

А.А. АЛАЯН, Т.А. ДЕМИРЧЯН

КАК ВОЗНИКЛА МЕТАЛЛУРГИЯ ЖЕЛЕЗА

Дано научное обоснование причин первоочередности металлургического получения меди из железосодержащих медно-сульфидных руд. Показаны роль и место армянской металлургии в общемировой культуре. Отмечено, что металлургия железа своими корнями уходит в металлургию меди, в частности, к периоду перехода от использования медных руд зоны окисления к сульфидным рудам и дальнейшей переработке последних. Железо получено восстановлением вюстит, попавшего в шлак, в результате закономерных химических реакций. Восстановленные комки железа отделялись из хрупкого медеплавильного шлака битьем, откуда и произошло армянское название этого железа: “крица(й)” - избитого или из битья, от армянского слова “кур”.

Ключевые слова: железо, медь, металлургия, халькопирит, вюстит, восстановление, шлак.

Введение. Тема актуальна не только в связи с решением вопроса закономерной первоочередности металлургии меди, бронзы и возникновения металлургии железа в период перехода от использования руд зон окисления к сульфидным рудам, но и вопроса возможной комплексной переработки медного сырья с получением железа при получении черновой меди в современных условиях.

Вопрос о причинах первоочередности металлургии меди, по сравнению с металлургией железа, до сих пор не решен.

Целью исследования является научное обоснование причин первоочередности металлургического получения меди из железосодержащих медно-сульфидных руд, а также роли и места армянской металлургии в общемировой культуре.

Постановка задачи и методика исследования. Для достижения поставленной цели проведены всесторонние исследования, включающие историко-археологические, современные физико-химические, статистические, лингвистические и другие данные. Проведены соответствующие расчеты.

Датский археолог Христиан Юргенсен Томсен (1788-1865) в середине XIX века на основе археологического материала научно обосновал систему трех веков развития человечества: каменного, бронзового и железного [1]. Однако первоочередность возникновения металлургии и использования меди (и бронзы) после каменного века вызывает недоумение. Ведь содержание

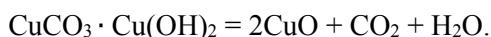
меди в земной коре (на глубине до 16 км) составляет всего $(4,7...5,5) \cdot 10^{-3} \%$, в то время как содержание железа - $5,0...5,1\%$, т.е. в земной коре содержится ~ в 1000 раз больше железа, чем меди. Причина подобной очередности не одна. Попробуем разобраться в них. Как и некоторые металлы, золото, серебро, железо также существуют в виде самородков, но они имеют очень малые размеры и вкраплены в горные породы. Массовые скопления чистых самородков железа исключительно редки. Наиболее замечательные из них находятся в Гренландии и в Германии. Самородная медь может достигать весом в несколько тонн, как, например, в Америке у Великих Озер. К тому же они имеют гораздо большее распространение. Но железо существует и в виде железных метеоритов. Для метеоритного железа характерно наличие никеля в количестве $4...30\%$, т.е. оно является природно-легированным. Первые образцы использования железа человеком были метеоритными. И самородная медь, и метеоритное железо хорошо куется. При ковке твердость повышается, металл наклёпывается и может служить в качестве орудия. Примитивная ковка - это ковка каменным молотом, которую применял человек каменного века для изготовления каменного орудия в основном отбивкой кремниевых и обсидиановых отщепов. По данному показателю медь, по-видимому, особых преимуществ перед железом не имеет. О золоте вообще говорить не приходится: количество его мало, а механические свойства даже после наклёпа очень низкие.

Одним из основных признаков, привлекающих древнего человека, является цветовой признак. По этому признаку большое преимущество имеют золото и серебро, но они неконкурентоспособны по другим показателям.

Из минералов наиболее яркими являются минералы меди - малахит и азурит ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ и $2\text{CuCO}_3 \cdot 2\text{Cu(OH)}_2$), имеющие соответственно ярко-зеленый и ярко-синий цвета. Яркими являются также минералы мышьяка - реальгар и аурипигмент (AsS и As_2S_3), имеющие соответственно яркий оранжево-красный и золотистые цвета. Латунно-желтый цвет имеет также медно-железный минерал - халькопирит (CuFeS_2), но он находится сравнительно глубоко в сульфидной зоне, а не на поверхности зоны окисления, как малахит и азурит.

