

ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛ ТАГАРСКОЙ КУЛЬТУРЫ: ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТАВА СПЛАВОВ НА МЕДНОЙ ОСНОВЕ С 1960-х ПО 2000-е гг.

Исследование выполнено в рамках поддержанного РФФИ научного проекта № 15-06-02325 А.

Освещается период применения спектрального анализа бронз тагарской культуры 1960–1980-х гг. Рассматриваются факторы слабой преемственности исследований 2000-х гг. и эпохи спектральных методов. Дробность современных научных задач (изучение самостоятельных периодов металлургии и ареалов распространения памятников) следует расценивать как условие формирования корпуса аналитических источников по истории тагарского металла в объемах, сопоставимых с накопленными в музеях бронзами.

Ключевые слова: историография; тагарская культура; элементный состав бронз; спектральный анализ; рентгенофлюоресцентный анализ.

Статья представляет собой завершающую часть исследования историографии состава тагарских бронз, предпринятого автором и в предшествующей публикации охватывавшего период с 1860-х по 1950-е гг. [1].

Исследования тагарских бронз в 1960–1980-е гг.

В период 1960–1980-х гг. металлургия бронзы тагарской культуры выступала самостоятельным объектом исследования, а состав металла – одним из аспектов формирующегося знания о производственных традициях тагарских мастеров-металлургов.

Так, в «Очерках по истории производства в Приуралье и Южной Сибири в эпоху бронзы и раннего железа» 1960 г. («Материалы и исследования по археологии СССР». № 90) в главе «Производство в тагарскую эпоху» археологом *Юрием Семеновичем Гришиным* рассмотрен ряд проблем тагарского металла: добыча руды, способы выплавки меди, химический состав бронзовых изделий, способы производства металлических вещей и их типология. Результаты анализа 23 изделий, произведенного в МГУ лаборантом З.Т. Поповой, позволили выявить примеси в составе минусинского металла [2]. На тот момент при кафедре оптики и спектроскопии физического факультета в учебной лаборатории имелось оборудование для эмиссионного спектрального анализа на кварцевых спектрографах ИСП-22, для обработки спектрограмм использовались микрофотометр МФ-2 и спектропроектор ПС-18 [3. С. 59]. К числу постоянных примесей к меди удалось отнести алюминий, никель, олово, свинец, цинк, кальций, кобальт, кремний, магний, висмут, сурьму и мышьяк. Непостоянными были заявлены хром, титан, серебро, ванадий и марганец [2. С. 143]. Анализ бляшки с изображением голов грифонов из Минусинского музея, произведенный в Московском институте стали им. Сталина в лаборатории металлургии редких металлов старшим лаборантом О.А. Филимоновой, показал 84,6% меди, 14,2% олова и 1,1% железа. Имевшиеся в распоряжении Ю.С. Гришина материалы послужили основой для выводов об основных компонентах тагарской

бронзы: о зависимости концентраций олова от потребности в прочности орудия; о примесях цинка как следствии переплавки импортов; о легировании свинцом с целью снижения температуры плавления; о естественном происхождении примесей железа, связанных с медно-железными рудами среднего Енисея [2. С. 143–144].

В 1963 г. вышла публикация результатов работы *Ирины Васильевны Богдановой-Березовской*, сотрудника группы «мокрого» химического анализа Лаборатории археологической технологии Ленинградского отделения Института археологии (ЛО ИА) АН СССР с 1955 по 1974 г. [4. С. 28; 5. С. 282]. Химико-спектральная лаборатория ЛО ИА в начале своей работы во многом ориентировалась на сибирские материалы [6. С. 74]. До конца 1990-х гг. статья «Химический состав металлических предметов из Минусинской котловины» оставалась практически единственной обширной публикацией результатов анализа тагарских бронз.

Впервые ставилась специальная задача – «дать химическую характеристику металлических предметов» из Минусинской котловины [7. С. 115]. Были проанализированы более семисот изделий афанасьевской, андроновской, карасукской и тагарской культур из Минусинского музея им. Н.М. Мартынова, Государственного Эрмитажа, Абаканского музея, Музея антропологии и этнографии АН СССР. В итоговой таблице результатов приведены данные по 262 тагарским вещам, распределенным на медные и три типа бронзовых [Там же. С. 136. Табл. 2, 4]: мышьяковистая, мышьяково-оловянистая и оловянистая бронзы. В каждом из типов выделены подгруппы с концентрацией свинца до 2% [Там же. С. 117–118]. По наблюдениям И.В. Богдановой-Березовской, «с развитием литейного дела и улучшением способа добычи оловянной руды олово вытесняет мышьяк» [Там же. С. 157]. Решение впервые поднимаемого вопроса о природе мышьяковистой бронзы было поставлено в зависимость от результатов изучения медных руд и шлаков Минусинской котловины [Там же. С. 118]. Предварительно мышьяк свыше 1% расценивался как введенный в сплав в виде мышьяковистой руды [Там же. С. 157].

Данные, полученные И.В. Богдановой-Березовской по тагарским зеркалам, вошли в состав приложения к книге Е.И. Лубо-Лесниченко «Привозные зеркала Минусинской котловины. К вопросу о внешних связях древнего населения Южной Сибири» [8]. Характеризуя особенности металла зеркал, И.В. Богданова-Березовская констатировала, что большинство из них отлиты из мышьяково-оловянистой и оловянистой бронзы с сочетанием примесей, характерным для цветного металла Минусинской котловины и при практически полном отсутствии подгруппы бронз со свинцом [8. С. 132].

В том же сборнике 1963 г. вышла статья Д.В. Наумова «Производство и обработка древних медных и бронзовых изделий Минусинской котловины». *Дарвин Владимирович Наумов* – представитель группы спектрального химического анализа Лаборатории археологической технологии ЛО ИА АН СССР с 1955 по 1973 г. и один из разработчиков метода количественного спектрального анализа, внедрявшегося в те годы в Лаборатории [4. С. 28; 5. С. 281; 9]. Основываясь на данных элементного состава в сочетании с анализом технологии производства, Д.В. Наумов выделил три периода металлургии бронзы в тагарское время.

Первый период – «время появления первой бронзы с методами обработки, характерными для дотагарского времени» и с медно-мышьяковистыми орудиями труда [10. С. 169, 177]. Второй период характеризовался «получением различных бронзовых сплавов и накоплением методов обработки в поисках наилучших», когда совершался переход от маломышьяковистых бронз к оловянистым, происходило «ознакомление древнего металлурга» с мышьяком и сурьмой в форме руд, с оловом и свинцом в форме металла [Там же. С. 177, 189]. Третий период – «этап развитой бронзы», в рамках которого тагарские мастера освоили навыки «получения бронзовых сплавов определенного состава», установили наилучшие способы обработки металла [Там же. С. 177, 190]. Таким образом, Д.В. Наумовым предложена схема изменения рецептур тагарских сплавов, более сложная, чем простое предпочтение оловянистых бронз мышьяковистым.

