

ШЛАКИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЬНЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ДРЕВНЕЙ МЕТАЛЛУРГИИ ЖЕЛЕЗА

Введение

Материальные свидетельства, представляющие интерес при изучении и описании памятников древней металлургии железа, включают сырье, железоделательные печи, отходы производства и крицу. На процесс получения железа в сыродутных и других горнах оказывали влияние многие факторы, в первую очередь, тип руды, топливо, особенности глины, конструкция печи, метод подачи воздуха, способы извлечения шлаков и крицы (Tylecote, 1976, 1987). Поскольку число возможных сочетаний указанных факторов огромно, шлаки и другие остатки древнего металлургического производства характеризуются очень большим разнообразием. Поэтому оптимальный подход, который может быть рекомендован при изучении памятников древней металлургии, заключается в точном описании материалов и - по возможности - в соотношении их с различными стадиями получения железа.

Руда

В непосредственной близости от сооружений, где осуществлялась выплавка железа, могут встретиться как необработанные так и обожженные руды. Количество необработанной руды обычно невелико. Руда не всегда характеризуется повышенной плотностью или яркой окраской, однако в большинстве случаев она выделяется на фоне камней, встречающихся на металлургических площадках. Обожженные руды имеют красную, темно-красную или серо-черную окраску, благодаря чему их легче заметить, чем необработанные. Обычно обожженные руды обнаруживаются в виде небольших кусков там, где их прокаливали, дробили и складировали, иногда - в небольших количествах - поблизости от металлургических печей. Каждая находка руды очень важна для реконструкции особенностей металлургического процесса и оценки количества произведенного железа. Однако никогда нельзя исключать возможность того, что найденные при изучении археометаллургического памятника руды были просто выброшены из-за их низкого качества: последнее слово остается здесь за экспертом - специалистом по металлургии.

Топливо

Для получения железа в сыродутных горнах использовался исключительно древесный уголь. Самые ранние из известных сооружений для производства древесного угля в Европе относятся к Средним векам. По всей вероятности, сначала выжиг древесного угля производился в небольших ямах вблизи мест, где выплавлялось железо, поэтому при обнаружении больших скоплений древесного угля нужно иметь в виду, что поблизости могут находиться древние плавильные печи.

Образцы древесного угля представляют интерес не только в связи с возможностью определения их возраста радиоуглеродным методом, но и для идентификации видов деревьев, а также выяснения особенностей эксплуатации лесов.

Минеральные вещества, в небольших количествах содержащиеся в древесном угле, нередко плавилась, в результате чего возникали т. н. золотые шлаки, которые, в свою очередь, могли влиять на химический состав металлургических шлаков. Золотые шлаки легкие, пузырчатые и хрупкие. Их обнаруживают в виде маленьких фрагментов самого разнообразного цвета. Обычно золотые шлаки распределены среди других продуктов металлургического производства, поэтому их объем в относительном выражении невелик.

Материал и конструкция печи

Для сооружения сыродутной печи требовалось большое количество глины, что являлось важным фактором при выборе места, где предполагалось осуществлять производство железа. Камни представляют другой важный строительный компонент печи. Нередко камни и шлаки добавляли в глину для повышения ее огнеупорности. Глина наилучшего качества получалась, если ее смешивали с песком или измельченным шлаком. Такую глину использовали для восстановления внутреннего покрытия высокотемпературной зоны печи. На некоторых памятниках найдены глиняные кирпичи разной формы (Снопков, Репина, 2003). Под действием высокой температуры глиняное покрытие внутренней поверхности печи прокаливалось и местами остекловывалось. Зона наи-

более сильного остеклования располагается над воздуходушным отверстием. Толщина слоя остеклованной глины может достигать 10 мм или более, глубже располагается "подкладка", представленная красной (окисленной) или серой (восстановленной) обожженной глиной. Наличие нескольких слоев остеклованной глины свидетельствует о том, что внутренняя поверхность печи неоднократно подновлялась. Глиняное покрытие могло вступать в реакцию со шлаками, в результате чего формировались более толстые участки футеровки, образованные продуктами взаимодействия глины и шлаков.

