

ПРОБЛЕМЫ АРХЕОЛОГИИ, ЭТНОГРАФИИ И СОЦИАЛЬНОЙ АНТРОПОЛОГИИ

УДК 902/904

DOI: 10.17223/19988613/47/15

Е.В. Водясов, О.В. Зайцева

ЧТО МОЖЕТ РАССКАЗАТЬ АРХЕОЛОГУ ЖЕЛЕЗНЫЙ ШЛАК?

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-36-00329 мол_а.

Рассматривается научный потенциал археологического шлака – одного из важнейших источников по реконструкции древних производств железа. В российской археологии практически отсутствуют комплексные программы исследования железных шлаков. Авторы приходят к выводу о необходимости определения типов шлаков, поскольку каждый тип связан с определенным циклом производства (железоплавильным и кузнечным). Показана важность индивидуальной фиксации шлаков и проведения геостатистических анализов. Обязательным этапом исследования является также проведение геохимических анализов, которые позволяют оценить качество получаемого железа и выявить рудную базу древней металлургии.

Ключевые слова: археометаллургия; археологический шлак; производство железа.

Мы хотим посвятить эту статью малоразработанной в российской археологии области – изучению древних железных шлаков. Несмотря на то что шлак является ценнейшим (а зачастую и единственным) источником по реконструкции железоделательных технологий, в российском археологическом сообществе, по всей видимости, так и не появилось осознание важности и информативности этого ресурса. Если в Европе и Северной Америке существуют сотни работ, посвященных всестороннему изучению древних и экспериментальных шлаков [1–26], то в отечественной науке счет идет на единицы [27–34]. Семь лет назад мы уже делали небольшой обзор этой проблемы [28], однако в свете приобретения новых знаний и практического опыта изучения железных шлаков считаем уместным вернуться к этому актуальному вопросу.

Скорее всего, повсеместное игнорирование железного шлака связано с простой неосведомленностью многих российских археологов касательно научного потенциала, скрытого в этом уникальном источнике. По этим причинам, опираясь на опыт зарубежных ученых и некоторые собственные наблюдения, мы считаем уместным познакомить читателя с основными научными знаниями, «зашифрованными» в археологическом шлаке.

Заранее скажем, что объем статьи не позволит рассмотреть все исследовательские методы и подходы (например, по одним геохимическим анализам можно написать целую книгу), поэтому акцент сделан на том минимуме, который, на наш взгляд, необходим для начального изучения шлаков.

К сожалению, в большинстве публикаций, где речь заходит о шлаках, мы можем найти выражения «на поселении найдены шлаки» и выводы «на поселении производили железо», и на этом исследование шлаков, как

правило, заканчивается. Выглядело бы абсурдным, если бы мы встретили в археологической статье следующий пассаж: «на поселении найдена керамика, значит, здесь были горшки». Однако касательно шлаков такой абсурд почему-то вполне «уместен». При описании памятников черной металлургии ученые часто не приводят важнейшие сведения: контекст обнаружения шлаков, методы полевой фиксации, общий вес и количество шлаков, морфология и типология шлаков, фотографии образцов, лабораторные анализы с дальнейшей расшифровкой данных и многие другие.

Остановимся на каждом из этапов исследования железных шлаков подробнее.

Шлак, являясь главным отходом металлургической деятельности, прямо указывает на то, что здесь существовало железоделательное и/или железообрабатывающее производство [21. Р. 251]. При этом роль шлака как индикатора местной черной металлургии намного выше, чем находки криц и железных изделий, поскольку последние всегда могли попасть на поселение в ходе обмена/покупки, тогда как завозить шлак просто бессмысленно.

Контекст обнаружения шлаков крайне важен, поскольку позволяет установить место концентрации древних производств и во многих случаях помогает их датировать. Шлаки, как правило, находятся вблизи металлургических горнов и производственных мастерских, но могут быть и сильно разнесены в пространстве в пределах памятника. Поэтому без четкого контекста невозможно соотнести отходы производства с определенным горизонтом обитания в случае многослойности памятника.

Необходимым условием также является попадание **всех** найденных шлаков в лабораторию для их взвешивания.

вания и описания, а не в отвал, как это часто бывает. Если археологи выбрасывают не интересующие их фракции шлаков, естественно, уже невозможно оценить роль черной металлургии в хозяйстве, реконструировать тип используемых сыродутных горнов, подсчитать количество переработанной руды и полученного железа для каждого из объектов или поселения в целом, а также установить источники рудного сырья.

Идеальной представляется ситуация индивидуальной фиксации каждой фракции шлака, конечно, если количество отходов исчисляется десятками килограммов, а не сотнями или тысячами.

Приведем здесь характерный пример важности индивидуальной фиксации. При исследовании археологического памятника Усть-Полуй (г. Салехард) А.В. Гусевым в 2010–2015 гг. были найдены железные шлаки на разных участках. Все свидетельства металлургии были индивидуально отмечены на плане и положены в соответствующие пакеты с номерами. Уже в лабораторных условиях (через несколько лет) мы разделили массовый материал на железные шлаки и стенки сыродутного горна, и как раз благодаря индивидуальной фиксации удалось установить, что горн находился на краю древнего рва, а шлаки лежали по его склону и на дне [27]. Таким образом, выяснилось, что археометаллургический объект существовал синхронно со рвом, для которого получены дендрохронологические

даты, укладываемые в I в. до н.э. А если бы все шлаки, найденные на памятнике, были собраны в **один** пакет без индивидуальной фиксации, смогли бы мы получить те же выводы?

Весьма продуктивно также применение геостатистического анализа. Дело в том, что археологические горны по истечению длительного промежутка времени могут не сохраниться и представлять собой весьма аморфные скопления шлаков и фрагментов глиняных стенок, существенно перемещенных и «растасканных» в пространстве. Для выявления подобных объектов, на наш взгляд, необходим геостатистический анализ распределения шлака и других остатков металлургической деятельности в культурном слое [28]. При этом вес археологического шлака может варьироваться от нескольких граммов до нескольких килограммов и больше. Таким образом, для получения объективной картины пространственного распределения кроме индивидуальной фиксации нужно вводить еще один параметр – вес каждого образца.