В 1966 г. была опубликована статья А.И. Мартынова и И.В. Богдановой-Березовской «Изделия из бронзы и бронзолитейное производство северо-западного района тагарской культуры». Аналитиком выступил лаборант / старший лаборант (?) (1955–1967/1973 (?)) Лаборатории археологической технологии ЛО ИА АН СССР *Валентин Николаевич Сидоров*. Им произведен количественный спектральный анализ инвентаря из памятников Мариинской лесостепи. Всего были исследованы 154 изделия тагарского времени [11. Табл. V].

Авторами даны описания результатов обработки данных анализа изделий из могильников Ягуня, Кондрашка, Большепичугино. По мнению А.И. Мартынова и И.В. Богдановой-Березовской, большинство исследованных тагарских изделий из памятников лесостепи изготовлены из мышьяковисто-оловянистой и оловянистой бронзы при более высоких средних кон-

центрациях олова, чем в минусинском металле. Для лесостепной бронзы характерны постоянные примеси свинца (до 3%), висмута (0,7%), серебра, кремния, магния, алюминия, кальция, железа, никеля; и непостоянные примеси сурьмы, марганца, золота, кобальта [11. С. 101]. Разница между минусинскими и ачинско-мариинскими бронзами обозначена авторами как «значительная» [Там же. С. 102]. Следует отметить, что в сравнениях авторами не были учтены результаты анализа бронз Минусинской котловины, опубликованные И.В. Богдановой-Березовской в 1963 г., а привлекались только данные из таблиц Ю.С. Гришина, которые являются сводкой результатов химических анализов, проведенных Д.А. Сабанеевым, Л.И. Каштановым и А.В. Королевым [2. Приложение V].

В монографии А.И. Мартынова 1979 г. «Лесостепная тагарская культура» бронзолитейному производству тагарцев северного ареала культуры уделено особое внимание. Опубликованные в 1966 г. данные по составу лесостепного металла автор сравнил с полученными И.В. Богдановой-Березовской в 1963 г. по Хакасско-Минусинской котловине. Так, по наблюдениям А.И. Мартынова, «бронза лесостепного района характеризуется постоянным наличием в металле свинца, никеля, железа и висмута», повышенным содержанием олова в 3–7%, наиболее частыми концентрациями свинца в пределах 0,2–0,5%, мышьяка – от 0,1 до 0,3%, никеля – до 0,1%, железа – от 0,01 до 0,05% [12. С. 107]. По мнению ученого, металл лесостепных тагарских изделий выплавлен из руд трех или более близких по качеству месторождений [Там же. С. 109].

В 1970 г. были опубликованы результаты анализа металла тагарских котлов из Маткечикского клада, обнаруженного в 1967 г. археологом *Яковом Ивановичем Сунчугашевым* [13, 14]. По четырем котлам в лаборатории спектрального анализа кафедры физики Абаканского пединститута были проанализированы семь образцов. Котлы оказались «изготовлены из мышьяковистой меди» при сходных показателях примесей, за исключением одного из котлов, в металле которого был выявлен цинк (0,8%) [13. С. 105]. Содержание мышьяка более одного процента расценивалось как признак искусственной добавки в медь. В монографии Я.И. Сунчугашева 1975 г. «Древнейшие рудники и памятники ранней металлургии в Хакасско-Минусинской котловине» обобщались итоги полевых работ археологической экспедиции Хакасского научно-исследовательского института языка, литературы и истории, в результате которых были получены основные материалы по горнорудному делу в Хакасско-Минусинской котловине. При изучении медных слитков и медных шлаков из медеплавильных и отвалов применялся спектральный анализ. Большая часть работ выполнена в лаборатории спектрального анализа Тувинской комплексной экспедиции Красноярского геологического управления в 1967 и 1968 гг. [14. С. 20, 47, 124].

Я.И. Сунчугашевым впервые ряд месторождений был отнесен к разрабатывавшимся в тагарское время медным – рудники Темира, на реках Улень, Бутрахты,

Хараджувль, месторождения Юлия, Сырское, Базинское, Булан-Кульское и Майнское [14. С. 34–56]. Из отвалов и медеплавильных месторождений Темира, Юлии, Базы и Узун-Жуля в общей сложности были получены результаты спектрального анализа 30 образцов шлаков и слитков [Там же. С. 124–127]. Прежде только И.В. Богдановой-Березовской публиковались данные состава слитков и шлаков [7. Табл. 4. С. 156]. Однако находки эти не были атрибутированы, о них известен лишь факт происхождения с территории Хакасско-Минусинской котловины (по сведениям Я.И. Сунчугашева, опубликованные И.В. Богдановой-Березовской образцы шлаков не имели паспортов, а слитки относились к числу случайных находок [14. С. 123–124]). Я.И. Сунчугашевым сделан вывод, полезный при интерпретации данных элементного состава тагарского металла: по его наблюдениям, тагарские мастера могли получать искусственно составленную мышьяковистую бронзу на медеплавильных месторождениях Темир, Юлия, Узун-Жуль, Булан-Куль и Улень, а мышьяковую медь – на Хараджувльско-Бутрахтинском месторождении [Там же. С. 128].

Интерпретация результатов спектрального анализа тагарских оленных бляшек из памятников лесостепного ареала (из числа опубликованных в статье А.И. Мартынова и И.В. Богдановой-Березовской в 1966 г.) была предпринята археологом *Владимиром Васильевичем Бобровым*. Ученым выявлены мышьяковистый, мышьяковисто-оловянистый и оловянистый с повышенным содержанием свинца типы сплавов [15. С. 17; 16. С. 83]. Повышенные концентрации олова в сплавах этой категории тагарских изделий нашли объяснение в «особом отношении к изображениям оленей в виде бляшек, которым стремились придать значительную прочность». Повышенные содержания свинца в некоторых экземплярах, по мнению В.В. Боброва, имели целью придать эффектный серовато-серебристый цвет изделию, а присутствие в числе выявленных компонентов цинка понималось как признак не местного производства фигурки [16. С. 85].

В 1977 г. вышла статья археолога *Бориса Николаевича Пяткина* «Некоторые вопросы металлургии эпохи бронзы Южной Сибири». Несмотря на заявленные хронологические рамки, в ней приведены наблюдения о пестроте состава тагарских бронзовых сплавов, их одновременном сосуществовании и отличиях лишь в пропорциях на разных этапах культуры. Емкие выводы о сходном наборе компонентов ранних тагарских и карасукских рецептур, датировка первых высокооловянистых бронз V в. до н.э. [17. С. 32] во многом предвосхитили результаты исследований начала XXI в. Одним из наиболее принципиальных выводов следует считать заключение Б.Н. Пяткина о естественной природе мышьяка в тагарских бронзах [Там же. С. 31].

Кроме того, Б.Н. Пяткиным приведены сведения о ходе разведочных работ 1970 гг., в ходе которых были выявлены более 50 тагарских поселений, «на которых почти всегда имеются следы металлургического комплекса» [Там же. С. 24]. Судя по указаниям в статье, Б.Н. Пяткин опирался в своих построениях на анали-

тические данные, полученные в Лаборатории археологической технологии ЛО ИА СССР и опубликованные И.В. Богдановой-Березовской в 1963 г.

