



УДК 902.904 (574)
МРНТИ 03.41.91

<https://doi.org/10.52967/akz2022.4.18.58.72>

О “металлургических печах шахтного типа” в позднем бронзовом веке Казахстана

© 2022 г. Григорьев С.А.

Keywords: archaeology, Central Kazakhstan, Late Bronze Age, shaft furnaces, metallurgy, wells, chimneys, slag

Түйін сөздер: археология, Орталық Қазақстан, кейінгі қола дәуірі, шахта пештері, металлургия, құдықтар, мұржалар, қож

Ключевые слова: археология, Центральный Казахстан, поздний бронзовый век, шахтные печи, металлургия, колодцы, дымоходы, шлак

Stanislav Grigoriev¹

¹Candidate of Historical Sciences, Institute of History and Archaeology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Chelyabinsk, Russia. E-mail: stgrig@mail.ru

About “metallurgical furnaces of shaft type” in the Late Bronze Age of Kazakhstan

Abstract. In the Late Bronze Age settlements of Central Kazakhstan, the existence of huge metallurgical shaft-type furnaces with chimneys, up to 2 m in diameter and depth, is assumed. However, from a technological point of view, the use of such furnaces for smelting copper ore is impossible. Experimental use of these “furnaces” has only proved the possibility of burning firewood in them. They do not reflect a processes of ore smelting with charcoal. The analysis of finds from Atasu and Taldysai shows that there is no evidence of smelting carried out in these constructions, but there is some evidence that the upper part of the walls was burned in real wells. The metallurgical residues found in the wells are the result of their backfilling with garbage. A hypothesis about the use of the deep shafts for smelting sulfide ores remained unconfirmed, since the analyzes of ores and slags can exclusively indicate smelting of oxidized minerals. Thus, the structures under consideration are wells which were typical of the Ural-Kazakhstan steppes, to which smaller furnaces were attached making it possible to achieve natural draft from the well to the furnace. Constructions of similar design are reported in the Sintashta Culture and, thus, arose in metallurgy of Trans-Urals in the early 2nd mill. BC and then became widespread elsewhere.

For citation: Grigoriev, S. 2022. About “metallurgical furnaces of shaft type” in the Late Bronze Age of Kazakhstan. *Kazakhstan Archeology*, 4 (18), 58–72 (in Russian). DOI: [10.52967/akz2022.4.18.58.72](https://doi.org/10.52967/akz2022.4.18.58.72)

Станислав Аркадиевич Григорьев¹

¹тарих ғылымдарының кандидаты, Ресей Ғылым Академиясының Орал филиалының Тарих және археология институты, Челябинск, Ресей

Қазақстанның кейінгі қола дәуіріндегі «шахта түріндегі металлургиялық пештері» туралы

Аннотация. Орталық Қазақстанның соңғы қола дәуіріндегі қоныстар үшін диаметрі және тереңдігі 2 м-ге дейінгі мұржалары бар үлкен металлургиялық

Станислав Аркадиевич Григорьев¹

¹кандидат исторических наук, Институт истории и археологии УрО РАН, Челябинск, Россия

О “металлургических печах шахтного типа” в позднем бронзовом веке Казахстана

Аннотация. Для поселений позднего бронзового века Центрального Казахстана предполагаются огромные шахтные металлургические печи с дымо-



шахта пештерінің болуы болжанады. Алайда технологиялық тұрғыдан қарағанда мыс кенін балқыту үшін бұл пештерді пайдалану мүмкін емес. Бұл «пештерді» тәжірибелік жұмыстарда қолдану тек оларда отынның жану мүмкіндігі ғана дәлелденді, ал көмірдің көмегімен кенді балқыту процестерін көрсетпейді. Атасу мен Талдысай қоныстарынан табылған заттарды талдау, бұл шұңқырларда балқыту жүргізілгені туралы ешқандай дәлел жоқ, алайда құдықтарда қабырғалардың жоғарғы бөлігі күйгені туралы мәліметтер бар. Құдықтардан табылған металлургиялық қалдықтар қоқыспен толтыру нәтижесі болып табылады. Сульфидті кендерді балқыту үшін терең шахталарды пайдалану туралы гипотеза да расталмады, өйткені аталған қоныстардағы кендер мен қождарды талдау тек тотыққан минералдардың балқуын көрсетеді. Осылайша, қарастырылып отырған шахталық шұңқырлар құдықтан пешке дейін табиғи тартымдылыққа қол жеткізуге мүмкіндік беретін кішігірім пештер бекітілген Орал-Қазақстан далаларына тән құдықтар болып табылады. Бұл құрылым синташта мәдениетінде кездеседі, кейін басқа жерлерде кеңінен таралды.

Сілтеме жасау үшін: Григорьев С.А. Қазақстанның кейінгі қола дәуіріндегі «шахта түріндегі металлургиялық пештері» туралы. *Қазақстан археологиясы*. 2022. № 4 (18). 58–72 -бб. (Орысша). DOI: [10.52967/akz2022.4.18.58.72](https://doi.org/10.52967/akz2022.4.18.58.72)

ходами, диаметром и глубиной до 2 м. Однако их использование для плавки медной руды невозможно по технологическим соображениям. Экспериментальные работы по использованию “печей” доказали лишь возможность горения в них дров и не отражают процессы плавки руды с помощью древесного угля. Анализ находок на поселениях Атасу и Талдысай показывает, что свидетельства плавки в этих углублениях отсутствуют, однако есть данные, что в открытых на этих поселениях колодцах обжигалась верхняя часть стенок; обнаруженные же в колодцах металлургические остатки являются результатом засыпки мусором. Гипотезы об использовании “шахтных печей” для плавки сульфидных руд тоже не подтверждаются: анализы руд и шлаков указанных поселений указывают на плавку исключительно окисленных минералов. Таким образом, шахтные углубления являются типичными для урало-казахстанских степей колодцами, к которым пристраивались небольшие печи, что позволяло добиться естественной тяги из колодца в печь. Эта конструкция появилась в синташтинской культуре, откуда распространилась в иные ареалы.

Для цитирования: Григорьев С.А. О “металлургических печах шахтного типа” в позднем бронзовом веке Казахстана *Археология Казахстана*. 2022. № 4 (18). С. 58–72. DOI: [10.52967/akz2022.4.18.58.72](https://doi.org/10.52967/akz2022.4.18.58.72)

Введение

Одним из феноменов в металлургии позднего бронзового века Казахстана считаются шахтные печи в колодцах. Впервые они были выявлены на поселении Атасу (рис. 1), и тогда же было высказано предположение, что в этих огромных сооружениях плавил руду [Кадырбаев 1983; Кадырбаев, Курманкулов 1992]. Впоследствии аналогичные сооружения были открыты на поселении Мыржик, где их глубина достигала 3 м. Мне приходилось критиковать эту точку зрения [Григорьев 2013: 434–436; 2013а]. Основания для критики и выводы следующие: 1) размеры шахт избыточны; 2) в них сложно создать необходимые условия и тягу; 3) это колодцы с пристроенными печами, которые распространены на синташтинских и алакульских памятниках. Небольшая их глубина на Атасу объясняется уровнем грунтовых вод; они исследованы не полностью. Наличие в нижней их части глины не означает, что достигнут уровень материка. Глина или материковая супесь часто заполняет синташтинские колодцы и отличить ее от материковой бывает сложно (рис. 2, 1, 2; 3, 2, 3). На синташтинских поселениях в подобной конструкции имелся воздухопровод между колодцем и печью (рис. 2, 3) и тяга создавалась благодаря перепаду температур. Часто газы выводились из печей с помощью горизонтального дымохода длиной 1,5–4 м, который завершался вертикальной частью (рис. 2, 3, 4). Соорудить вертикальную часть дымохода можно было с использованием органического материала, а горизонтальная часть была нужна, чтобы отводимые газы остыли,



отапливая при этом жилище. Но дымоход не должен быть слишком длинным, так как остывание происходило на небольшом удалении от печи.

