

В. В. Ткачев, С. В. Богданов
**НАЗНАЧЕНИЕ ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ ЗАПАДНОАЗИАТСКОЙ
 МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ***

doi: 10.30759/1728-9718-2022-4(77)-41-54

УДК 903.05(47+574)“637”

ББК 63.442.6(235.55+543.3)

Статья посвящена проблеме функционального назначения печей шахтного типа с каналами-дымоходами в памятниках позднего бронзового века Северной Евразии. Данная категория теплотехнических сооружений получила широкое распространение на восточном фланге Западноазиатской (Евразийской) металлургической провинции. Тепловые агрегаты с каналами-дымоходами являются материальным свидетельством реализации технологических алгоритмов пастушеской модели металлопроизводства, основанной преимущественно на многоступенчатой переработке вторичных сульфидов меди. Шахтные печи с дымоходами Урало-Казахстанского региона функционально близки более простым в конструктивном отношении пожоговым ямам-печам, присутствующим в структуре горно-перерабатывающих комплексов степного Приуралья. Они предназначались для декрипитации, пиротехнического обогащения и рафинирования рудного протолита в ходе длительного пожога с использованием хвороста и древесного топлива при относительно низких температурах в диапазоне 600–800 °С. Степень сложности теплотехнических сооружений определялась характером используемого сырья. Для рудоносных комплексов в медистых сланцах и песчаниках степного Приуралья приемлемыми оказались обычные пожоговые ямы. Трудные в переработке руды ультраосновных месторождений Уральско-Мугоджарского региона требовали использования шахтных печей с дымоходами, характерных также для металлопроизводственных центров Казахстанской горно-металлургической области. Дальнейшее совершенствование конструкции теплотехнических сооружений с каналами-дымоходами было обусловлено необходимостью преодоления сырьевого кризиса, вызванного исчерпанием в финале бронзового века доступных запасов сульфидов зон вторичного обогащения ультраосновных месторождений, рудопроявлений медистых сланцев, что потребовало перехода на использование халькопирита и в значительной мере способствовало открытию металлургии железа.

Ключевые слова: бронзовый век, Западноазиатская металлургическая провинция, теплотехнические сооружения, шахтные печи с дымоходами, рудный протолит, пиротехническое обогащение вторичных сульфидов

Крупнейшим историко-металлургическим образованием позднего бронзового века (ПБВ) Северной Евразии являлась Евразийская металлургическая провинция, выделенная Е. Н. Черных,¹ именуемая Западноазиатской (ЗАМП) в

¹ См.: Черных Е. Н. Металлургические провинции и периодизация эпохи раннего металла на территории СССР // Совет-

Ткачев Виталий Васильевич — к.и.н., доцент, с.н.с., Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН (г. Оренбург)
 E-mail: vit-tkachev@yandex.ru

Богданов Сергей Вячеславович — к.и.н., доцент, в.н.с., Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН (г. Оренбург)
 E-mail: vit-tkachev@yandex.ru

* Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 21-78-20015 «Технологии горно-металлургического производства бронзового века в эволюции культурно-исторического ландшафта Уральского региона» (рук. В. В. Ткачев), а также госзадания № АААА-А21-12101190016-1 «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем»

последних работах исследователя. Для функционирования этой грандиозной металлопроизводственной системы II тыс. до н.э. принципиальным значением обладало расположение основных меднорудных ресурсов на восточном фланге ЗАМП в пределах Уральской, Казахстанской и Среднеазиатской горно-металлургических областей, что определяло различные направления трафика металла на обширных пространствах Северной Евразии.

Внутреннее единство и устойчивое развитие металлопроизводственной системы обеспечивалось относительной эффективностью технологических алгоритмов многоступенчатого пиротехнического передела преимущественно вторичных сульфидов меди в рамках пастушеской модели металлопроизводства, а также вариативностью ее реализации за счет выбора оптимальных адаптационных стратегий, гармоничного сочетания мобильного скотоводства

сая археология. 1978. № 4. С. 71–75; Он же. Культуры кочевников в мегаструктуре Евразийского мира. М., 2013. Т. 1. С. 218–242.

и горно-металлургического производства.² Материальным отражением отдельных стадий металлопроизводства в памятниках ПБВ Урало-Казахстанского региона являются разнообразные теплотехнические сооружения (ТТС), связанные с отдельными фазами металлургического передела. Настоящая статья посвящена одному из наиболее эффективных и сложных в конструктивном отношении типов тепловых агрегатов — печам шахтного типа с каналами-дымоходами.

В 1930-е гг. в ходе геологоразведочных работ в Жезказган-Улытауском меднорудном районе (Центральный Казахстан) К. И. Сатпаевым обнаружены древние «обогащительные фабрики» и «металлургические заводы». В верховьях правого притока Ишима р. Терсаккан в окрестностях древних выработок на медь Аулиетас (Жантели) выявлены остатки металлургических печей в виде круглых ям. На дне некоторых из них зафиксированы крупные каменные плиты от рухнувшего свода и обкладки стен, а также скопления дробленой медной руды. Еще более яркие комплексы были обследованы в Жезказгане, где помимо многочисленных рудников зафиксированы пункты обогащения и плавки медных руд Милыкудук, Айнаколь, Соркудук.³

Именно эти памятники стали предметом исследования профессиональных археологов. В период с 1945 по 1949 гг. Н. В. Валукинским на перечисленных поселениях проведены раскопки, при этом наиболее выразительные материалы получены в ходе изучения городища Милыкудук. На площади поселения выявлено большое количество разнообразных ям, использовавшихся, по мнению автора, в качестве колодцев и кладовых для хранения обогащенных меднорудных концентратов, для сбора воды с целью флотации рудных материалов, пожара древесного угля и руд, устройства металлургических печей.⁴ Ситуация с интерпретацией обнаруженных ТТС осложняется

тем обстоятельством, что значительная часть археометаллургических свидетельств относится к эпохе Средневековья.

В 1955 г. А. Х. Маргуланом было открыто эталонное для Центрального Казахстана поселение Атасу I. Здесь была исследована представительная серия ТТС, связанных с различными стадиями металлургического передела, предложен вариант их классификации в зависимости от особенностей конструкции и предполагаемого назначения. Именно тогда были обнаружены и детально изучены интересующие нас шахтные печи ПБВ с каналами-дымоходами, казалось бы, не имевшие на тот момент аналогов в мире. М. К. Кадырбаевым на основе тщательной полевой фиксации мельчайших деталей сооружений впервые были сделаны графические реконструкции и описана принципиальная схема функционирования обсуждаемых тепловых устройств.⁵

С самого начала стало понятно, что исследованные на поселении Атасу ТТС не единичны. А. Х. Маргуланом сопоставимые конструкции обнаружены на поселениях Шортанды-Булак, Тагибай-Булак и др. Аналогичные сооружения выявлены М. К. Кадырбаевым на поселениях эпохи поздней и финальной бронзы Северной Бетпак-Далы Ак-Мустафа (Атасу II), Мыржик, Акмая.⁶

Постепенно расширялся географический ареал серии сложных в конструктивном отношении ТТС, связанных с металлопроизводством. Помимо упомянутых выше поселений, локализующихся в Северно-Бетпакдалинском и Жезказган-Улытауском горно-металлургических центрах (ГМЦ), замечательные ТТС с каналами-дымоходами финала бронзового века исследованы на поселении Алат, являвшемся своего рода производственным участком городища Кент в Успенско-Каркаралинском ГМЦ.⁷ Выразительные теплотехнические конструкции зафиксированы при охранных раскопках поселения того же периода эпохи

² См.: Богданов С. В. Технологические алгоритмы пастушеской модели металлопроизводства бронзового века степных регионов Северной Евразии // Уральский исторический вестник. 2020. № 4(69). С. 6–14; Tkachev V. V. Local versions realizing the pastoral model of metal production in conditions of the steppe ecosystems in the Urals-Mygodzhary region in the Late Bronze Age // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Orenburg, 2021. Vol. 817. P. 012107.

³ См.: Маргулан А. Х. Сочинения: в 14 т. Алматы, 2001. Т. 2. С. 20, 60.

⁴ См.: Там же. С. 115–130; Кузнецова Э. Ф., Тепловодская Т. М. Древняя металлургия и гончарство Центрального Казахстана. Алматы, 1994. С. 55–59.