Основные минералы железа – гематит и магнетит (Fe_2O_3 и Fe_3O_4), имеют красный и буроватый цвета. Изначально окислы железа использовались в керамике как красители. Для получения меди (и бронзы) человек сначала использовал приповерхностные минералы зоны окисления медно-рудных месторождений, наиболее распространенными из которых являются малахит и азурит, а также куприт (Cu_2O) и тенорит (CuO), который называется также мелаконит, наряду с самородной медью, которая бывает почти без примесей.

Все минералы зоны окисления легко восстанавливаются окисью углерода (CO). Так, куприт (Cu_2O) восстанавливается углём начиная со 100°C [2], но восстановительная атмосфера должна сохраняться до полного охлаждения полученной меди. В противном случае, медь может снова окислиться. Особенно это относится к малахиту и азуриту, карбонатам меди с кристаллической водой. При нагреве кристаллическая вода быстро испаряется, а карбонат диссоциирует начиная с 200°C по реакции



Двуокись углерода по реакции Будуара восстанавливается до окиси



Начиная с 290°C при наличии восстановительной атмосферы в виде CO тенорит (мелаконит) восстанавливается до куприта $2\text{CuO} + \text{CO} \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{CO}_2$.

При недостатке угля металл снова кальцинируется. Твердый углерод (древесный уголь) восстанавливает куприт начиная со 100°C .

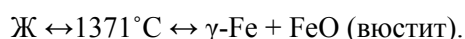
Избыточное количество древесного угля является гарантией полного восстановления окислов меди и предохраняет от окисления.

Окислы железа – гематит (Fe_2O_3), магнетит ($\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), вюстит (FeO) - также легко восстанавливаются в твердом состоянии, но при температуре выше эвтектоидного превращения вюстита, т.е. выше 560°C [3].

Эвтектоидный распад вюстита:

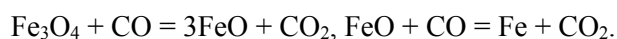
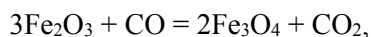


Температура плавления вюстита выше 1371°C , так как при $t = 1371^\circ\text{C}$ происходит эвтектическое превращение:



Содержание кислорода в вюстите составляет 23,1 до 25,6% (по массе) соответственно при температуре $1371 \dots 1450^\circ\text{C}$.

Восстановление гематита происходит с очень низких температур – начиная с 300°C по реакции



Восстановление вюстита выше 560°C [3] происходит тем быстрее, чем выше температура. При этом получается губка с высокой удельной поверхностью, т.е. с очень большим количеством мельчайших пор. Вследствие этого повышается активность реакции окисления железа, что приводит к охрупчи-

ванию и потере ковкости. Об этом свидетельствуют многочисленные эксперименты по моделированию процессов получения железа (17 экспериментов) сыродутным способом, проведённые Б.А. Колчиным [4], с применением руд из сравнительно древних отвалов Сосновского рудника на Урале. Сама печь была построена на раскопках в Новгороде из глины и похожа на древнерусские печи. В 50-ых годах XX века подобные исследования были проведены в стране басков (Северная Испания), в Чехословакии и Польше [5]. При этом во всех случаях при экспериментировании ковкое железо получалось при температуре выше 1200°C , когда было достаточное количество шлаков, предохраняющих восстановленное железо от окисления.

Вышеизложенное говорит о том, что древнему человеку легче было найти яркие зелено-синие, голубые минералы меди, часто находившиеся рядом с самородками в приповерхностной зоне окисления сульфидных медно-рудных месторождений, чем менее броские минералы железа. Температурный интервал восстановления меди также ниже того же показателя восстановления железа. Температура плавления железа - 1539°C , видимо, была недостижима для древнего человека каменного века, в то время как реальгар и аурипигмент, плавящиеся при температуре 310 и 320°C , сплавляясь с медью, снижали температуру плавления последнего, а при несколько большем содержании (начиная с 7...8%) создавали эвтектику, оплавляющую зерна твердого раствора на основе меди. При температуре 680°C и содержании As-а в 21,2 (по массе) образуется эвтектика. Именно поэтому (хотя возможно и отсутствие касситерита SnO_2) первыми бронзами, полученными и прокованными человеком начиная с VII тысячелетия до н.э., являются мышьяковистые бронзы, “бывшие самым популярным сплавом меди в Месопотамии, Анатолии, Сирии, Палестине, Египте, на Крите, в Кикладах, Греции (добавим в Армянском нагорье) в III и в первой половине II тысячелетия, составлявшие от одной четверти до трех четвертей всего потребляемого металла. В коллекциях же металлических находок Северо-Западного Ирана, Сирии, Греции и островов Эгейского моря на долю мышьяковистой бронзы приходится две трети всех бронзовых изделий” [6].