Хорошо сохранившиеся металлургические печи встречаются редко. Обожженная глина - довольно хрупкий материал, поэтому остатки печей обычно представлены сравнительно небольшими фрагментами, по которым можно с той или иной степенью достоверности восстановить особенности конструкции печи. Фрагменты остеклованной глиняной футеровки позволяют судить о внутренней форме печи и об особенностях подачи в нее воздуха. В самых ранних сыродутных горнах воздух поступал просто через круглое отверстие в стенке, о чем свидетельствуют остатки остеклованной глины характерной изогнутой формы. Позднее подача воздуха осуществлялась через глиняные фурмы. На некоторых памятниках обнаружены сменные блоки в виде прямоугольных кусков глины с воздуходушным отверстием. Они вставлялись в специальную полость в стенке печи.

Следует иметь в виду, что остеклованные глиняные фрагменты могут иметь своим источником не только сыродутный, но и кузнечный горн. Однако в местах, где осуществлялась выплавка железа, обнаруживается значительно больше остеклованной глины, чем вблизи кузнечных горнов. Степень остеклования в металлургической печи значительно выше, чем в кузнечном горне; существенную роль играли также огнеупорность глины и ее положение внутри сыродутного или кузнечного горнов.

Чем слабее была прокалена та или иная часть печи, тем меньше шансов она имела сохраниться до настоящего времени. Об этом необходимо помнить при оценке толщины стенок. Более или менее надежные результаты могут быть получены, если ориентироваться на нижнюю часть печи, которая обычно хорошо сохраняется в виде футерованного глиной углубления в нижних слоях почвы. Иногда печь "встраивалась" в выходы залежей глины, что в значительной мере способствовало ее сохранению (Кожевников и др., 2000). Для оценки размеров печи следует использовать ее внутренний диаметр и учитывать вероятную толщину стенок. Любые печи или их остатки, которые располагаются *in situ*, т.е. на своем первоначальном месте, представляют объекты, благоприятные для определения их возраста археомагнитным методом.

Шлаки

Эта категория материальных свидетельств древней металлургической деятельности занимает

среди прочих особое положение (Кожевников и др., 2001, 2003; Kozhevnikov et al., 2003). Традиционные исследования по археологии железного века концентрируются преимущественно на поисках и изучении железных предметов. При ответе на вопрос о том, где и как в древности возникало и развивалось производство железа, распределение изделий из железа рассматривается как основной и наиболее представительный источник информации. Однако железные предметы легко окисляются, поэтому сохранность их оставляет желать лучшего. Существует и другая проблема, связанная с тем, что металлические изделия могли быть изготовлены где угодно и лишь впоследствии перемещены в то место, где их нашли археологи. Поэтому представительность железных предметов и других артефактов, обнаруживаемых в могилах или в виде кладов, всегда является в той или иной мере дискуссионной.

Шлаки, как и другие продукты металлургической деятельности, также могут быть изменены в результате коррозии. Эти изменения затрагивают структуру и цвет поверхности шлаков, иногда под действием коррозии изменяется даже их морфология. Однако в отличие от железных предметов и крицы, металлургические шлаки сохраняются намного лучше. Кроме этого, они, как правило, остаются вблизи того места, где осуществлялась выплавка железа. Поэтому, изучая распределение шлаков, можно составить более верное представление о динамике древней металлургической активности, чем на основе изучения распределения железных артефактов. Дополнительным преимуществом шлаков является то обстоятельство, что их нередко находят вместе с керамикой. Благодаря этому они могут быть сравнительно легко привязаны к временной археологической шкале.

Хотя можно попытаться определить и описать несколько основных типов шлаков, в реальности их состав и морфология изменяются плавно, отражая различные стадии непрерывного процесса превращения руды в железо. К сожалению, терминология, используемая для описания шлаков, все еще является предметом дискуссий, и общепринятое соглашение до сих пор не выработано. Наиболее простой и логичный подход к классификации и описанию шлаков заключается в том, чтобы соотнести их с различными стадиями металлургического процесса. К сожалению, очень часто шлаки, соответствующие различным стадиям плавки, находятся вперемешку, нередко в отвалах за пределами строений, где располагались железоделательные печи. Очень редко металлургический шлак обнаруживают в основании печи; обычно это означает, что плавка не удалась, и печь была оставлена.

