



мультидисциплинарные
методы в
АРХЕОЛОГИИ

новейшие итоги
и перспективы

- АВСТРИЯ
- ГЕРМАНИЯ
- КАЗАХСТАН
- КИТАЙ
- ПОЛЬША
- РЕСПУБЛИКА КОРЕЯ
- РОССИЯ
- США
- ФРАНЦИЯ
- ШВЕЙЦАРИЯ



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
НОВОСИБИРСК
2015

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

ИНСТИТУТ АРХЕОЛОГИИ И ЭТНОГРАФИИ

СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ГЕРМАНСКИЙ АРХЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕВРАЗИЙСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЕ
МЕТОДЫ В АРХЕОЛОГИИ:
НОВЕЙШИЕ ИТОГИ
И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**Материалы международного симпозиума
«Мультидисциплинарные методы в археологии:
новейшие итоги и перспективы»
(22–26 июня 2015 г., г. Новосибирск)**

Ответственные редакторы
академик РАН *В.И. Молодин*
профессор *С. Хансен*

Новосибирск
Издательство ИАЭТ СО РАН
2017

VH

УДК 902/903(47+57)(082)
ББК Т4(051)2.я431
М902

Утверждено к печати
Ученым советом ИАЭТ СО РАН

Редколлегия

член-корреспондент РАН *М.В. Шуньков*, доктор наук *С. Райнхольд*,
кандидат исторических наук *И.Ю. Слюсаренко*, кандидат исторических наук *Д.В. Поздняков*,
кандидат исторических наук *О.И. Новикова*, кандидат исторических наук *Е.С. Богданов*

Мультидисциплинарные методы в археологии: новейшие итоги и перспективы: Материалы международного симпозиума «Мультидисциплинарные методы в археологии: новейшие итоги и перспективы». – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2017. – 448 с.

ISBN 978-5-7803-0270-4

Сборник содержит статьи участников международного симпозиума «Мультидисциплинарные методы в археологии: новейшие итоги и перспективы», который состоялся в 2015 г. в Новосибирске. Представлены результаты комплексного анализа археологических и различных сопутствующих источников, выполненного специалистами в области археологии и естественно-научных дисциплин из стран Европы, Азии и Америки. Приведены реконструкции этнокультурных, технологических и природных процессов, сопровождавших развитие древних обществ Евразии.

Книга адресована археологам, историкам и специалистам смежных научных дисциплин.

УДК 902/903(47+57)(082)
ББК Т4(051)2.я431

Multidisciplinary Approach to Archaeology: Recent Achievements and Prospects: Proceedings of the International Symposium “Multidisciplinary Approach to Archaeology: Recent achievements and prospects”. Novosibirsk: IAET SB RAS Publ., 2017. – 448 p.

ISBN 978-5-7803-0270-4

The volume includes the papers that were presented at the International Symposium *Multidisciplinary Approach to Archaeology: Recent Achievements and Prospects* that took place in Novosibirsk in 2015. The articles describe the data obtained through multidisciplinary analyses of various archaeological and other sources that were carried out by experts in archaeology and natural sciences from various countries of Europe, Asia and America. The authors propose their reconstructions of various ethnic-cultural, technological and natural processes involved in developments of ancient communities in Eurasia.

The collection of papers is destined for specialists in archaeology, ethnology and related disciplines.

Multidisziplinäre Methoden in der Archäologie: Aktuelle Ergebnisse und Zukunftsperspektiven: Materialien des Internationalen Symposium “Multidisziplinäre Methoden in der Archäologie: Aktuelle Ergebnisse und Zukunftsperspektiven”. Nowosibirsk: Verlag des IAET SA RAW, 2017. – 448 S.