В 1981 г. вышла в свет монография *Надежды Федоровны Сергеевой* «Древнейшая металлургия меди юга Восточной Сибири». В ней впервые с начала 1960-х гг. приводились результаты новых анализов металла тагарской культуры, рассматриваемой в контексте «бронзовых культур Минусинской котловины». Методом полного количественного спектрального анализа в сочетании с локальным спектральным анализом был изучен металл «датированных комплексных находок» из Абаканского и Минусинского краеведческих музеев, а также остатки медеплавильного производства, хранящиеся в Хакасском научно-исследовательском институте языка, литературы и истории [18. С. 38, 44]. Аналитические работы проводились в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО АН СССР (г. Иркутск).

По заключению Н.Ф. Сергеевой, в тагарском металле «преобладают оловянистые сплавы, наряду с ними существуют изделия из меди, мышьяковистого, сурьмянистого и цинковистого сплавов... В качестве сырья используются не только местные медные, но и оловянные руды» [Там же. С. 45]. Для тагарского металла с содержанием олова от 1,4 до 5,6% выявлена корреляция с присутствием цинка в пределах 0,001–0,14% [Там же. С. 41]. Олово рассматривалось как искусственная присадка при наличии в пределах 4–10%. Методологически группировка компонентов сплавов по рецептам основана на положении о том, что «основой всех типов бронз является сплав меди с мышьяком» [Там же. С. 42].

Н.Ф. Сергеева впервые выявила закономерности по металлу отдельных памятников. Так, при сравнении материалов из погребений Тагарского острова и у д. Быстрой сделан вывод об «использовании различных руд», в первом случае обогащенных никелем, во втором – золотом и цинком [18. С. 41]. Для металла погребений у шахты Бейская оказались характерны примеси кобальта, никеля, сурьмы, цинка, мышьяка [Там же]. Всего по трем этим памятникам в таблицах приведены результаты анализа 113 вещей, принадлежащих различным культурам, из них 38 предметов – тагарские [Там же. Табл. В. С. 82–89]. В тагарском металле выделены пять групп сплавов: мышьяковистые бронзы, «чистая медь», мышьяково-сурьмянистые бронзы, мышьяковисто-оловянистые и мышьяковисто-никелистые бронзы [Там же. С. 43, 44].

В сборнике 1983 г. «Древние горняки и металлургия Сибири» вышла статья сотрудника ЛО ИА АН СССР (с 1968 по 1982 г. – сотрудника Лаборатории археологической технологии) *Сергея Степановича Миняева* «Производство бронзовых изделий у сюнну» [19], где констатировалось наличие среднеенисейского очага горного дела и металлургии в пределах Саяно-Алтайской металлургической провинции [Там же. С. 75]. По его заключению, в IV–III вв. до н.э. на Среднем Енисее более 50% изделий изготовлены из оловянной бронзы, около 40% – «из нелегированной меди», менее 10% – из мышьяковой бронзы, менее 5% – из оловянно-

мышьяковых сплавов [19. Рис. 11]. Всего им были учтены данные анализа 161 предмета тагарской культуры, однако самих результатов в статье не приводится. По всей видимости, в распоряжении С.С. Миняева были результаты анализов не только бронз развитого этапа культуры, но и данные по составу бронз тесинского времени. На рубеже III–II вв. до н.э. исследователем фиксировалось изменение традиционных рецептов бронзовых сплавов, выразившееся в смене оловянных бронз мышьяковыми и оловянно-мышьяковыми / мышьяково-оловянными сплавами [Там же. С. 76]. В период II–I вв. до н.э. 70–80% среднеенисейских изделий тагарских форм изготовлены из мышьяковой бронзы. С.С. Миняевым анализировались данные по составу металла ворворок, поясных обойм, зеркал с кнопкой на четырех ножках или с петлей на обороте, миниатюрных ножей и чеканов – всего 71 предмет, однако самих результатов в статье не приводится [Там же. С. 76–77. Рис. 11].

Таким образом, в период 1960–1980-х гг. исследователи продолжили работы по изучению инвентаря и следов металлургии тагарской культуры. Ю.С. Гришин стал первым археологом, кто обобщил имевшиеся данные элементного состава тагарского металла (из публикаций Д.А. Сабанеева, Л.И. Каштанова и А.В. Королева) и выступил инициатором новых аналитических работ, продолжив традиции исследования состава тагарских бронз, заложенные в свое время В.В. Радловым и Г.П. Сосновским. Огромная по количественному охвату материала и по заявленным выводам работа была проделана химиками И.В. Богдановой-Березовской и Д.В. Наумовым. Впервые в составе тагарского металла массово выявлен мышьяк, выделены типы сплавов, сформулирована первая «относительная» периодизация металлургии бронзы в тагарское время. Впоследствии к опубликованным ими материалам неоднократно обращались археологи, дополняя химические характеристики абсолютной хронологией и наименованиями этапов культуры (Б.Н. Пяткин, С.В. Хаврин). Трехчастная периодизация, предложенная Д.В. Наумовым, судя по всему, была выработана им самостоятельно, без обращения к имевшимся к тому времени периодизациям тагарской культуры С.А. Теплоухова (1929) и С.В. Киселева (1949). И.В. Богдановой-Березовской впервые был поставлен ставший сегодня заурядным, но и столь же трудноразрешимым вопрос об искусственной или естественной природе мышьяка в тагарском металле (стоит отметить, что эта ее заслуга была признана еще Я.И. Сунчугашевым). А.И. Мартыновым и И.В. Богдановой-Березовской были предприняты первые исследования бронз из памятников северного лесостепного ареала культуры. Помимо аналитических и статистических задач впервые был поставлен вопрос сравнения геохимии минусинского и мариинского металлов. Стоит, однако, подчеркнуть, что использовать опубликованные в то время данные следует с учетом «Перечня несоответствий данных спектрального анализа в таблицах, составленных И.В. Богдановой-Березовской для соавтора А.И. Мартынова к статье “Изделия из бронзы и бронзолитейное производ-

ство Северо-Западного района тагарской культуры”, с данными спектрального анализа в учетных документах Лаборатории археологической технологии Ленинградского отделения Института Археологии АН СССР» от 16 декабря 1966 г., подписанного младшим научным сотрудником Д. Наумовым и старшим лаборантом В. Сидоровым [20]. Перечень включает 44 пункта и сводится к перечислению несоответствий в статье наименований вещей, шифров и результатов анализов по тем или иным элементам. Особо значимой стала работа Я.И. Сунчугашева по исследованию тагарского горного дела и металлургии меди. Одним из первых им был предпринят анализ элементного состава следов выплавки меди, составления слитков на медеплавильнях при месторождениях. Благодаря исследованиям С.С. Миняева с 1980-х гг. начал формироваться подход в рамках изучения бронз Минусинской котловины по комплексам, соответствующим этапам тагарской культуры. Всего за 1960–1980-е гг. был произведен анализ более 740 образцов тагарского бронзового инвентаря и следов металлургического производства. Основная доля аналитических работ была осуществлена специалистами Лаборатории археологической технологии ЛО ИА АН СССР.