⁵ См.: Маргулан А. Х. Бегазы-Дандыбаевская культура Центрального Казахстана. Алма-Ата, 1979. С. 164–184; Кадырбаев М. К. Шестилетние работы на Атасу // Бронзовый век степной полосы Урало-Иртышского междуречья. Челябинск; Уфа, 1983. С. 139, 140, рис. 2; Кадырбаев М. К., Курманкулов Ж. Культура древних скотоводов и металлургов Сары-Арки (по материалам Северной Бетпак-Далы). Алма-Ата, 1992. С. 25–47.

⁶ См.: Маргулан А. Х. Бегазы-Дандыбаевская культура... С. 198–233; Кадырбаев М. К., Курманкулов Ж. Указ. соч. С. 47–67.

⁷ См.: Поселение металлургов Алат эпохи поздней бронзы Каркаралинский район, Карагандинская область / Жауымбаев С. У. [и др.] // Вестник Карагандинского ун-та. Сер.: История. Философия. 2017. № 2 (86). С. 52–59.

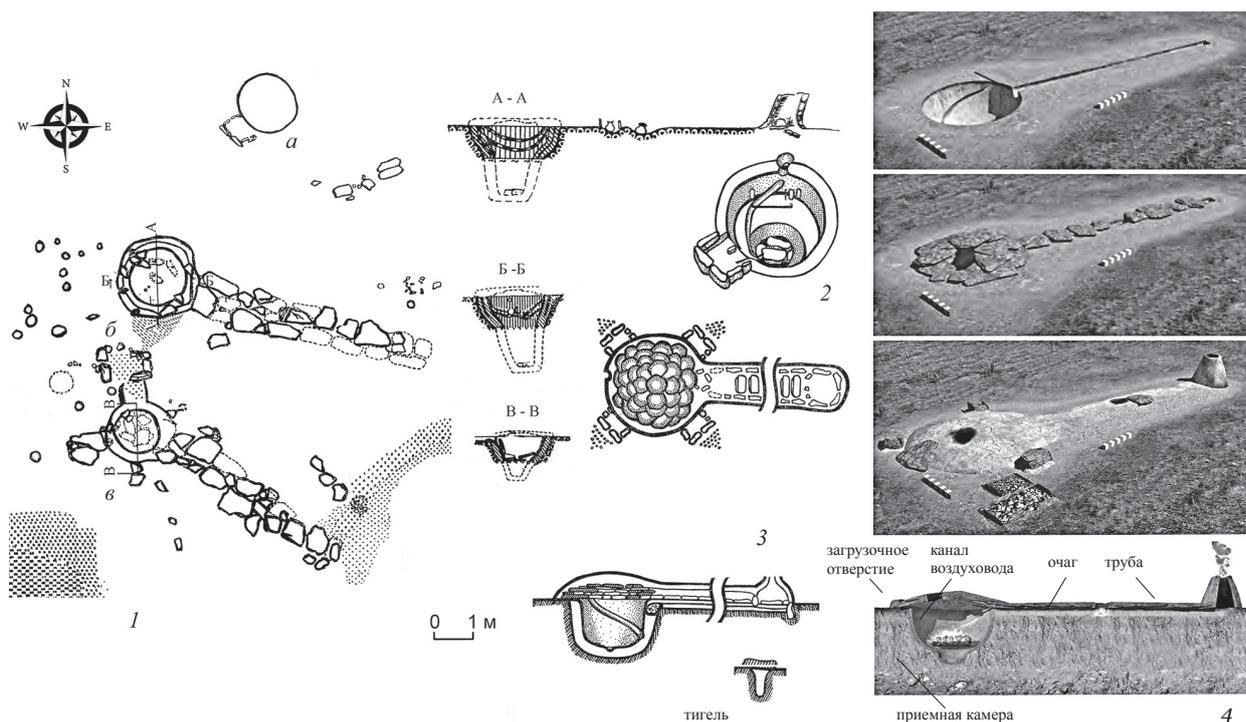


Рис. 1. Теплотехнические сооружения с каналами-дымоходами поселения Атасу в Северно-Бетпакдалинском ГМЦ Центрального Казахстана (по: М. К. Кадырбаеву, Ж. Курманкулову, Э. Ф. Кузнецовой, Т. М. Тепловодской, М. А. Антонову, А. С. Ермолаевой):

1 — планы и разрезы шахтных печей медеплавильного комплекса 5; 1а — печь № 5, 1б — печь № 7, 1в — печь № 8; 2 — графическая реконструкция огневой камеры печи № 5; 3 — графическая реконструкция шахтной печи с дымоходом; 4 — трехмерные графические реконструкции шахтной печи с дымоходом

бронзы Бозшаколь вблизи одноименного медного рудника в Баянаульском ГМЦ.⁸

Поворотным моментом в разработке археометаллургической проблематики Сары-Арки стало открытие в начале 1990-х гг. поселения Талдысай в Жезказган-Улытауском ГМЦ. Его планомерное изучение проводится с 1994 г. по настоящее время Талдысайским отрядом Центрально-Казахстанской археологической экспедиции (ЦКАЭ). Исследование этого эталонного памятника позволило проследить развитие ТТС, связанных с различными стадиями металлургического передела, на протяжении нескольких периодов ПБВ от раннего (петровского) этапа алакульской культуры до финальной бронзы, представленной горизонтом культур валиковой керамики.⁹

Полученные в ходе изучения обсуждаемых ТТС Центрального Казахстана данные позволяют в общих чертах описать их конструктивные особенности (рис. 1; 2). Огневая камера печей шахтного типа представляла собой коло-

дец глубиной от 0,8 до 2,9 м и диаметром устья 1,5–2 м, стенки которого, как правило, наклонно опускались ко дну, составлявшему немногим более 1 м в поперечнике. В ряде случаев на дне фиксируется углубление незначительных размеров, интерпретируемое как приемная камера. Стенки иногда обложены камнем, но чаще обмазаны толстым слоем огнеупорной глины мощностью до 20 см. В глиняной обмазке фиксируются выходящие на поверхность воздухопроводные каналы, спирально опускающиеся в придонную часть огневой камеры либо образующие достаточно сложную систему соединенных между собой вертикальных и радиальных каналов аналогичного назначения. Огневая камера шахтной печи обычно имеет сводчатое перекрытие из горизонтально уложенных с напуском массивных каменных плит, зачастую обмазанных глиной, и с загрузочным отверстием над приемной камерой.

С огневой камерой сопряжен горизонтальный дымоход длиной от 4 до 12 м, представлявший собой углубленный в материк на 15–20 см канал шириной не менее 40 см, перекрытый каменными плитами, заканчивающийся очажной конструкцией с куполообразным перекрытием и невысокой трубой. На

⁸ См.: Дубягина Е. В. Памятник Бозшаколь древней горнодобывающей промышленности Казахстана // Вестник КазНПУ. 2017. № 1 (52). С. 235–239.

⁹ См.: Комплекс памятников в урочище Талдысай / Артюхова О. А. [и др.]. Алматы, 2013; Талдысай — поселение древних металлургов позднебронзового века в Улытауской степи. Алматы, 2020.