Уже в лабораторных условиях с помощью специальных программ можно получить карту именно весового распределения шлака для уточнения локализации и концентрации древних производств. Геостатистический метод помог нам при изучении городища Шайтан-III, находящегося на юге Томской области (рис. 1).

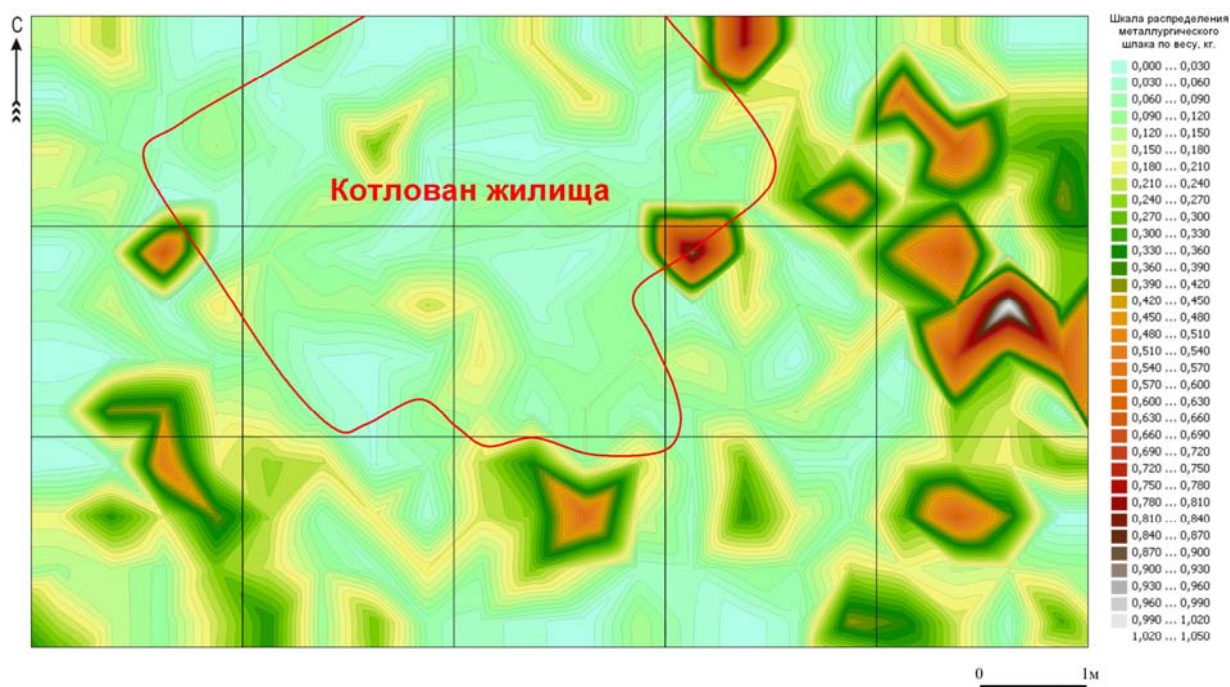


Рис. 1. Городище Шайтан-III. Распределение шлака в раскопе по весу

Из плана видно, что производство железа происходило в непосредственной близости от жилища, тогда как в самой постройке шлаки практически отсутствуют. По весовому распределению можно предположить, что горн находился в восточной части от жилища, где сосредоточено наибольшее количество железистых горновых шлаков.

Зная вес найденных шлаков, можно рассчитывать примерную интенсивность древних производств. Многочисленные археологические эксперименты показывают, что выход крицы составляет в среднем около 20–25% от веса загружаемой руды. Однако получаемая крица содержит большое количество шлаков, которые нуж-

но из неё удалить, поэтому выход железного бруска (заготовки) от веса крицы составляет около 30–35%. То есть выход железа от общего веса руды в одном горне оставляет в среднем всего 6–10% [26. Р. 394]. Выход шлаков (плавильных и кузнечных) может достигать 50–75% от веса руды. Экспериментальные плавки Питера Крюю дали следующий важный результат: чтобы получить железный брусок весом 0,5 кг, пригодный для дальнейшейковки, нужно за раз переплавить около 8 кг руды, что даст примерно 6 кг шлака [7].

Отдельная серьезная проблема в российской археометаллургии заключается в том, что ученые, публикуя материалы, помимо веса шлаков, ничего также не сообщают об их морфологии и типологии. Известно, что существует визуальное разделение шлаков на типы (рис. 2), каждый из которых отражает определенный цикл производства и/или обработки железа [13]. Другими словами, если на поселении найдены шлаки, из этого не обязательно следует, что население плавало железную руду и обладало технологиями железоплавильного процесса, поскольку во время кузнечных операций с крицами также образуются шлаки, и они в большинстве случаев отличны от плавильных шлаков.

Парадоксально, но во многих научных работах делаются бездоказательные выводы о характере древних производств и назначении металлургических площадок (кузни или плавильни) без анализов найденных шлаков. В этой связи стоит подробнее остановиться на теме типологии шлаков.

Все археологические шлаки можно разделить на два основных типа: **плавильные** и **кузнечные** [4; 14; 21. Р. 251–266]. Шлаки первого типа образуются непосредственно в ходе железоплавильного процесса и являются прямыми индикаторами железоделательного производства. Плавильные шлаки (smelting slags) делятся на два вида: *горновые* и *выпускные* (рис. 2). Горновые шлаки формируются в плавильной камере и часто представлены тремя основными подвидами: шлаковые блоки, донные шлаковые «лепешки», аморфные шлаки.

Шлаковые блоки (рис. 2, 2) могут весить от нескольких сотен граммов до десятков килограммов и более [21. Р. 259]. Такие шлаки образуются на дне сыродутного горна, на слое горячего угля, и свидетельствуют о том, что горн либо не имел канала для выпуска жидкого шлака, либо этот канал находился выше зоны формирования шлаковых конгломератов. Шлаковые блоки (slag blocks) являются важным источником, позволяющим реконструировать форму и размеры нижней части горна [Ibid.], а также рассчитать примерную производительность горна. К тому же нахождение шлакового блока на дне горна говорит о том, что после этой плавки объект был заброшен.