Куски руды, проходя снизу вверх через печь, постепенно восстанавливались с образованием в них частиц металлического железа, окруженных оболочками шлака. При достижении высокотемпературной зоны, расположенной над отверстием, куда поступал воздух, частицы металлического железа в шлаковых оболочках начинали слипаться, сваривались и образовывали крицу. Обычно крица формировалась непосредствен-

но под воздушным отверстием; оставаясь прикрепленной к стенке печи, она медленно опускалась под действием все увеличивающегося веса. Жидкие шлаки стекали в нижнюю часть печи, однако некоторая их часть оставалась заключенной внутри крицы или связанной с ее внешней поверхностью.

Некоторое количество руды и промежуточных продуктов успевали пройти через печь еще до начала образования крицы. Поэтому в основании печи могут обнаруживаться куски восстановленной руды, под действием высокой температуры приобретшие серый цвет, а также с неизменной морфологией или частично ошлакованные. Большая же часть этого материала встречается в виде т.н. магнитной пыли. Некоторые из частичек руды, которые начали ошлаковываться, покрыты тонкими шлаковыми оболочками. Эти оболочки очень хрупкие и легко разламываются. Образующиеся маленькие магнитные фрагменты можно спутать с чешуйками, образующимися при кузнечной обработке горячего металла молотом. Однако в отличие от последних первые имеют изогнутую поверхность, что легко увидеть, если размер ошлакованных частичек руды не слишком мал.

Встречаются также небольшие отдельные кусочки шлака, который стекал в нижние, более холодные слои древесного угля, и там застывал. Эта разновидность шлаков встречается также в виде маленьких шлаковых шариков. Они могут быть легкими и пористыми либо плотными и твердыми, с разнообразными цветом и текстурой. Однако чаще всего такие шлаки представлены небольшими кусочками с неизменной поверхностью охлаждения, нередко с отпечатками от фрагментов древесного угля, в котором они застыли, приобретя очень изрезанную форму. Обычно эти кусочки плотные, с тусклой стекловатой поверхностью. Их масса варьирует от нескольких до десятков граммов. Как правило, большая часть шлаков внутри печи соединялась в скопления так называемых горновых шлаков, которые, по существу, являются ничем иным как большими кусками рассмотренной выше разновидности. Их масса может достигать 500 граммов и более. Часто горновые шлаки слабо сцементированы и поэтому разламываются на фрагменты с острыми угловатыми изломами. Большая часть этих шлаков относительно плотная, однако имеются значительно менее плотные разновидности, которые содержат полости от газовых пузырьков. Одним из продуктов дезинтеграции менее плотных шлаков являются шлаковые оболочки, подобные описанным выше. В заключительной стадии процесса, когда нижняя часть печи достаточно прогрета, отдельные потоки жидких шлаков могут достигать основания печи, где они застывают. Нижняя поверхность этих шлаков плавная, нередко с приставшими к ней камнями и глиняными фрагментами. Такой шлак очень похож на выпускаемый из печи, однако его доля в общем объеме шлаков невелика. Большие пузыри в текучих шлаках способствовали образованию шлаковых оболочек, которые легко разламываются на тонкие скорлупки или слои.

Когда получение железа осуществлялось без специального выпуска шлаков из печи, объем горновых шлаков был относительно велик и их легко идентифицировать. Эти шлаки обогащены железом, нередко содержат продукты сильной коррозии и утратили первоначальную структуру и форму. Такие шлаки, которые называют также аморфными, могут составлять до 50% материала, находимого при изучении наиболее ранних памятников металлургии железа.