Из сказанного следует, что очередность перехода от каменного века именно к медно-бронзовому является “естественной”. В то же время вышеприведенные данные о проделанных экспериментах по получению железной крицы показывают, что необходимым условием ее получения является среда, обеспечивающая предупреждение окисления корольков губчатого железа. И этой средой может служить жидкий шлак.

Вопрос о значении шлаков в металлургии встал во весь рост после открытия геологом Геологоуправления Арм. ССР Корюном Мкртчяном Меца-

мора и посещения этого исключительного исторического памятника участниками международной конференции геологов. Интерес особенно усилился после опубликования А.А. Мартиросяном сведений о том, что в древнеармянских письменных источниках говорится о применении металлургами костной смеси и соотнесении этого сообщения к Аргиштихинили и Мецамору [7].

Именно в связи с этими сообщениями американским ученым Д. Меддином были опубликованы данные о проведении специального эксперимента с применением костной смеси. Эксперимент был поставлен с целью выявления технологии пиротехнического производства в Мецаморе. Эксперимент показал, что применение костной смеси в количестве 7% от общего веса шихты при прямом восстановлении железа из руды снижает температуру плавления шлака до 960°C , в результате чего получается ковкое железо [8]. Как показывает тройная диаграмма $\text{FeO-SiO}_2\text{-CaO}$ (рис.), минимальная температура в этой системе относится к изотерме в 1100°C , а в двойной системе FeO-SiO_2 эвтектическая температура между вюститом (FeO) и фаялитом ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) равна 1177°C [2].

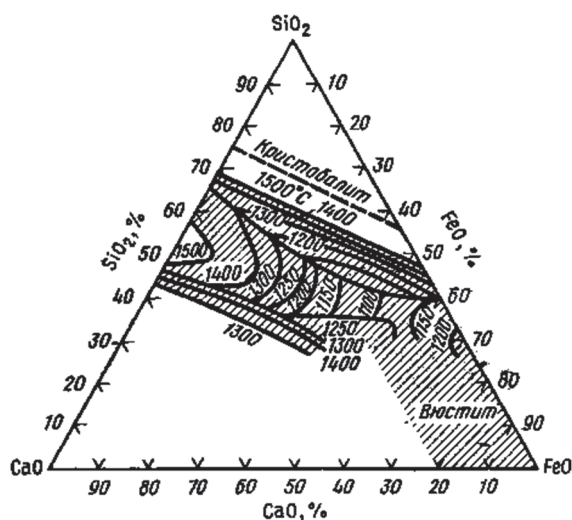


Рис. Диаграмма состояния системы CaO-SiO-FeO

Обращаясь к этому вопросу, В.В. Иванов пишет [9]: “Добавление флюса того типа, который использовался в древней Армении в печах Мецамора и Аргиштихинили, в том числе 7% костной смеси (CaO , P_2O_5), делает возможной ковку железа, сплавляющегося в крицы (без такого флюса ковка криц возможна лишь при существенно более высокой температуре). Поэтому добавление этого флюса (засвидетельствованного в указанных ранее армянских памятниках) следует считать выдающимся пиротехническим достижением”.

В связи с примечаниями древних металлургов Армении в качестве флюсующего вещества - костной смеси рассмотрим химический состав кости (усредненный) [10].