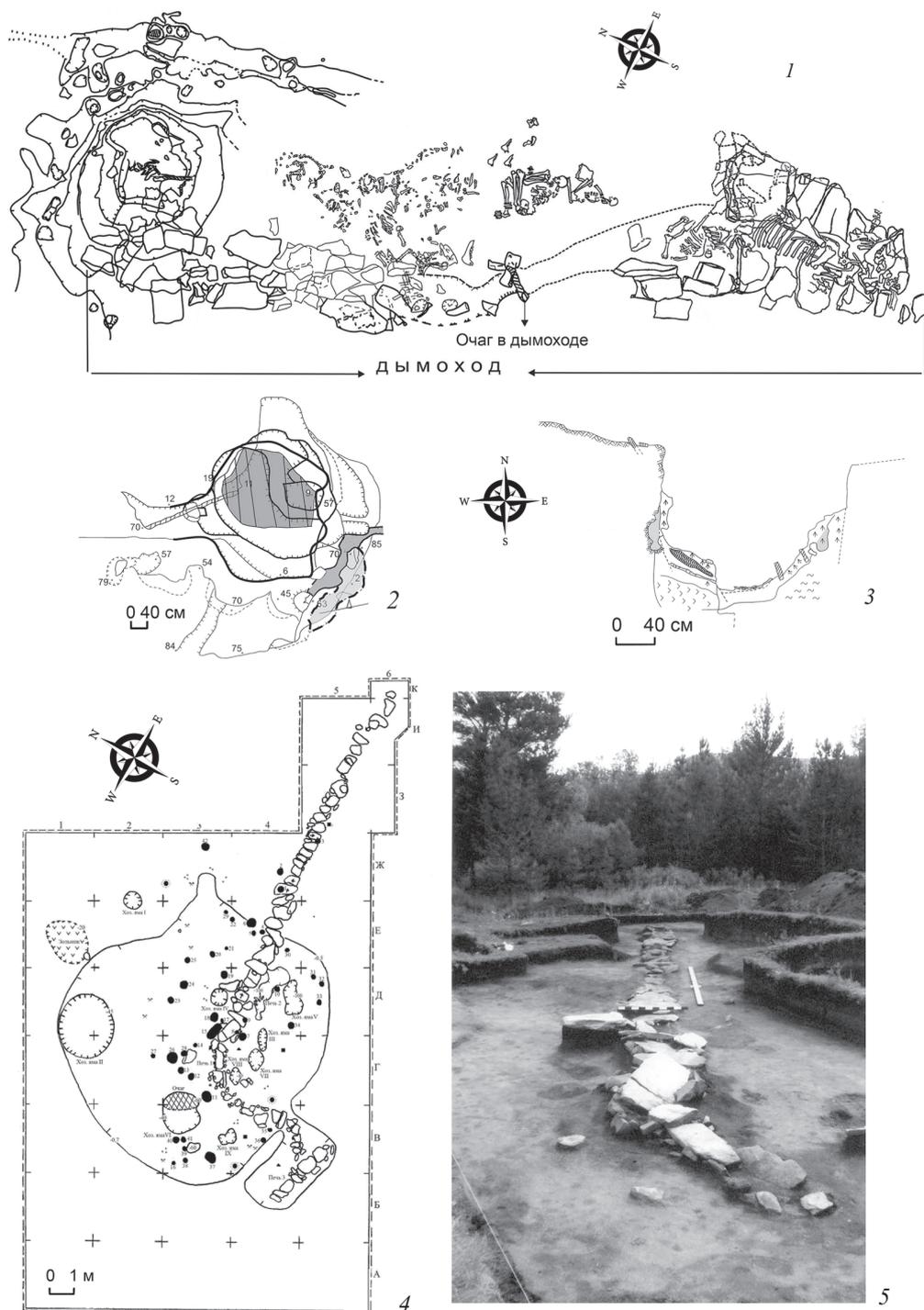


Рис. 2. Теплотехнические сооружения с каналами-дымоходами в Жезказган-Улытауском (1–3) и Успенско-Каркаралинском (4, 5) ГМЦ Центрального Казахстана (по: О. А. Артюховой, Ж. Курманкулову, А. С. Ермолаевой, А. Е. Ержановой, С. У. Жауымбаеву)
 1–3 — поселение Талдысай, восточный жилищно-производственный комплекс: 1 — общий план шахтной печи с дымоходом, 2 — план огневой камеры, 3 — разрез огневой камеры;
 4, 5 — поселение Алат, жилище-мастерская 1: план (4) и фото (5) шахтной печи с дымоходом

различных участках канала-дымохода иногда фиксируются дополнительные очаги, в отдельных случаях создается впечатление, что он образован системой сочлененных между собой очажных конструкций в виде своеобразных камер. Значительная часть описанных ТТС имеет

пристройки к ямам-печам в форме каменных ящичков. Нередко такие устройства размещаются между двумя огневыми камерами сложных тепловых агрегатов с каналами-дымоходами.

Столь исчерпывающие характеристики конструктивных деталей печей шахтного типа с

каналами-дымоходами Центрального Казахстана позволяют провести ревизию архивных данных и пересмотреть функциональное назначение серии ТТС, исследованных на поселениях ПБВ Уральско-Мугоджарского региона. На производственной площадке поселения Кудуксай рядом с известным Еленовским рудником выявлена конструкция в виде колодца (огневой камеры) диаметром 1,45 м и глубиной 2,5 м. Стенки обложены камнем, устье оформлено сводчатым перекрытием из крупных каменных плит, уложенных плашмя с напуском. Камни прокалены, заполнение составлял золистый грунт с включениями обожженных костей, фрагментов керамики и шлака. Структурным элементом описанного ТТС являлся дымоход в виде канавообразного углубления (желоба) с золистым заполнением, перекрытого крупными прокаленными каменными плитами. Сохранившаяся часть данной конструкции имела протяженность 5,4 м; на участке, примыкающем к огневой камере, она разрушена оврагом. В 1,5 м от устья «колодца» расчищены остатки металлургической печи наземного типа (очаг № 1) отражательного принципа действия с натеками металлургического шлака и сплесков меди на стенках (рис. 3, 1–4).¹⁰

Возможно, с подобной конструкцией столкнулся В. С. Сорокин в 1963 г. в ходе исследования поселения Тастыбутак. В пределах «траншейного раскопа» к северу от жилища 4 был обнаружен колодец размерами 1,25 × 1,15 м глубиной около 2 м, а также примыкающая к нему каменная выкладка в виде короба из поставленных в два ряда на ребро плит. Расчищенный участок каменной конструкции составил 7,5 м (рис. 3, 5).¹¹

Еще более выразительные материалы получены Е. Е. Кузьминой в 1965 г. в процессе раскопок ограды 2 поселения Шандаша. Здесь были исследованы так называемые «длинные очаги», представлявшие собой углубления в материковой глине пола до уровня 20–40 см длиной порядка 4,5 м при ширине 1–1,2 м. Их дно выстлано тщательно подогнанными ка-

менными плитками, стенки обложены поставленными на ребро более крупными плитами, часть их расположена горизонтально, образуя перекрытие. На некоторых участках вымостка образована серией сочлененных прямоугольных очажков. Камни прокалены, заполнение составляет золистый грунт с кусками металлургических шлаков (рис. 3, 6).¹²

Следует отметить, что раскопки поселений Тастыбутак и Шандаша в северной части Уральско-Мугоджарского ГМЦ проводились еще в первой половине 1960-х гг., то есть за 10–15 лет до открытия «классических» печей атасуского типа Центрального Казахстана. Отсутствие в тот момент опыта исследования подобных объектов оставляло широкие возможности для их интерпретации. Так, В. С. Сорокин полагал, что на Тастыбутаке им был выявлен новый тип наземных сооружений со стандартным колодцем и каменной обкладкой оснований стен. Но Е. Е. Кузьмина изначально предполагала производственное назначение «длинных очагов». Примечательно, что между окончаниями «длинных очагов» поселения Шандаша располагаются ТТС в виде каменных ящиков, что сближает зафиксированную в ограде 2 ситуацию, например, с планиграфическим решением, отмеченным для печей шахтного типа с каналами-дымоходами 7, 8 поселения Атасу (рис. 1, 1; 3, 6). Представляется очевидным сходство конструкции и заполнения «длинных очагов» Шандаши с каналами-дымоходами шахтных печей. Не исключено, что особенности грунта на этом памятнике не позволили выявить в ходе раскопок сами огневые камеры.

Обращаясь к вопросу о функциональном назначении шахтных печей с каналами-дымоходами, нужно заметить, что проблема их интерпретации остается дискуссионной. М. К. Кадырбаев и Э. Ф. Кузнецова считали, что такого рода конструкции на поселении Атасу предназначались для выплавки черновой меди с использованием тиглей, допуская возможность осуществления в этих же ТТС предварительных операций по пиротехническому обогащению рудных материалов и плавки на штейн и шлак.¹³

¹⁰ См.: Фомичев А. В. Металлургический комплекс на поселении Кудуксай в Еленовско-Ушкватинском археологическом микрорайоне // Штрихи к портретам минувших эпох. Археология, история, этнография. Кн. (ММХIV) I. Зимовники, 2014. С. 293–300.