ISBN 978-5-7803-0270-4

Der Sammelband enthält Materialien des internationalen Symposiums “Multidisziplinäre Methoden in der Archäologie: Die neuesten Ergebnisse und Perspektiven”, das 2015 in Nowosibirsk stattfand. Die Artikel spiegeln die Ergebnisse einer umfassenden Analyse von archäologischen und anderen fachübergreifenden Forschungen, die von Experten auf dem Gebiet der Archäologie und der naturwissenschaftlichen Disziplinen aus Europa, Asien und Amerika zusammengebracht wurden, wider. Angeführt sind die Ergebnisse der Rekonstruktion von ethno-kulturellen, technologischen und natürlichen Prozessen, die die Entwicklung der uralten Gesellschaften Eurasiens begleitet haben.

Der Sammelband richtet sich an Archäologen, Historiker und Spezialisten in verwandten Disziplinen.

ISBN 978-5-7803-0270-4

© ИАЭТ СО РАН, 2017
© Коллектив авторов, 2017

Научное издание

**МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЕ
МЕТОДЫ В АРХЕОЛОГИИ:
НОВЕЙШИЕ ИТОГИ
И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**Материалы международного симпозиума
«Мультидисциплинарные методы в археологии:
новейшие итоги и перспективы»
(22–26 июня 2015 г., г. Новосибирск)**

Корректоры *Е.В. Кузьминых, В.И. Смирнова, А.В. Коненко*

Технический редактор *Т.А. Клименкова*

Дизайнер *А.А. Фурсенко*

Дизайн обложки *Е.В. Молодин*

Подписано в печать 12.12.2016 г. Формат 60×84/8.
Усл.-печ. л. 52,08. Уч.-изд. л. 46,2. Тираж 300 экз. Заказ № 398.

Издательство ИАЭТ СО РАН
пр. Академика Лаврентьева, 17, 630090, Новосибирск
<http://www.archaeology.nsc.ru>

В.А. Трунова¹, В.В. Зверева¹, Н.В. Полосьмак², В.И. Кондратьев³

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
Новосибирск, Россия

E-mail: valna@mail.nsc.ru; valizant@mail.ru

²Институт археологии и этнографии СО РАН
Новосибирск, Россия

E-mail: polosmaknatalia@gmail.com

³Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН
Новосибирск, Россия

E-mail: V.I.Kondratyev@inp.nsk.su

РЕНТГЕНОВСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ НАХОДОК ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ИЗ НОИН-УЛИНСКИХ КУРГАНОВ (ХУННУ, МОНГОЛИЯ)*

Статья посвящена результатам междисциплинарного исследования волос из ноин-улинских курганов (Монголия, хунну, конец I в. до н.э. – начало I в. н.э.), исследованных Российско-монгольской экспедицией в 2006–2012 гг. При помощи метода РФА-СИ проанализированы образцы кос и прядей волос из кург. 20, 22, 31. Во всех образцах волос было обнаружено крайне высокое содержание Си (от 750 до 20000 мкг/г) и Hg (от 2,3 до 1100 мкг/г), а также Fe. Аномально высокое содержание в волосах меди и железа объясняется экзогенными причинами и связано с длительным пребыванием волос во влажной среде погребальных камер рядом с медными, железными и бронзовыми предметами, нередко покрытыми ртутной амальгамой. Высокое содержание в волосах ртути пока не находит достоверного объяснения, этот вопрос нуждается в дальнейшем исследовании. Установление с помощью сканирующего электронного микроскопа с ЭДС толщины древних волос продемонстрировало их неоднородность. Наблюдения, сделанные в ходе раскопок трех больших курганов (№ 20, 22, 31), позволили прийти к выводу о том, что многочисленные косы и пряди волос, найденные в коридорах между внутренней и внешней погребальными камерами рядом с металлическими украшениями конской упряжи и деталями седел, были частью украшений конского снаряжения. На основании всестороннего анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что косы принадлежат представителям различных племен и народов из окружения хунну.

Ключевые слова: хунну, ноин-улинские курганы, волосы, украшения упряжи коней, междисциплинарное изучение, методы рентгеновской компьютерной томографии, элементный состав.