На некоторых памятниках обнаружены т.н. выгребные шлаки, которые были удалены из печи, когда находились в тестообразном состоянии. Эти шлаки встречаются в виде деформированных кусков, а также - если в момент извлечения из печи они были более или менее текучими - в виде небольших лепешек неправильной формы.

Если осуществлялся выпуск шлаков, они сначала стекали на дно печи и накапливались там в большом количестве. Содержащийся в них запас тепла был достаточным для того, чтобы все скопившиеся шлаки оставались жидкими и в конце концов могли быть выпущены из печи. Морфология и размеры выпускных шлаков - самые различные: от отдельных потоков массой в несколько сотен граммов до скоплений, масса которых может достигать десяти и более килограммов. Внешне эти шлаки, образовавшиеся в результате наложения следовавших один за другим потоков, напоминают веревку или канат. В зависимости от скорости, с которой выпускные шлаки вытекали из печи, поверхность застывших потоков гладкая либо сморщенная, в виде мелких волн. Обычно выпускные шлаки плотные, серого или черного цвета, с тусклыми угловатыми изломами. При использовании руды, которая содержала известь, получались выпускные шлаки пониженной плотности с бледно окрашенной поверхностью и черными стекловатыми изломами. Иногда на нижней поверхности выпускных шлаков обнаруживаются фрагменты глины или песка, но чаще эта поверхность имеет характерную базальную структуру, образовавшуюся при застывании шлаков на слое угля.

Выпускные шлаки хрупкие и легко разламываются на мелкие фрагменты. Нередко выпускные шлаки сохраняют форму выпускного канала, через который они вытекали, или мелкой ямы, куда они стекли, образовав т. н. шлаковые лепешки. Иногда отдельные фрагменты ясно показывают, что выпускные шлаки накопились в виде отдельных слоев, толщина которых может достигать 50 мм и более. Если при выпуске шлака имелось достаточно времени для охлаждения каждого отдельного потока, застывшие потоки могут разделяться по поверхностям охлаждения, образуя тонкие слои. Окисленные поверхности некоторых фрагментов выпускных шлаков бывают окрашены в ярко-красный цвет. Определение массы шлаковых лепешек позволяет оценить масштаб производства и потому является важным этапом изучения археометаллургического памятника.

В некоторых случаях накопившийся шлак застывал в основании печи, образуя скопления массой два и более килограммов. Эти большие куски могут

сохранять форму основания или дна печи, иногда с прикрепленными к их нижней поверхности фрагментами внутренней обмазки из обожженной глины. Среди прочего такие куски могут содержать шлак, застывший в канавках, по которым он вытекал в выпускной канал. Под некоторыми печами в Европе имелись ямы, куда стекали шлаки, образуя крупные шлаковые блоки. После заполнения шлаковой ямы наземная часть таких печей передвигалась на новое место и процесс возобновлялся (Tylecote, 1976, 1987).

Крица

Как уже отмечалось, в заключительной фазе плавки крица обычно располагалась возле передней стенки печи непосредственно под воздуходушным отверстием. В ее верхней части могла образоваться "корона" из спекшихся частичек железа, однако последние редко сохранялись, поскольку быстро корродировали либо использовались в качестве исходного продукта в последующих плавках.

Обычно крица была окружена некоторым количеством прикрепленных к ней плотных или пузырчатых горновых шлаков. Если она извлекалась из печи в остывшем состоянии, то перед тем, как ее проковывали, шлаки отколачивали молотком. В местах, где проводилась такая технологическая операция, образовывались скопления маленьких кусочков "отколоченных" шлаков.

Между крицей и стенкой печи могла сформироваться зона толщиной до 20 мм из плотных "блоковых" шлаков, являющихся продуктом взаимодействия горновых шлаков с глиняной обмазкой. Блоковые шлаки представляют собой относительно однородную массу; при откалывании от крицы они дают характерный угловатый излом.

Если крица извлекалась из печи в раскаленном состоянии с целью немедленной проковки для очистки от содержащихся в ней включений шлака, оставшиеся печные шлаки также могли быть удалены из печи горячими; при этом они приобретали изрезанную форму, похожую на ту, которая характерна для выгребных шлаков.

