угля, 1 кг известнякового песка и 5 кг измельченной руды. Уголь был зажжен. Воздух в рабочую камеру горна поступал через отверстие в верхней части затвора нижней фурмы. Горение продолжалось около 3 часов.

Когда интенсивность пламени в горне начала снижаться, был выбит каменный клин, закрывавший канал в затворе нижней фурмы, но вытекания шлака не произошло (рис. 7). После того как процесс горения завершился, затвор нижней фурмы был разобран, и из горна было извлечено 5,5 кг слабо спеченной рыхлой массы (рис. 8).

С помощью геофизического прибора – капнометра – было проведено измерение магнитной восприимчивости горнового материала. Магнитная восприимчивость руды, засыпаемой в горн, составляла около 0,003 милиЕд. СИ, то есть чистое железо и магнитные минералы практически отсутствуют. Магнитная восприимчивость горновой массы достигала 40–50 милиЕд. СИ. Для сравнения: извлеченный горновый материал имеет высокую концентрацию зерен чистого железа. Зерна железа хорошо видны при использовании 5-кратной лупы. Путем магнитной сепарации было выделено около 1,5 кг магнитного материала (железа), что составляет около 30 %.

2. Второй эксперимент проводился в условиях принудительного нагнетания воздуха в рабочую камеру горна (рис. 9). В горн было загружено 20 кг древесного угля, 1 кг известняковой крошки и 5 кг измельченной руды. Для нагнетания воздуха использовался бытовой пылесос, включенный в режим надува. Воздух нагнетался в объеме около 1 м<sup>3</sup>/мин. Горение угля продолжалось около 2 часов.

При снижении интенсивности горения угля затвор нижней фурмы был вскрыт. Из горна вытекло небольшое количество шлака, масса которого составила 600 г (рис. 10). После окончания процесса горения угля из рабочей камеры горна была извлечена спекшаяся масса горнового мате-

риала. Горновый материал состоял из горнового шлака, кусочков древесного угля и обмазки (рис. 11). На поверхности горнового шлака располагались кусочки крицы (сгустки восстановленного железа) (рис. 12). Масса горновых шлаков с разнообразными включениями (уголь, обмазка и др.) составила 4150 г. Уменьшение массы продуктов металлургического процесса по сравнению с массой загруженной шихты связано с выгоранием материала шихты.

Магнитная восприимчивость выпускного шлака составляет 0,5–5 милиЕд. СИ. У горновых (донных) шлаков магнитная восприимчивость изменялась в широком диапазоне – от 2 до 30 милиЕд. СИ, что говорит о неравномерном присутствии в них магнитного материала (в том числе зерен чистого железа).

Крица представляла собой пористые губкообразные удлиненные кусочки стально-серебристого цвета, размером от 1 до 7 см (рис. 12). Масса крицы составила 150 г. Магнитная восприимчивость небольших кусочков крицы составляла 80–100 милиЕд. СИ, что свидетельствует об очень высоком содержании чистого железа.

### Результаты и обсуждение

1. В ходе экспериментов было установлено, что с помощью железовосстановительных горнов, широко применявшихся в Приольхонье в начале нашей эры, получение железа в виде крицы возможно только при использовании принудительного поддува воздуха в горн. В отсутствие поддува не удается достигнуть температуры, необходимой для образования жидкого железосиликатного шлака и крицы.

2. Восстановление зерен железа под действием угарного газа происходит при достаточно низких температурах (500–800 °С), но для формирования шлака и крицы необходима высокая температура – более 900 °С. Температуры около 900 °С вполне достаточно, чтобы полностью восстановить окись железа в металлическое железо. Эксперимент № 1 наглядно продемонстрировал, что при невысоких температурах восстановление железа протекает достаточно активно, но шлаков, «впиты-

вающих в себя» все примеси, а также крицы, не происходит.

При температурах более 1000 °С происходит плавление посторонних минералов, так называемое ошлакование. В условиях сыродутного производства ошлакование кремнезема и других примесей производится закисью железа и известью. Температура, при которой начинается ошлакование, зависит от соотношения примесей, закиси железа и извести. Таким образом, часть окиси железа, восстановившись до закиси, расходуется на образование жидкого железосиликатного шлака. Другая часть окиси железа восстанавливается затем в металлическое железо. Доля окиси железа, переходящая в шлак, изменяется в широких пределах в зависимости от состава шихты и температуры в горне. Чем выше нагревается жидкий шлак, тем больше он растворяет в себе закись железа.

3. По данным ряда исследователей при температурах начала ошлакования (1000–1100 °С) восстановленные зерна железа не соединяются между собой в крицу. Образование крицы происходит при температуре не ниже 1250–1300 °С путем сваривания в одну массу большого количества зерен восстановленного железа, находящихся в твердом состоянии (Колчин, 1965. С. 196–215).