Недавно функционирование гипотетической “шахтной печи” было показано экспериментально [Русанов 2013]. Публикация этого исследования вынуждает вернуться к обсуждению проблемы.

Но начать мы должны с принципов аргументации. Реконструкция того или иного технологического процесса должна базироваться на археологических источниках. Получение же экспериментальных результатов не означает, что в древности делали именно так и показывает лишь потенциальную возможность. Но и эта гипотетическая реконструкция корректна лишь в своих узких рамках. Добившись последовательности действий $A_1 - A_2 - A_3$, мы не можем утверждать, что это означает возможность сходных действий, но с отклонениями, напр. $A_{1a} - A_{2a} - A_{3a}$. И, как и в первом случае, нет оснований для утверждений, что так поступали в древности. Наконец, гипотетическая реконструкция должна соответствовать физико-химическим характеристикам процесса.

Полагая, что эти конструкции были колодцами, мы должны обсудить проблемы их использования, эксплуатационных изменений и исследования (подробнее см.: [Григорьев 2013а; Григорьев и др. 2018]). Их стенки укреплялись плетнем, который сохраняется ниже уровня грунтовых вод. Постепенный их подмыв все равно происходил, они проседали, приобретая широкие очертания до 2 м с наклонными верхними стенками. В случае сильного вымывания грунта колодец забрасывался и копался новый. Прежний засыпался мусором или глиной из нового колодца (рис. 3). Поэтому часто казалось, что дно достигнуто. В колодец могла быть сброшена печь, стоявшая на краю, и в заполнении есть слои прокала, металлургические отходы, ранний культурный слой. Таким образом, обнаружение металлургических остатков в колодцах не означает, что плавка производилась в них. При засыпке колодца грунтом вода не прекращала выступать на поверхность, поэтому было необходимо ее изолировать заполнением глиной или укладкой глиняной площадки. Иногда на площадках устраивались печи. По мере уплотнения заполнения площадки проседали и было необходимо делать досыпки (рис. 3). В итоге мы встречаем 2–3 досыпки, разделенные линзовидными слоями просевших площадок, и даже остатки более поздних печей на них, которые выглядели как под печи углубленного типа (рис. 2, 1; 3, 1). Но в реальности это под наземной печи, просевшей вместе с площадкой [Григорьев и др. 2018, рис. 2, 2, 3, 4; 5, 4].

Металлургические конструкции поселений Атасу и Талдысай

На поселении Атасу были впервые исследованы обсуждаемые в этой работе “печи шахтного типа” [Кадырбаев 1983; Курманкулов, Ержанова 2013]. Они имели диаметр от 1,2 до 3,3 м и глубину от 0,7 до 2 м. В большинстве своем они не исследованы полностью, так как этому препятствовало появление воды на глубине чуть более 1 м, иногда ок. 2 м (рис. 1, 4) [Курманкулов, Ержанова 2013: 123, 124]. Из описаний не следует, что они были металлургическими печами. Обнаружение прокаленной глины, шлака или меди мы можем игнорировать, так как это явные развалы, сформировавшиеся в результате их засыпки. На это указывает то, что в ряде случаев развалы прокаленной глины и слои угля со шлаками лежали выше рухнувшего перекрытия, как на Атасу в “огневой камере 3” комплекса 1 и в яме 7 или на Талдысае в “яме-печи 2” [Курманкулов, Ержанова 2013: 125, 126; Ермолаева, Ержанова 2013: 139]. В качестве доказательства обратного приводится одна из ям комплекса 5, в которой обнаружен слой кусков обожженной руды размерами 4–6×7–8 см [Курманкулов, Ержанова 2013: 129]. Такие размеры для окисленных руд неприемлемы, руда должна дробиться

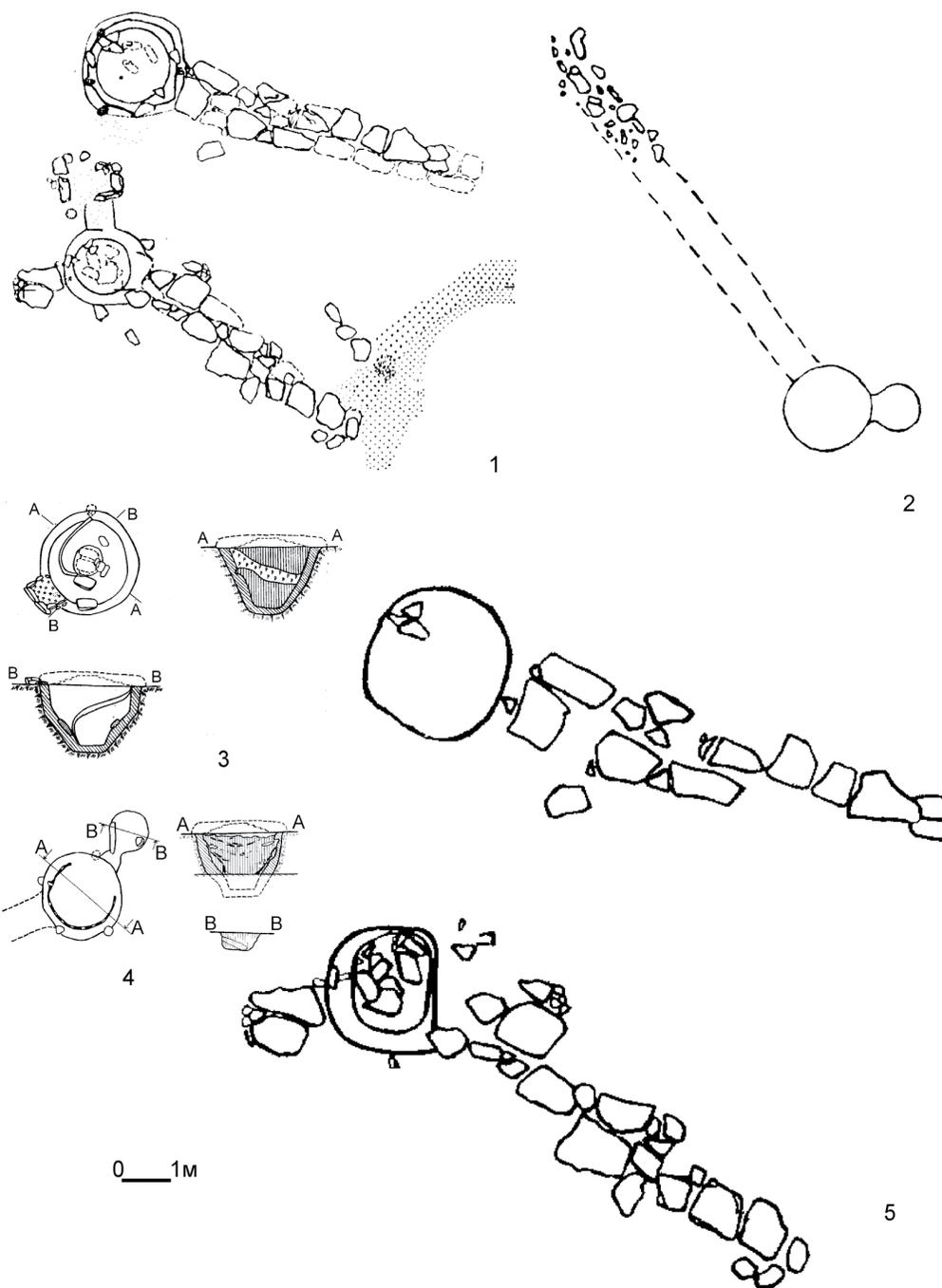


Рис. 1. Печи поселения Атасу: 1 – печи № 7, 8; 2 – медеплавильный комплекс № 2; 3 – печь № 5; 4 – печь № 12; 5 – медеплавильный комплекс № 5 (по: [Кадырбаев, Курманкулов 1992])