Очистка крицы путем проковки сопровождалась появлением специфических фрагментов шлака. Получавшиеся в итоге кузнечные крицы имели разнообразную форму, например, округлой лепешки или куба. Как правило, крица подвергалась предварительной очистке рядом с плавильным горном, поэтому при раскопках железодельных печей шансы обнаружить необработанную крицу невелики.

Другие свидетельства

До сих пор при изучении памятников древней металлургии не было найдено ни одного инструмента, который можно было бы идентифицировать как "использовавшийся в процессе получения железа". За исключением некоторых литературных источников нет и прямых указаний на то, какая форма была у воздуходушных мехов. На доисторических памятниках

сохранились лишь косвенные свидетельства использования мехов. Так, были обнаружены отверстия в земле, в которые под пологим углом вставлялись длинные гибкие колышки. Предполагается, что они обеспечивали возвращающее движение для мехов, приводимых в действие ногами. С использованием мехов связывают и неглубокие ямы полусферической формы с отверстиями для кольев. При раскопках одного из средневековых памятников металлургии железа в Англии рядом с печью была обнаружена приподнятая платформа, которая, как предполагают, служила основанием для мехов.

На некоторых памятниках были обнаружены предметы, использовавшиеся для получения огня: куски пирита, с помощью которых высекались искры, а также камни с углублениями в форме чашки. Такое углубление представляет собой "втулку", куда вставлялся кусок дерева, который быстро вращался с целью получения высокой температуры путем трения. Получение огня было неотъемлемым компонентом древней металлургической деятельности, поэтому при изучении археометаллургических памятников предметы, использовавшиеся для получения огня, должны попадаться чаще, чем при изучении других археологических объектов.

Свидетельством древней металлургической деятельности являются также остатки строений, например, навесов, обеспечивавших сохранность печей, древесного угля и других ценных продуктов. При изучении доисторических памятников были найдены остатки круглых хижин со стенами из кольев; следы больших квадратных навесов из кольев были обнаружены при раскопках и некоторых средневековых памятников. Возможность реконструкции подобных сооружений имеется только в том случае, если участок, где они располагались, впоследствии не был перепахан.

Заключительные замечания

Лишь немногие из перечисленных выше материальных остатков, если их рассматривать по отдельности, допускают однозначную интерпретацию. Так, из всего разнообразия шлаков только выпускные шлаки являются надежным свидетельством получения железа сыродутным способом, хотя, разумеется, они впоследствии могли быть перемещены по отношению к тому месту, где располагалась металлургическая печь. Другим достоверным индикатором древней металлургической активности являются находки руды поблизости от остатков печей. Интерпретация шлаков в терминах археометаллургии осложнена их многообразием и недостатком наших знаний о деталях древних технологий получения железа. Многие из именуемых по этой проблеме публикаций содержат слабо аргументированные выводы и могут ввести в заблуждение неискушенного читателя.

При изучении и описании памятников древней металлургии железа важно дать количественную характеристику шлакам и осуществить их типизацию в привязке к конкретным объектам. Такая статистика

необходима для выяснения особенностей процесса получения железа, а также оценки масштабов металлургического производства и использовавшихся ресурсов. Если памятник не может быть раскопан полностью, для выяснения его археометаллургического потенциала следует провести геофизические съемки и отбор образцов шлаков.

В зависимости от возраста памятника количество металлургических шлаков может изменяться в очень широких пределах. При изучении доисторических объектов даже несколько десятков килограммов представляют значительный интерес. Количество шлаков, обнаруженных на римских и средневековых памятниках древней металлургии железа, варьирует от одной тонны до сотен тонн. Сами по себе шлаки не поддаются датировке, однако их типизация в сочетании с оценкой их общей массы может дать некоторое представление о периоде, когда осуществлялась металлургическая деятельность. Оценивая возраст памятника, важно учитывать его расположение. Ранние памятники могут быть расположены где угодно, преимущественно же поблизости от источников одного или нескольких ресурсов. Памятники с обширными отвалами шлаков, расположенные вблизи рек или больших ручьев, скорее всего относятся к средневековому периоду, во время которого для производства железа все интенсивнее использовалась энергия естественных водных потоков.