Другая частая разновидность горновых шлаков представлена донными шлаковыми «лепешками» (рис. 2, 1). В англоязычной литературе такие шлаки называются furnace bottoms [13. Р. 10, 14; 21. Fig. 71]. По своей «плоско-выпуклой» форме они похожи на

кузнечные шлаковые «лепешки», но значительно массивнее и крупнее, о чем пойдет речь ниже.

В ходе сыродутного процесса в плавильной камере образуются также аморфные шлаки характерной изрезанной формы с острыми краями и большим количеством пустот внутри (рис. 2, 3). Часто на таких шлаках видны «отпечатки» древесного угля и следы ржавчины вокруг [18. Fig. 6]. Добавим от себя, что отличительной особенностью этих шлаков является то, что ими легко порезаться.

Если древние мастера использовали технологию выпуска жидких шлаков из горна в процессе плавки, то рядом с металлургическим объектом, как правило в специальной шлаковой яме, будут встречаться выпускные текучие шлаки (tap slags). Они характеризуют особый тип сыродутного горна, отличающийся большей производительностью в отличие от горнов, работающих без шлаковывпуска [32. С. 102]. Образование таких шлаков происходит в высокотемпературной зоне и говорит о том, что температура в горне превышала 1100 °C [13. Р. 6]. Форма и размеры текучих шлаков могут варьироваться, но их объединяет гладкая волнистая поверхность (рис. 2, 4). Иногда встречаются длинные шлаковые сосульки, принявшие форму канала и остывшие в нем в процессе выпуска, поэтому существует возможность реконструировать форму и размеры шлаковывпускного канала. Если горновые шлаки находились не в жидком состоянии из-за особенностей воздуходувного процесса и были извлечены из горна, они быстро остывали и принимали форму аморфных лепешек небольшого размера, поскольку растекались рядом с горном, находясь в полужидкой фазе.

Отдельный тип представлен кузнечными шлаками (smithing slags) и связан с последующими операциями по проковке полученной продукции, т.е. не с железоплавильным, а с кузнечным циклом [15]. До сих пор актуальным остаётся высказывание известного ученого Радомира Плейнера о том, что археологи часто путают отходы железоделательного и железообрабатывающего производства [21. Р. 266]. Например, ученые могут называть кузнечные шлаки «горновыми» и объявить, что на изученном поселении был центр производства железа, хотя на самом деле никакого железа в этом месте не производили, а лишь перековывали готовые крицы. Поэтому без определения видов шлаков не ясно, о каком действительно назначении археометаллургического объекта в публикациях идет речь. Внешний вид и размеры кузнечных шлаков существенно различаются и отражают конкретные этапы от первичной проковки губчатого железа рядом с кузнечным горном вплоть доковки готовых изделий на наковальне.

Дело в том, что из раскаленного губчатого железа сразу отковать железное изделие не получится. Горноватая крица содержит большое количество пустот и шлаковых включений, которые необходимо удалить посредством повторного (или даже многократного) нагрева крицы уже в кузнечном горне [Ibid. Р. 215]. На

этой стадии шлаки (рис. 2, 5–7) стекают на дно сыродутного горна и принимают характерную форму небольших округлых лепешек плоских с верхней стороны и выпуклых – с нижней [Ibid. Р. 256]. В англоязычной литературе такие шлаки называют *plano-convex bottoms*, или *smithing hearth bottoms* [13–15; 21. Р. 255].

Выше нами отмечалось, что существует проблема различия горновых и кузнечных шлаковых лепешек [4. Р. 87]. Несмотря на их внешнюю схожесть (плоско-выпуклые в разрезе) и близкий принцип образования (на дне горна), они отражают совершенно разные стадии черной металлургии.