¹¹ См.: Сорокин В. С. Отчет о раскопках поселения Тастыбутак (Актюбинская обл.) в 1963 г. Ленинград 1964 г. // Фонды АОИМ. КП 9368–9369. С. 10–12, рис. 3, 18–20; Андроновская культура: в 3-х вып. М.; Л., 1966. Вып. 1: Памятники Западных районов. С. 60–61, рис. 9. (САИ. Вып. В 3–2).

¹² См.: Кузьмина Е. Е. Отчет Еленовского отряда Оренбургской археологической экспедиции 1965 г. // Архив ИА РАН. Р-1. № 3081. С. 5, 6.

¹³ См.: Кадырбаев М. К. Указ. соч. С. 140, 141; Кузнецова Э. Ф., Тепловодская Т. М. Указ. соч. С. 51–55.

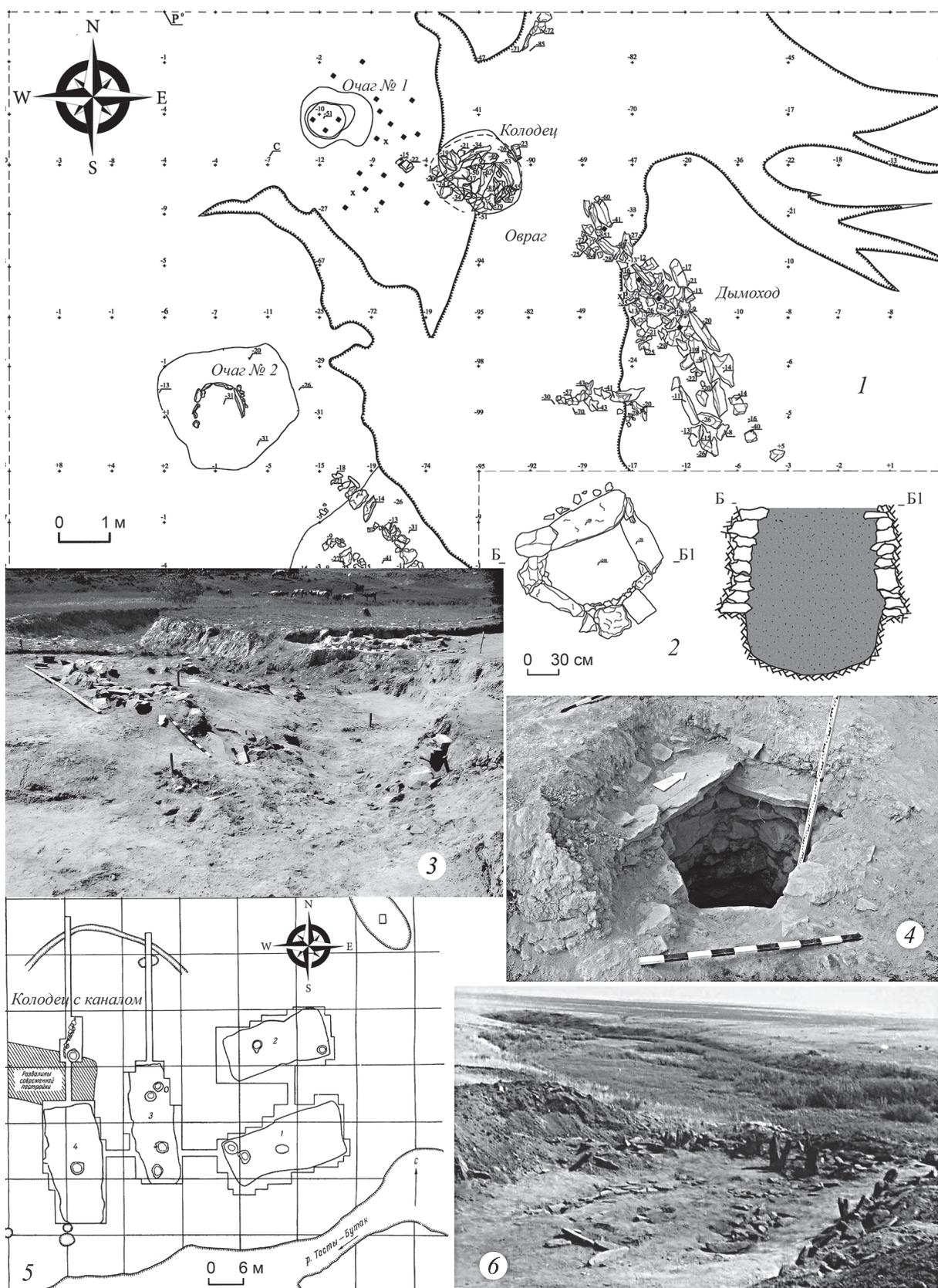


Рис. 3. Теплотехнические сооружения с каналами-дымоходами в Уральско-Мугоджарском ГМЦ

(по: Е. Е. Кузьминой, В. С. Сорокину, А. В. Фомичеву)

1–4 – поселение Кудуксай: 1 – план раскопа шахтной печи с дымоходом, 2 – план и разрез огневой камеры, 3 – фото канала-дымохода, 4 – фото устья и свода огневой камеры; 5 – поселение Тасты-Булак, колодец с каналом в «траншейном раскопе»; 6 – поселение Шандаша, «длинные очаги» и очаг ящичной формы в овраге 2

Альтернативную точку зрения методично отстаивает С. А. Григорьев. Опираясь на опыт изучения синташтинских поселений в Южном Зауралье, справедливо указывая на отсутствие ошлаковки стенок шахтных конструкций, неизбежной при восстановлении меди из рудных материалов при температуре 1200–1450 °С, он полагает, что обсуждаемые производственные комплексы на поселениях Центрального Казахстана представляют собой обычные колодцы и небольшие металлургические печи наземного типа, соединенные воздухопроводными каналами. Таким образом, отказывая «колодцам» в статусе огневых камер, автор в качестве основных металлургических печей рассматривает расположенные рядом или пристроенные к ним прямоугольные или округлые сооружения из вертикальных плит, традиционно интерпретируемые как устройства для тигельной плавки, при этом никак не комментирует присутствие длинных каналов-дымоходов.¹⁴

Однако версия об использовании ям-печей шахтного типа с каналами-дымоходами для обогащения и плавки сульфидных руд получила дополнительные аргументы в ходе проведения И. А. Русановым по инициативе А. С. Ермолаевой натуральных археометаллургических экспериментов при исследовании поселения Талдысай, что впоследствии во многом способствовало осуществлению качественной графической реконструкции печей Атасу и Талдысай, а также построению технологической модели функционирования подобных ТТС (см. рис. 1).¹⁵ Оставляя за скобками не вполне корректные, на наш взгляд, теоретические расчеты объемов рудных материалов и конечного продукта,¹⁶ температурных режимов пиротехнических операций и пр., равно как и сами результаты проведенных экспериментов, так и не позволивших выплавить слиток меди, соответствующий морфологическим и геохимическим параметрам археологических

реплик (что закономерно, как будет показано ниже), отметим, что экспериментаторами получены бесспорные доказательства функционирования данных конструкций в качестве теплотехнических сооружений, связанных с горно-металлургическим производством. Подтвержденная на практике реконструируемая технологическая схема работы данных тепловых агрегатов, предполагающая использование «колодцев» в качестве огневых камер, фактически лишает перспективы продолжение дискуссии об их интерпретации как связки «обычный колодец — металлургическая печь наземного типа», на чем настаивает С. А. Григорьев.

Каждый из упомянутых специалистов, участвующих в дискуссии, в своих размышлениях о функциональном назначении печей шахтного типа с каналами-дымоходами, выстраивая собственную систему аргументации, формулировал очень важные вопросы, стимулировавшие дальнейшую разработку данной проблемы. На некоторые из них, в том числе имеющие принципиальный характер для нашей темы, так и не нашлись окончательные ответы даже в ходе археометаллургических экспериментов. Какие температурные режимы достигались в огневых камерах-колодцах, возможно ли достижение и поддержание в них плавильных температур? Использовались ли в процессе их эксплуатации принудительное дутье? Какие технологические операции осуществлялись в этих тепловых агрегатах? Каковы состав, структура и объем подвергавшихся пиротехническому воздействию рудных материалов или промежуточных продуктов металлургического передела?