Рассматриваемый историографический период совпал с масштабными работами новостроечных экспедиций в Южной Сибири [21. С. 323–326]. В.И. Матющенко для 1970–1980-х гг. отмечает также повышенное внимание к комплексным проблемам степных культур Сибири периода раннего железного века [Там же. С. 415]. Характерно, что 1960–1980-е гг. стали к тому же временем серьезных успехов элементного анализа в науках естественного профиля, что положительно сказывалось на возможностях исследований различных аспектов древних производств археологами.

Методические основы аналитических работ в 1960–1980-е гг.

Единственным методом анализа тагарского цветного металла в 1960–1980-е гг. был эмиссионный спектральный анализ и его модификации. Так, в ЛО ИА АН СССР применялись качественный дуговой, качественный искровой и количественный спектральные анализы, а также химический анализ. При дуговом анализе навеска пробы сжигалась на спектрографе ИСП-22. При искровом методе одним из электродов выступала зачищенная поверхность исследуемого предмета, а источником искрового разряда служил искровой генератор ИГ-2 [7. С. 116; 22]. Работу осложняло то, что основанный на сочетании дугового и искрового анализов метод не определял содержание компонентов свыше 10%, поэтому основа сплавов «определялась или по разнице, вычитанием из 100% суммы примесей, или мокрым химическим методом» [9. С. 114]. Метод количественного анализа в спектральной лаборатории ЛО ИА АН СССР отрабатывался под руководством заведующего кафедрой аналитической химии Ленинградского политехнического института Евгения Ивановича Денисова [Там же]. При нем навеска пробы в 0,02 г брикетировалась

с угольным порошком и сжигалась в дуге переменного тока на спектрографе ИСП-22 при силе тока в 7 ампер через девятиступенчатый платиновый ослабитель. Для количественной оценки составляющих сплава сжигались эталоны, приготовленные специально применительно к составу археологических бронз. По кривым «концентрация элемента – появление его линии на соответствующей ступени» определялся в процентах количественный состав сплава [7. С. 116]. Количественным спектральным анализом в бронзах производилось абсолютное и относительное определение меди, цинка, олова, свинца, сурьмы и мышьяка. Висмут, серебро, железо, никель, марганец, кобальт, фосфор определялись полуколичественным методом спектрального анализа [9. С. 121].

В начале 1980-х гг. Н.Ф. Сергеевой признавалось, что наиболее достоверным методом продолжал оставаться количественный спектральный анализ. Между тем, по ее мнению, «из-за малых навесок исследуемого материала использование общепринятых в физике методик количественного определения тех или иных элементов не представлялось возможным. Требовался такой способ, который позволял бы одновременно из одной навески определить любые концентрации присутствующих в бронзе элементов» [18. С. 10]. Для этой цели в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО АН СССР была разработана специальная методика, позволявшая определять редкие и рассеянные элементы. «В процессе исследования применялся угольный электрод с сужением для уменьшения теплоотвода», в который помещалась навеска пробы в 10–15 мг, засыпаемая угольным порошком, содержащим 0,05% хлористого палладия [Там же. С. 10–11]. Съемка спектров производилась на спектрографе СТЭ-1 в три экспозиции [Там же. С. 11]. Для анализа металла уникальных предметов использовался локальный спектральный анализ, когда одним из электродов дуги служил сам предмет, а вторым – графитовый стержень. После действия микроискры на поверхности предмета оставался кратер диаметром 0,2–0,3 мм глубиной в несколько микрон [Там же. С. 13]. По всей видимости, последнюю методику, наряду с упоминавшимся у И.В. Богдановой-Березовской качественным искровым спектральным анализом (технически представлявшим один и тот же аналитический процесс), можно расценивать как первый опыт неразрушающего анализа археологических бронз.

Для своего времени лаборатории, в которых проводились аналитические исследования бронз, были оснащены самым современным оборудованием. Так, начало массового выпуска оригинальной модели кварцевого спектрографа средней дисперсии под шифром ИСП-22 (1946) вообще ознаменовал резкий перелом в спектральном приборостроении [23. С. 437].

Исследования тагарского металла в 2000-е гг.

Нам не известно ни одной публикации по рассматриваемой тематике, которая бы вышла в 1990-е гг. В 2006 г. Л.И. Авилова в отношении лаборатории есте-

ственнаучных методов Института археологии РАН отмечала: «Технически сложные анализы спектрального состава цветного металла не проводятся больше 10 лет вследствие морального и физического старения пришедшего в полную негодность основного аналитического оборудования (генератор, спектрограф); средств на его полную замену не имеется. Соответствующие научные темы разрабатываются на базе обширных архивов ранее проведенных анализов цветного металла» [24. С. 224].

По всей видимости, схожим образом обстояли дела во многих научных коллективах. Период 1990-х гг. в историографии отечественной археологии является самостоятельным объектом исследования, приведем лишь косвенное свидетельство кризисных процессов. В 1991 г. вышла статья-приложение Н.Ф. Сергеевой, посвященная результатам анализа металла Корсуковского клада, выполненного в лаборатории спектрального анализа Иркутского завода тяжелого машиностроения [25], что весьма напоминает практику обращений в различные химические и спектральные лаборатории производственных учреждений, общепринятую в 1950–1960-е гг., когда аналитические работы по исследованию археологического металла методом эмиссионной спектроскопии находились в стадии становления.

Исследования тагарских бронз возобновились спустя десятилетие. В 2000 г. вышла статья сотрудника лаборатории научно-технической экспертизы Государственного Эрмитажа *Сергея Владимировича Хаврина* «Тагарские бронзы». Работа содержала результаты анализа бронз Ширинского района Хакасии, проведенного С.В. Хавриным в 1998–1999 гг. в лаборатории методом рентгенофлуоресцентного анализа поверхности. Таблицы данных были опубликованы позже – в 2007 г., в статье «Тагарские бронзы Ширинского района Хакасии» [26]. Ножи, чеканы, втоки, кинжалы, топоры, шилья и наконечники стрел (всего более сотни вещей) происходили из раннетагарских и сарагашенских погребений могильников Катюшкино, Топаново и Жемчужный.

С.В. Хавриным выявлено, что на раннетагарском этапе основным типом являлся медный сплав с естественными примесями мышьяка и никеля, а на сарагашенском этапе – сплав меди с оловом и свинцом [26. С. 121; 27. С. 184, 187]. Трехкомпонентность сплавов объяснялась необходимостью улучшения литейных свойств металла уменьшенных копий [26. С. 121]. Таким образом, впервые в истории исследований состава тагарского металла в аналитические работы были массово вовлечены материалы, атрибутированные как раннетагарские.