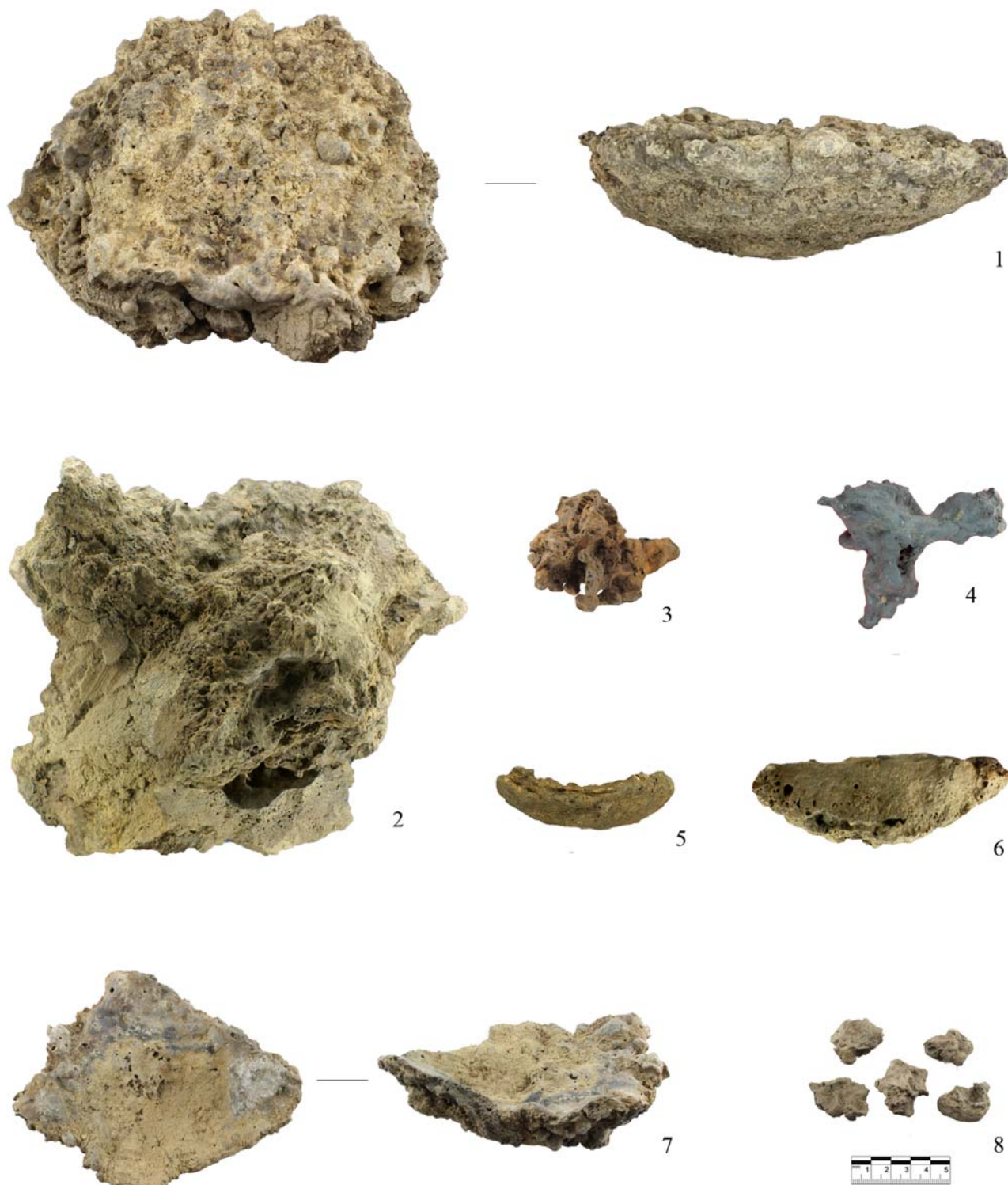


Рис. 2. Основные типы археологических шлаков:
1–4 – горновые, 5–8 – кузнечные. 1, 7, 8 – Усть-Полуй; 2, 5, 6 – городище Шайтан-III; 3, 4 – городище Шайтан-IV

В среднем горновые донные «лепешки» (рис. 2, 1) значительно тяжелее и крупнее по размеру, они часто весят больше килограмма, тогда как вес кузнечных «лепешек» в среднем составляет 300–400 г, диаметр в среднем около 10–15 см, а толщина редко превышает 5 см [13. Р. 15; 21. Р. 216–217]. Другой отличительной особенностью кузнечных шлаков этого типа является частое наличие впадины в верхней части лепешки (см. рис. 2, 7), образующейся из-за струи воздуха от дутья кузнечных мехов [13. Р. 11; 15]. Обычно впадина занимает половину верхней площади поверхности таких шлаков.

Имеются также отличия плавильных и кузнечных шлаков по химическому составу. Соотношение Fe/Si в кузнечных шлаках выше, чем в плавильных, а железо часто представлено в виде магнетита, что редко встречается в горновых и выпускных шлаках [4. Р. 88]. Шлаки, образованные при работе на наковальне, содержат больше мышьяка, никеля и кобальта [23]. Тем не менее стоит признать, что, глядя только на результаты геохимического анализа, однозначно определить тип шлака вряд ли удастся.

Другие кузнечные шлаки представлены мелкими фракциями размером 1–3 см (рис. 2, 8). Они часто расколоты или отбиты. Такие шлаки широко встречаются рядом с наковальней, где ковали крицу, от которой они отлетали в разные стороны. Эти шлаки пористы на сломе, и их плотность ниже, чем у горновых шлаков.

Отдельное внимание стоит уделить кузнечным микрошлакам (hammerscale) хотя бы по той причине, что в российской археометаллургии нами не встречено ни одной работы, посвященной этому виду шлаков. Как отмечал Джерри Макдоннелл, многие археологи ошибочно называют микрошлаки фрагментами коррозионного железа либо вообще игнорируют этот вид источника, не замечая его в раскопе [13. Р. 5–6]. Кузнечные микрошлаки имеют две разновидности. Первая представлена «хлопьями», внешне сильно напоминающими рыбу чешую, размером всего 1–3 мм [8; 15. Р. 2]. Такие шлаки образуются в процессе проковки крицы и изготовления железного предмета. Они отлетают от горячей заготовки и «впиваются» в землю, поэтому обнаружение таких шлаков в раскопе будет означать, что наковальня находилась в радиусе нескольких метров от наибольшей концентрации шлаковых «хлопьев». Проблема в том, что их очень трудно заметить в раскопе невооруженным глазом, тем не менее решение этой проблемы существует. «Хлопья», в отличие от всех других шлаков, описанных выше, очень хорошо магнитятся и могут быть собраны в поле с помощью обычного магнита.

Другой подвид микрошлаков представлен маленькими «шариками» таких же размеров, что и «хлопья». Их происхождение связано со сваркой уже готовых железных предметов [15. Р. 2], что было доказано в ходе археологических экспериментов [8].

Таким образом, микрошлаки являются важнейшим источником, а иногда надежным индикатором того, что мастера прошлого обладали технологией сварки. В отличие от других типов шлаков, которые могли быть перемещены в пространстве, концентрация микрошлаков помогает наиболее точно определить место, где находилась наковальня и работал кузнец.

Отдельный исследовательский блок связан с естественнонаучными анализами по изучению состава шлаков. Спектр лабораторных методов чрезвычайно велик [4. Р. 77; 17; 21. Р. 251–252; 22]. Здесь мы кратко остановимся только на основных лабораторных методах.

Известно, что на химический состав шлака оказывает влияние совокупность факторов: качество и состав железной руды, древесный уголь, размер плавильной камеры, сила подачи воздуха, технологические традиции, применение флюсов и многое другое. Поэтому шлаки могут значительно отличаться по составу не только на одном археологическом памятнике, но даже и в одном и том же горне [4. Р. 84].

Наиболее популярными методами определения химического и элементного состава шлака являются химические методы, а также спектральные и рентгенофлуоресцентные анализы. Зная состав археологического шлака, можно оценивать качество получаемой продукции. Рассмотрим кратко основные элементы и их свойства.

Главными компонентами в шлаках являются железо (Fe) и кремнезем (SiO_2). Эти компоненты есть во всех железных рудах без исключения и в ходе восстановительного процесса в железоплавильном горне частично переходят в шлак. Весовое количество вюстита (FeO) в плавильных шлаках может колебаться от 30 до 70%, гематита (Fe_2O_3) – от 0 до 15%, кремнезема (SiO_2) – от 15 до 40% [21. Р. 252].