Парадоксально, но своеобразным ключом к решению вопроса о назначении обсуждаемой группы ТТС Центрального Казахстана и Уральско-Мугоджарского региона стало открытие в последние годы Михайловского и Белоусовского горно-перерабатывающих комплексов (ГПК), приуроченных к одноименным рудникам бронзового века на юго-западной периферии Каргалинского рудного поля в пределах Приуральского ГМЦ. В настоящее время количество аналогичных объектов в степном Приуралье составляет уже несколько десятков. В непосредственной близости от рудников выявлены производственные участки, представленные компактными группами пожоговых ям-печей, шламовых отвалов и площадок.¹⁷

¹⁴ См.: Григорьев С. А. Металлургическое производство в Северной Евразии в эпоху бронзы. Челябинск, 2013. С. 434–436.

¹⁵ См.: Русанов И. А., Ермолаева А. С. Технологии производства меди на поселениях металлургов Талдысай // Материалы международной научной конференции: «Археология Казахстана в эпоху независимости: итоги и перспективы». Алматы, 2012. Т. 1. С. 326, табл. 1; Комплекс памятников... С. 364–380; Антонов М. А., Ермолаева А. С. Опыт создания трехмерной графической реконструкции теплотехнических сооружений поселений Атасу и Талдысай // Маргулановские чтения-2020: материалы международной научно-практической конференции «Великая Степь в свете археологических и междисциплинарных исследований». Алматы, 2020. Т. 1. С. 152–159.

¹⁶ И. А. Русанов делает распространенную ошибку, отождествляя среднее содержание меди в руде и в минералах меди. См.: Русанов И. А., Ермолаева А. С. Указ. соч. С. 326, табл. 1.

¹⁷ См.: Bogdanov S. V. Ore sources of raw materials of the ancient metallurgy in the steppe Cis-Urals region // IOP Conference

На Михайловском и Белоусовском рудниках древние горняки-металлурги ориентировались на добычу сульфидных руд, залегающих в линзах в ассоциации с окисно-карбонатными, кремнекарбонатными и другими минералами в алеврито-глинистых отложениях внутренних лагун позднепермского времени. Добытые на Белоусовском и Михайловском рудниках сульфидные постройку после сортировки на рудных отвалах перевозились древними горняками-металлургами за несколько сотен метров от рудника и отжигались в ямах для получения обогащенного и рафинированного рудного концентрата.

На Белоусовском ГПК-1 проведены реконструкционные археологические раскопки, предварявшиеся топографо-геодезическими изысканиями, а также комплексом работ с использованием неразрушающих методов исследования средствами малоглубинной геофизики (георадарная и магнитометрическая съемка) (рис. 4).¹⁸ В ходе этих исследований удалось установить, что добытые рудные материалы (рудный протолит), основу которых составляли вторичные сульфиды меди (преимущественно халькозин ромбической сингонии, в меньшей степени — ковеллин в ассоциации с борнитом и халькопиритом) после сортировки и сухого обогащения, производившихся на самом руднике, перемещались на расстояние 500–700 м на более низкую первую террасу левобережья руч. Сухой Дол. Здесь меднорудные концентраты помещались в пожаровые ямы-печи диаметром от 2 до 3,5 м и глубиной около 3 м, где осуществлялось их пиротехническое обогащение и рафинирование с получением промежуточного продукта — пиролита, состоящего из твердого раствора халькозина гексагональной сингонии, тенорита, куприта и нестабильных сульфатов типа долерофанита. Данный процесс осуществлялся на дровах без использования древесного угля, что позволяло длительное время поддерживать относительно низкую температуру, не превышающую 800 °С.

Показательно, что стенки ям-печей обожжены. По результатам магнитной съемки вдоль бортов ямы для обжига руды наблюда-

ются положительные локальные аномалии разной степени интенсивности, а над самой впадиной зафиксированы протяженные отрицательные аномалии, связанные с переотложенными грунтами. Интенсивность локальных аномалий в окрестности ямы в 2–3 раза превосходит интенсивность аномалий вокруг карьера №1 Белоусовского рудника. В результате обжига руды происходило окисление железа, и минералы приобретали повышенные магнитные свойства. Наличие многочисленных магнитных аномалий вокруг ямы указывает на то, что первичная сортировка обожженной руды производилась вблизи ям. Геохимические характеристики пиролита также свидетельствуют о термическом воздействии, поскольку кристаллическая решетка халькозина трансформировалась из ромбической в гексагональную, а в составе обогащенного пиротехническим способом рудного концентрата присутствуют тенорит и куприт в значительных концентрациях.

Следующим этапом было окисление пиролита с использованием поташа. Пирогенная смесь пиролита на длительное время от 3 месяцев до года оставлялась в пожаровых ямах среди зольных материалов, углей и заливалась водой. Образующийся поташ (K_2CO_3) и другие реагенты окисляли минеральную смесь до состояния твердого раствора дигидрокарбоната и сульфида меди — оксолита. Побочным продуктом этой процедуры могло быть получение древесного угля, необходимого для завершающей стадии пирометаллургического передела с получением черновой меди. Вероятно, этим объясняется присутствие на площади одного ГПК сразу нескольких пожаровых ям, использовавшихся одновременно. Затем обогащенные и рафинированные пиротехническим способом рудные концентраты извлекались из пожаровых ям и помещались на шламовые площадки, где оставались на некоторое время с целью дальнейшего окисления и окончательного формирования оксолита. Содержание Cu в оксолите составляло от 40 до 60 %. Сульфидная фракция (Cu_2S) достигала 30 %, карбонатная ($Cu_2(CO_3)(OH)_2$) — 60 %. Синтез дигидрокарбонатов позволяет депонировать в минеральную смесь C и O_2 , необходимые для восстановления меди в объеме не менее 10 % CO_2 . Именно этот материал использовался для восстановления меди в небольших наземных металлургических печах отражательного принципа действия, что

Series: Earth and Environmental Science. Orenburg, 2021. Vol. 817. P. 012017.

¹⁸ См.: Археологическое обследование рудника и горно-металлургических объектов эпохи бронзы у с. Белоусовка Оренбургской области / [Борисов М. В. и др.] // Археологические открытия в Самарской области 2020 года. Самара, 2021. С. 15, 16.