1-сур. Атасу кентінің пештері: 1 – 7, 8-пештері; 2 – 2-ші мыс балқыту кешені; 3 – 5-ші пеш; 4 – 12-ші пеш; 5 – 5-ші мыс балқыту кешені ([Қадырбаев, Құрманқұлов 1992] бойынша)

Fig. 1. Furnaces of the Atasu settlement: 1 – furnaces No. 7, 8; 2 – copper smelting complex No. 2; 3 – furnace No. 5; 4 – furnace No. 12; 5 – copper smelting complex No. 5, after – Kadyrbayev, Kurmankulov 1992

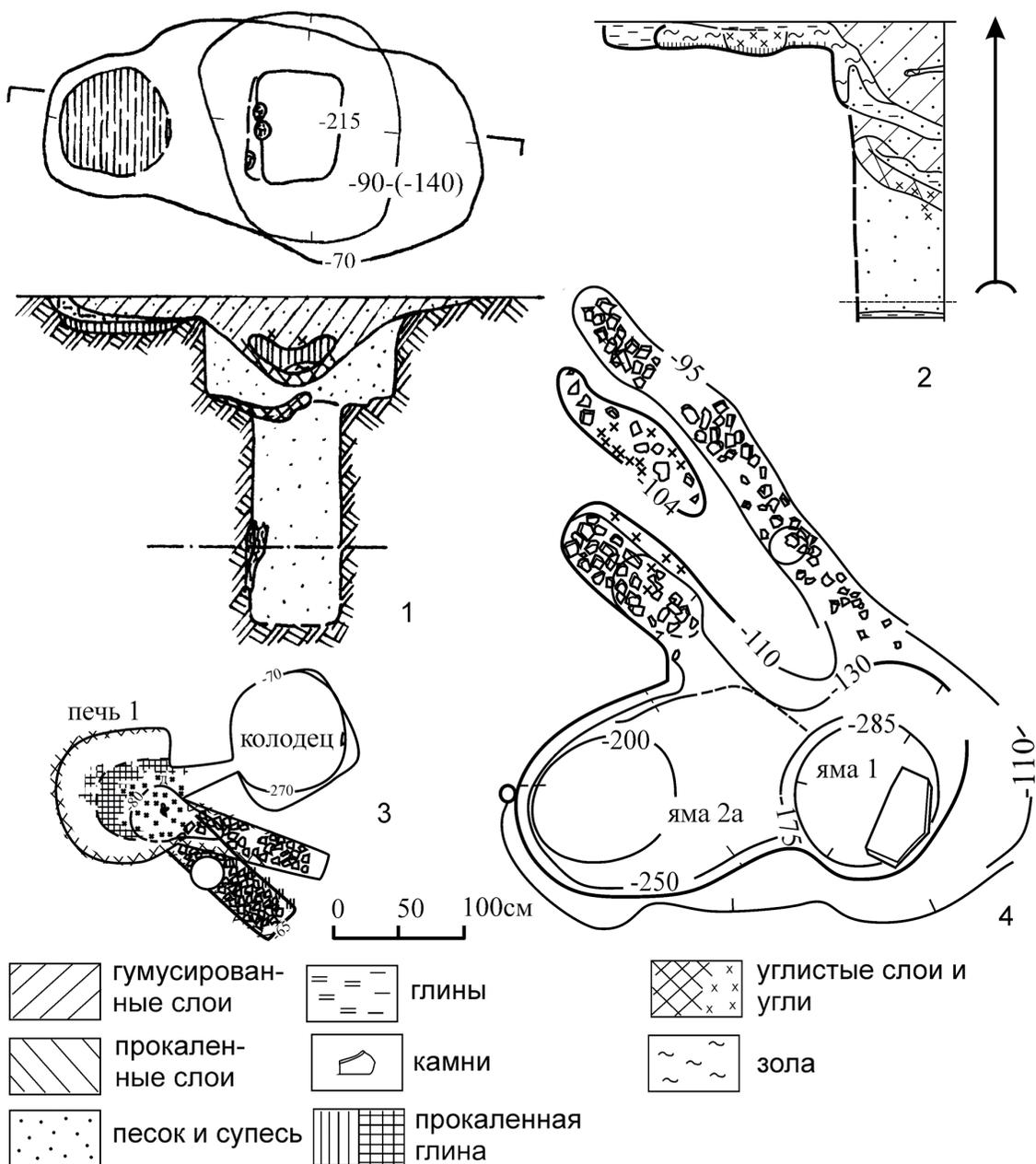


Рис. 2. Печи у колодез поселеня Аркаим (по: [Зданович и др. 2020]):

1 – жилище 2-1, печь 1 (в верхней части заполнения печь, просевшая вместе с площадкой);
2 – жилище 2-14, печь 3; 3 – жилище 1-3, печь 1; 4 – жилище 1-6, канавки дымоходов при ямах 1 и 2

2-сур. Аркаим қонысының қабырғасындағы пештер ([Зданович и др. 2020] бойынша):

1 – 2-1-тұрғын үй, 1-ші пеш (толтырудың жоғарғы бөлігінде пеш платформамен бірге отырды);

2 – 2-14-тұрғын үй, 3-ші пеш; 3 – 1-3-тұрғын үй, 1-ші пеш;

4 – 1-6-тұрғын үй, мұржалық ойықтар 1 және 2-ші шұңқырларда

Fig. 2. Furnaces at the wells of the Arkaim settlement, after – Zdanovich et al. 2020: 1 – dwelling 2-1, furnace 1 (in the upper part of the filling, the furnace sank together with the platform); 2 – dwelling 2-14, furnace 3; 3 – dwelling 1-3, furnace 1; 4 – dwelling 1-6, flue grooves at pits 1 and 2

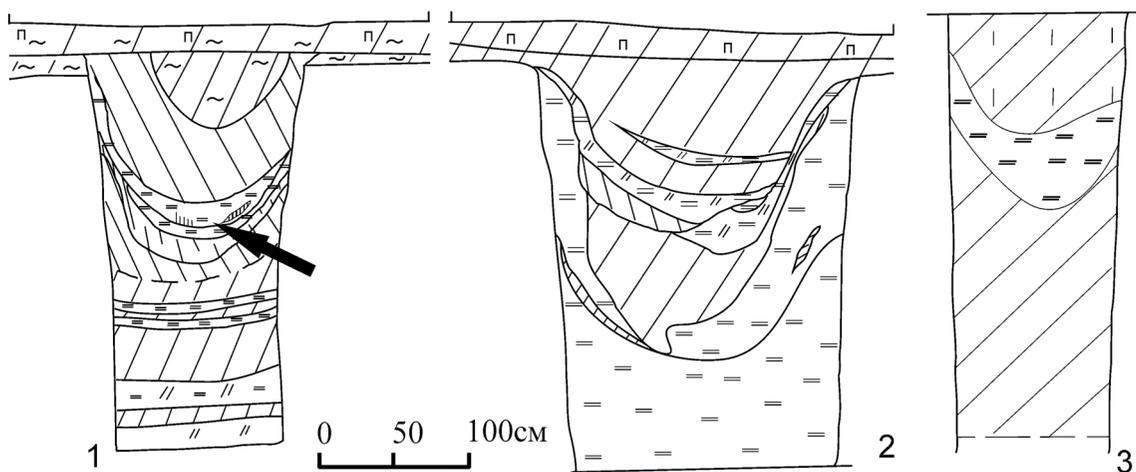


Рис. 3. Разрезы колодцев поселения Мочище (по: [Григорьев и др. 2018]):
1 – колодец 2, жил. 2 (стрелкой показана печь, просевшая в колодец вместе с глиняной площадкой);
2 – колодец 45, жил. 3; 3 – колодец 2, раскоп 3

3-сур. Мочище кентінің ұңғымаларының кесінділері ([Григорьев и др. 2018] бойынша):
1 – 2-ші құдық, 2-ші тұрғын үй (көрсеткі балшық платформасымен бірге құдыққа батырылған пешті көрсетеді); 2 – 45-ші құдық, 3-ші тұрғын үй; 3 – 2-ші құдық, 3-ші қазба

Fig. 3. Sections of wells of the settlement of Mochishche, after – Grigoriev et al. 2018:
1 – well 2, dwelling 2 (the arrow shows the furnace that sank into the well together with the clay platform);
2 – well 45, dwelling 3; 3 – well 2, excavation 3

мелко, что создает большую площадь поверхности, реагирующей с монооксидом углерода. Эта руда была засыпана в яму после прекращения функционирования.