Усредненный состав костей различных животных:

$\text{CaO}_3(\text{PO}_4)_2 \rightarrow 3 \text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 - 58...62\%$, среднее 60%;

жиров и клея – 26...30%, среднее 28%;

$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \rightarrow 3 \text{MgO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 - 1...2\%$, среднее 1,5%;

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{CO}_2 - 6...7\%$, среднее 6,5%;

$\text{CaF}_2 - 2\%$, среднее 2%;

азота и др. – 2%, среднее 2%.

После обезжиривания костей, диссоциации CaCO_3 и удаления двуокиси углерода (CO_2) и азота (N) состав костной смеси будет: $\text{CaO} - 72,0\%$, $\text{P}_2\text{O}_5 - 24,0\%$, $\text{MgO} - 1,2\%$, $\text{CaF}_2 - 2,8\%$.

Р. Медин и В.В. Иванов в своих статьях об использовании армянскими металлургами в качестве флюсующего материала костной смеси указывают в составе на наличие CaO и P_2O_5 . Действительно, в костях основными составляющими являются оксиды кальция и фосфора в соотношении ~72% и 24% соответственно. Как видно из диаграммы состояния $\text{P}_2\text{O}_5 - \text{CaO}$ [2], при подобном соотношении температура плавления выше 1600°C .

Рассмотрим диаграммы состояния $\text{FeO}-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5$ [2], где приводится изотермическое сечение при 1600°C и указываются области расслоения внутри гомогенного расплава, а также области с расплавом и твердой фазой $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ и сильное отталкивание между растворенными в жидкости FeO и $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$. Гомогенный расплав при 1600°C соответствует ~1,5% P_2O_5 и 1,0% CaO . При понижении температуры эта область будет сужаться. Так что, вряд ли эти компоненты будут являться причиной снижения температуры плавления эвтектики $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ и FeO , хотя отдельно CaO несколько (до 1100°C) может понизить эту температуру (см. диаграмму состояния $\text{FeO}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$, рис.).

Исходя из вышеизложенного, понижение температуры плавления шлака при применении костной смеси связано с наличием флюорита – CaF_2 , который является одним из лучших разжижителей шлаков.

Раскопки Е.А. Байбуртяна в селе Шенгавит, нынешнем южном пригороде Еревана, в 1936-1938г. выявили культуру энеолита 3-го тысячелетия до н.э. [11].

Были выявлены каменная литформа топора, фрагменты тиглей, т.е. все атрибуты металлургического производства энеолита.

Высокоразвитая культура Шенгавита послужила основой для дальнейших раскопок на территории современной Армении и сопредельных территорий. На территории только Армянской ССР их оказалось более сотни [12]. Обращаясь к этой культуре, Б.А. Куфтин назвал ее “урартским “колумбарием” у подножья Арарата” и обобщил ее под названием “куроаракской культуры” [13]. С появлением и развитием этой культуры многие авторы традиционно связывают развитие металлургии, список работ которых подробно указан у А.Ц. Геворкяна [12].

Именно в эту эпоху впервые появляется железо в шлаках медеплавильного (и бронзового) производства и в сравнительно больших количествах в самом металле – меди и бронзе. Это, безусловно, связано с постепенным изменением используемого сырья – от руды зоны окисления к сульфидным рудам, так как в большинстве наиболее распространенных сульфидных руд имеется большое количество железа, например, в халькопирите CuFeS_2 (30,42% Fe), борните Cu_5FeS_4 (14,55% Fe), не говоря уже о сопутствующем пирите FeS_2 (46,54% Fe).

В.В. Иванов пишет [9]: “Железо, как и стекло, достаточно рано стали получать в качестве шлаков - побочных продуктов при керамическом производстве или производстве меди и бронзы. Об этом свидетельствуют, например, железные шлаки, обнаруженные, по данным К.Х. Кушнareвой и Т.Н. Чубинишвили [14], в остатках металла в тигле на Южном Кавказе времени куроаракской культуры и древней медеплавильной печи (около XVIII в до н. э.) из Аладжа Гуюка [15]”.