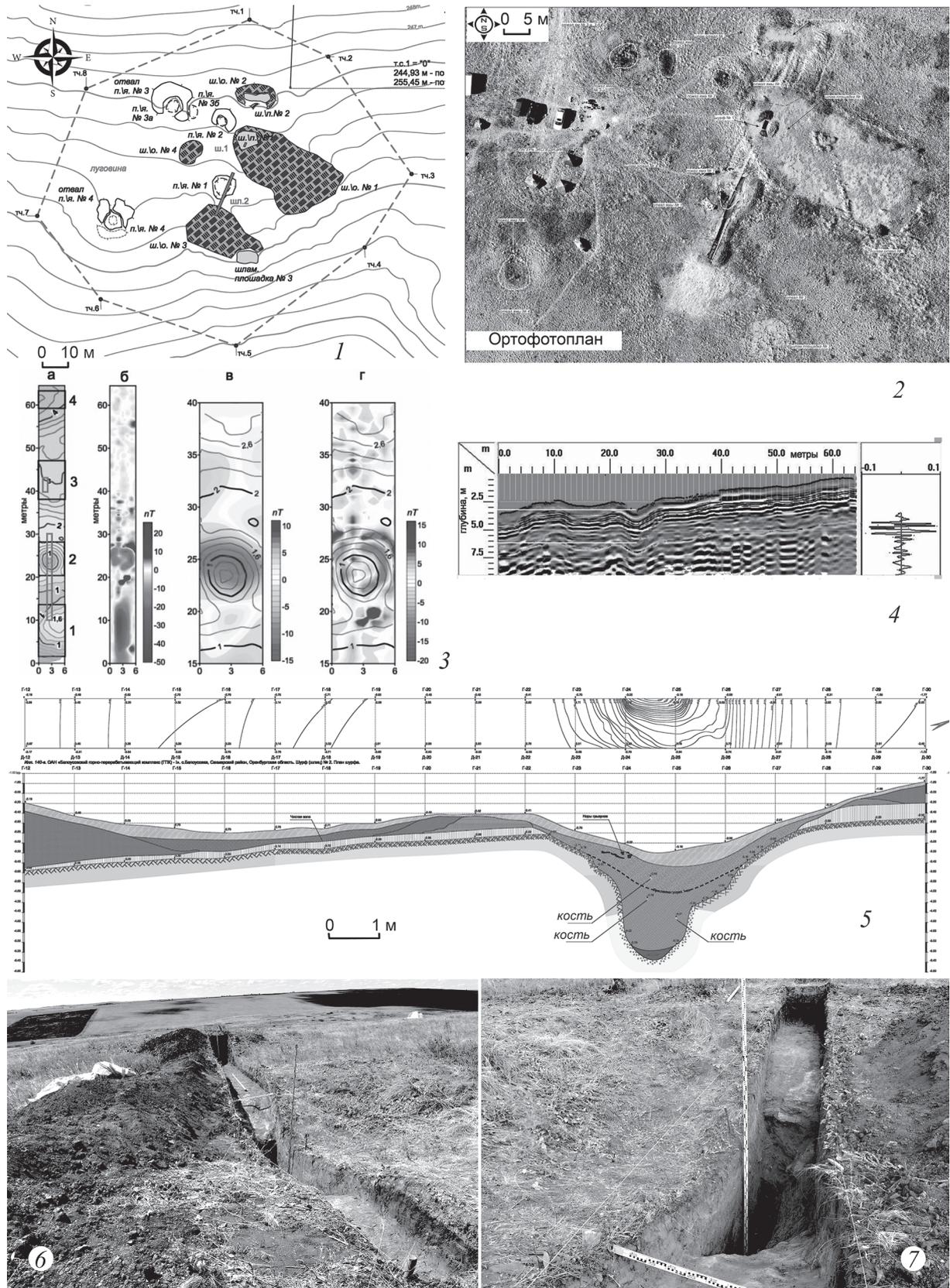


Рис. 4. Теплотехнические сооружения в структуре Белоусовского горно-перерабатывающего комплекса № 1 в Приуральском ГМЦ:
 1 — план тахеометрической съемки ГПК № 1; 2 — ортофотоплан ГПК № 1; 3–7 — пожаровая яма № 1:
 3 — планы магнитометрической съемки с привязкой к рельефу магнитных аномалий, 4 — георадарный профиль,
 5 — стратиграфический разрез, 6, 7 — фото после зачистки рекогносцировочного шлица

подтвердили археометаллургические эксперименты, проведенные с целью верификации технологических алгоритмов пастушеской модели металлопроизводства эпохи бронзы Северной Евразии.¹⁹

Аналогичные геохимические превращения, отражающие технологию многоступенчатого пиротехнического передела вторичных сульфидов из зоны гипергенеза (цементации) Еленовского медно-турмалинового месторождения в северо-восточной части Уральско-Мугоджарского ГМЦ, локализующегося на южном фланге офиолитового пояса Урала, зафиксированы при изучении минерального и элементного состава скоплений оксолита, обнаруженных вблизи описанного выше ТТС с каналом-дымоходом на поселении Кудуксай. Подобная ситуация отмечена и на известном Ушкаттинском руднике в этом же районе.

Констатируемый универсальный характер основных технологических фаз многоступенчатой переработки медных руд определялся единством технологических алгоритмов реализации пастушеской модели металлопроизводства в пределах ЗАМП. Минерально-сырьевую базу составляли все доступные варианты сульфидных, сульфидно-карбонатных, кремнекарбонатных медных руд с содержанием Cu выше 15–20 % в медистых сланцах и песчаниках, а также руды зон окисления и вторичного обогащения различных по генезису офиолитовых месторождений (колчеданных, скарновых, гидротермальных, медно-порфировых и др.). Основу рудного протолита составляли вторичные сульфиды меди, преимущественно халькозин.

После исчерпания этого ресурса в эпоху финальной бронзы затяжной сырьевой кризис был преодолен за счет перехода на использование халькопирита, что неизбежно привело к освоению металлургии железа.²⁰ Применительно к материалам, составляющим источниковую базу данной статьи, наиболее показательны в этом плане материалы поселения Алат (рис. 2, 4, 5), где с ТТС с каналом-дымоходом связаны массовые находки металлургических медных шлаков с аномально высоким содержанием железа, а также собственно

железных шлаков.²¹ Эти данные наглядно иллюстрируют наступление переходной эпохи к раннему железному веку, которую В. С. Бочкарев и М. Т. Кашуба предлагают выделить в отдельную стадию глобальной археологической периодизации с рабочим наименованием «ферраэнеум» или «биметалликум».²²

Необходимость предварительной подготовки рудных материалов к собственно металлургическому переделу обусловила выработку разнообразных технических решений для эффективной декрипитации, пиротехнического обогащения и рафинирования рудного протолита. Степень сложности используемых для этих целей ТТС определялась прежде всего характером используемого сырья. Для рудноносных комплексов в медистых сланцах и песчаниках верхнепермских отложений степного Приуралья приемлемыми оказались достаточно простые в конструктивном плане пожеговые ямы. Трудные в переработке руды ультраосновных месторождений Уральско-Мугоджарского региона, приуроченные к девонским геологическим структурам офиолитового пояса Урала, потребовали использования более сложных в конструктивном отношении ТТС (Кудуксай, Шандаша, Тастыбутак). Именно такие печи шахтного типа с каналами-дымоходами получили широкое распространение в металлопроизводственных центрах Казахской горно-металлургической области (Атасу, Талдысай, Мыржик, Акмая, Ак-Мустафа, Алат и др.).

Накопленные на сегодняшний день данные о технологических алгоритмах пастушеской модели металлопроизводства позволяют с высокой степенью вероятности определить функциональное назначение большинства описанных выше ТТС Казахстана. У авторов данной работы практически нет сомнения в том, что казахстанские печи шахтного типа с каналами-дымоходами не являлись собственно металлургическими, в этих тепловых агрегатах не производилось восстановление меди из руды. Они предназначались для пожога сульфидных руд (рудного протолита) с целью их декрипитации, пиротехнического обогащения

¹⁹ См.: Богданов С. В. Пилотные археометаллургические эксперименты по восстановлению меди из рудных концентратов Каргалов // Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов. М., 2021. Вып. 5. С. 78–103.

²⁰ См.: Богданов С. В. Технологические алгоритмы пастушеской модели... С. 9–13.

²¹ См.: Жаубымбай С. У. Начало освоения железа в Казахских степях в эпоху поздней бронзы (производственно-металлургический центр Алат в Сарыарке) // Мир Большого Алтая. 2020. № 2 (6). С. 820–841.

²² См.: Бочкарев В. С., Кашуба М. Т. От бронзы к железу: скачок или поэтапный переход (по материалам эпохи поздней бронзы — раннего железа Северного Причерноморья и Карпато-Дунайского региона) // Археология Восточно-Европейской степи. Саратов, 2017. Вып. 13. С. 87–112.

(увеличения удельного веса полезного компонента, в данном случае — меди с 20–25 % до 35–40 %) и рафинирования (очистки за счет выжигания серы и высаждения прочих нежелательных примесей).

Замечание С. А. Григорьева, что в таких громадных огневых камерах невозможно достижение плавильных температур, вполне резонно. Но этого и не требовалось. Напротив, главной технической задачей в ходе эксплуатации печей шахтного типа с каналами-дымоходами являлось устойчивое поддержание на протяжении длительного времени (многих часов) относительно невысоких температур порядка 600–800 °С. В противном случае при превышении этих температурных режимов ценные рудные материалы попросту ошлакуются в единый шлаково-рудный спек — «козел», медь все равно не восстановится, а дальнейшие манипуляции станут бессмысленными. Именно поэтому в подобных конструкциях не использовался древесный уголь, и не только из-за более высокой в сравнении с хворостом и дровами температуры сгорания, позволяющей достигать плавильных температур более 1200 °С, но и во избежание создания восстановительной атмосферы в печи, поскольку именно угарный газ СО является основным восстановителем меди в ходе металлургического процесса. В этом плане чрезвычайно важные сведения были получены А. С. Ермолаевой при исследовании трехсекционного ТТС полушахтного типа раннеалакульского (петровского) времени в северном жилищно-производственном комплексе поселения Талдысай, где были обнаружены крупные фрагменты стволов (или толстых веток) обгоревшего дерева.²³

Стремлением поддержания невысоких, но стабильных температур продиктовано устройство в глиняной обмазке или каменной обкладке стен огневых камер воздухопроводов, опускающих к придонной части, а также длинных горизонтальных каналов-дымоходов со встроенными очажными конструкциями. Реконструированная схема последовательного разжигания огня в очажных конструкциях дымохода для его прогревания и создания тяги, последующего воспламенения топлива в огневой камере и поддержания огня в ней без принудительного дутья надежно верифицирована

²³ Авторы выражают искреннюю признательность А. С. Ермолаевой за устное сообщение и любезно предоставленные фотоматериалы, иллюстрирующие эту находку.