V.A. Trunova¹, V.V. Zvereva¹, N.V. Polosmak², V.I. Kondratyev³

¹A.V. Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia

E-mail: valna@mail.nsc.ru; valizant@mail.ru

²Institute of Archaeology and Ethnography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia

E-mail: polosmaknatalia@gmail.com

³G.I. Budker, Institute of Nuclear Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia

E-mail: V.I.Kondratyev@inp.nsk.su

X-RAY INVESTIGATIVE METHODS OF ARTIFACTS OF ORGANIC SUBSTANCES FROM NOIN-ULA MOUNDS (XIONGNU, MONGOLIA)

The article is about results of interdisciplinary study of hair found in Noin-Ula mounds (Mongolia, Xiongnu, at the end of the 1st century BC – the beginning of the 1st century CE), excavated by Russian-Mongolian team in

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00036).

2006–2012. Some samples of plait and locks of hair discovered in mounds 20, 22 and 31 were studied using X-ray fluorescence and synchrotron radiation analysis. Each hair sample yielded extremely high content of Cu (750 to 20,000 mg/g), and Hg (2.3 mg/g to 1,100 mg/g), as well as Fe. Abnormally high content of Cu and Fe in the hair can be attributed to exogenous factors and the long-duration stay in the moist environment of burial chambers close to the copper, iron and bronze objects, which were often covered with mercurial amalgam. The high content of mercury in the hair has not yet been explained reliably, this question needs further research. To determine the thickness of the ancient hair, the authors used a scanning electron microscope with EDS and revealed the heterogeneity of the hair. Observations made during the excavation of three large mounds (20, 22 and 31), led to the conclusion that many plaits and locks of hair found in the corridors between the inner and outer burial chambers, close to metallic decorations of harness and parts of saddles, were elements of the horse harness decoration. On the basis of comprehensive analysis of obtained results it can be concluded that plaits belonged to the representatives of various tribes and peoples from Xiongnu's surroundings.

Keywords: Xiongnu, Noin-Ula mounds, hair, horse harness decoration, interdisciplinary study, X-ray computed tomography, elemental content.

Введение

В ходе исследований последних лет, проводившихся Российско-монгольской экспедицией в Монголии на могильнике Ноин-Ула, в кург. 20, 22, 31 были обнаружены многочисленные косы и пряди волос [Полосьмак, Богданов, Цэвээндорж, 2011; Полосьмак, Богданов, 2015, с. 65–67]. Подобные находки из погребений Ноин-Улы известны еще со времен экспедиции П.К. Козлова. Они сразу же привлекли внимание исследователей, во-первых, потому, что волосы являются очень редкой находкой в древних погребениях; во-вторых, обнаруженные в ноин-улинских курганах косы не принадлежали похороненным в них людям – их было слишком много, и найдены они были в коридорах между внутренней и внешней погребальными камерами, а не там, где должен находиться погребенный. Всего в ходе первых исследований было извлечено свыше 120 кос: 21 коса из кург. 1, 85 кос из кург. 6, 14 из Кондратьевского и один чехол от косы из кург. 24. «Показательно, – писал С.И. Руденко, – что из самого богатого кургана № 6, где предполагается погребение шаньюя Учжунлю-жоди, мы имеем огромное количество (85) кос. Из погребения более скромного, но все же знатного хунна в кургане № 1 обнаружена 21 коса. Любопытно, что в заведомо женском погребении, в кургане № 24, не было найдено ни одной косы. Отсюда можно предположить, что мужчины были погребены только в курганах № 1, 6 и Кондратьевском» [1962, с. 90]. Такая же

ситуация была прослежена и при исследовании кург. 20, 22, 31. Если в первых двух курганах, в которых похоронены мужчины, были обнаружены десятки кос и прядей волос, то в кург. 31, где погребена женщина, были найдены только прядь волос и одна коса.

