

Дегтярева А.Д., Костомарова Ю.В. Металл позднего бронзового века лесостепного Притоболья // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2011. № 1 (14). С. 30-45.

Маргулан А.Х., 2001. Сочинения: В 14 т. Т. 2. Сарыарка. Горное дело и металлургия в эпоху бронзы. Джекзган - древний и средневековый металлургический центр (городище Милюкдук) / Сост. Д.А. Маргулан. Алматы: Дайк-Пресс. – 144 с.

Рындина Н.В., Равич И.Г. О металлопроизводстве майкопских племен Северного Кавказа (по данным химико-технологических исследований) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2012. № 2 (17). С. 4-20.

Членова Н.Л. Хронология памятников карасукской эпохи. М.: Наука, 1972. 248 с.

Mei J., Xu J., Chen K., Shen L., Wang H. Recent research on early bronze metallurgy in Northwest China // Scientific research on ancient Asian metallurgy. V. 2. London: Archetype Publications Ltd., 2012. P. 35-44.

Muhly J.D. The Bronze Age Setting // The Coming of the Age of Iron. New Haven, London: Yale University Press, 1980. P. 25-68.

Thornton C.P., Lamberg-Karlovsky C.C. Tappeh Yahya und die prähistorische Metallurgie in Südostiran // (Th. Stöllner, R. Slotta, & A. Vatandoust, eds.) Persiens Antike Pracht. Bochum: Deutsches Bergbaumuseum, 2004. P. 264–273.

С.В. Снопков

*Центр развития дополнительного образования детей Иркутской области,
Иркутский государственный университет, snopkov_serg@mail.ru*

Особенности технологии получения железа в Прибайкалье по результатам исследования древних железосиликатных шлаков

Начиная с конца I тыс. до н.э., Прибайкалье являлось территорией массового получения железа. Особенно высокая концентрация следов древней металлургии железа наблюдается в Приольхонье (западное побережье пролива Малое море оз. Байкал) [Харинский и др., 2004]. Этому способствовало широкое распространение легкодоступных богатых железных руд и леса, используемого для отжига древесного угля [Снопков, 2016].

Получение железа в древности осуществлялось путем химического восстановления чистого металла из окислов железа под воздействием двуокиси углерода. Для этого использовались разнообразные по форме и размерам сыродутные железовосстановительные горны, имеющие форму большого толстостенного сосуда, с отверстиями для засыпания руды и древесного угля, подачи воздуха, выхода продуктов сгорания и, в некоторых случаях, стекания шлака. Древесный уголь укладывался в горн послойно с измельченной рудой. Под действием двуокиси углерода (угарного газа), образующегося при сгорании угля, происходило химическое восстановление железа. Зерна чистого восстановленного железа соединяясь, превращались в пористую массу – крицу. Рудные примеси и флюсы при температуре более 700–800 °С преобразовывались в текучий железосиликатный шлак. После извлечения из горна крица нагревалась, проковывалась и использовалась для изготовления железных изделий.

Обнаруженные в Прибайкалье горны имеют большое разнообразие конструкций. Наиболее ранние памятники (конец I тыс. до н.э. – начало I тыс. н.э.) представляют собой ямные горны, имеющие рабочую камеру в виде наклонно расположенной воронки, нижний выход (фурма) которой выходил в предгорновую яму, а верхний – на земную поверхность. Нижняя фурма служила не только для подачи воздуха в горн с помощью специальных сопел, но и для выпуска шлаков. Более поздние железодельательные горны (конец I тыс. н.э. – II тыс.

н.э.) представляли собой прямоугольные горизонтальные либо цилиндрические вертикальные камеры. Горны располагались на поверхности земли либо частично опускались ниже её. Особенностью этих конструкций являлось то, что шлаки не выпускались из горна. Они остывали внутри горна и только после этого извлекались наружу. Крица, сформировавшаяся на поверхности шлаковой «лепешки», откоачивалась и проковывалась.

Железосиликатные шлаки – отходы процесса получения железа являются наиболее многочисленными следами древнего металлургического производства. Шлаки, в силу их высокой устойчивости процессам разрушения, служат важнейшим признаком при поиске памятников древней металлургии железа. Кроме того, анализ самих шлаков позволяет получить представление об особенностях технологии получения железа, даже в том случае, когда железосостановительные горны не сохранились.