в ходе упоминавшихся археометаллургических экспериментов И. А. Русанова на поселении Талдысай. Не исключено, что к выходящим на поверхность каналам-воздуховодам временно могли подключаться меха для более быстрого возгорания топлива в огневой камере, но сразу после этого их необходимо было отсоединить, дабы избежать быстрого прогорания дров и достижения слишком высоких температур.

Использование обозначенных температурных режимов подтверждается и косвенными данными. Дело в том, что горняки и металлурги бронзового века весьма рационально использовали производимую в обсуждаемых ТТС тепловую энергию. В частности, отмечены факты помещения в очажные конструкции каналов-дымоходов керамических сосудов для обжига (рис. 1, 1), при этом аналитическими исследованиями установлено, что вся керамическая посуда Центрального Казахстана обожжена при температурах 600–800 °С.²⁴

Наконец, необходимо отметить, что в нашем распоряжении есть уникальные факты, позволяющие составить объективное представление о том, какие материалы и в каком объеме подвергались пиротехническому воздействию в огневых камерах печей шахтного типа. В 1955 г. А. Х. Маргулан на поселении Атасу исследовал «металлургическую» печь № 5 (рис. 1а). Ее размеры составляли 1,6 × 1,6 м при глубине 1,4 м. Стенки конусообразно сужались ко дну и были обмазаны огнеупорной глиной слоем 2,5–3 см. Выходивший на поверхность с северной стороны воздухопроводный канал диаметром 20 см охватывал западную стенку, спирально опускаясь в под печи. Печь в древности была загружена, подожжена, но по неизвестным причинам пиротехнический процесс оказался остановлен. В полости печи от западной до восточной стенки с прогибом в центре зафиксирован полуметровый спрессованный слой медной руды, откалиброванной до кусков размерами 7 × 7, 6 × 8 см. По разным оценкам, вес обнаруженных в печи рудных материалов составлял от 20 до 30 кг.²⁵

В этой связи уместно вспомнить, что на поселении Милыкудук в Жезказган-Ультауском ГМЦ Н. В. Валукинским обнаружено большое число так называемых ям-кладовых. Количе-

²⁴ См.: Кузнецова Э. Ф., Тепловодская Т. М. Указ. соч. С. 152, рис. 52.

²⁵ См.: Маргулан А. Х. Бегазы-Дандыбаевская культура... С. 181, 183, рис. 131; Кадырбаев М. К. Указ. соч. С. 139; Кузнецова Э. Ф., Тепловодская Т. М. Указ. соч. С. 47, рис. 18, 4.

ство первоклассной по современным меркам руды со средним содержанием меди не менее 8–10 % на площади поселения оказалось настолько внушительным, что более 2 т было отправлено для переплавки на Карсакпайский металлургический завод. Для нашего исследования наиболее интересны выложенные плитами песчаника ямы-кладовые круглой формы диаметром 1,5–2,5 м при глубине 0,8–1 м, предназначавшиеся, по мнению автора раскопок, для хранения обогащенной готовой к плавке медной руды.²⁶ Не исключено, что, если не все, то хотя бы часть из них могла являться теплотехническими сооружениями для декрипитации и обогащения рудных материалов.

По всей видимости, описанная ситуация, зафиксированная в одной из шахтных печей медеплавильного комплекса № 5 на поселении Атасу, отражает реальные масштабы и характер пиротехнических операций в ТТС подобного рода. Наибольший эффект от декрипитационного обогатительного пожара рудных материалов может быть достигнут при калибровке кусков руды до средних размеров 6–8 см в поперечнике, в то время как шихта для собственно металлургического передела должна состоять из измельченных до порошкового состояния обогащенных рудных концентратов. Вполне реалистичным представляется и объем подвергаемых в огневых камерах пиротехническому воздействию рудных материалов весом до 30 кг, превышение этих параметров сделало бы проблематичным поддержание горения топлива. Хотя в данном случае речь идет о печи глубиной 1,4 м. В случае использования более крупных огневых камер глубиной до 3 м количество руды могло быть несколько большим, но вряд ли превышало 50–60 кг.

Vitaly V. Tkachev

Candidate of Historical Sciences, Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of RAS (Russia, Orenburg)

E-mail: *vit-tkachev@yandex.ru*

Sergey V. Bogdanov

Candidate of Historical Sciences, Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of RAS (Russia, Orenburg)

E-mail: *bogdanov-step@yandex.ru*

Подводя краткие итоги проведенного исследования, можно сформулировать несколько основных выводов:

1. Печи шахтного типа с каналами-дымоходами, получившие широкое распространение на восточном фланге Западноазиатской (Евразийской) металлургической провинции, являются одним из наиболее ярких и показательных материальных свидетельств реализации технологических алгоритмов пастушеской модели металлопроизводства, основанной преимущественно на многоступенчатой переработке вторичных сульфидов меди, добываемых в ходе разработки зон окисления и обогащения (гипергенеза) медных месторождений и рудопроявлений.

2. Теплотехнические сооружения с каналами-дымоходами Урало-Казахстанского региона функционально близки более простым в конструктивном отношении пожаровым ямам-печам, зафиксированным в структуре горно-перерабатывающих комплексов степного Приуралья. Они предназначались для декрипитации, пиротехнического обогащения и рафинирования рудного протолита в ходе длительного пожара с использованием хвороста и древесного топлива при относительно низких температурах в диапазоне 600–800 °С.

3. Дальнейшее совершенствование конструкции теплотехнических сооружений с каналами-дымоходами в условиях преодоления сырьевого кризиса, вызванного исчерпанием в финале бронзового века доступных запасов сульфидов зон вторичного обогащения ультраосновных месторождений, рудопроявлений медистых сланцев, и в связи с этим перехода на использование халькопирита, в значительной мере способствовало открытию металлургии железа.

²⁶ См.: Маргулан А. Х. Сочинения... С. 60, 61.

THE PURPOSE OF SHAFT-TYPE FURNACES OF THE WEST ASIAN METALLURGICAL PROVINCE

The article addresses the problem of the functional purpose of shaft-type furnaces with chimneys found at the Late Bronze Age sites of Northern Eurasia. This category of thermal engineering structures became widespread in the eastern wing of the West Asian (Eurasian) metallurgical province. Thermal sets with flue channels are physical evidence of the implementation of technological algorithms of the pastoral model of metal production based primarily on multi-stage processing of secondary copper sulfides. Shaft furnaces with flues of the Ural-Kazakhstan region are functionally similar to the more structurally simple fire pits-furnaces present in the structure of mining and processing complexes of the steppe Cis-Ural region. They were intended for decrepitation, pyrotechnic enrichment, and refining of ore protolith during a long fire setting using brushwood and wood fuel at relatively low temperatures in the range of 600–800 °C. The degree of complexity of thermal engineering structures was determined by the nature of the raw materials used. Ordinary fire pits turned out to be acceptable for ore-bearing complexes in the copper shales and sandstones of the steppe Cis-Ural region. The ores of the ultrabasic deposits of the Ural-Mugodzhzar region were difficult to be processed and required the use of mine furnaces with flues, which were also characteristic of the metal production centers of the Kazakhstan mining and metallurgical region. Further improvement of thermal engineering structures with flue channels was due to the need to overcome the raw material crisis caused by the exhaustion of available sulfide reserves in secondary enrichment zones within ultrabasic deposits, and copper shale ore occurrences at the end of the Bronze Age. It required the transition to the use of chalcopyrite and greatly contributed to the discovery of iron metallurgy.