Для надежной интерпретации археометаллургических материалов необходим комплексный анализ всех данных, собранных при изучении конкретного объекта. Каждый памятник древней металлургии уникален, в том числе в отношении шлаков и других материальных свидетельств. Их разнообразие настолько велико, что такие компоненты археологических изысканий, как методика раскопок, фиксация их результатов, отбор образцов, обработка и интерпретация материалов специфичны для каждого объекта древней металлургии. В мире работают лишь единицы специалистов, имеющих опыт исследования шлаков и других продуктов древней металлургии железа. Как правило, при изучении памятников древней металлургии первичная обработка и интерпретация данных выполняется археологом. Приведенная в настоящей статье характеристика материальных остатков осуществлявшегося в прошлом производства железа иллюстрирует важность и сложность проблемы первичной идентификации и классификации свидетельств древней металлургической активности. Изучение вещественного состава, структуры и минералогии шлаков и интерпретация этих данных в терминах металлургического процесса (Gordon, 1997) - отдельная тема, которая не может быть раскрыта в рамках отдельной небольшой публикации.

Основу настоящей статьи представляет обзор (Peter Crew, 1995, Bloomery iron slags and other residuals, Historical metallurgical society: www.historicalmet.org), дополненный результатами собственных наблюдений автора и материалами из печатных работ, приведенных в списке литературы.

Литература

Кожевников И.О., Кожевников О.К., Никифоров С.П., Снопков С.В., Харинский А.В. Древний центр металлургии железа в пади Барун-Хал // Байкальская Сибирь в древности: сб. научн. трудов. - Иркутск, 2000. - Вып.2, ч.2. - С. 166-195.

Кожевников Н.О., Кожевников О.К., Харинский А.В. Вещественный состав и магнетизм древних металлургических шлаков окрестностей пос. Черноруд.//Геофизика на пороге третьего тысячелетия. Труды второй Байкальской молодежной школы-семинара - Иркутск, 2001. - С. 51-74.

Кожевников Н., Кожевников О., Харинский А. Древние металлургические шлаки из пади Барун-Хал // Россия и АТР. - 2003. - №2 (40). - С. 84-90.

Снопков С.В., Репина И.А. Использование кирпичей при сооружении железовосстановительных горнов в Прибайкалье // Социогенез Северной Азии: прошлое, настоящее, будущее: Мат-лы регион, науч.-практ. конф. - Иркутск, 2003. - С. 111-113.

Gordon, R.B. Process Deduced From Ironmaking Wastes and Artefacts, Journal of Archaeological Science (1997), 24, 9-18.

Kozhevnikov, N.O., Kozhevnikov, O.K., Kharinsky, A.V., and Urvat, M. Chemical composition and magnetism of ancient metallurgical slags from the Chernorud site on the western shore of Lake Baikal. Archaeometallurgy in Europe. Proc. Int. Conf. Milan, 2003, Vol.1, 525-534.

Tylecote, R. R. 1976, A History of Metallurgy, London: The Metals Society. 205 p.

Tylecote, R F., 1987, The Early History of Metallurgy in Europe. Longman, London and New York. 391 p.

Summary

There are many variables in the bloomery smelting process, including the ores, the charcoal and the clays used, the furnace construction, the method of blowing the furnace and the way in which the slag and bloom were removed. These result in a wide variety of slags and other residues. Although it is possible to define and describe some basic types of slag, in reality there is a continuous transition from ore through slag to the finished iron. The variety of archaeometallurgical residues is such that each site produces its own specific types and so the archaeological response to this material, in terms of excavation, recording, sampling, post excavation treatment and interpretation needs to be site specific. The approach that may be recommended in documenting archaeometallurgical data is to give brief descriptions of the materials, relating them, as far as possible, to the process. It must be stressed that few of the residues, as individual pieces, are diagnostic of smelting and that the interpretation of the material can only be based on a consideration of the whole of the assemblage recovered from a site.