

## ЧАСТЬ 4. СОСТАВ ДРЕВНИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ И ПРОБЛЕМЫ ПАЛЕОМЕТАЛЛУРГИИ

*С.А. Григорьев*

*Институт истории и археологии УрО РАН, г. Челябинск,  
stgrig@mail.ru*

### Технологии плавки руды и причины смены типов легирования в древней металлургии Евразии

Общепринятым положением в археометаллургии является то, что легирование было внедрено для улучшения физических свойств металла, а переход от легирования мышьяком к легированию оловом является естественным процессом технологического развития. Мы, действительно, видим повсеместно эту последовательность: чистая медь – мышьяковая медь – оловянная бронза. Этот тренд указывает на технологическую неизбежность именно этого ряда. Но существует ряд отклонений от этого правила, и есть серия иных проблем, которые показывают, что причины этого повсеместного перехода от мышьяковых лигатур к оловянным иные.

#### Мышьяковистые лигатуры

Мышьяковые лигатуры появляются достаточно рано. Уже в энеолите ряда районов типичны изделия с высоким содержанием мышьяка. Впоследствии доля мышьяковых бронз, а порой и степень легированности, только возрастают. Особенно это типично для районов, где распространены руды, обогащенные мышьяком. При использовании таких руд металлурги заметили, что это улучшает свойства металла: повышается его твердость, улучшается ковкость, снижается температура плавления и, соответственно, вязкость при литье. Но мышьяк выступает также в качестве деоксиданта, не позволяя меди переходить в куприт. На ранних этапах, когда в плавку поступали относительно чистые куски малахита, это было естественное легирование. Проверить это сложно, так как шлака от таких плавок, практически, не остается.

Но с началом использования руды с заметной примесью рудовмещающей породы, вероятно, обратили внимание на то, что при наличии примесей As-содержащих минералов появляется эффект легирования, и эти минералы стали добавлять в плавку уже целенаправленно. То есть, в случае с мышьяковым легированием эта грань между плавкой медной руды с примесью мышьяковых или медно-мышьяковых минералов и плавкой медной руды с целенаправленными добавками этих минералов, очень размытая. Но очевидно, что это был абсолютно осознанный и целенаправленный процесс. В металле синташтинской культуры прослеживается связь между содержанием мышьяка и типом изделия [Дегтярева, 2010, с. 138, 144; Григорьев, 2013, с. 211]. То же отмечено в Анатолии.

К недостаткам этого легирования относится трудность контроля содержания мышьяка в металле при легировании минералом в руду, но более серьезным недостатком было то, что при высокотемпературной обработке содержание мышьяка заметно снижается, а при плавке руды температурным пределом, при котором возможно такое легирование, был порог около 1300 °С. Поэтому при обработке такого металла предпочитали меньше использовать литейные операции, а ковку не вести в режиме высоких температур [Дегтярева, 2010, с. 121, 123, 134, 138]. Эту проблему повсеместно пытались решать использованием добавок мышьяко-никелевых минералов, поскольку никель способствует удержанию мышьяка в металле [Рындина, Равич, 2012, с. 5–9]. В результате этого, от синташтинской культуры до Ближнего Вос-

тока и Индии, мы видим, что мышьяковые бронзы очень часто обогащены никелем. Это, до какой-то степени, сглаживало проблему, но не позволяло решить ее полностью, особенно на стадии плавки руды. Не исключено, что одной из попыток решения проблемы на Ближнем Востоке стал отказ от легирования мышьяковыми минералами в руду и попытки легирования в металл шпейзой, арсенидом железа [Thornton, Lamberg-Karlovsky, 2004, p. 51, 53]. Но, кажется, это не получило широкого распространения.