Таким образом, температура в горне во время эксперимента № 2 достигала высокого уровня, достаточного для протекания процессов сварки зерен восстановленного железа. Следует также отметить, что сваривание зерен железа в крицу происходит в условиях изменения структуры железа. Первоначально восстановленные кристаллы железа имеют кубическую объемноцентрированную решетку ( $\alpha$ -модификация Fe). При нагревании железа выше температуры 911 °С пространственная решетка кристаллов меняется – атомы перестраиваются таким образом, что элементарные ячейки приобретают кубическую гранецентрированную структуру ( $\gamma$ -модификация Fe), которая сохраняет устойчивость до температуры 1400 °С. При охлаждении железа перестройка структуры протекает в обратном порядке (Беккерт, 1980. С. 92–93).



*Рис. 1. Сооружение ямного сыродутного горна*  
*Fig. 1. Construction of the cold oxygen furnace*



*Рис. 2. Воронкообразная рабочая камера сыродутного горна*  
*Fig. 2. Funnel-like working chamber of the cold oxygen furnace*



*Рис. 3. Обжиг стенок рабочей камеры*  
*Fig. 3. Firing of the walls of working chamber*



*Рис. 4. Сбор руды на участке, площадью 100 м*  
*Fig. 4. Ore collection, square 100 m*



*Рис. 5. Бурый железняк, используемый для эксперимента*  
*Fig. 5. Ironstone used for the experiment*



*Рис. 6. Дробление руды до размера зерен крупного песка*  
*Fig. 6. Crushed of ore to the size of grains of coarse sand*



*Рис. 7. Вскрытие нижней фурмы горна в ходе эксперимента № 1*  
*Fig. 7. Opening the lower lance bugle during the experiment No. 1*



*Рис. 8. Слабоспеченный горновый материал, получившийся в ходе эксперимента № 1*  
*Fig. 8. Slowly sintered hearth material obtained in the course of the experiment No. 1*



*Рис. 9. Поддув воздуха с помощью бытового пылесоса в ходе эксперимента № 2*  
*Fig. 9. Blowing air through a domestic vacuum cleaner during the experiment No. 2*



*Рис. 10. Железосиликатный шлак, вытекший из горна в ходе эксперимента № 2*  
*Fig. 10. Ferriferous slag ejected from the horn during the experiment No. 2*



*Рис. 11. Горновый шлак, образовавшийся в ходе эксперимента № 2*  
*Fig. 11. Furnace slag formed in the course of the experiment No. 2*



*Рис. 12. Губчатое железо (крица), образовавшееся в ходе эксперимента № 2*  
*Fig. 12. Sponge iron (bloom), formed in the course of the experiment No. 2*

Во многих публикациях, описывающих происходящие в сыродутных горнах процессы, указывается, что крица образуется в нижней части рабочей камеры горна. В проведенном авторами эксперименте крица располагалась на поверхности горновых (донных) шлаков. Очевидно, что образовавшийся жидкий шлак стекал на дно печи, а восстановленные в средней части горна зерна железа по мере выгорания угля опускались вниз и сваривались в губчатую массу, образуя крицу, пропитанную некоторым количеством расплавленного шлака.

Подобное наблюдение того, что восстановленное губчатое железо осаждалось не непосредственно на дне горна, а несколько выше, отмечалось рядом исследователей (Колчин, 1965. С. 203; Малинова, 1988. С. 48).

3. Масса полученной крицы в ходе эксперимента составила всего 3 % от массы руды, загруженной в горн. В литературных источниках выход железа в сыродутном процессе указывается от 55 до 15 %. Повидимому, большая часть зерен восстановленного железа либо перешла в состав железосиликатных шлаков, либо оказалась в условиях, неблагоприятных для сваривания

с другими зёрнами, и оказалась рассеянной в горновом материале.

Причиной первого процесса является слишком интенсивный поддув и, как следствие, слишком высокая температура. Как указывалось, чем выше температура шлака, тем больше он растворяет в себе железа. Для повышения производительности металлургического процесса необходимо искать более эффективный режим поддува.

Причиной второго процесса, возможно, является недостаточный объем шихты (26 кг) для созданного горна, приведший к рассеиванию зерен железа.

4. Проведенные эксперименты по получению железа с помощью сыродутных горнов позволили выявить технологические тонкости, влияющие на эффективность металлургического процесса. Необходимо продолжить подобные эксперименты, для того чтобы определить диапазон изменения основных параметров процесса для конкретного сыродутного горна: температуры, интенсивности поддува, объема и пропорций основных компонентов шихты.

*Статья поступила 09.06.2016 г.*

*Article received 09.06.2016 г.*

### Библиографический список

Беккерт М. Мир металла. М.: Мир, 1980. 152 с.

Колчин Б.А., Круг О.Ю. Физическое моделирование сыродутного процесса производства железа // Археология и естественные науки. М.: Наука 1965. С. 196–215.

Коробкова Г.Ф. Экспериментальный метод в процедуре археологического исследования // Предмет и объект археологии и вопросы методики археологических исследований. Л.: 1975. С. 44–49.

Малинова Р., Малинова Я. Прыжок в прошлое. Эксперимент раскрывает тайны древних эпох. М.: 1988. 272 с.