Фосфор (P), содержащийся в руде и топливе, частью переходит в шлак, частью восстанавливается в железном изделии. По формуле [19; 21. Р. 265], зная количество фосфора в шлаке, можно подсчитать примерное содержание фосфора в железной продукции. $P(\text{металл}) = (0,12–0,35) \times P_2\text{O}_5(\text{шлак})$. Высокое содержание фосфора (выше 0,18–1%) увеличивает прочность стали и сопротивление коррозии, однако придает изделию значительную хладноломкость при низких температурах [21. Р. 265]. При этом чем сильнее подача воздуха кузнечными мехами и быстрее происходит расход топлива, тем меньше фосфора переходит в шлак и соответственно – больше в металл [23. Р. 79]. Похожим свойством, усиливающим прочность стали, обладает мышьяк (As). Даже в незначительных количествах в стали (до 0,05%) его эффект уже заметен [5. Р. 16].

На положительные свойства металла также влияет марганец (Mn), переходящий в шлак из руды. Являясь одним из самых важных и распространенных легирующих элементов, он увеличивает прочность изделия и

предел прочности на разрыв, а также влияет на снижение в стали вредной и пагубной серы [1. Р. 28].

Присутствие в шлаках натрия (Na) и калия (K) объясняется их переходом в шлак из топлива (древесного угля). Указанные элементы значительно увеличивают температуру плавления шлаков и оказывают влияние на весь ход сыродутного процесса [21. Р. 252].

Большинство шлаков содержит кальций (Ca). Этот элемент попадает в шлак из руды, а также из древесного угля и флюсов, если последние использовались. Необходимость использования флюсов для придания шлакам большей текучести и меньших потерь железа общеизвестна. Добавление флюсов, содержащих CaO (известь), помимо прочего, понижало в готовом железе количество вредной серы [Ibid. Р. 255]. Иногда, в случае использования древними металлургами флюсов, количество CaO в шлаках может достигать до 30% [Ibid.]. Долгое время ученые объясняли повышенное содержание в шлаках кальция добавлением флюсов, однако в ходе археологических экспериментов было доказано, что наибольшее влияние оказывает всё-таки древесный уголь [6; 26. Р. 399].

Алюминий (Al) попадает в шлаки из руды, топлива, а также из-за взаимодействия с глиняными стенками горна. При этом количество алюминия и калия в шлаках напрямую связано с нормой расхода топлива и силой дутья [23. Р. 79].

Не менее важной темой в археометаллургии является определение рудной базы древних производств. К сожалению, в российской науке этот вопрос также остается практически не разработанным. В литературе по черной металлургии не раз можно встретить таблицы с химическими анализами руд и шлаков, описание железорудных месторождений, сыродутных горнов и их типов, но доказательства использования конкретного рудного источника древними металлургами почему-то не приводятся [29, 34].

Так, в Западной Сибири известен всего один научный проект, направленный на поиск рудной базы средневековых металлургов Шайтанского археологического комплекса [31].

При этом именно археологические шлаки являются незаменимым помощником в установлении минерально-сырьевых ресурсов черной металлургии, потому что сами фракции железной руды на археологических памятниках встречаются не всегда. Это может быть связано с заготовкой руды на специальных вынесенных площадках. Тема важна еще и потому, что география расселения древних и средневековых высокотехнологичных обществ напрямую зависела от местонахождения железной руды.

Проблема идентификации рудной базы напрямую связана с вопросом – как именно по анализу руд и шлаков соотнести остатки производства железа с известными в регионе рудными месторождениями?

Естественно, будет неверным просто сравнить количество каждого элемента в руде и шлаке, потому что

их содержания будут всегда отличаться. Например, если в шлаках среднее содержание фосфора или кальция 2%, это не означает, что в используемой руде оно будет таким же.

Для решения подобной научной задачи следует обратить внимание на марганец. Экспериментальные исследования показывают, что в среднем количество марганца в шлаках в два раза выше, чем в используемой руде [23. Р. 79].

Не менее важен мышьяк. Количество мышьяка в железном изделии может шестикратно превосходить среднее количество мышьяка, содержащегося в руде [Ibid.]. Этот нюанс является важным инструментом по идентификации рудной базы древней металлургии. Приведем пример. Если на одном и том же поселении найдены железные предметы со средним содержанием мышьяка 0,01–0,03% и железные руды с содержанием мышьяка 1%, то, вероятнее всего, железные изделия были либо изготовлены из другого типа руд, либо попали на поселение из других регионов.

Наиболее важно, что в руде существуют трудно-восстановимые элементы, которые практически в полном виде переходят в шлак. К важнейшим элементам относятся: титан (Ti), молибден (Mo), ванадий (V), хром (Cr), марганец (Mn), стронций (Sr), барий (Ba). Указанные элементы являются главнейшим индикатором для установления минерально-сырьевых источников в ходе сравнительного анализа элементов руд и шлаков [33. С. 118]. Однако, как говорилось выше, сравнивать надо не каждый элемент по отдельности, а соотношение в парах или группах отдельно для руд и шлаков. Наиболее эффективными являются следующие соотношения: Fe/Ti, Mn/Ti, Mg/Mn, Al/Mn [2; 23]. Последнее соотношение (Al/Mn) применительно лишь в случаях, когда во время плавки использовалось мало глины, так как часть алюминия переходит в шлак из глиняных стенок горна [23. Р. 81]. Соотношение других элементов (таких, как фосфор, кальций, калий) может и не дать четких выводов, поскольку на их количество в шлаках помимо руды оказывают влияние качество и количество топлива, а также сила дутья.

Завершая обзор основного научного потенциала, скрытого в металлургических шлаках, мы бы хотели кратко озвучить основные рекомендации при начальном изучении этого важного источника.

1) Необходимо сохранять все найденные в раскопе шлаки для их первичного описания и взвешивания в камеральных условиях. Это поможет установить интенсивность древних производств и рассчитать примерное количество полученного металла.