### **Оловянные лигатуры**

Первые изделия, легированные оловом, происходят из энеолитических памятников Европы, Анатолии и Урала. Поскольку олово присутствует в шлаке, легирование осуществлялось, как и в случае с мышьяком, на стадии плавки руды. Эти эпизоды совпадают с первыми попытками плавки халькопирита, поэтому не исключено, что первоначально его путали со станнином (оловянным колчеданом), а потом заметили, что он ассоциирует с касситеритом. Эта технология не получила распространения, возможно, в силу редкости этих руд на фоне широко распространенных руд с мышьяком. Но уже в раннем бронзовом веке (РБВ) Анатолии появляются технологии получения олова из касситерита, и начинается легирование по схеме «металлом в металл». Принципиальных изменений свойств бронз, по сравнению с мышьяковыми, при этом не происходит. Но становится легче создать сплав с точно заданными параметрами, и решается проблема потерь легирующего компонента при высокотемпературных режимах. Поэтому мы видим, что более широко распространяются литейные операции, применяются более высокотемпературные режимы обработки [Дегтярева, Костомарова, 2011, с. 35]. Также появляется возможность перевозок лигатуры в виде металла на большие расстояния.

Таким образом, до этого момента применение лигатур представляет собой естественный процесс улучшения технологий легирования. Но небольшие преимущества олова не объясняют его быстрого распространения по континенту.

### **Олово и мышьяк**

В действительности, олово имеет очень мало преимуществ по сравнению с мышьяком: 1) оловянные сплавы тверже, но очень незначительно; 2) при работе с оловянной бронзой легче составить сплав с точным процентным содержанием легирующего компонента, но поскольку основная масса используемого металла изготавливалась из лома, наверняка были какие-то эмпирические способы определения свойств кусков металла; 3) считается, что пары мышьяка вредны, и это стимулировало переход на легирование оловом. Это действительно так, но в древности об этом вряд ли догадывались; 4) оловянные сплавы более привлекательны эстетически, но вряд ли это служило основным фактором перехода на эту лигатуру, тем более, что существовала древняя технология мышьякового «серебрения»; 5) возможность транспортировки меньшего объема лигатуры, так как в случае с оловом перевозили металл, а в случае с мышьяком могли перевозить готовые слитки, а не руду, либо мышьяковые лигатуры на относительно небольшие расстояния; то есть, этот фактор значим, но в случае перевозок на дальние дистанции; 6) потери мышьяка при высокотемпературной обработке были фактором значимым, но можно было использовать этот металл для иных орудий, а для изделий, требующих большей прочности, использовать «свежий» сплав с более высоким содержанием мышьяка.

Таким образом, олово обладало рядом преимуществ по сравнению с мышьяком. Но эти преимущества были несущественны на фоне редкости месторождений этого металла, и

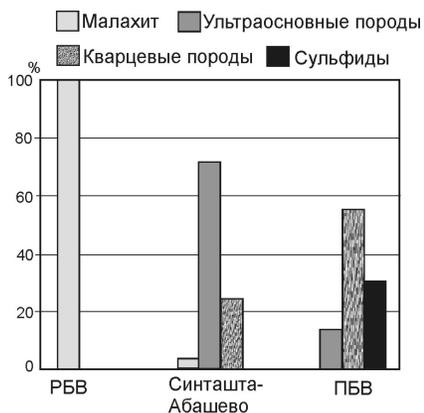
они не могут объяснить быстрого распространения олова в позднем бронзовом веке (ПБВ) Северной Евразии.

### «Победа» олова

Для понимания причин «победы» оловянных лигатур, необходимо обратиться к факторам, которые это сопровождают. В первую очередь, это заметное увеличение количества металлических изделий, их веса, территории распространения металлоносных культур. В Джезказгане в ПБВ выработки достигали нескольких сотен метров, там было получено около 10 тыс. т Си, и на товарный характер производства указывают находки слитков весом до 5 кг [Маргулан, 2001, с. 50, 52, 54, 60, 65, 75]. И, если бы не поставки олова, этот мощный Евразийский металлургический центр не мог бы успешно функционировать. В начале 2 тыс. до н.э. в Месопотамию с караванами с востока за 50 лет могло быть перевезено около 80 т Sn, из которого можно было получить около 800 тонн бронзы [Muhly, 1980, p. 33].

Таким образом, широкое распространение олова совпадает с резким территориальным расширением производства и ростом его объемов.