Стенки ям чаще не прокалены, что невозможно при металлургических операциях. На Атасу исключением являются яма в помещении 25 и три ямы в помещении 2. Лишь одна из трех имеет диаметр 1,6 м при глубине 1 м, остальные меньше, и их параметры соответствуют металлургическим печам. Из описания невозможно выяснить, была ли прокаленная обмазка во всех ямах. Еще одним случаем фиксации прокаленной обмазки является “огневая камера 2” комплекса 1, расчищенная до глубины 2 м. В обмазке обнаружены включения меди. Включения шлака и меди есть и в обмазке ямы 15, но она исследована лишь в верхней части. Однако шлак является агрессивным агентом. Для присутствия шлака и меди внутри обмазки расплавленный шлак должен с ней контактировать, что привело бы к шлакованию обмазки, а такие участки не отмечены. Наконец, прокал мощностью 2,5–3 см обнаружен на обмазке ямы комплекса 5 [Курманкулов, Ержанова 2013: 123, 124, 129].

Отдельные случаи прокала обмазки есть на Талдысае. В яме-колодце 1 обмазка подновлялась как минимум два раза, но температура прокаливания не превышала 450°C, что ниже температур металлургических операций. У дна, на глубине 330–360 см, стенки ямы укреплены деревянным каркасом, и сооружение было интерпретировано как колодец [Ермолаева, Ержанова 2013: 136, 137]. Нижняя его часть укреплялась плетнем с обмазкой, а верхняя часть обмазки – обжигом. Эту ситуацию мы вправе экстраполировать на иные сооружения, но, как говорилось выше, в некоторых из них степень прокаливания могла быть недостаточной для образования яркого прокала или стенки вовсе не прокаливались, а укреплялись плетнем. В Восточной яме обнаружен прокал обмазки, которая местами потекла. Но этот прокал распространился на 50–60 см в глубину, ниже обмазка не



прокалена. К тому же комплекс переиспользовался, поскольку в его заполнении встречена алакульская, федоровская и саргаринская посуда [Ермолаева, Ержанова 2013: 160]. Возможно, мы имеем дело с прокаливанием обмазки и ее прокалили только вверху и более интенсивно. Но не исключено, что это использование в качестве печи шахты старого колодца. Если бы мы имели дело с шахтной печью, то прокаливанию обмазки было бы и ниже. Показательно, что Северная яма Восточного жилищно-производственного комплекса сверху залита слоем глины [Ермолаева, Ержанова 2013: 146]. В синташтинских жилищах это делалось в случае засыпки колодца, чтобы изолировать грунтовые воды. В противоположность этому печи, которые могли служить для металлургии (напр., яма-печь 3 размерами 48×68 см и глубиной 53 см), имели стенки, прокаленные на всю глубину, и прокаленное дно [Ермолаева, Ержанова 2013: 138].

Предполагается, что дутье осуществлялось через каналы в обмазке, которые опускались по спирали в нижнюю часть печи. В некоторых (но не во всех печах) каналы выявлены, но надежно чертежами не документированы, хотя фотографии показывают их существование. На Талдысае их диаметр составлял 10–12 см, хотя местами достигал 13–18 см [Курманкулов, Ержанова 2013: 129, рис. 17; Ермолаева, Ержанова 2013: 139, 153, 154, 160]. Но даже больший диаметр этих каналов недостаточен для плавки на основе древесного угля, хотя этого хватало для горения дров. Однако эти каналы отмечены и там, где обмазка не прокалена, например, в печи 8 на Атасу. При этом в канале выявлены следы копоти [Курманкулов, Ержанова 2013: 127]. Были каналы и в яме-колодце 1 на Талдысае, которая совершенно определенно служила колодцем [Ермолаева, Ержанова 2013: 137]. Присутствие копоти в канале может указывать на огневое воздействие, но недостаточно интенсивное для формирования яркого и мощного прокала. Целью этого было закрепление глиняной обмазки обжигом даже в колодцах. Вероятно, это была стандартная процедура, хотя в большинстве случаев прокалы по стенкам не выявлены. Их интенсивность зависела от температуры и состава обмазки. В некоторых случаях мог формироваться прокал серого цвета, и эта обмазка была не столь прочной и постепенно слилась с заполнением. Поэтому фрагменты каналов не указывают на металлургию.

Важным компонентом этих сооружений на Атасу были горизонтальные дымоходы (рис. 1, 1, 2, 4, 5) [Курманкулов, Ержанова 2013: 122, 124–129]. Они начинались от шахтного углубления, но не во всех случаях. Иногда они были не прямыми, а проходили вдоль стен жилищ, имея «Г»-образную или «П»-образную форму, что позволило сделать вывод о том, что они служили для отопления. Это канавки шириной 0,3–0,8 м и глубиной 0,15–0,4 м, но иногда, судя по распространению прокала на поверхности материкового слоя, они не были углублены в материк, и в этом случае ширина может достигать 1 м, что обусловлено, вероятно, развалом верхней прокаленной конструкции. Стенки дымоходов покрывались плитками или обмазкой, а сверху некоторые из них перекрыты каменными плитками. Примечательна длина дымоходов Атасу (5 м, 6,4 м, 7–8 м, 8 м, 9,2 м, 13 м, 18,4 м). При ширине до 0,6–0,8 м теплоотдача была интенсивной, поэтому горячие газы должны были остывать, и такая длина была избыточной. Прокаливанию дымохода на большом удалении от печи возможно в случае очень сильной тяги, когда газы проходят по дымоходу с высокой скоростью. Однако воздух в «огневую камеру» поступал через один или два канала диаметром ок. 10–20 см, следовательно, воздух, подаваемый через каналы с суммарным сечением 40–80 см², на выходе распределялся в дымоходе с сечением ок. 600–3000 см², что не могло обеспечить высокой скорости газов, либо мы должны допустить невероятную скорость поступления воздуха в каналы. При горении дров, которые содержат кислород, этого воздуха могло быть достаточно, но при горении древесного угля охарактеризованная теплотехническая схема сомнительна. В любом случае, вскоре после прохож-



дения воздуха через дымоход температура газов снижалась. Показательна ситуация в комплексе 1, где один дымоход прокалён по всей длине на 13 м, а во втором, имевшем каменное перекрытие длиной 10,4 м, прокалены камни, но и далее есть прокал длиной 8 м, причем интенсивный, до 10–15 см глубиной [Курманкулов, Ержанова 2013: 124]. Газы из “огневой камеры” не способны обеспечить такое прокалывание, и горение осуществлялось местами по всему дымоходу. Следовательно, это больше похоже на отопительное сооружение, чем на дымоход, хотя сказанное, возможно, не относится к более коротким конструкциям, к тому же иногда эти функции могли быть совмещены. Возможность непосредственного горения в некоторых “дымоходах” подтверждается тем, что на поселении Талдысай очаги располагались даже в центральной части одного из них, обеспечивая прогрев на большую длину [Ермолаева, Ержанова 2013: 164].