Благодаря единообразию выделенные группы тагарского металла С.В. Хавриным использованы как эталонные. Подтверждением выводов о специфике раннетагарского металла стали данные по материалам могильников Тигир Тайджен, Пистах, Федоров улус, Хыстаглар, Большая Ерба I; о сарагашенских бронзах – по находкам из могильника Колок [27. С. 188–191]. Результаты анализа предметов из могильников Луговое, Бейка и кургана Станция Аскиз, датированных позднекарасукским (баиновским), раннетагарским

(подгорновским) и биджинским (предсарагашенским) этапами показали естественные примеси мышьяка, никеля, железа, сурьмы и серебра [28. С. 95]. Материалы могильника Федоров улус также подтверждали распространение изделий из меди и низкооловянистых бронз в раннетагарское время [29]. В отношении природы компонентов бронзы С.В. Хавриным подмечено, что мышьяк и геологически связанная с ним сурьма – характерная черта металла Минусинской котловины [26. С. 115; 27. С. 184; 28. С. 94]. По его мнению, медь не очищалась сознательно, «чтобы улучшить свойства меди» [30. С. 172]. К тому же этот тип сплава был «более дешев» [31. С. 211].

Всего С.В. Хавриным за 2000–2007 гг. опубликованы результаты не менее чем двух сотен анализов тагарского металла. Впервые им была произведена привязка рецептов к культурно-хронологическим комплексам тагарских памятников Хакасско-Минусинской котловины. Идеи о маркирующей роли олова в бронзовых сплавах, о поэтапном характере развития тагарской металлургии бронзы стали закономерным продолжением построений ученых-предшественников на новом витке исторического знания о хронологии и производственной базе тагарцев. Они хорошо вписываются в рамки заметной направленности историко-металлургических исследований начала XXI в. в сторону возрастающего интереса к бронзолитейному производству раннего железного века на территории Сибири (см., например, [32–34]).

Методические основы аналитических работ в 2000-е гг.

С.В. Хавриным (1998–1999 гг.) одним из первых к тагарским материалам был применен метод рентгенофлуоресценции (РФА). Первоначально использовался прибор Link-analytical [26. С. 115]. До настоящего времени используется установка ARTAX. На сегодня метод является наиболее популярным в археометаллургических исследованиях. Он основан на фотонном возбуждении внутренних электронных оболочек атомов и регистрации возникающей при этом рентгеновской флуоресценции. Для 2000-х гг. вообще характерны рост привлекательности РФА в науке, бурное развитие рентгеновской оптики, детекторов и источников возбуждения [35. С. 6]. На этом фоне стали доступней «электронно-зондовый микроанализ (ЕРМА), установки с протонным возбуждением (PIXE) и с полным внешним отражением (TXRF), энергодисперсионные рентгеновские анализаторы (ЭДРФА), РФА с использованием для возбуждения флуоресценции исследуемого образца синхротронного излучения (СИРФА), РФА с использованием капиллярной оптики (микро-РФА)» [Там же. С. 5]. В РФА практикуется два способа

пробоподготовки – использование порошковых проб или прессовок, а также прямой неразрушающий анализ твердых образцов. Эксплуатируемый в Государственном Эрмитаже спектрометр ARTAX (фирма Брукер) относится к разряду мобильных микро-РФА устройств. Его измерительный блок можно помещать непосредственно перед объектом или над ним, что позволяет проводить измерение образцов сложной геометрии.

Таким образом, в 1960–1980-х гг. в русле процессов формирования историко-металлургического направления в советской археологии завершился переход от химических к спектральным методам анализа древнего металла. Выработались две стратегии публикации результатов – химиками-аналитиками и отдельными учеными-археологами. С течением времени первая модель была утрачена. Разные способы компоновки данных сочетались по типам инвентаря и сплавов, по памятникам, сосуществуя в рамках особой историографической традиции – рассматривать тагарскую культуру в контексте «бронзовых культур» [18. С. 38]. Показательной стала формулировка Д.В. Наумова – «эпоха тагарской бронзы», воспринимавшейся как один из этапов развития производств археологических общностей Минусинской котловины.

В начале 2000-х гг., при наличии огромного корпуса источников, состав тагарского металла, в том числе на фоне синхронных культур эпохи раннего железа и территориально близких культур Саяно-Алтая, исследовался трудами одного ученого: С.В. Хавриным были выявлены особенности состава цветного металла раннетагарского времени и сарагашенского этапа. В это десятилетие имел место переход от эмиссионных спектральных методов к неразрушающим рентгенофлуоресцентным.

В настоящее время уровень знаний о хронологически и территориально специфических проявлениях тагарской культуры создает предпосылки для продолжения исследований тагарского металла. Перспективным видится пополнение баз данных как в хронологическом срезе – по этапам культуры в соответствии с разработанными периодизационными схемами, так и в срезе пространственном – в рамках выделенных ландшафтно обусловленных вариантов. Первое направление имеет историографические традиции, второму предстоит их накапливать. Неравная степень изученности вопросов древней металлургии Минусинского, Ачинско-Мариинского регионов и района г. Красноярска в тагарское время, преобладание в числе проанализированных материалов из Минусинской котловины фиксируется как интуитивно, так и по представленному обзору некоторых аспектов истории исследования цветного металла тагарской культуры. Преодоление ее уже стало задачей проводимых исследований [36, 37].

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельева А.С. Цветной металл тагарской культуры: история исследований состава сплавов на медной основе: с 1860-х по 1950-е гг. // Вестник Томского государственного университета. История. 2015. № 4 (36). С. 85–95.
2. Гришин Ю.С. Производство в тагарскую эпоху // Материалы и исследования по археологии СССР. М., 1960. № 90. С. 116–207.
3. Лебедева В.В., Левшин Л.В., Михайлин В.В. История и развитие направлений учебно-научной работы на кафедре оптики и спектроскопии. М.: МГУ, физический факультет, 2005. 63 с.