Именно из Аладжа Гуюка (Хююка) происходит железный кинжал, полученный, бесспорно, из земного, рудного железа, потому что он не содержит никеля, который содержится всегда (4...10% и выше) в метеоритном железе. Этот кинжал датируется 2100 г. до н.э. [16, 17]. Аладжа Гуюк находится на территории современной Турции, недалеко от Богазкоя, где археологами открыта бывшая столица Хеттского царства – Хаттушаш. В Хаттушаше найдена самая древняя хеттская клинописная надпись [18] царя Аниттаса (XVIII в. до н. э.), объединителя всех хеттских мелких “Царств” в единое Хеттское царство, который до того был всего лишь правителем Куссара. В этой надписи сказано, что человек из города (государства) Пурусханда принес в дар Аниттасу железный трон и железный скипетр, видимо, в знак покорности и признания власти Аниттаса.

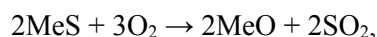
Для определения времени перехода от руд зоны окисления к сульфидным рудам нами были использованы данные химических анализов конвертерной (черновой) меди, полученные из сульфидных руд 12-ти различных

заводов разных стран, приведенные в справочнике металлурга [19]. Среднее количество железа в конвертерной меди оказалось равным 0,067%. Мы ужесточили этот показатель, доведя его до 0,1%.

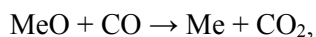
На основании данных спектрального анализа артефактов раннего и среднего бронзовых веков (РБВ и СБВ), т.е. 3-го тысячелетия и первой половины 2-го тысячелетия для Армении, приведенных у Геворкяна А.Ц. [12], нами определено, что для РБВ в 33 из 93-х количество артефактов в которых $Fe >$ или $= 0,1\%$, составляет 35,5%, а для СБВ в 21-м из 37, что составляет 56,8%. Считается, что в Армении всю медь (и бронзу) в позднем бронзовом веке (ПБВ), как и сегодня, получали из сульфидных руд.

Таким образом, переход от использования руд зоны окисления к сульфидным рудам происходил в конце 3-го тысячелетия, и именно к этому времени относится кинжал из Аладжи-Хююка (2100 г. до н.э.). Для получения меди в шахтных печах из сульфидных руд процесс проводят в две стадии.

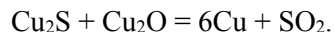
Первая стадия – окислительная, при которой удаляется вся сера (сначала из сульфидов железа, а потом из сульфидов меди), в общем случае:



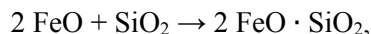
Вторая стадия:



т.е. прямое восстановление - по реакции между твердым углеродом и окислом металла, или косвенное - между окислом металла и окисью углерода. Для меди (Cu_2O) прямое восстановление начинается при температуре $1000^{\circ}C$, а косвенное - при комнатной температуре [2]. Для железа (FeO) прямое восстановление начинается с $950...1000^{\circ}C$, косвенное - при $570^{\circ}C$ и тем интенсивнее, чем выше температура в шахтной печи. Отметим также, что восстановление из сульфида происходит также с окисью меди по реакции

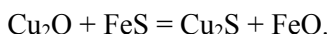


Как указано выше, при шахтной плавке (стадия восстановления) для черновой меди в шлаке происходит реакция образования фаялита:



и при больших количествах вюститита он восстанавливается до железа, иногда в виде железной настыли [2].

Из вышеизложенного следует, что древние металлурги на определенном хронологическом этапе имели дело со смешанной рудой зоны окисления и сульфидной, т.е. фактически окислительная стадия получалась сама собой, и при этом естественно проходила сначала реакция между окисью меди и сульфидом железа с получением окиси железа – вюстита;



Как видно из диаграммы FeO- CaO - SiO₂, изотерма ликвидуса при 1100⁰С проходит при составах, близких к ~80% FeO, и соотношении CaO: SiO₂=3:2, т.е. ~80% FeO, 12% CaO и 8% SiO₂, конечно, при некоторых изменениях этого состава. Тройная эвтектика должна находиться при более низкой температуре, т.е. ~1075⁰С. Именно под поверхностью ликвидуса, примыкающей к вюститу (FeO), без применения костной смеси - при температурах выше 1075⁰С, а в случае применения костной смеси - при температурах выше 960⁰С, происходит выделение твердых кристаллов вюстита в расплаве шлака, которые и восстанавливались при наличии восстановительной среды, в частности, окиси углерода (CO).