В некоторых конструкциях мы видим признаки типичных печей с дымоходами, пристроенных к колодцам. В начале дымохода комплекса 1 на Атасу к шахте пристроена глиняная конструкция длиной 2 м, шириной 0,8 м и глубиной 20–25 см, рядом с которой обнаружены сопло и шлак. На стыке второй шахты и дымохода выявлен прокал длиной 2 м [Курманкулов, Ержанова 2013: 124, 125]. Подобные печи, благодаря удлинённой реакционной зоне, способствовавшей генерации монооксида углерода, удобны для плавки окисленных руд. Около “ямы-печи 6”, на стыке с дымоходом, расчищена заполненная золой яма диаметром 0,4 м, глубиной 0,3 м. Стенки обложены плитами, вокруг найдены капли меди, руда и шлак. Много шлака найдено и среди разрушенных камней второго дымохода шахтного углубления [Курманкулов, Ержанова 2013: 124–126]. Эти факты указывают на то, что плавка осуществлялась именно здесь. В случае, если бы плавка велась в шахтном углублении, зола не могла бы накопиться в этой небольшой яме, а отложение шлака в ней вовсе немыслимо. Очевидно и то, что встраивать небольшую печь между огромной огневой камерой и дымоходом не имело смысла. Помимо этих печей с дымоходами, к шахтному углублению пристроены и небольшие печи, без дымохода (рис. 1), которые тоже соответствуют синташтинской традиции. Это прямоугольная конструкция со стенками из каменных блоков размерами 1,76×1,2 м, пристроенная к шахтному углублению жилища 4; заполненное золой углубление с прокаленными стенками, пристроенное к “огневой камере” комплекса 1, с расположенным рядом шлаковым отвалом; прямоугольная конструкция у ямы 11 комплекса 4; заполненный золой каменный ящик (0,65×0,6 м) с прокаленными стенками, пристроенный к яме комплекса 5 [Курманкулов, Ержанова 2013: 122, 125, 128, 129]. Аналогичная ситуация и в Талдысае. Около “ямы-печи 2” обнаружен пристроенный дымоход, а у другого края – наземное плавильное устройство без дымохода. Такое же устройство выявлено около “Западной ямы” [Ермолаева, Ержанова 2013: 138, 165].

Помимо этого, на обоих поселениях найдены отдельно стоящие небольшие печи или очаги, которые не имеют прямого отношения к рассматриваемой проблеме. Поэтому все эти данные укладываются в ситуацию, засвидетельствованную на синташтинских памятниках: здесь и там есть печи с дымоходами или без, как пристроенные к колодцам, так и стоящие отдельно.

Экспериментальные реконструкции шахтной печи по материалам поселения Талдысай

Задачей экспериментов, осуществленных близ поселения Талдысай, было подтверждение возможности плавки меди в печи шахтного типа. С этой целью построена перекрытая сводом печь, в обмазке сделаны воздуходувные каналы, опускающиеся в среднюю и нижнюю части печи, а на дне устроен приемник для металла и шлака. К печи примыкал горизонтальный дымоход, завершившийся вертикальной частью, и через определенные расстояния в нем были оборудованы очаги [Ру-



санов 2013: 364]. Добиться полного горения и хорошей тяги в подобной печи сложно. По нашему опыту, попытки делать это, немедленно загружая уголь, были не слишком удачными: могла гореть лишь часть угля, причем в небольшой печи, диаметром ок. 80 см, и на горение во всей полости уходило много времени. Проще ситуация в случае предварительного прогрева дровами и на это хватало одной загрузки. Печь такого большого размера невозможно заставить работать с помощью угля, как невозможно было и создать естественную тягу по образу синташтинских печей. Однако талант экспериментатора позволил И.А. Русанову решить проблему. В одном из очагов в дымоходе разводился огонь, который разогревал его и прилегающую часть дымохода, затем он перекрывался, и огонь разводился во втором очаге, а затем в третьем. Благодаря этому в течение трех часов удалось прогреть дымоход и в нем появлялась тяга. Это позволяло разжечь дрова, которыми была загружена шахтная печь. По мере прогорания часть из них превращалась в угли, на которые насыпалась руда. Сделанные в обмазке каналы обеспечивали воздухом горение дров. При использовании дров в качестве топлива достигнуты температуры 700–1000°C, но при использовании кизяка в нижней части печи удавалось достичь 1268°C [Русанов 2013: 367]. Однако эксперимент с кизяком, на мой взгляд, не показателен, так как он способен повысить температуру, но я не уверен, что с его помощью можно получить восстановительную среду.

Серьезной проблемой экспериментов является дефицит богатой окисленной руды. Большинство экспериментаторов проводит плавки в небольших объемах, что не позволяет добиться тех условий, которые были в древности. Особенно сложно найти нужное количество вторичных сульфидов – ковеллина (CuS) или халькозина (Cu₂S). В данном случае использовалась чистая руда этого типа. Поскольку руда была без примесей породы, было достаточно выжечь серу, что достижимо в печи любого типа. В экспериментах медь была получена при плавке как в шахтной печи, так и в небольшой наземной [Русанов 2013: 365, фото 8–13]. Но из этого не следует, что таким образом можно плавить окисленные руды, которые были основой производства в Центральном Казахстане.

Достигнутые температуры 700–1000°C недостаточны для плавки руды. Они ниже температуры плавления меди (1084°C), вторичных сульфидов (ок. 1127°C) и куприта (1232°C). Кроме того, в реальных металлургических процессах участвует порода, которая более тугоплавка. Особенно это касается Центрального Казахстана, где оруденение приурочено к песчаникам. В синташтинское время, когда использовались легкоплавкие руды из ультраосновных пород, температура колебалась в диапазоне 1200–1300°C, но с переходом на руды из кислых пород и сульфиды температуры смещаются в диапазон 1300–1500°C [Grigoriev 2017: 7]. Получение меди в эксперименте при низких температурах объясняется локальной экзотермальной реакцией выгорания серы. При полной загрузке печи процессы будут иными, можно ожидать высоких температур по всей полости, с мощным шлакованием стенок, чего мы не видим на памятниках. А плавка окисленных руд, если исходить из этих экспериментальных данных, в принципе невозможна.

Кроме того, мы должны опираться, прежде всего, на археологические факты, а не на реконструкции. В экспериментальной печи обмазка была прокалена на значительную глубину, в то время как в археологических конструкциях прокал либо отсутствовал, либо был не слишком интенсивным. Это объяснено тем, что в обмазку добавлялось много золы. Был произведен успешный опыт с такой обмазкой. Но исследование фрагментов археологической обмазки показало, что она прокалена при 450°C [Ермолаева, Ержанова 2013: 137], что гораздо ниже температур, достигаемых при плавке руды, и даже температур, достигнутых при горении дров. Указанное значение скорее свидетельствует об обжиге обмазки. Наконец, в отличие от шахтных углублений на поселении, в



малых наземных печах стенки хорошо прокалены. Более того, независимо от степени прокаленности, в результате высокотемпературного воздействия и воздействия шлака на обмазку она приходила в негодность. При таких объемах плавки, объем обмазки, которую надо было иногда менять, был значительным. Это обеспечило бы огромные отвалы из обмазки и массу золисто-прокаленных слоев глины, которые раскопками не выявлены.