4. Шер Я.А. Лаборатория археологической технологии ЛО ИА при С.И. Руденко и после него // Радиоуглерод в археологических и палео-экологических исследованиях. Материалы конференции, посвящённой 50-летию радиоуглеродной лаборатории ИИМК РАН. СПб. : ИИМК РАН, 2007. С. 25–34.
5. Егорьков А.Н. Спектральный анализ археологического материала в ИИМК РАН // Академическая археология на берегах Невы (от РАИМК до ИИМК РАН, 1919–2014 гг.). СПб. : ДМИТРИЙ БУЛАНИН, 2013. С. 280–291.
6. Черных Е.Н. Изучение истории древнейшей металлургии в СССР за 50 лет // КСИА. М. : Наука, 1969. Вып. 118. С. 69–83.
7. Богданова-Березовская И.В. Химический состав металлических предметов из Минусинской котловины // Новые методы в археологических исследованиях. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1963. С. 115–159.
8. Богданова-Березовская И.В. К вопросу о химическом составе зеркал Минусинской котловины // Лубо-Лесниченко Е.И. Привозные зеркала Минусинской котловины. К вопросу о внешних связях древнего населения Южной Сибири. М., 1975. С. 131–149.
9. Наумов Д.В. Метод количественного спектрального анализа сплавов на медной основе применительно к исследованию археологических предметов // Советская археология. 1961. № 3. С. 113–121.
10. Наумов Д.В. Производство и обработка древних медных и бронзовых изделий Минусинской котловины // Новые методы в археологических исследованиях. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1963. С. 159–191.
11. Мартынов А.И., Богданова-Березовская И.В. Изделия из бронзы и бронзолитейное производство северо-западного района тагарской культуры // Из истории Западной Сибири. 1966. Вып. I. С. 66–104.
12. Мартынов А.И. Лесостепная тагарская культура. Новосибирск : Наука СО, 1979. 208 с.
13. Носова Р.С., Сунчугашев Я.И. Результаты спектрального анализа медных котлов Маткечикского клада // Ученые записки Хакасского НИИЯЛИ. Абакан, 1970. Вып. XV. С. 101–106.
14. Сунчугашев Я.И. Древнейшие рудники и памятники ранней металлургии в Хакасско-Минусинской котловине. М., 1975. 174 с.
15. Бобров В.В. Олень в скифо-сибирском искусстве звериного стиля (тагарская культура) : автореф. дис. ... канд. ист. наук. Новосибирск, 1973. 29 с.
16. Бобров В.В. Технология изготовления бронзовых фигурок оленей // Известия лаборатории археологических исследований. Кемерово, 1976. Вып. 7. С. 81–86.
17. Пяткин Б.Н. Некоторые вопросы металлургии эпохи бронзы Южной Сибири // Археология Южной Сибири. Кемерово, 1977. Вып. 9. С. 22–34.
18. Сергеева Н.Ф. Древнейшая металлургия меди юга Восточной Сибири. Новосибирск : Наука, 1981. 152 с.
19. Миняев С.С. Производство бронзовых изделий у сюнну // Древние горняки и металлурги Сибири. Барнаул, 1983. С. 47–84.
20. Данные спектральных анализов. Научный архив Музея «Археология, этнография и экология Сибири» Кемеровского государственного университета. Ед. хр. № 86.
21. Матющенко В.И. 300 лет истории сибирской археологии. Омск : Изд-во Омск. гос. ун-та, 2009. 550 с.
22. Богданова-Березовская И.В., Наумов Д.В. О применении количественного спектрального анализа при исследовании археологами бронзовых изделий // Новые методы в археологических исследованиях. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1963. С. 77–84.
23. Корицкий В.Г., Налимов В.В., Недлер В.В., Райский С.М., Русанов А.К., Филимонов Л.Н. Краткий очерк развития эмиссионного спектрального анализа в СССР // Успехи физических наук. 1957. Т. LXIII, вып. 2. С. 435–454.
24. Авилова Л.И. Работа Лаборатории естественнонаучных методов ИА РАН в 2001–2004 гг. // КСИА. 2006. Вып. 220. С. 213–224.
25. Сергеева Н.Ф. О химическом составе изделий Корсуковского клада // Советская археология. 1991. № 2. С. 206–207.
26. Хаврин С.В. Тагарские бронзы Ширинского района Хакасии // Сборник научных трудов в честь 60-летия А.В. Виноградова. СПб. : Культ-Информ-Пресс, 2007. С. 115–123.
27. Хаврин С.В. Тагарские бронзы // Мировоззрение. Археология. Ритуал. Культура. СПб., 2000. С. 183–194.
28. Хаврин С.В. Металлические изделия эпохи поздней бронзы – раннего железа из Аскизского района Хакасии // Александров С.В., Паульс Е.Д., Подольский М.Л. Древности Аскизского района Хакасии. СПб., 2001. С. 94–99.
29. Хаврин С.В. Металл эпохи поздней бронзы нижнетейской группы памятников (Торгажак – Арбан – Федоров улус) // Евразия сквозь века. К 60-летию со дня рождения Д.Г. Савинова. СПб., 2001. С. 117–125.
30. Хаврин С.В. Металл скифских памятников Тувы и кургана Аржан // Степи Евразии в Древности и Средневековье. СПб. : Изд-во Государственного Эрмитажа, 2003. Кн. II. С. 171–173.
31. Хаврин С.В. Металл некоторых памятников Тувы в контексте металлургии Саяно-Алтая скифского времени // Семенов Вл.А. Суглуг-Хем и Хайыракан – могильники скифского времени в Центральном-Тувинской котловине. СПб., 2003. Приложение 1. С. 211–214.
32. Дураков И.А. Цветная металлообработка раннего железного века : автореф. дис. ... канд. ист. наук. Новосибирск, 2001. 21 с.
33. Бобров В.В. К проблеме цветной металлообработки автохтонной и таежной культур раннего железа в бассейне Верхней Оби // Северная Евразия в эпоху бронзы: пространство, время, культура. Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2002. С. 157–160.
34. Терехин С.А. Техника и технология цветной металлообработки кулайской культуры (васюганский этап) // Вестник Томского государственного университета. 2009. № 328. С. 81–83.
35. Ревенко А.Г., Ревенко В.А. Применение рентгеноспектрального метода анализа для исследования материалов культурного наследия (Обзор) // Методы и объекты химического анализа. 2007. Т. 2, № 1. С. 4–29.
36. Савельева А.С., Герман П.В. Бронзы из курганного могильника тагарской культуры Некрасово II (по материалам раскопок 1970 г.) // Вестник Томского государственного университета. История. Томск. 2015. № 6 (38). С. 108–118.
37. Савельева А.С., Герман П.В., Боброва Л.Ю. Бронзы кургана Алчедат I в контексте металлургии тесинского этапа тагарской культуры в Марининской лесостепи // Вестник Кемеровского государственного университета. 2016. Вып. 1 (65). С. 43–52.

Статья представлена научной редакцией «История» 15 мая 2016 г.

NON-FERROUS METAL OF THE TAGAR CULTURE: THE HISTORY OF THE STUDIES OF COPPER-BASED ALLOY COMPOSITION FROM 1960S TO 2000S

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal, 2016, 408, 125–133.

DOI: 10.17223/15617793/408/19

Savelieva Anna S. The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS (Kemerovo, Russian Federation). E-mail: antverpen@mail.ru

Keywords: historiography; the Tagar culture; elemental composition of bronze; spectral analysis; X-Ray analysis.