2) Необходима индивидуальная фиксация шлаков и других свидетельств черной металлургии. Без этой методики невозможно узнать контекст залегания шлаков, концентрацию производств на изучаемом памятнике и соотнести шлаки с определенным горизонтом обитания в случае многослойности поселения.

3) Необходима типология шлаков для каждого исследуемого археометаллургического объекта. Она поможет выявить его назначение (железоплавильный или кузнечный горн), а также в некоторых случаях воссоздать конструктивные особенности теплотехнического сооружения и используемые мастерами технологии. Без проведения типологии и публикации основных ти-

пов шлаков все выводы о характере производств будут бездоказательны.

4) Необходимо изучение химического состава шлаков. Только благодаря геохимическим методам появляется возможность узнать качество получаемой продукции, реконструировать протекавшие в горне процессы, а также выявить рудную базу древней металлургии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Borovský T., Kijac J., Buľko I. B., Domovec M., Havran J. The influence of slag composition on the distribution of manganese between slag and metal in the electric furnace // *Acta Metallurgica Slovaca*. 2012. Vol. 18, No. 1. P. 28–33.
2. Charlton M.F., Crew P., Rehren T., Shennan S.J. Measuring variation in iron smelting slags: an empirical evaluation of group-identification procedures // *The World of Iron*. London : Archetype Publications, 2013. P. 421–430.
3. Cleere H. Twenty years of bloomery studies in Britain // *Archaeometallurgy of iron*. Prague, 1989. P. 191–213.
4. Clough R.E. Iron: aspects of the industry during the Iron Age and Romano-British periods. Doctoral thesis, University of London, 1986. 303 p.
5. Crew P., Salter C.J. Currency Bars with Welded Tips // *Bloomery Ironmaking during 2000 years: Seminar in Budalen*. Volume III. Trondheim : University of Trondheim, 1991. P. 11–30.
6. Crew P. CaO enhancement in slags: the influence of fluxing or fuel ash? // *Early Ironworking in Europe II conference*, Plas Tan y Bwlch. 2007. P. 50–52.
7. Crew P. Twenty-five years of bloomery experiments: perspectives and prospects // *Accidental and Experimental Archaeometallurgy*, HMS Occasional Publication No. 7. London, 2013. P. 27–54.
8. Dungworth D., Wilkes R. An investigation of hammerscale // *Research Department Report*. Series no 26, 2007. 36 p.
9. Freestone I.C. Melting points and viscosities of ancient slags : a contribution to the discussion // *The journal of the historical metallurgy society*. Oxford, 1988. Vol. 22. P. 49–52.
10. Gömöri Janos. The Hungarian bloomeries // *Archaeometallurgy of iron 1967–1987*. Prague, 1989. P. 125–138.
11. Hedges R.E.M., Salter C.J. Source determination of iron currency bars through analysis of the slag inclusion // *Archaeometry*. Oxford. Vol. 21. Part 2. P. 161–177.
12. Ingoglia C., Triscari M., Sabatino G. Archaeometallurgy in Messina: Iron slag from a dig at block P, laboratory analyses and interpretation // *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*. 2008. Vol. 8, No. 1. P. 49–60.
13. McDonnell J.G. Smelting and smithing slags. Ancient monuments laboratory. Report 3970, 1982. 17 p.
14. McDonnell J.G. Tap slags and hearth bottoms or how to identify slags // *Current archaeology*. 1983. No. 86. P. 81–83.
15. McDonnell J.G. A model for the formation of smithing slags // *Materiały archeologiczne XXVI*. Kraków, 1991. P. 23–28.
16. Miller D., Boeyens J., Kusel M. Metallurgical analyses of slags, ores and metal artefacts from archaeological sites in the north-west province and northern Transvaal // *South African archaeological bulletin*. Cape Town, 1995. Vol. 50. P. 39–46.
17. Mortimer C. Chemical analysis of metalwork and metalworking debris. The historical Metallurgy society: Archaeological datasheet № 12. 1995. URL: <http://www.hist-met.org/datasheets.html>, free (accessed date: 19.02.2017).
18. Paynter S., Blakelock E., Hatton G. Bloomery iron smelting – experimentation and archaeology // *Plas Tan y Bwlch*. Snowdonia National park. Research report series 25. 2012. 52 p.
19. Piaskowski J. Correlation between the phosphorus content in iron ore or slag and that in bloomery iron // *Archaeologia Polona*. Wrocław ; Warszawa ; Krakow, 1965. Vol. VIII. P. 83–103.
20. Piaskowski J. Classification of the strictures of slag inclusions in early objects made of bloomery iron // *Archaeologia Polona*. Wrocław ; Warszawa ; Krakow ; Gdansk, 1976. Vol. XVII. P. 139–149.
21. Pleiner R. Iron in Archaeology: The European Bloomery Smelters. Archeologický ústav AVČR, 2000. 400 p.
22. Rosenqvist Anna M. Report on chemical and mineralogical analyses of Norwegian ores, slags and iron // *Berichte und Mitteilungen zur Urgeschichte, Frühgeschichte und Mittelalterarchäologie*. 1983. Band 40. P. 129–137.
23. Serneels V., Crew P. Ore-slag relationships from experimentally smelted bog-iron ore // *Early Ironworking in Europe, archaeology and experiment*. International Conference Plas Tan y Bwlch. 1997. P. 78–82.
24. Sperr G. Comparative studies in early iron slags // *Bergund Huttenmannische Monatshefte* (124). 1979. P. 79–84.
25. Tylecote R.F. Metallurgy in archaeology. London : Edward Arnold (Publishers) LTD, 1962. 387 p.
26. Wang Q., Crew P. Three ores, three irons, three knives // *The World of Iron*. London : Archetype Publications, 2013. P. 393–401.
27. Водясов Е.В., Гусев А.В. Древнейшие свидетельства освоения человеком железа в Нижнем Приобье (по материалам раскопок Усть-Полюя в 2010–2012 гг.) // *Вестник археологии, антропологии и этнографии*. 2016. № 4 (35). С. 58–68.
28. Водясов Е.В., Зайцева О.В. Металлургический шлак как археологический источник: проблемы и перспективы изучения // *Культура как система в историческом контексте: Опыт Западно-Сибирских археолого-этнографических совещаний : материалы XV Междунар. Зап.-Сиб. археол.-этнограф. конф.* Томск : Аграф-Пресс, 2010. С. 400–403.
29. Зиняков Н.М. История черной металлургии и кузнечного ремесла древнего Алтая. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1988. 276 с.
30. Кожевников Н.О. Шлаки и другие материальные свидетельства древней металлургии железа // *Известия Лаборатории древних технологий ИрГТУ*. Иркутск, 2004. Вып. 2. С. 188–192.
31. Коноваленко С.И., Асочакова Е.М., Барсуков Е.В., Зайцева О.В. Вещественный состав шлаков и руд железнотопливного производства на территории Шайтанского комплекса средневековых археологических памятников в Томском Приобье // *Минералогия техногенеза*–2010. Миасс : ИМИН УрО РАН, 2010. С. 196–206.
32. Наумов А.Н. Черная металлургия и железообработка на сельских памятниках Куликова поля в конце XII – третьей четверти XIV вв. Тула : Гос. музей-заповедник «Куликово поле», 2008. 255 с.
33. Рындина Н.В. Результаты петрографического и спектрального исследования руды и шлаков с поселения Оймак // *Археология Северной и Центральной Азии*. Новосибирск : Наука, 1975. С. 114–118.
34. Сунчугашев Я.И. Древняя металлургия Хакасии (эпоха железа). Новосибирск : Наука, 1979. 191 с.