Реконструкция объемов плавки основана на предполагаемом объеме ямы-приемника и на предположении, что она заполнялась полностью. Предполагается загрузка от 210 до 2458 кг руды и получение от 170 до 850 кг меди, хотя оптимальным признается получение 150–200 кг меди [Русанов 2013: 366]. Допускается, что руда была чистой. Однако в Центральном Казахстане есть хорошая минерализация окисленных руд и первичных сульфидов, но очень сложно представить такие объемы чистого халькозина. Судя по этим цифрам, даже если эту гипотезу допустить, руда содержала много пустой породы, которая должна формировать десятки тонн шлака, что вело бы к колоссальным отвалам, как это имеет место в Восточных Альпах или на Кипре. Поэтому, до обнаружения таковых, следует придерживаться мнения о более скромных объемах производства, для которого такие печи не нужны.

В целом, на основе экспериментов сделаны следующие выводы (приводятся в редуцированном виде, не рассматриваются предположения) [Русанов 2013]:

- 1) печи шахтного типа имели каналы для обеспечения их воздухом;
- 2) длинный дымоход предназначался для создания тяги.

Все прочие выводы (о плавке определенных типов руды, ее объемах и так далее) умозрительны. Учитывая то, что в эксперименте использовался не уголь, а дрова, можно заключить, что в такой конструкции могут успешно гореть дрова, создается тяга, и газы уходят в дымоход. Распространять этот вывод на плавку руды с углем нет оснований.

Выводы из исследования печей и экспериментальных работ

Исследователи полагают, что небольшие наземные конструкции служили для плавки окисленных руд, а “шахтные” печи – для обжига и плавки сульфидных [Курманкулов, Ержанова 2013: 130; Ермолаева, Ержанова 2013: 169]. Иногда допускается дробное функциональное деление: 1) в печах диаметром 2 м осуществлялся обжиг руды, что подтверждается обнаружением 30 кг руды в одной из них; 2) плавка на штейн осуществлялась в схожих печах, но с литниковой лункой внизу; 3) в аналогичных печах с куполом плавил медь, и тигель для переплавки ставили на краю сооружения, в месте сопряжения с дымоходом. Но для этого использовали и более простые конструкции [Курманкулов, Ержанова 2013: 130]. С этим делением трудно согласиться. Использование литниковой лунки на дне в качестве признака печей иного типа сомнительно, так как многие из этих шахт не были исследованы до дна, а лунки надежно не зафиксированы. Расплавление меди в тигле, стоящим на краю шахтной печи, не убедительно. По всей Евразии эту операцию осуществляли в небольших печах и даже открытых очагах, без расходования колоссального количества топлива на разогрев и функционирование печи подобного объема.

Исследователи Талдысае не допускают такого дробного деления: 1) в шахтных печах производилось обогащение халькопирита или плавка халькозина; 2) полученный продукт или малахит из песчаниковой руды плавил в малых наземных печах. Предполагается, что плоские шлаковые лепешки, обнаруженные на Талдысае, сформированы в небольших наземных печах, а крупные бесформенные куски шлака образовались при плавке халькопирита или халькозина в печах шахтного



типа [Ермолаева, Ержанова 2013: 169; Русанов 2013: 369]. Но форма шлака зависит не от типа печи, а от его вязкости. Последняя же является производной от температуры и химического состава. Чем выше температура, тем ниже вязкость шлака, чем выше содержание кислых оксидов (например, SiO_2 и др.) относительно основных (FeO и некоторые иные), тем выше вязкость шлака. Соответственно, при плавке окисленной руды из кварцевых песчаников шлаковые лепешки формироваться не могут. Напротив, халькопирит является медно-железным сульфидом и при его использовании в подобных объемах мы имели бы дело с огромным количеством железистых шлаков, содержащих вюстит и фаялит, и это были бы шлаки с низкой вязкостью. Такие в Центральном Казахстане не выявлены. Иногда предполагается, что шахтные печи использовались для обжига вторичных сульфидов [Анкушев и др. 2020: 77]. Но их обжиг смысла не имеет, так как приводит лишь к окислению. Единственной причиной обжига может быть стремление сделать породу рыхлой, что облегчает дробление до необходимого размера. Но производить эту операцию удобнее на обычном костре. По той же причине нельзя принять плавку медно-железных сульфидов на штейн. Химическая формула халькопирита CuFeS_2 . Штейн это смесь сульфидов меди и железа, и плавка на штейн производится с целью их выплавления из породы, что ведет к формированию как большого количества штейна, так и соответствующих шлаков. Ни того, ни другого на этих поселениях не выявлено. Даже в районах, где плавка халькопирита осуществлялась в больших объемах – например, в Восточных Альпах, – медь извлекали непосредственно из руды [Григорьев 2013: 312], хотя какое-то количество штейна формироваться могло. Но в любом случае, плавка сульфидов ведет к высоким температурам и шлакованию обмазки.

Важным фактом является то, что на поселениях Атасу¹ и Талдысай обнаружены лишь окисленные медные руды. Существует одно визуальное определение с поселения Талдысай, и образец интерпретирован как вторичный сульфид, полученный при обжиге халькопирита; предполагается обнаружение и халькозина, но основная масса руды представлена окисленными минералами. Выявлена и вкрапленность халькопирита в песчанике, что встречается и в окисленных рудах [Русанов 2013: 365]. Характер руды и плавильных процессов виден из шлаков Атасу и Талдысай. Шлак Атасу представлен образцами с низким уровнем кристаллизации по причине того, что, будучи сформированными из кварцевого песчаника, они кислые и вязкие. Они насыщены купритом, что указывает на окислительную среду и типично для шлаков, полученных при плавке окисленных руд иных регионов [Григорьев 2013: 446, 447, 449–453]. Анализ шлака и руд поселения Талдысай показало использование преимущественно малахита, но также вторичных сульфидов: халькозина, ковеллина и борнита или их смеси. При этом сульфидные руды не обнаружены, но их реликты выявлены в шлаке. Шлаки разделены на лепешковидные и более распространенные комковатые (в моей классификации – бесформенные) и пористые, являющиеся результатом оплавления обмазки или иных подобных включений. Первая группа шлаков отличается повышенными содержаниями железа. Вторая разделена на две подгруппы – кислого состава с включениями кварца, и ультраосновного с высоким содержанием железа и кальция. Включения сульфидных руд характерны именно для этой второй подгруппы. Использование халькопирита не выявлено. Отмечено легирование мышьяком на стадии плавки руды, характерное для синташтинско-петровской металлургии, при этом изредка так легировали и оловянными минералами, хотя этот процесс был не вполне удачен, так как часть олова не переходила в металл. Общий баланс получаемого металла был следующий: Чистая

¹ При сборе проб шлака Евразии я видел руду с Атасу, представленную малахитом и азуриком. Какие-либо иные медные минералы на Атасу мне не известны.



медь и медь с рудными примесями – 69% (Cu – 56%, Cu+Pb+Zn – 13%), Cu+As – 14%, Cu+Sn – 4%, Cu+As+Sn – 3%, Cu+(Pb±Zn±As±Sn) – 5%. Поскольку поселение многослойное, хронологически разделить шлак сложно, но предполагается, что более ранний содержит мышьяк (и эта технология восходит к синташтинской металлургии), а в более позднем появляется олово. Получение чистой меди может датироваться любым периодом. Предполагается использование местных руд из песчаников Жезказганского рудного поля, в котором в окисленной зоне преобладают окисленные минералы меди с гидроокислами железа и марганца, а в зоне вторичного сульфидного обогащения хорошо представлены вышеперечисленные сульфиды [Анкушев и др. 2020]. Тем самым, мы видим довольно стандартную ситуацию для Урало-Казахстанских степей. Сюда явно привнесена синташтинская технология плавки окисленных руд с предпочтением ожелезненных рудовмещающих пород и легированием мышьяком на стадии плавки руды, что давало лепешковидные шлаки, и для этого оптимальными были печи, пристроенные к колодцам. Но по мере перехода к более глубоким зонам месторождения в плавку начинают в большей степени поступать вторичные сульфиды, а также рудные концентраты с большим количеством SiO₂. Шлак в этом случае был более вязким и формировались его бесформенные (или комковатые) образцы. В силу неизбежного роста температур, мышьяк в этом случае испарялся, и большая часть металла представлена чистой медью. Имели место попытки легирования оловом, вероятно, благодаря контактам с восточными андроновскими племенами, но широкого распространения это не получило, так как этот тип легирования осуществлялся, в конечном счете, в металл.