При изучении памятников древней металлургии Прибайкалья шлаки анализировались несколькими способами:

- визуальный – осмотр и описание образцов шлаков;
- петрофизический – измерение плотности и магнитной восприимчивости шлаков; магнитная восприимчивость является показателем концентрации ферромагнитного материала (в первую очередь, чистого железа, и магнетита) [Снопков, 2016];
- химический – анализ химического состава шлаков;

По условиям застывания шлаки можно разделить на несколько типов: выпускные, донные, остаточные и кузнечные.

1) Выпускной шлак образуется при выпуске расплавленной массы из горна и состоит преимущественно из железосиликатного минерала – фаялита. Как правило, он представлен натечными формами (сосульки, потоки, лепешки и т.д.). Нередко на поверхности выпускных шлаков присутствуют отпечатки той среды, на которую вытекал шлак (обломки горных пород, угля и т.д.). Магнитная восприимчивость выпускных шлаков низкая (по сравнению с другими продуктами металлургического процесса) – 0,2–7 милиЕд.СИ, что свидетельствует о низкой концентрации чистого железа. Плотность – 2,7–3,1 т/м³.

Выпускные шлаки Приольхонья характерны для металлургических центров раннего железного века.

2) Донный шлак, образуется при остывании шлакового расплава в горне. В первоначальном виде донный шлак представляет собой шлаковую «лепешку», формой повторяющей днище рабочей камеры горна. Донный шлак может быть представлен разнообразными формами в зависимости от условий протекания металлургического процесса и пространственного положения в момент его остывания. Плотность донных шлаков изменяется от 3,5 до 5 т/м³.

Крупные образцы донных шлаков позволяют выявить четкую дифференциацию шлакового материала. Нижний слой (контакт шлаковой «лепешки» с днищем горна) представляет собой плотную спеченную мелкозернистую массу, состоящую из зерен обмазки, руды, шлака. Толщина этого слоя редко превышает 5 мм. Его магнитная восприимчивость может изменяться в широких пределах от 2–5 до 80–90 милиЕд.СИ в зависимости от количества железа в массе.

Выше контактного слоя, как правило, располагается слой плотного либо мелкопористого шлака, имеющего темный-серый цвет и представленный преимущественно фаялитом. Толщина этого слоя обычно составляет от 1 до 5 см, и даже в горнах XVII–XIX вв. не превышает 6–7 см. Встречаются образцы донных шлаков, в которых данный слой отсутствует. Магнитная восприимчивость, в среднем, составляет 6–15 милиЕд.СИ. Однако присутствие крупных зерен железа в массе плотного шлака может значительно увеличить значения магнитной восприимчивости.

Поверхностный слой шлаковой «лепешки» может сильно отличаться по своей структуре. Как правило, это сильно пористый шлак с включениями зерен руды, железа, угля. Нередко видны следы течения шлакового расплава и выхода газов. Толщина этой шлаковой «пены» на поверхности шлаковой «лепешки» может изменяться от полного отсутствия до 5 см. Магнитная восприимчивость «пены» также может изменяться от 5–10 до 200 милиЕд.СИ. Характер и толщина «пены», в определенной степени, служат показателем качества металлургического процесса. При оптимальных условиях поверхностного слоя может не образовываться вообще – жидкий шлак стекает на дно горна, образуя плотную однородную «лепешку», на поверхности которой располагается крица. Если температурный и восстановительный режим в рабочей камере горна сильно отличался от оптимального, то часть руды оставалась непреработанной в железо, а шлак оказывался недостаточно текучим. В результате часть крицы, руды и кусочки древесного угля оказывались зацементированными в массе шлака. Встречаются образцы шлаков, которые свидетельствуют о том, что попытка получения железа была неудачной – в пористой неоднородной массе шлака на всю толщину «лепешки» зацементированы угли, куски руды, крица, кусочки обмазки и др.

По крупным фрагментам шлаковой «лепешки» нередко можно восстановить диаметр и радиус кривизны днища горна. Так, например, по шлакам было выяснено, что диаметр днища прибайкальских горнов изменяется от 15 до 50 см. По ряду крупных образцов шлаков были получены приблизительные объемы шлака, образовавшиеся в подобных горнах – от 2500 до 60000 см³. При средней плотности донных шлаков, которая составляет 3.5 т/м³, общая масса шлака, образующаяся за один процесс, могла изменяться 9 до 200 кг.

3) Особым типом шлаков являются остаточные – те, которые не стекли к днищу, а застыли на стенках горна. Структура и свойства таких образцов может сильно меняться от сплавленной в стекло обмазки до шлака с большим количеством зерен железа. Соответственно, физические свойства таких образований изменяются в широких пределах. Для горнов с выпуском шлаков и для тех, где шлак застывал на дне, доля остаточных шлаков значительно меньше выпускных и донных.