Есть еще одно совпадение. Выше приводятся данные (рис. 1), собранные из разных разделов публикации о металлургии Северной Евразии (Григорьев, 2013). Судя по отсутствию шлаков, в энеолите повсеместно, а в РБВ и СБВ Северной Евразии, плавил, преимущественно, чистые окисленные руды, без особых включений рудомещающей породы. В синташтинско-абашевское время, в эпоху подавляющего господства мышьяковых лигатур, использование такой руды зафиксировано, но оно не было значительным. Безусловно, доминируют (71.5 %) окисленные руды из ультраосновных пород. Их плавка велась в температурных пределах 1200–1300 °С, что позволяло сохранить мышьяк в металле, но использовались при этом руды прожилково-вкрапленные, относительно бедные и не слишком распространенные. В ПБВ доля этих руд сокращается до 14 %, и они представлены наиболее ранними памятниками, непосредственно сменяющими синташтинские или даже синхронные им. Главными рудами становятся более богатые и тугоплавкие руды из кварцевых жил и песчаников (55.35 %), а также сульфидные руды (30.65 %), при плавке которых происходила экзотермальная реакция горения серы. В силу этих причин, температуры плавок часто смещаются в диапазон 1300–1500 °С, а при этих температурах мышьяк в металле не сохраняется. Соответственно, переход на эти типы руд предопределил конец использования мышьяковых лигатур (это стало технологически невозможно) и создал условия для распространения оловянной лигатуры.



При этом существуют отклонения от строгого ряда «чистая медь – мышьяковая медь – оловянная бронза». Речь здесь идет не о наличии иных типов лигатур, например, сурьмяных и сурьмяно-мышьяковых или олово-свинцовых и свинцовых, которые являются только разновидностями или модификациями двух основных лигатур. Отклонением является появление в энеолите оловянного легирования. Но оно было весьма ограниченным, и, возможно, тоже было связано с

Рис. 1. Соотношение типов руды в РБВ, в синташтинско-абашевское время и в ПБВ Северной Евразии, по [Григорьев, 2013].

плавками сульфидных руд. Более примечательно то, что в Китае эта схема перевернута. Там сначала широко распространяются оловянные лигатуры, а потом их сменяют мышьяковые [Mei et al., 2012, p. 37–41]. То же самое происходит и в Южной Сибири, где с распространением культур карасук-ирменского круга мышьяковые лигатуры вытесняют господствовавшие ранее оловянные [Бобров и др., 1997, с. 58, 59, 69]. Присутствие карасукских вещей в Китае указывает на то, что они были отражением южносибирской тенденции. Формирование этих культур было вызвано южными миграциями, что видно по многочисленным параллелям, в первую очередь, иранским [Членова, 1972, с. 131–135; Григорьев, 2015, с. 309, 310]. В Иране мышьяковое легирование сохранялось вплоть до начала раннего железного века (РЖВ). Данные по типам использованных руд пока единичны, но те, что имеются в нашем распоряжении, указывают на возврат к плавке окисленных руд [Григорьев, 2013, с. 482].

Следовательно, это отклонение является отражением все той же тенденции, и обусловлено оно лишь особенностями культуругенеза.

#### Социальные аспекты и типы лигатур

В основе технологических изменений, обусловивших смены типов легирования лежали социальные процессы, расширение потребностей в металле, увеличение объемов его производства и территорий, охваченных металлопроизводством. Другим аспектом было появление огромных центров горной добычи, и получаемую там медь было необходимо легировать, что приводило к формированию огромных сетей торговли и обмена. Зарождение и функционирование этой системы в Северной Евразии было обеспечено миграциями с востока на запад сначала сейминско-турбинских, а потом федоровских племен. После реформирования культурной системы, с оформлением того, что принято называть Андроновской культурно-исторической общностью, эта система дальнедистанционного обмена функционировала у родственных племен. Сформировавшись под воздействием социальных процессов, она сама стала оказывать значительное воздействие на эти процессы.

### Выводы

Таким образом, в основе технологических изменений в металлургическом производстве лежал рост потребности в металле и территориальное расширение металлопотребляющих культур. Дальнейшие события обусловлены физико-химическими процессами в металлургическом производстве. В целом, выдвигается следующая закономерность: при плавке окисленных руд и руд из легкоплавких пород возможно и технологически желательно легирование мышьяковыми минералами на стадии плавки руды. При расширении рудной базы и переходе на сульфидные руды и руды из тугоплавких пород исчезает возможность получения легированного мышьяком металла, что и обусловило потребность в оловянных лигатурах. Первичный выбор типа руды стимулировал технологию ее плавки, технологию и тип легирования, и, в конечном счете, морфологию конечных изделий.