Снопков С.В., Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Харинский А.В., Кожевников Н.О. Источники руды для производства железа в древности: Курминский археологический участок // Известия Лаборатории

древних технологий : сб. научный трудов / под ред. А.В.Харинского. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. Вып. 9. С. 10–30.

Снопков С.В., Харинский А.В. Металлургические горны Приольхонья // Древние культуры Монголии и Байкальской Сибири: Материалы III Международной научной конференции (Улан-Батор, 5–9 сентября 2012 г.). Улан-Батор: Изд-во Монгольского государственного университета, 2012. Вып. 3. С. 241–246.

Сунчугашев Я.И. Древняя металлургия Хакасии. Новосибирск: Наука, 1979. 191 с.

Харинский А.В., Снопков С.В. Производство железа населением Приольхонья в елгинское время // Известия Лаборатории древних технологий. Вып. 2. Иркутск: 2004. С. 167–187.

## References

- Bekkert M. *Mir metalla* [World of metal]. M.: Mir Publ. 1980. 152 p.
- Kharinskii A.V., Snopkov S.V. *Proizvodstvo zheleza naseleniem Priol'khon'ya v elginskoe vremya* [Production of iron by the population of Ol'khon district in Elga time]. *Izvestiya Laboratorii drevnikh tekhnologii* [Reports of the Laboratory of Ancient Technologies]. Irkutsk, 2004. Iss. 2. Pp. 167–187.
- Kolchin B.A., Krug O.Yu. *Fizicheskoe modelirovanie syrodutnogo protsessa proizvodstva zheleza* [Physical modelling of the cold oxygen process of the producing of iron]. *Arkheologiya i estestvennye nauki* [Archaeology and natural sciences]. Moscow, Nauka Publ. 1965. Pp. 196–215.
- Korobkova G.F. *Eksperimental'nyi metod v protsedure arkheologicheskogo issledovaniya* [Experimental method in the procedure of archaeological research]. *Predmet i ob'ekt arkheologii i voprosy metodiki arkheologicheskikh issledovaniy* [Subject and object of archaeology and the questions of methods of archaeological research]. Leningrad, 1975. Pp. 44–49.
- Malinova R., Malinova Ya. *Pryzhok v proshloe. Eksperiment raskryvaet tainy drevnikh epoch* [Leap into the Past. Experiment opens secrets of ancient epoches]. Moscow, 1988. 272 p.
- Snopkov S.V., Kharinskii A.V. *Metallurgicheskie gornyye Priol'khon'ya* [Metallurgic furnaces of Cis-Ol'khon district]. *Drevnie kul'tury Mongolii i Baikal'skoi Sibiri: Materialy III Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Ulan-Bator, 5–9 sentyabrya 2012 g.)* [Ancient Cultures of Mongolia and Baikalian Siberia: Proceedings of the International Scientific Conference (Ulan-Bator, September, 5–9, 2012)]. Ulan-Bator, Mongol'skogo gosudarstvennogo universiteta Publ. 2012. Iss. 3. Pp. 241–246.
- Snopkov S.V., Matasova G.G., Kazanskii A.Yu., Kharinskii A.V., Kozhevnikov N.O. *Istochniki rudy dlya proizvodstva zheleza v drevnosti: Kurminskii arkheologicheskii uchastok* [Ore sources for the production of iron in antiquity]. *Izvestiya Laboratorii drevnikh tekhnologii* : sb. nauchnyi trudov pod red. A.V. Kharinskogo [Reports of the Laboratory of Ancient Technologies. Volume of scientific works. Edited by A.V. Kharinsky]. Irkutsk, IrGTU Publ. 2012. Iss. 9. Pp. 10–30.
- Sunchugashev Ya.I. *Drevnyaya metallurgiya Khakassii* [Ancient metallurgy of Khakasia]. Novosibirsk, Nauka Publ. 1979. 191 p.

## Сведения об авторах

- Снопков Сергей Викторович**, кандидат геолого-минералогических наук, методист Государственного бюджетного учреждения дополнительного образования Иркутской области «Центр развития дополнительного образования детей», доцент Иркутского государственного университета, 664007, Россия, г. Иркутск, ул. Красноказахья, 9, e-mail: snopkov\_serg@mail.ru.
- Snopkov Sergei Victorovich**, PhD, Methodist of the State budget institution of additional education of the Irkutsk Region "Center of additional education for children", associate-professor of the Irkutsk State University, 9, Krasnokazachya str., Irkutsk, 664007, Russia, e-mail: snopkov\_serg@mail.ru.
- Зарицкий Олег Павлович**, учащийся Государственного бюджетного учреждения дополнительного образования Иркутской области «Центр развития дополнительного образования детей», 664007, Россия, г. Иркутск, ул. Красноказахья, 9, e-mail: zaritskyp@yandex.ru
- Zaritsky Oleg Pavlovich**, learner of the State budget institution of additional education of the Irkutsk Region "Center of additional education for children", 9, Krasnokazachya str., Irkutsk, 664007, Russia, e-mail: zaritskyp@yandex.ru