The paper focuses on the history of the studies of the chemical composition of bronze and copper products of the Tagar archaeological culture in the period from the 1960s to the 2000s. The main results of Yu.S. Grishin's, I.V. Bogdanova-Beresovskaya's, D.V. Naumov's, Ya.I. Sunchugashev's, S.S. Minyaev's, N.F. Sergeeva's and S.V. Khavrin's research have been summarized and analyzed. Their achievements (equally of archaeologists and chemists) let form the idea about bronze metallurgy of the Tagar archaeological culture mainly at the Minusinsk basin. On the basis of the results of the elemental analysis of the Tagar bronzes con-

ducted in the second half of the 20th century the typical geochemical admixtures of the Tagar metal and the main types of bronze alloys (arsenic, arsenic-tin and tin bronzes) became clear, the artificial or natural arsenic additions were discussed, and the special role of tin and lead metal additions was declared. During the 1960s, the first mass data were received about the composition of bronzes from the Yagunya and Kondrashka sites that were situated in the Mariinsk forest-steppe and belonged to the northern area of the Tagar culture. At the same time the first comparison of forest-steppe and Minusinsk basin bronze geochemical characteristics took place. An idea was formed about the copper-based alloys peculiarities from different chronological complexes dating by the Early Tagar period, when arsenic and low tin alloys predominated, the Saragash stage, with the prevalence of tin bronzes and extension of lead addition, and the Tesin stage, when arsenic and arsenic-tin bronzes predominated again. From the 1960s to the 2000s, all elemental analysis based on two methods – spectral-emission and X-ray fluorescence. The solution of many Tagar bronze metallurgy questions and other successes of archaeometallurgy were impossible without achievements of Russian natural sciences and instrumental industry in the 1960s–1980s. The correlation of all scientific branches was confirmed during the crisis of the 1990s. In the 2000s, there were convenient conditions for ancient materials and the Tagar bronze research, they were conditioned by the large number of archaeological sources about the Tagar metallurgy in museum funds, by the relative technical accessibility of the elemental analysis, and, at last, by the invariable scientific attention to the historical processes in the Southern Siberia at the Early Iron age.

REFERENCES

1. Savel'eva, A.S. (2015) Non-ferrous metal of the Tagar culture: the history of studies of the composition of copper-based alloys in the 1860s – 1950s. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Istoriya – Tomsk State University Journal of History*. 4 (36). pp. 85–95. (In Russian). DOI: 10.17223/19988613/36/15
2. Grishin, Yu.S. (1960) Proizvodstvo v tagarskuyu epokhu [Production in the Tagar era]. *Materialy i issledovaniya po arkheologii SSSR*. 90. pp. 116–207.
3. Lebedeva, V.V., Levshin, L.V. & Mikhaylin, V.V. (2005) *Istoriya i razvitie napravleniy uchebno-nauchnoy raboty na kafedre optiki i spektroskopii* [The history and development of the areas of teaching and research at the Department of Optics and Spectroscopy]. Moscow: Moscow State University, Faculty of Physics.
4. Sher, Ya.A. (2007) [Laboratory of Archaeological Technology of Leningrad Branch of the Institute of Archaeology with S.I. Rudenko and after him]. *Radiouglerod v arkheologicheskikh i paleoekologicheskikh issledovaniyakh* [Radiocarbon in archaeological and paleoecological studies]. Proceedings of the conference devoted to the 50th anniversary of the Radiocarbon Laboratory of IHMC RAS. St. Petersburg: IHMC RAS. pp. 25–34. (In Russian).
5. Egor'kov, A.N. (2013) Spektral'nyy analiz arkheologicheskogo materiala v IIMK RAN [Spectral analysis of archaeological material in the IHMC RAS]. In: Nosov, E.N. (ed.) *Akademicheskaya arkheologiya na beregakh Nevy (ot RAIMK do IIMK RAN, 1919–2014 gg.)* [Academic archeology on the Neva (from RAIMK to IHMC RAS, 1919–2014)]. St. Petersburg: Dmitriy Bulanin.
6. Chernykh, E.N. (1969) Izuchenie istorii drevneyshey metallurgii v SSSR za 50 let [Studying the history of the ancient metallurgy in the USSR for 50 years]. *KSLA*. 118. pp. 69–83.
7. Bogdanova-Berezovskaya, I.V. (1963) Khimicheskiy sostav metallicheskih predmetov iz Minusinskoj kotloviny [The chemical composition of metallic objects from the Minusinsk depression]. In: Rudenko, S.I. (ed.) *Novye metody v arkheologicheskikh issledovaniyakh* [New methods in archaeological research]. Moscow; Leningrad: USSR AS.
8. Bogdanova-Berezovskaya, I.V. (1975) K voprosu o khimicheskom sostave zerkal Minusinskoj kotloviny [On the chemical composition of mirrors in the Minusinsk depression]. In: Lubo-Lesnichenko, E.I. *Privoznye zerkala Minusinskoj kotloviny. K voprosu o vneshnikh svyazyakh drevnego naseleniya Yuzhnoy Sibiri* [Imported mirror of the Minusinsk depression. On the issue of external relations of the ancient peoples of southern Siberia]. Moscow: Nauka.
9. Naumov, D.V. (1961) Metod kolichestvennogo spektral'nogo analiza splavov na mednoy osnove primenitel'no k issledovaniyu arkheologicheskikh predmetov [Method of quantitative spectral analysis of copper-based alloys in relation to the study of archaeological objects]. *Sovetskaya arkheologiya*. 3. pp. 113–121.
10. Naumov, D.V. (1963) Proizvodstvo i obrabotka drevnikh mednykh i bronzovykh izdeliy Minusinskoj kotloviny [Production and processing of ancient copper and bronze objects of the Minusinsk depression]. In: Rudenko, S.I. (ed.) *Novye metody v arkheologicheskikh issledovaniyakh* [New methods in archaeological research]. Moscow; Leningrad: USSR AS.
11. Martynov, A.I. & Bogdanova-Berezovskaya, I.V. (1966) Izdeliya iz bronzy i bronzoliteynoe proizvodstvo severo-zapadnogo rayona tagarskoj kul'tury [Items made of bronze and bronze casting in the northwestern district of the Tagar culture]. *Iz istorii Zapadnoy Sibiri*. I. pp. 66–104.
12. Martynov, A.I. (1979) *Lesostepnaya tagarskaya kul'tura* [The forest-steppe Tagar culture]. Novosibirsk: Nauka.
13. Nosova, R.S. & Sunchugashev, Ya.I. (1970) Rezul'taty spektral'nogo analiza mednykh kotlov Matkechikskogo klada [The results of the spectral analysis of copper boilers of the Matkechik treasure]. *Uchenye zapiski Khakasskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta yazyka, literatury i istorii*. XV. pp. 101–106.
14. Sunchugashev, Ya.I. (1975) *Drevneyshie rudniki i pamyatniki ranney metallurgii v Khakassko-Minusinskoj kotlovine* [The most ancient monuments of the early mines and metallurgy in the Khakass-Minusinsk Basin]. Moscow: Nauka.
15. Bobrov, V.V. (1973) *Olen' v skifo-sibirskom iskusstve zverinogo stilya (tagarskaya kul'tura)* [Deer in the Scythian-Siberian animal style art (the Tagar culture)]. Abstract of History Cand. Diss. Novosibirsk.
16. Bobrov, V.V. (1976) Tekhnologiya izgotovleniya bronzovykh figurok oleney [Manufacturing techniques of bronze figurines of deer]. *Izvestiya laboratorii arkheologicheskikh issledovaniy*. 7. pp. 81–86.
17. Pyatkin, B.N. (1977) Nekotorye voprosy metallurgii epokhi bronzy Yuzhnoy Sibiri [Some questions of metallurgy of the Bronze Age in South Siberia]. *Arkheologiya Yuzhnoy Sibiri. Izvestiya kafedry arkheologii*. 9. pp. 22–34.
18. Sergeeva, N.F. (1981) *Drevneyshaya metallurgiya medi yuga Vostochnoy Sibiri* [Ancient copper metallurgy of the south of Eastern Siberia]. Novosibirsk: Nauka.
19. Minyaev, S.S. (1983) Proizvodstvo bronzovykh izdeliy u syunnu [Production of bronze objects of the Huns]. In: Kiryushin, Yu.F. (ed.) *Drevnie gornyyaki i metallurgi Sibiri* [Ancient miners and metallurgists of Siberia]. Barnaul: Altai State University.
20. Scientific Archive of the Museum “Archaeology, Ethnography and Ecology of Siberia” of Kemerovo State University. Unit 86. *Dannye spektral'nykh analizov* [Spectral analyses data].
21. Matyushchenko, V.I. (2009) *300 let istorii sibirskoy arkheologii* [300 years of history of Siberian archeology]. Omsk: Omsk State University.
22. Bogdanova-Berezovskaya, I.V. & Naumov, D.V. (1963) O primenении kolichestvennogo spektral'nogo analiza pri issledovanii arkheologami bronzovykh izdeliy [On the application of quantitative spectral analysis in the study of bronze products by archaeologists]. In: Rudenko, S.I. (ed.) *Novye metody v arkheologicheskikh issledovaniyakh* [New methods in archaeological research]. Moscow; Leningrad: USSR AS.
23. Koritskiy, V.G. et al. (1957) Kratkiy ocherk razvitiya emissionnogo spektral'nogo analiza v SSSR [A brief essay on the development of emission spectral analysis in the USSR]. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. LXIII:2. pp. 435–454.