### Литература

- Бобров В.В., Кузьминых С.В., Тенейшвили Т.О. Древняя металлургия Среднего Енисея. Кемерово: Кузбассвузиздат, 1997. 99 с.
- Григорьев С.А. Металлургическое производство в Северной Евразии в эпоху бронзы. Челябинск: Цицеро, 2013. 660 с.
- Григорьев С.А., 2015. Древние индоевропейцы. Челябинск: Цицеро. 496 с.
- Десярева А.Д. История металлопроизводства Южного Зауралья в эпоху бронзы. Новосибирск: Наука, 2010. 162 с.

Дегтярева А.Д., Костомарова Ю.В. Металл позднего бронзового века лесостепного Притоболья // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2011. № 1 (14). С. 30-45.

Маргулан А.Х., 2001. Сочинения: В 14 т. Т. 2. Сарыарка. Горное дело и металлургия в эпоху бронзы. Джекзган - древний и средневековый металлургический центр (городище Милькудук) / Сост. Д.А. Маргулан. Алматы: Дайк-Пресс. – 144 с.

Рындина Н.В., Равич И.Г. О металлопроизводстве майкопских племен Северного Кавказа (по данным химико-технологических исследований) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2012. № 2 (17). С. 4-20.

Членова Н.Л. Хронология памятников карасукской эпохи. М.: Наука, 1972. 248 с.

Mei J., Xu J., Chen K., Shen L., Wang H. Recent research on early bronze metallurgy in Northwest China // Scientific research on ancient Asian metallurgy. V. 2. London: Archetype Publications Ltd., 2012. P. 35-44.

Muhly J.D. The Bronze Age Setting // The Coming of the Age of Iron. New Haven, London: Yale University Press, 1980. P. 25-68.

Thornton C.P., Lamberg-Karlovsky C.C. Tappeh Yahya und die prähistorische Metallurgie in Südostiran // (Th. Stöllner, R. Slotta, & A. Vatandoust, eds.) Persiens Antike Pracht. Bochum: Deutsches Bergbaumuseum, 2004. P. 264–273.

**С.В. Снопков**

*Центр развития дополнительного образования детей Иркутской области,  
Иркутский государственный университет, snopkov\_serg@mail.ru*

### **Особенности технологии получения железа в Прибайкалье по результатам исследования древних железосиликатных шлаков**

Начиная с конца I тыс. до н.э., Прибайкалье являлось территорией массового получения железа. Особенно высокая концентрация следов древней металлургии железа наблюдается в Приольхонье (западное побережье пролива Малое море оз. Байкал) [Харинский и др., 2004]. Этому способствовало широкое распространение легкодоступных богатых железных руд и леса, используемого для отжига древесного угля [Снопков, 2016].

Получение железа в древности осуществлялось путем химического восстановления чистого металла из окислов железа под воздействием двуокиси углерода. Для этого использовались разнообразные по форме и размерам сыродутные железовосстановительные горны, имеющие форму большого толстостенного сосуда, с отверстиями для засыпания руды и древесного угля, подачи воздуха, выхода продуктов сгорания и, в некоторых случаях, стекания шлака. Древесный уголь укладывался в горн послойно с измельченной рудой. Под действием двуокиси углерода (угарного газа), образующегося при сгорании угля, происходило химическое восстановление железа. Зерна чистого восстановленного железа соединяясь, превращались в пористую массу – крицу. Рудные примеси и флюсы при температуре более 700–800 °С преобразовывались в текучий железосиликатный шлак. После извлечения из горна крица нагревалась, проковывалась и использовалась для изготовления железных изделий.

Обнаруженные в Прибайкалье горны имеют большое разнообразие конструкций. Наиболее ранние памятники (конец I тыс. до н.э. – начало I тыс. н.э.) представляют собой ямные горны, имеющие рабочую камеру в виде наклонно расположенной воронки, нижний выход (фурма) которой выходил в предгорную яму, а верхний – на земную поверхность. Нижняя фурма служила не только для подачи воздуха в горн с помощью специальных сопел, но и для выпуска шлаков. Более поздние железодельные горны (конец I тыс. н.э. – II тыс.