На сегодняшний день нет ясности в том, кому могли принадлежать косы и пряди волос, обнаруженные в ноин-улинских курганах и в кургане Царам (Забайкалье, раскопки С.С. Миняева)*. Существует несколько предположений. По одному из них, высказанному С.А. Теплоуховым, косы отрезались в знак траура и принадлежали хунну. По мнению А.Н. Бернштама, косы принадлежали сяньби, о которых было известно, что их мужчины плели косы, и являлись приношением со стороны подчиненных племен сяньбийцев хуннскому шаньюю (см.: [Руденко, 1962, с. 89]). По мнению Э.Б. Вадецкой, заплетенные человеческие косы в ноин-улинских курганах являются не чем иным, как «остатками от кукол, аналогичным деревянным и глиняным фигуркам слуг и воинов ханьского периода» [1999, с. 186]. С.С. Миняев при раскопках элитного кург. 7 могильника Царам обнаружил в западных и восточных коридорах погребальной камеры заплетенные косы, которые он вслед за Э.Б. Вадецкой считает частью погребальных кукол [Миняев, 2009, с. 54–55]. С.И. Руденко не сомневался, что косы принадлежат хуннским женщинам, и объяснял их присутствие в погребениях знати своего рода заменой человеческих жертвоприношений [1962, с. 89–90].

*В других погребальных комплексах знатных хунну косы, как и иные предметы органического происхождения, не сохранились.

В данной ситуации ясность в отношении того, кому принадлежали срезанные косы и волосы, могли бы внести генетические исследования. Но оказалось, что образцы волос из ноин-улинских погребений не пригодны для генетического анализа. Хотя внешне волосы выглядят неповрежденными, при сильном увеличении видно, что целостность поверхностного слоя нарушена. Методом рентгеновской компьютерной томографии с высоким разрешением (СЦСТИ, ИЯФ СО РАН) было установлено, что они полые по всей длине (рис. 1). Обогащенная липидами внутренняя часть волос разрушается в первую очередь, поскольку она наименее устойчива к микробиологическому/химическому воздействию [Wilson et al., 2007; Bertrand et al., 2003; Kenney, 1981]. В отличие от липидов, кератин хорошо сохраняется [Gillespie, 1970; Ryder, 1974] и мы, вероятно всего, наблюдаем только оставшийся кератиновый каркас волоса*.

При общем сходстве кос, обнаруженных во время раскопок в 1920-е гг. и в ходе современных исследований, следует отметить и ряд различий. Так, например, косы, которые описывает С.И. Руденко и которые ныне хранятся

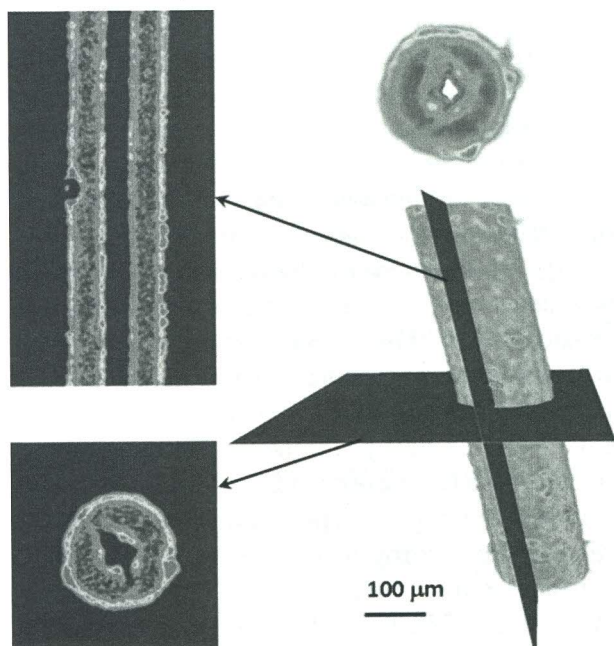


Рис. 1. Волос из погребения (HRXCT), кург. 22. Стержень отсутствует.