Vodyasov Eugene V. Tomsk State University (Tomsk, Russia). E-mail: vodiasov_ev@mail.ru; Zaitceva Olga V. Tomsk State University (Tomsk, Russia). E-mail: snori76@mail.ru

WHAT CAN IRON SLAG TELL AN ARCHAEOLOGIST?

Keywords: Archaeometallurgy; archaeological slag; ironmaking.

The article is devoted to the archaeological iron slag. One of the most serious problems in Russian archaeometallurgy is that iron slags have been ignored by Russian archaeologists as a source of information. Russian researchers are too ready to draw conclusions about the function of the furnace (smelting or smithing), but the lack of knowledge about slag typology leads to confusing smelting and smithing waste, so many conclusions are no proof. Most Russian articles don't contain the essential data such as: archaeological context, amount and weight of discovered slags, typology of slags, chemical composition etc. Unfortunately, many slags are thrown out in the field and are not included in the archaeological assemblage. For these reasons, purpose of the article is describe basic scientific knowledges which are "encrypted" in the archaeological slag. During the work the authors came to the following conclusions. Firstly, iron slags can be treated as reliable indicators of existing of iron smelting or smithing process on archaeological site. Slags prove ironmaking much better, than finds of iron artifacts or even blooms, because both iron tools and blooms theoretically could be imported while importing of slag on settlement is unlikely and senselessly. Secondly, the investigation of slag always begins in the field, therefore individual documentation of archaeometallurgical residues is preferred, because it helps identify the concentration of iron production on the site and date remains in some cases. Thirdly, the amount and weight of the discovered slags is also important, because it allows to determine the intensity of ironmaking and reconstruction the role of iron production in economy of ancient and medieval people. Fourthly, the slag typology plays an important role in the study of ancient metallurgy. There are different types of slag. Each of them represents a certain stage of iron production cycle (smelting and smithing). In some cases morphology of smelting slag can help in the reconstruction of the shapes and dimensions of destroyed furnaces and also can indicate a type of furnace, for example, slag blocks and tap slags are formed in different types of furnaces. Some slags allows to know about smithing operation. Thus, spheroid hammer scale can indicate welding technologies, and biggest concentration of hammer scale flakes in excavation area provide us with information on the exact location of the anvil. Finally, chemical and mineralogical composition may reflect a quality of produced iron and indicate iron ore source for ancient and medieval metallurgists.