Таким образом, железо получалось в виде комков разных размеров от 1 мм до 50 мм попутно при металлургическом производстве меди (и бронзы). Это был, видимо, первый, хотя и заранее не предусмотренный, как бы самопроизвольный опыт комплексной переработки металлического сырья, которая сегодня является необходимым условием любого металлургического производства.

Жидкий шлак выливался из шахтной печи и затвердевал. Твердый шлак, будучи хрупким, разбивался ударами молота, а пластичное железо только несколько деформировалось, но не разрушалось и легко отделялось от шлака, фактически путем битья. Полученное путем битья шлака железо получило название крица. Этот термин происходит из индоевропейско-армянского слова кур [20] (KUR, арм. Կըր), в исходно-отложительном падеже отвечающем на вопросы *umiz ?*, *inchiz ?* (арм. ումիզ, ինչի՞նչ), в значении *от кого?*, *из чего?*, с двойным суффиксом –“иц”», и –“ай” (*iz* и *ay*), причем конечный -й краткий звук не произносится и читается *крица* (*kriza*) [21] и имеет значение “избитый”, “выбитый”. Термины в армянском языке технологичны и указывают либо признак (свойство), либо место, либо необходимое действие. В данном случае применяется необходимое действие – избитие, выбивка. Из всех технологий, примененных впоследствии в Европе, ближе всего к древнейшей технологии является технология, примененная фирмой Круппа – Крупп-Реннферфарен в

середине XX века (нем. Krupp-Rennverfahren) [22]. По этой технологии восстановленное твердое железо выбивается из железистого твердого шлака. Разница только в том, что вместо шахтной печи применяется горизонтальная трубчатая печь большой длины (до 72 м), размельчение шлака производится в шаровых мельницах, а для отделения железных комков размерами 1...50 мм применяется магнитная сепарация. Этот способ получения железа в СССР получил название “крично-рудовой процесс”.

Во всех остальных случаях (технологиях) железо получают либо из тестообразного шлака (сыродутный процесс), либо из чугуна - кричный горн или пудлинговый способ (англ. Pudling).

Пудлинговая сталь применялась до конца XIX века и в России, которая была заменена “литейной сталью”.

Таким образом, первоначально железо получалось при шахтной плавке смешанных медных руд из твердого отвального шлака путем избивания последнего. При этом хрупкий шлак легко размельчался, а куски железа оставались целыми и отбирались, отделяясь из общей смеси. Именно полученное по такой технологии железо получило армянское название *крица(й)*, “избитый”, “выбитый”.

Заключение. Впервые определено, что металлургическое железо было получено в шлаках медеплавильного производства при переходе от использования руд зоны окисления к рудам сульфидной зоны, т.е. смешанных руд. Показано, что именно флюорит (CaF_2), входящий в состав костной смеси, используемой в древности армянскими металлургами, является причиной снижения температуры плавления шлаков, а вовсе не CaO и P_2O_5 , указываемых другими авторами. Именно это обстоятельство позволило индоевропейским металлургам получать крицай железо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большая советская энциклопедия.- 2-е издание.- Том 42.- М., 1956.- 607с.
2. Цимерман Р., Гюнтер С. Металлургия и материаловедение: Справочник.- М.: Металлургия, 1982.- 344с.
3. Белых О.А., Дринца М.Е. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справочник.- М.: Металлургия, 1986.- 319с.
4. Колчин Б.А. Черная металлургия и металлообработка в Древней Руси.- М.: Изд-во АН СССР, 1953.- 159с.
5. Eaton E.R., Me. Kerrel H. Near Eastern Alloying and some Textual Evidence for the early use of Arsenical copper // World Archaeology.- 1976.-V. 8, №. 2.- P. 169-174.