Проблемы использования шахтных печей

Трудно согласиться, что колоссальные печи появились по причине дефицита леса. Реконструируемые операции трёхчасового прогрева дымохода (с одной лишь целью – добиться тяги) и долгого горения до образования массы угля [Русанов 2013: 365] (а для руды необходим именно уголь) нельзя признать экономичными. Напротив – это избыточный расход ресурсов. В классическом виде процесс выжигания угля длителен и занимает 2–3 дня. Дрова должны быть уложены плотно, перекрыты грунтом и дерном, изолирующими от притока воздуха и предохраняющими от горения. В данном же случае в полости печи сохраняется достаточно воздуха и часть дров будет прогорать, что при таких объемах производства ведет к огромным затратам.

Наконец, этими печами неудобно пользоваться и контролировать процесс. В небольших печах по запаху дыма и цвету пламени можно определять процессы в разных их частях. Иногда возникает неравномерное сгорание, и проблема легко решается перемещением угля или добавлением новых порций. В шахтной печи это невозможно. В наших экспериментах на остывание небольшой печи уходило часы и только после этого можно было приступить к разбору содержимого. На остывание огромной шахтной конструкции требовались сутки или более. Наконец, даже после остывания собрать все капли меди из этого объема, заполненного золой, углями и шлаком, сложно. Необходимо выгрести все заполнение и поднимать вверх, сортировать и просеивать, что сформировало бы существенные углисто-золистые слои вокруг “печей”, содержащие, к тому же, много капель меди. Если предположить, что шлак и медь были жидкотекучими и формировали на поде печи или в яме-приемнике большой слиток, то шлак должен был образовывать крупные конгломераты, которые не найдены.

По имеющимся обширным сведениям шахтные печи применялись в древности и в традиционных культурах в XIX–XX вв. для плавки не меди, а железа. Существует фундаментальная раз-



ница между этими процессами. При плавке медной руды расплавленная медь тяжелее шлака, и она опускается вниз, а шлак и нерасплавленная порода остаются выше. При плавке железной руды в шахтной печи выплавляется и стекает вниз именно шлак, а частицы твердого восстановленного железа (крицы) остаются в средней или даже в верхней части печи. Объясняется это тем, что в нижней части печи, куда подается дутье, монооксид углерода еще не успевает формироваться в достаточном объеме, поэтому там наблюдается окислительная среда. Только поднимаясь вверх по шахте печи и проходя через слои горящего угля, CO_2 превращается в CO , формируя восстановительную среду и способствуя появлению восстановленного железа [Schmidt 1997: 120—124, 133; Григорьев 2013: 573, 574]. Медь в подобной печи, стекая вниз, начинала бы окисляться, переходя в куприт, но именно в нижней зоне, по мнению авторов рассматриваемых экспериментов, она и должна выплавляться и восстанавливаться. Кроме того, даже в очень крупных поздних печах, описанных этнографами, производимые объемы плавок были несопоставимо меньше, чем это реконструируется для Талды-сая. Аналогии встречаются лишь в печах народности банджери в Западной Африке, которые достигали в высоту 2,5–3 м. Но даже в эти печи загружали 55 кг руды, 18 кг угля и 15 кг дров. На выходе из печи извлекалось 29 кг шлака, 14 кг железа и 5 кг непрогоревшего угля [Goucher, Herbert 1996: 50]. То есть смысл шахтных печей состоит в проведении определенных физико-химических процессов, а не в огромных объемах плавок, позволявших экономить топливо. Шахтные печи раннего железного века во всем Старом Свете имели гораздо более скромные размеры. Их увеличивали до 2 м исключительно в высоту, а не в диаметре, именно с целью обеспечить формирование монооксида углерода из газов горения, поднимающихся вверх [Григорьев 2013: 576, 577]. Для плавки медной руды подобная конструкция бессмысленна. Поэтому археологические данные указывают на использование в медном производстве малых печей, но данные об использовании шахтных отсутствуют.

Когда вёрстка была готова, вышла иная статья, посвященная проблеме обсуждаемых шахтных печей [Ткачев, Богданов 2022]². На основании обнаружения ям с прокаленными стенками на Белоусовском руднике в Оренбургской области, высказано предположение, что шахтные печи Казахстана служили для обжига “рудного протолита” (ковеллина и халькозина), в результате чего получали “пиролит”, состоящий из халькозина, тенорита, куприта и нестабильных сульфатов типа долерофанита). Его вместе с золой и углями заливали водой и, выдержав 3–12 месяцев, получали смесь из “твердого раствора дигидрокарбоната и сульфида меди — оксолита” (говоря проще – гидроокисла меди, близкого малахиту или азуриту, и сульфида). Но это теоретическая гипотеза, не подтвержденная естественнонаучными анализами. Иллюзию достоверности ей придает лишь утяжеленный терминологический аппарат, который некорректен, будучи либо заимствованием геологических терминов, описывающих иные процессы (“протолит и пиролит”), либо собственным изобретением авторов, как, например, “оксолит”. Это тот случай, когда игнорирование классической литературы по археометаллургии рождает терминологических чудовищ. Кроме того, это ненужный избыточный процесс, поскольку получаемый продукт близок по составу исходному, а вторичные сульфиды прекрасно плавятся и без этого, особенно в смеси с окисленными минералами. Предполагаемые температуры до 800°C, а может и более высокие, учитывая экзотермальную реакцию горения серы, оставили бы прокалы, отсутствующие на стенках большинства “шахтных печей”. Поэтому озвученный выше скепсис по поводу использования этих шахт для обжига руды, вполне применим и к этому случаю.

² Я глубоко признателен редакции журнала “Археология Казахстана” (Қазақстан археологиясы), позволившей внести это дополнение, а также М.Н. Анкушеву (Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс) за обсуждение.