24. Avilova, L.I. (2006) Rabota Laboratorii estestvennonauchnykh metodov IA RAN v 2001–2004 gg. [Work of the Laboratory of Natural Science methods IA RAS in 2001–2004]. *KSI.A.* 220. pp. 213–224.
25. Sergeeva, N.F. (1991) O khimicheskom sostave izdeliy Korsukovskogo klada [On the chemical composition of items from the Korsukovo treasure]. *Sovetskaya arkhologiya.* 2. pp. 206–207.
26. Khavrin, S.V. (2007) Tagarskie bronzy Shirinskogo rayona Khakasii [The Tagar bronze of the Shirinsky District of Khakassia]. In: Khavrin, S.V. (ed.) *Sbornik nauchnykh trudov v chest' 60-letiya A.V. Vinogradova* [Collection of scientific works in honor of the 60th anniversary of A.V. Vinogradov]. St. Petersburg: Kul't-Inform-Press.
27. Khavrin, S.V. (2000) Tagarskie bronzy [The Tagar bronze]. In: Nikitin, A. & Pankova, S. (eds) *Mirovozzrenie. Arkheologiya. Ritual. Kul'tura* [World. Archeology. Ritual. Culture]. St. Petersburg: Mir knigi.
28. Khavrin, S.V. (2001) Metallicheskie izdeliya epokhi pozdney bronzy – rannego zheleza iz Askizskogo rayona Khakasii [Metal products of the Late Bronze – early Iron Age of the Askizsky District]. In: Aleksandrov, S.V., Paul's, E.D. & Podol'skiy, M.L. (eds) *Drevnosti Askizskogo rayona Khakasii* [Antiquities of the Askizsky District of Khakassia]. St. Petersburg.
29. Khavrin, S.V. (2001) Metall epokhi pozdney bronzy nizhneteysskoy gruppy pamyatnikov (Torgazhak – Arban – Fedorov ulus) [Metal of the Late Bronze Age of monuments of Nizhneteysskaya group (Torgazhak – Arban – Fedorov ulus)]. In: Froyanov, I.Ya. & Astakhov, S.N. (eds) *Evrasiya skvoz' veka. K 60-letiyu so dnya rozhdeniya D.G. Savinova* [Eurasia through the centuries. To the 60th anniversary of the birth of D.G. Savinov]. St. Petersburg: St. Petersburg State University, Faculty of Philology.
30. Khavrin, S.V. (2003) [Metal of the Scythian monuments of Tuva and Arzhan]. *Stepi Evrazii v Drevnosti i Srednevekov'e* [Eurasian steppes in the Antiquity and the Middle Ages]. Proceedings of scientific-practical conference devoted to the 100th anniversary of the birth of M.P. Gryaznov. Vol. 2. St. Petersburg: Izd-vo Gosudarstvennogo Ermitazha. pp. 171–173. (In Russian).
31. Khavrin, S.V. (2003) Metall nekotorykh pamyatnikov Tuvy v kontekste metallurgii Sayano-Altaya skifskogo vremeni [Metal of some Tuva monuments in the context of the metallurgy of the Sayan Altai Scythian period]. In: Semenov, V.I.A. (ed.) *Suglug-Khem i Khayyrakan – mogil'niki skifskogo vremeni v Tsentral'no-Tuvinskoy kotlovine* [Suglug-Khem and Khayyrakan – mounds of the Scythian period in the Central Tuva Basin]. St. Petersburg Peterburgskoe Vostokovedenie.
32. Durakov, I.A. (2001) *Tsvetnaya metalloobrabotka rannego zheleznoogo veka* [Non-ferrous metalworking of the Early Iron Age]. Abstract of History Cand. Diss. Novosibirsk.
33. Bobrov, V.V. (2002) K probleme tsvetnoy metalloobrabotki avtokhtonnoy i taezhnoy kul'tur rannego zheleza v basseynе Verkhney Obi [Non-ferrous metalworking in the autochthonous and taiga cultures in the early Iron Age in the Upper Ob basin]. In: Kiryushin, Yu.F. (ed.) *Severnaya Evraziya v epokhu bronzy: prostranstvo, vremya, kul'tura* [Northern Eurasia during the Bronze Age: space, time, culture]. Barnaul: Altai State University.
34. Terekhin, S.A. (2009) Technique and technology of nonferrous metal-working in the Kulaj culture (Vasyugan stage). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal.* 328. pp. 81–83. (In Russian).
35. Revenko, A.G. & Revenko, V.A. (2007) Primenenie rentgenospektral'nogo metoda analiza dlya issledovaniya materialov kul'turnogo naslediya (Obzor) [The use of the X-ray analysis method to study the materials of the cultural heritage (a review)]. *Metody i ob'ekty khimicheskogo analiza.* 2:1. pp. 4–29.
36. Savel'eva, A.S. & German, P.V. (2015) Bronzes from the Tagar burial mound Nekrasovo II (research based on the data of excavations in 1970). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Istoriya – Tomsk State University Journal.* 6 (38). pp. 108–118. (In Russian). DOI: 10.17223/19988613/38/17
37. Savel'eva, A.S., German, P.V. & Bobrova, L.Yu. (2016) The Alchedat I Barrow's bronzes and the Tesin stage of the Tagar culture metallurgy in the Mariinsk forest-steppe. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Kemerovo State University.* 1 (65). pp. 43–52. (In Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.1234/XXXX-XXXX-2016-1-39-48>

Received: 15 May 2016