4) Кроме вышеперечисленных типов шлаков, встречаются кузнечные шлаки, представляющие собой небольшие кусочки (преимущественно размером 2–10 мм), образующиеся при ковке крицы. По своим свойствам кузнечные шлаки изменяются от типичных выпускных до донных. Присутствие большого количества каплеобразных и лепешкообразных мелких кусочков шлаков свидетельствует о том, что на этом месте проводиласьковка крицы.

Интересную информацию о технологии получения железа дает химический анализ шлаков. Так, например, при сравнении химического состава шлаков Приольхонья обнаружилось, что в разных частях этой территории использовались различные руды для получения железа. Шлаки металлургических центров вблизи деревни Курма (центральная часть побережья Малого моря) по сравнению со шлаками, обнаруженными поблизости от деревни Шара-Тогот (южная оконечность пролива Малое море), имеют повышенные содержания щелочных, щелочноземельных и легких металлов, и пониженные – Cu и Mn. Микроэлементный состав шлаков из местности Курма сходен с железненными гнейсами иликтинской свиты нижнего протерозоя, а шлак южной части побережья Малого моря более близок бурым железнякам коры выветривания пород ольхонской серии палеозоя. Если для бурых железняков характерно повышенное содержание цветных металлов Cu, Mo, Ni, Zn, а также U, то для гнейсов наблюдается повышенное содержание: щелочных (Rb, Cs, K), щелочноземельных (Sr, Ba), легких (Ga, Sn, Pb, Tl), легких редкоземельных (La, Ce, Nd) и переходных (W, Ti, Nb, Ta) металлов, а также Th.

Кроме того, химический анализ шлаков позволяет дать оценку вязкости шлаков, которая зависит от температуры и химического состава шлакового расплава (от соотношения кислотных и основных оксидов). Вязкость шлаков, определяющая его текучесть, является одной из основных характеристик металлургического процесса. Для понижения температуры плавления примесей и повышения текучести шлаков в шихту добавлялся флюс. Структура шлаков показывает, что далеко не всегда древним металлургам удавалось достичь эффективных параметров процесса. В настоящее время проводится работа по расчету приблизительных значений вязкости шлака.

В заключение следует отметить, что многофакторный анализ металлургических шлаков позволяет получить представления о способе получения железа даже при отсутствии данных о конструкции железовосстановительного горна.

Литература

Снопков С.В. Железорудная база древней металлургии Прибайкалья. // Геoархеология и архeологическая минералогия-2016. Миасс: ИМин УрО РАН, 2016. С. 99–102.

Снопков С.В. Использование петрофизических методов в архeологических исследованиях. // Геoархеология и архeологическая минералогия-2016. Миасс: ИМин УрО РАН, 2016. С. 50–56.

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

М.С. Подсохин

СОШ № 7, п. Култук, Иркутская область. snopkov_serg@mail.ru

Железовосстановительные горны Тункинской долины (Республика Бурятия)

(научный руководитель С.В. Снопков)

С древнейших времен Тункинская долина (Республика Бурятия) являлась местом проживания людей. На территории Тункинской долины встречаются археологические памятники от позднего палеолита – раннего мезолита до времен этнографической современности. Первое упоминание об археологических находках в Тункинской котловине содержится в книге М.М. Геденштрама «Отрывки о Сибири», изданной в 1830 г. Во второй половине XIX в. сведения о древних стоянках появляются в трудах И.С. Полякова, М.П. Пуцилло, П.А. Ровинского, И.Д. Черского, Н.И. Витковского, М.П. Овчинникова, В.И. Подгорбунского, Б.Э. Петри и др. В 1983 г. в долине р. Иркут работала лаборатория археологии и этнографии ИГУ. Начиная с 1984 г. дюнные стоянки на левом берегу Иркутки изучаются археологами Ю.Н. и В.С. Угольковыми [Угольков и др., 2001].

Интересными археологическими находками на территории Тункинской долины являются остатки железовосстановительных горнов. В отличие от железных изделий, металлургические шлаки и части горнов остаются на месте получения железа. Изучая распределение шлаков, можно нагляднее составить представление о древней металлургической активности на территории, чем по распределению железных артефактов. Детским центром «Лазурит» п. Култук Иркутской области в течение многих лет проводились краеведческие экспедиции в районе села Тунка, одной из задач которых были поиски и изучение следов металлургической деятельности.