6. **Иванов В.В.** Возникновение и развитие химии с древних времен до XVII века: Сборник.-М.: Наука, 1980.- С. 57-72.
7. **Мартirosян А.А.** Аргиштихинили // Археологические памятники Армении. "Урартские памятники".- Ереван, 1974.- Вып. 1.- С. 152-159.
8. **Maddin R.** Early iron metallurgy in the Near East // Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan.- Nippon Tekko kyokai, 1975.- Vol. 15.- P. 59.
9. **Иванов В.В.** Проблемы истории металлов на Древнем Востоке в свете данных лингвистических // Историко-филологический журнал (ИФЖ).- Ереван: Изд. АН АрмССР, 1976.- С. 59-70.
10. Большая советская энциклопедия.- 2-е издание.- Том 23.-М., 1953.- С. 140.
11. Большая советская энциклопедия.- 2-е издание.- Том 47.- М., 1957.- С. 664-665.
12. **Геворкян А.Ц.** Из истории древнейшей металлургии Армянского Нагорья.- Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1980.- С. 39.
13. **Куфтин Б.А.** Урартский "Колумбарий" у подножия Арарата и куроаркский энеолит // ВМГ.- Тбилиси.-1943.- Т. XIII.- С. 38.
14. **Кушнарев К.Х., Чубинишвили Т.Н.** Древние культуры Южного Кавказа (V-III тыс. до н.э.).- Л.: Наука, 1970.- С. 132.
15. **Mellink M.J.** Archaeology in Asia Minor // Amer. J. Archaeol.- 1974.- Vol. 72, N2.- P. 22.
16. **Wertime T.A.** Pyrotechnology. Man's First Industrial Uses of Fire // Amer. Sei.- 1973.- Vol. 61, N6.- P. 670-682.
17. **Marschall V.** Transpazifische Kulturbeziehungen zu ihren Geschichte.- Munchen, 1972.- 35p.
18. **Neu E.** Der Anitta-Text (Studien zu den Bogazkoy-Texten18).- Wiesbaden, 1974.- 44p.
19. Справочник металлурга по цветным металлам.- Т. 2.- М.: Гос. науч. тех. издат., 1947.- 198с.
20. **Ачарян Гр.** ЭКСАЯ.- Т.2.- 1935.- 662с.
21. **Алаян А.А.** Происхождение и этимология собственно армянских металлургических терминов // ИФЖ.- 2002.- N1.- С. 210-216 (на арм. яз.).
22. **Алаян А.А., Айвазян В.В.** Технологияковки, индоевропейский армянский терминковки // Вестник Инженерной академии Армении.- 2010.- Т. 7, N3.- С. 521-523.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 21.12.2020.

Ա.Ա. ԱԼԱՅԱՆ, Տ.Ա. ԴԵՄԻՐՉՅԱՆ

ԻՆՉՊԵՍ Է ԾԱԳԵԼ ԵՐԿԱԹԻ ՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱՆ

Առաջին անգամ ցույց է տրվում, որ երկաթի մետալուրգիան իր արմատներով սերտորեն կապված է պղնձի մետալուրգիայի հետ, մասնավորապես՝ հենց այն ժամանակաշրջանի հետ, երբ տեղի էր ունենում օգտագործվող պղնձահանքերում անցումը օքսիդացած զոնաներից սուլֆիդային հանքաքարին՝ դրանց հետագա վերամշակմամբ պղնձի և հետագայում երկաթի ստացմամբ: Երկաթը ստացվել է պղնձաձուլական խարամի մեջ վյուստիտի վերականգնմամբ, որը օրինաչափ քիմիական ռեակցիաների արդյունք է: Վերականգնված երկաթի կտորները փխրուն խարամից առանձնացվել են ծեծման, այն է՝ կռման միջոցով:

Առանցքային բառեր. երկաթ, պղնձ, մետալուրգիա, խալկոպիրիտ, վյուսթիթ, վերականգնում, խարամ:

A.A. ALAYAN, T.A. DEMIRCHYAN

HOW DID THE METALLURGY OF IRON ARISE

The scientific substantiation of the reasons for the priority of obtaining copper from iron-containing copper-sulphide ores is given. The role and place of the Armenian metallurgy in the world culture age shown.

It is shown that iron metallurgy has its roots in copper metallurgy, in particular, in the period of transition from the use of copper ores in the oxidation zone to sulphide ores and further processing of the latter. Iron was obtained by reducing wustite trapped in the slag, as a result of regular chemical reactions. The restored lumps of iron were separated from the brittle copper-smelting slag by beating, which is where the Armenian name for this iron came from: Kritsa(y) - beaten, from the Armenian root "Kur".

Keywords: iron, copper, metallurgy, chalcopyrite, vustite, recovery, slag.