Keywords: Bronze Age, West Asian metallurgical province, thermal engineering structures, shaft furnaces with flues, ore protolith, pyrotechnic enrichment of secondary sulfides

REFERENCES

- Andronovskaya kul'tura: v 3-kh vyp.* [Andronovo culture: in 3 issues]. Moscow; Leningrad: Nauka Publ., 1966, iss. 1: Monuments of the Western regions. (Archaeology of the USSR. Corpus of archaeological sources; iss. B 3-2). (in Russ.).
- Antonov M. A., Ermolaeva A. S. [Experience in creating a three-dimensional graphic reconstruction of heat engineering structures in the settlements of Atasu and Taldysai]. *Margulanovskiye chteniya – 2020: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Velikaya Step' v svete arkheologicheskikh i mezhdistsiplinarnykh issledovaniy"* [Margulan readings – 2020: materials of the International Sci. and Pract. Conf. "The Great Steppe in the light of archaeological and interdisciplinary research"]. Almaty: IA im. A. Kh. Margulana Publ., 2020, vol. 1, pp. 152–159. (in Russ.).
- Artyukhova O. A., Kurmankulov Zh., Ermolaeva A. S., Erzhanova A. E. *Kompleks pamyatnikov v urochishche Taldysay* [Complex of monuments in the Taldysai site]. Almaty: IA im. A. Kh. Margulana Publ., 2013. (in Russ.).
- Bochkarev V. S., Kashuba M. T. [From bronze to iron: a jump or gradual transition (based on the materials of the Late Bronze – Early Iron Age of the Northern Black Sea and Carpatho-Danube region)]. *Arkheologiya Vostochno-Evropeyskoy stepi* [Archaeology of the East European Steppe]. Saratov: SGU Publ., 2017, iss. 13, pp. 87–112. (in Russ.).
- Bogdanov S. V. [Pilot archeometallurgical experiments on the recovery of copper from Kargalov ore concentrates]. *Analiticheskiye issledovaniya laboratorii yestestvennonauchnykh metodov* [Analytical studies of the laboratory of natural science methods]. Moscow: IA RAN Publ., 2021, iss. 5, pp. 78–103. (in Russ.).
- Bogdanov S. V. [Technological algorithms of the pastoral model of metal production in the steppe regions of North Eurasia in the Bronze Age]. *Ural'skij istoriceskij vestnik* [Ural Historical Journal], 2020, no. 4 (69), pp. 6–14. DOI: 10.30759/1728-9718-2020-4(69)-6-14 (in Russ.).
- Bogdanov S. V. Ore sources of raw materials of the ancient metallurgy in the steppe Cis-Urals region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Orenburg: IOP Publishing, 2021, vol. 817, p. 012017. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012017 (in English).
- Borisov M. V., Avramenko S. V., Bogdanov S. V. et al. [Archaeological survey of the mine and mining and metallurgical facilities of the Bronze Age near the village of Belousovka, Orenburg region]. *Arkheologiches-*

kiye otkrytiya v Samarskoy oblasti 2020 goda [Archaeological discoveries in the Samara region in 2020]. Samara: SOIKM im. P. V. Alabina Publ., 2021, pp. 15–16. (in Russ.).

Chernykh E. N. [Metallurgical provinces and periodization of the Early Metal era on the territory of the USSR]. *Sovetskaya arkheologiya* [Soviet Archaeology], 1978, no. 4, pp. 53–82. (in Russ.).

Chernykh E. N. *Kul'tury nomadov v megastrukture Evraziyskogo mira* [Nomad cultures in the megastructure of the Eurasian world]. Moscow: Yazyki slavyanskoy kul'tury Publ., 2013, vol. 1. (in Russ.).

Dubyagina E. V. [The Bozshakol site of the ancient mining industry of Kazakhstan]. *Vestnik Kazakhskogo Natsional'nogo Pedagogicheskogo universiteta im. Abaya* [Bulletin of the Kazakh National Pedagogical University named after Abai], 2017, no. 1 (52), pp. 235–239. (in Russ.).

Fomichev A. V. [Metallurgical complex at the Kuduksay settlement in the Elenovsko-Ushkatta archaeological microdistrict]. *Shtrikhi k portretam minuvshikh epokh. Arkheologiya, istoriya, etnografiya. Kn. (MMXIV) I* [Traits for Portrait of the Past. Archaeology, History, Ethnography. Book (MMXIV) I]. Zimovniki: Zimovnikovskiy krayevedcheskiy muzey Publ., 2014, pp. 293–300. (in Russ.).

Grigoriev S. A. *Metallurgicheskoye proizvodstvo v Severnoy Evrazii v epokhu bronzy* [Metallurgical production in Northern Eurasia in the Bronze Age]. Chelyabinsk: Tsitsero Publ., 2013. (in Russ.).

Kadyrbaev M. K. [Six-year work on Atasu]. *Bronzovyy vek stepnoy polosy Uralo-Irtyshskogo mezhdurech'ya* [Bronze Age of the steppe zone of the Ural-Irtysh interfluve]. Chelyabinsk; Ufa: BashGU Publ., 1983, pp. 134–142. (in Russ.).

Kadyrbaev M. K., Kurmankulov Zh. *Kul'tura drevnikh skotovodov i metallurgov Sary-Arki (po materialam Severnoy Betpak-Daly)* [The culture of ancient pastoralists and metallurgists of Sary-Arka (based on materials from Northern Betpak-Dala)]. Alma-Ata: Gylym Publ., 1992. (in Russ.).

Kuznetsova E. F., Teplovodskaya T. M. *Drevnyaya metallurgiya i goncharstvo Tsentral'nogo Kazakhstana* [Ancient metallurgy and pottery of Central Kazakhstan]. Almaty: Gylym Publ., 1994. (in Russ.).

Margulan A. Kh. *Begazy-Dandybayevskaya kul'tura Tsentral'nogo Kazakhstana* [Begazy-Dandybay culture of Central Kazakhstan]. Alma-Ata: Nauka Publ., 1979. (in Russ.).

Margulan A. Kh. *Sochineniya: v 14 t.* [Works: in 14 vols.]. Almaty: Dayk-Press Publ., 2001, vol. 2. (in Russ.).

Rusanov I. A., Ermolaeva A. S. [Copper production technologies at the settlement of metallurgists Taldysai]. *Materialy mezhdunar. nauch. konf.: "Arkheologiya Kazakhstana v epokhu nezavisimosti: itogi i perspektivy"* [Proceedings of the international sci. conf.: "Archaeology of Kazakhstan in the era of independence: results and prospects"]. Almaty: IA im. A. Kh. Margulana Publ., 2012, vol. 1, pp. 321–329. (in Russ.).

Taldysay – poseleniye drevnikh metallurgov pozdnebronzovogo veka v Ulytauskoy stepi [Taldysai – settlement of ancient metallurgists of the Late Bronze Age in the Ulytau steppe]. Almaty: Institut arkheologii im. A. Kh. Margulana Publ., 2020. (in Russ.).

Tkachev V. V. Local versions realizing the pastoral model of metal production in conditions of the steppe ecosystems in the Urals-Mygodzhary region in the Late Bronze Age. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Orenburg: IOP Publishing, 2021, vol. 817, p. 012107. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012107 (in English).

Zhauymbaev S. U., Evdokimov V. V., Kukushkin A. I., Shokhataev O. S. [Metallurgists settlement of Alat of the Late Bronze Age Karkaraly district of Karaganda region]. *Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya: Istoriya. Filosofiya* [Bulletin of the Karaganda University. History. Philosophy Series], 2017, no. 2 (86), pp. 52–59. (in Russ.).

Zhauymbai S. U. [Beginning of iron development in the Kazakh steppes in the Late Bronze Age (Alat production and metallurgical center in Saryarka)]. *Mir Bol'shogo Altaya* [The World of the Great Altai], 2020, no. 6 (2), pp. 820–841. (in Russ.).

Для цитирования: Ткачев В. В., Богданов С. В. Назначение шахтных печей Западноазиатской металлургической провинции // Уральский исторический вестник. 2022. № 4 (77). С. 41–54. DOI: 10.30759/1728-9718-2022-4(77)-41-54.

For citation: Tkachev V. V., Bogdanov S. V. The purpose of shaft-type furnaces of the West Asian metallurgical province // Ural Historical Journal, 2022, no. 4 (77), pp. 41–54. DOI: 10.30759/1728-9718-2022-4(77)-41-54.