*Надо отметить, что не у всех древних волос разрушается внутренняя часть, вследствие чего они становятся непригодными для генетического анализа. У волос, которые находились в мерзлоте в погребении пазырыкской культуры (кург. 3 могильника Верх-Кальджин-2) внутренняя часть сохранилась, тогда как волосы из другого пазырыкского погребения (кургана Кутургунтас), в котором мерзлота отсутствовала, ее не имели.

в Государственном Эрмитаже, имели интенсивный черный цвет, а в последней коллекции цвет волос более разнообразный – от черного до каштанового. Кроме того, если среди находок экспедиции П.К. Козлова только несколько кос из более чем сотни не имели шелковых наконечников, то среди новых находок, наоборот, только несколько кос и прядей имели шелковые чехлы, один чехол был лаковым. Другой любопытной находкой, связанной с косами, были привязанные к ним шелковые кошельки, которые в количестве 10 штук были обнаружены в 6-м ноин-улинском кургане [Руденко, 1962, с. 91]. Два таких же шелковых миниатюрных кошелька были обнаружены в кург. 22. В нескольких кошельках из кург. 6 находились срезанные ногти. Остальные кошельки оказались пустыми. Само по себе хранение срезанных ногтей не редкость и известно еще по находкам в пазырыкских курганах – царском и рядовом [Полосьмак, Трунова, 2004, с. 73–75]. С.И. Руденко пишет о том, что «с ранних стадий культурного развития известно повсеместное представление не только о теле, заключающем в себе жизненный элемент (душу), но и об отдельных его частях, в т.ч. о волосах и ногтях, как имеющих свою частную, парциальную душу: волосы и ногти непрерывно растут и не умирают, не гниют, не разрушаются после смерти. Достаточно овладеть волосами или ногтями данного человека, чтобы получить власть над его душой, чтобы влиять на жизнь этого человека. Отсюда чрезвычайно распространен древний обычай хранить вычесанные или остриженные волосы и остриженные ногти, чтобы избежать опасности через их посредство быть околдованным или подвергнуться воздействию злых духов» [1962, с. 90–91]. Следуя логике этих распространенных до сего дня представлений, можно предположить, что если в погребениях (в данном случае речь идет о погребениях хунну) обнаружены волосы и ногти, не принадлежащие похороненному человеку, можно говорить о том, что погребенный получил власть над людьми, которым они принадлежали.

Указать на возможные способы использования кос может оформление их верхней части. Косы из эрмитажной коллекции оформлялись

так, чтобы их можно было подвесить: коса в верхней части могла быть перевязана шнурком, встречались косы, у которых верхние концы волос простегивались ниткой. В большинстве же случаев верхний край косы был закрыт футляром и тщательно перевязан, а у некоторых кос имелась специальная петля для подвешивания из витого шелкового шнура или полоски материи [Руденко, 1962, табл. LI]. Можно быть уверенными, что все косы подвешивались, но не вдоль стен погребальной камеры, как предполагалось ранее, а на конскую упряжь. Этот вывод стал результатом наших исследований больших курганов хунну. Косы были найдены среди металлических украшений и деталей конской упряжи в коридорах между внутренней и внешней погребальными камерами. Скорее всего, они подвешивались к кожаным ремням упряжи и к седлу.