Заклучение

Проведенный анализ показал, что археологических данных об использовании глубоких ям большого диаметра для плавки руды в Центральном Казахстане нет, но некоторые из этих сооружений совершенно определенно служили колодцами. К этим крупным ямам пристроены дымоходы и печи небольших размеров, что повторяет ситуацию на синташтинских и алакульских памятниках. Эксперименты показали возможность горения дров в этих конструкциях, но это делалось, судя по всему, с целью обжига обмазки, но не для плавки медной руды. Имеющиеся на сегодняшний день аналитические данные показывают плавку окисленных руд и вторичных сульфидов, и гипотезы о плавке в этих печах халькопирита подтверждения не имеют. Кроме того, плавка руды в этих конструкциях невозможна. Поэтому мы наверняка имеем дело со стандартными для позднего бронзового века Урало-Казахстанских степей конструкциями, включающими небольшие печи, пристроенные к колодцам.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Анкушев М.Н., Артемьев Д.А., Блинов И.А. *Металлургия бронзового века на поселении Талдысай: руды, шлаки, легирование // Талдысай – поселение древних металлургов позднебронзового века в Улытауской степи: Коллективная монография / Отв. ред. Ж. Курманкулов. Алматы: ИА КН МОН РК, 2020. С. 72-93.*
- 2 Григорьев С.А. *Металлургическое производство в Северной Евразии в эпоху бронзы. Челябинск: Цицеро, 2013. 660 с.*
- 3 Григорьев С.А. *О некоторых особенностях функционирования и интерпретации колодцев эпохи бронзы // Археологические исследования степной Евразии / Отв. ред. В.Г. Ломан. Караганда: Tengri Ltd, 2013а. С. 96-102.*
- 4 Григорьев С.А., Петрова Л.Ю., Плешанов М.Л., Гуцина Е.В., Васина Ю.В. *Поселение Мочище и андроновская проблема. Челябинск: Цицеро, 2018. 398 с.*
- 5 Ермолаева А.С., Ержанова А.Е. *Характеристика раскопанных объектов нижнего слоя поселения Талдысай. Жилищно-производственные комплексы // Артюхова О.А., Курманкулов Ж., Ермолаева А.С., Ержанова А.Е. Комплекс памятников в урочище Талдысай. Т. 1. Алматы: ИА КН МОН РК, 2013. С. 135-176.*
- 6 Зданович Г.Б., Малютин Т.С., Зданович Д.Г. *Аркаим. Археология укрепленных поселений. Кн. 1. Жилища и жилое пространство. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2020. 450 с.*
- 7 Кадырбаев М.К. *Шестилетние работы на Атасу // Бронзовый век степной полосы Урало-Иртышского междуречья / Отв. ред. Г.Б. Зданович. Челябинск: ЧелГУ, 1983. С. 134-142.*
- 8 Курманкулов Ж., Ержанова А.Е. *Поселения древних металлургов в исследованиях Центрально-Казахстанской археологической экспедиции // Артюхова О.А., Курманкулов Ж., Ермолаева А.С., Ержанова А.Е. Комплекс памятников в урочище Талдысай. Т. 1. Алматы: ИА КН МОН РК, 2013. С. 120-134.*
- 9 Кадырбаев М.К., Курманкулов Ж. *Культура древних скотоводов и металлургов Сары-Арки. Алма-Ата: Наука, 1992. 247 с.*
- 10 Русанов И.А. *Приложение 2. Экспериментальное моделирование металлургических печей // Артюхова О.А., Курманкулов Ж., Ермолаева А.С., Ержанова А.Е. Комплекс памятников в урочище Талдысай. Т. 1. Алматы: ИА КН МОН РК, 2013. С. 364-388.*
- 11 Ткачев В.В., Богданов С.В. *Назначение шахтных печей Западноазиатской Металлургической Провинции // Уральский исторический вестник. 2022. № 4 (77). С. 41-54.*
- 12 Goucher C.L., Herbert E.W. *The blooms of Banjeri: technology and gender in West African iron making // The culture and technology of African iron production / ed. by P.R. Schmidt. Gainesville: Florida university press, 1996. P. 40-57.*



- 13 Grigoriev S. Social processes in Ancient Eurasia and development of types of alloys in metallurgical production // *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*. 2017. № 5 (2). P. 17-41.
- 14 Schmidt P.R. *Iron technology in East Africa. Symbolism, science and archaeology*. Bloomington/Indianapolis: Indiana University Press, 1997. 344 p.

REFERENCES

- 1 Ankushev, M. N., Artemyev, D. A., Blinov, I. A. 2020. In: Kurmankulov, J. (ed.). *Taldysay – poselenie drevnih metallurgov pozdnebronzovogo veka v Ulytauskoj stepi (Taldysai – the settlement of ancient metallurgists of the Late Bronze Age in the Ulytau steppe)*. Almaty: Margulan Institute of Archaeology, 72–93 (in Russian).
- 2 Grigoriev, S. A. 2013. *Metallurgicheskoe proizvodstvo v Severnoy Evrazii v epokhu bronzy (Metallurgical production in Northern Eurasia in the Bronze Age)*. Chelyabinsk: “Tsitsero” Publ. (in Russian).
- 3 Grigoriev, S. A. 2013a. In: Loman, V. G. (ed.). *Arheologicheskie issledovaniya stepnoy Evrazii (Archaeological studies of the steppe Eurasia)*. Karaganda: «Tengri Ltd» Publ., 96-102 (in Russian).
- 4 Grigoriev, S. A., Petrova, L. Yu., Pleshanov, M. L., Gushchina, E. V., Vasina, Yu. V. 2018. *Poselenie Mochishche i andronovskaya problema (Settlement of Mochishche and the Andronovo problem)*. Chelyabinsk: “Tsitsero” Publ. (in Russian).
- 5 Ermolaeva, A. S., Erzhanova, A. E. 2013. In: Artyukhova, O. A., Kurmankulov, Zh., Ermolaeva, A. S., Erzhanova, A. E. *Kompleks pamyatnikov v urochishche Taldasaj (Complex of monuments in the Taldasay area)*. T.1. Almaty: Margulan Institute of Archaeology, 135-176 (in Russian).
- 6 Zdanovich, G. B., Maljutina, T. S., Zdanovich, D. G. 2020. Arkaim. *Arheologiya ukreplennyh poseleniy. Kn. 1. Zhilishcha i zhiloe prostranstvo (The Archaeology of Fortified Settlements. Book 1; Dwellings and living space)*. Chelyabinsk, Chelyabinsk State University (in Russian).
- 7 Kadyrbayev, M. K. 1983. In: Zdanovich, G. B. (ed.). *Bronzovyy vek stepnoy polosy Uralo-Irtyskogo mezhdurechiya (Bronze Age of the steppe belt of the Ural-Irtys interfluve)*. Chelyabinsk: University, 134-142 (in Russian).
- 8 Kurmankulov, Zh., Erzhanova, A. E. 2013. In: Artyukhova, O. A., Kurmankulov, Zh., Ermolaeva, A. S., Erzhanova, A. E. *Kompleks pamyatnikov v urochishche Taldasay (Complex of monuments in the Taldasay area)*. T. 1. Almaty: Margulan Institute of Archaeology, 120-134 (in Russian).
- 9 Kadyrbayev, M. K., Kurmankulov, Zh. K. 1992. *Kultura drevnih skotovodov i metallurgov Sary-Arki (po materialam Severnoy Betpak-Daly) (The culture of ancient pastoralists and metallurgists of Sary-Arka (based on the materials of the Northern Betpak-Dala))*. Alma-Ata: “Gylym” Publ. (in Russian).
- 10 Rusanov, I. A. 2013. In: Artyukhova, O. A., Kurmankulov, Zh., Ermolaeva, A. S., Erzhanova, A. E. *Kompleks pamyatnikov v urochishche Taldasay (Complex of monuments in the Taldasay area)*. T. 1. Almaty: Margulan Institute of Archaeology, 364-388 (in Russian).
- 11 Tkachyov, V. V., Bogdanov, S. V. 2022. In: *Ural Historical Journal*, 4 (77), 41–54 (in Russian).
- 12 Goucher, C. L., Herbert, E. W. 1996. In: Schmidt, P. R. (ed.). *The culture and technology of African iron production*. Gainesville: Florida university press, 40-57.
- 13 Grigoriev, S. 2017. In: *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*, 5 (2), 17-41.
- 14 Schmidt, P. R. 1997. *Iron technology in East Africa. Symbolism, science and archaeology*. Bloomington/Indianapolis: Indiana University Press.

Мүдделер қақтығысы туралы ақпаратты ашу. Автор мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.
/ Раскрытие информации о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
/ Disclosure of conflict of interest information. The author claims no conflict of interest.
Мақала туралы ақпарат / Информация о статье / Information about the article.
Редакцияға түсті / Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 16.11.2022.
Рецензенттер мақұлдаған / Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 01.12.2022.
Жариялауға қабылданды / Принята к публикации / Accepted for publication: 01.12.2022.