REFERENCES

1. Borovský, T., Kijac, J., Buko, B., Domovec, M. & Havran, J. (2012) The influence of slag composition on the distribution of manganese between slag and metal in the electric furnace. *Acta Metallurgica Slovaca*. 18(1). pp. 28–33.
2. Charlton, M.F., Crew, P., Rehren, T. & Shennan, S.J. (2013) Measuring variation in iron smelting slags: an empirical evaluation of group-identification procedures. In: Humphris, J. & Rehren, T. (ed.) *The World of Iron*. London: Archetype Publications. pp. 421–430.
3. Cleere, H. (1989) Twenty years of bloomery studies in Britain. In: Hošek, J., Cleere, H. & Mihok, K. (eds) *Archaeometallurgy of iron*. Prague: Institute of Archaeology. pp. 191–213.
4. Clough, R.E. (1986) *Iron: aspects of the industry during the Iron Age and Romano-British periods*. Doc. Thesis. University of London.
5. Crew, P. & Salter, C.J. (1991) Currency Bars with Welded Tips. In: Espelund, A. (ed.) *Bloomery Ironmaking during 2000 years: Seminar in Budalen*. Vol. III. Trondheim: University of Trondheim. pp. 11–30.
6. Crew, P. (2007) CaO enhancement in slags: the influence of fluxing or fuel ash? In: Crew, P. (ed.) *Early Ironworking in Europe II conference*. Plas Tan y Bwlch. pp. 50–52.
7. Crew, P. (2013) Twenty-five years of bloomery experiments: perspectives and prospects. *Accidental and Experimental Archaeometallurgy, HMS Occasional Publication*. 7. pp. 27–54.
8. Dungworth, D. & Wilkes, R. (2007) An investigation of hammer scale. *Research Department Report*. 26.
9. Freestone, I.C. (1988) Melting points and viscosities of ancient slags : a contribution to the discussion. *The Journal of the Historical Metallurgy Society*. 22. pp. 49–52.
10. Gömöri, J. (1989) The Hungarian bloomeries. In: Pleiner, R. (ed.) *Archaeometallurgy of iron 1967–1987*. Prague: Archeologický ústav ČSAV. pp. 125–138.
11. Hedges, R.E.M. & Salter, C.J. (1979) Source determination of iron currency bars through analysis of the slag inclusion. *Archaeometry*. 21(2). pp. 161–177.
12. Ingoglia, C., Triscari, M. & Sabatino, G. (2008) Archaeometallurgy in Messina: Iron slag from a dig at block P, laboratory analyses and interpretation. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*. 8(1). pp. 49–60.
13. McDonnell, J.G. (1982) Smelting and smithing slags. *Ancient monuments laboratory*. 3970.
14. McDonnell, J.G. (1983) Tap slags and hearth bottoms or how to identify slags. *Current Archaeology*. 86. pp. 81–83.
15. McDonnell, J.G. (1991) A model for the formation of smithing slags. *Materialy archeologiczne XXVI*. Krakow. pp. 23–28.
16. Miller, D., Boeyens, J. & Kusel, M. (1995) Metallurgical analyses of slags, ores and metal artefacts from archaeological sites in the north-west province and northern Transvaal. *South African Archaeological Bulletin*. 50. pp. 39–46. DOI: 10.2307/3889273
17. Mortimer, C. (1995) Chemical analysis of metalwork and metalworking debris. *The Historical Metallurgy Society: Archaeological datasheet*. 12. [Online] Available from: <http://www.hist-met.org/datasheets.html>. (Accessed: 19th February 2017).
18. Paynter, S., Blakelock, E. & Hatton, G. (2012) Bloomery iron smelting – experimentation and archaeology. In: Paynter, S. (ed.) *Plas Tan y Bwlch. Snowdonia National park*. 25.
19. Piaskowski, J. (1965) Correlation between the phosphorus content in iron ore or slag and that in bloomery iron. *Archaeologia Polona*. 8. pp. 83–103.
20. Piaskowski, J. (1976) Classification of the structures of slag inclusions in early objects made of bloomery iron. *Archaeologia Polona*. 17. pp. 139–149.
21. Pleiner, R. (2000) *Iron in Archaeology: The European Bloomery Smelters*. Archeologický ústav AVČR, 2000.
22. Rosenqvist, A.M. (1983) Report on chemical and mineralogical analyses of Norwegian ores, slags and iron. *Berichte und Mitteilungen zur Urgeschichte, Frühgeschichte und Mittelalterarchäologie*. 40. pp. 129–137.
23. Serneels, V. & Crew, P. (1997) Ore-slag relationships from experimentally smelted bog-iron ore. *Early Ironworking in Europe, archaeology and experiment*. International Conference. Plas Tan y Bwlch. pp. 78–82.
24. Sperl, G. (1979) Comparative studies in early iron slags. *Bergund Huttenmannische Monatshefte*. 124. pp. 79–84.
25. Tylecote, R.F. (1962) *Metallurgy in archaeology*. London: Edward Arnold (Publishers) LTD.
26. Wang, Q. & Crew, P. (2013) Three ores, three irons, three knives. In: Humphris, J. & Rehren, T. (eds) *The World of Iron*. London: Archetype Publications. pp. 393–401.

27. Vodyasov, E.V. & Gusev, A.V. (2016) The earliest evidence of iron metallurgy in the Lower Ob region (a case study of Ust-Polui excavations in 2010–2012). *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii – Bulletin of Archeology, Anthropology and Ethnography*. 4(35). pp. 58–68. (In Russian).
28. Vodyasov, E.V. & Zaytseva, O.V. (2010) [Metallurgical slag as an archaeological source: Problems and prospects for studying]. *Kul'tura kak sistema v istoricheskom kontekste: Opyt Zapadno-Sibirskikh arkheologo-etnograficheskikh soveshchaniy* [Culture as a system in the historical context: Experience of the West Siberian archaeological and ethnographic meetings]. Proc. of the 15th International West Siberian Archeological and Ethnographical Conference. Tomsk: Agraf-Press. pp. 400–403. (In Russian).
29. Zinyakov, N.M. (1988) *Istoriya chernoy metallurgii i kuznechnogo remesla drevnego Altaya* [The history of ferrous metallurgy and blacksmith craft of the ancient Altai]. Tomsk: Tomsk State University.
30. Kozhevnikov, N.O. (2004) Shlaki i drugie material'nye svidetel'stva drevney metallurgii zheleza [Slag and other material evidence of ancient iron metallurgy]. *Izvestiya Laboratorii drevnikh tekhnologiy IrGTU*. 2. pp. 188–192.
31. Konovalenko, S.I., Asochakova, E.M., Barsukov, E.V. & Zaytseva, O.V. (2010) Veshchestvennyy sostav shlakov i rud zhelezodelatel'nogo proizvodstva na territorii Shaytanskogo kompleksa srednevekovykh arkheologicheskikh pamyatnikov v Tomskom Priob'e [Material composition of slag and iron ore production in the Shaitan complex of medieval archaeological sites in the Tomsk Ob area]. In: Potapov, S. (ed.) *Mineralogiya tekhnogeneza-2010* [Mineralogy of Technogenesis-2010]. Miass: RAS. pp. 196–206.
32. Naumov, A.N. (2008) *Chernaya metallurgiya i zhelezoobrabotka na sel'skikh pamyatnikakh Kulikova polya v kontse XII – tret'ey chetverti XIV vv.* [Ferrous metallurgy and iron processing on rural monuments of the Kulikovo field in the late 12th – third quarter of the 14th centuries]. Tula: Kulikovo pole.
33. Ryndina, N.V. (1975) Rezul'taty petrograficheskogo i spektral'nogo issledovaniya rudy i shlakov s poseleniya Oymak [Results of petrographic and spectral investigation of ore and slag from Oimak settlement]. In: Okladnikov, A.P. & Derevyanko, A.P. (eds) *Arkheologiya Severnoy i Tsentral'noy Azii* [Archeology of North and Central Asia]. Novosibirsk: Nauka. pp. 114–118.
34. Sunchugashev, Ya.I. (1979) *Drevnyaya metallurgiya Khakasii (epokha zheleza)* [Ancient metallurgy of Khakassia (Iron Age)]. Novosibirsk: Nauka.