Украшение конской упряжи косами могло быть явлением одного порядка с довольно широко распространенным в евразийских степях обычаем привешивать к конской упряжи отрубленные головы врагов, их скальпы. Так, по свидетельству Геродота, в обычаях скифов было привязывать к узде коня снятую с головы врага выделанную кожу: «С головы он сдирает кожу следующим образом: вокруг головы около ушей делает надрез, потом берет голову в руки и вытряхивает ее из кожи, затем, очистив кожу от мяса при помощи бычачьего ребра, он мнет ее руками и, выдубив ее, держит у себя в виде утиральника, привязывает к узде коня, на котором ездит, и гордится этим, так как тот, который имеет наибольшее количество таких кожаных утиральников, считается самым доблестным мужем» (цит. по: [Латышев, 1992, с. 85]). Можно напомнить также об обычае американских индейцев из племени кроу украшать свои кожаные рубахи скальпами. Это была одежда самых достойных представителей племени [Юрийчук, 2013, с. 45]. Мы склонны считать, что косы и пряди, обнаруженные в погребениях хунну, были военными трофеями. Они могли принадлежать не только врагам, но и представителям тех племен, которые вошли в состав державы хунну.

Изучение древних волос

В ходе работы по междисциплинарному изучению артефактов из ноин-улинских курганов было проведено исследование образцов как

органического (волосы, зубная эмаль, кости, растительный материал, шерстяные ткани), так и неорганического (металлические изделия, глина) происхождения из нескольких исследованных в последние годы захоронений хуннской знати. Привлечение неорганических образцов в рамках изучения древних волос было предпринято для получения дополнительной информации. Были разработаны методики рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхронного излучения (РФА-СИ-анализа для широкого спектра образцов органического происхождения).

Описание метода рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения. В качестве первичного источника возбуждения используется монохроматический пучок синхротронного излучения из накопительного кольца ВЭПП-3. Физические параметры накопительного кольца ВЭПП-3: энергия электронов ($E_e = 2$ ГэВ); величина магнитной индукции $B = 2$ Т; ток электронов $I_e = 100$ мА; толщина бериллиевой фольги – 1 мм; возможное время непрерывных измерений – 4–6 ч. Характеристики станции: камера для анализа выполнена из эльконайта; измерения проводятся в воздушной атмосфере; на станции установлен двухкристальный кремниевый монохроматор типа «бабочка» с рабочими плоскостями Si(111), позволяющий монохроматизировать пучок СИ в диапазоне энергий 8–42 кэВ. Выходные щели монохроматора позволяют ограничить геометрические размеры пучка СИ в диапазоне от 50×50 мкм² (высота \times ширина) до 2×10 мм². Дополнительный блок щелей с набором отверстий находится на расстоянии 0,4 м от выходных щелей монохроматора; время экспозиции составляет от 10 до 1000 с; определяемые химические элементы – от S до U; регистрация флуоресцентного излучения осуществляется при помощи Si (Li) детектора (OXFORD, Oxford Instruments Inc., USA) площадью 10 мм² и разрешением (на линии 5,9 кэВ) 150 эВ.

Синхротронное излучение является самым высоким по яркости источником рентгеновского излучения. Оно линейно поляризовано в плоскости орбиты движения электронов. Еще одно важное свойство СИ – высокая коллимация пучка излучения (малая угловая расходимость). Яркость СИ на несколько порядков превышает яркость излучения традиционных рентгеновских трубок;

СИ обладает непрерывным гладким спектром в широком диапазоне энергий. Перечисленные характеристики являются ключевыми для того, чтобы использовать СИ для количественного многоэлементного анализа биообъектов (в т. ч. и в микроанализе), для получения картины распределения микроэлементов в образцах [Трунова, 1997].

Особенности СИ открывают следующие возможности для рентгенофлуоресцентного анализа: работа с образцами очень малого объема и малой массы (до 0,5 мг); значительное снижение пределов обнаружения (на порядок ниже, чем для РФА); проведение анализа с вариацией энергии возбуждающих квантов (широкий круг определяемых элементов) [Трунова et al., 1998].

Большой запас интенсивности при использовании СИ позволяет проводить анализ в тонких слоях, при этом можно добиться значительно-го подавления вторичных процессов в образце (самопоглощение, многократное рассеяние) [Трунова, 1997]. Кроме того, РФА-СИ-анализ является неразрушающим методом, что крайне важно при исследовании уникального археологического материала.

Геометрия измерений: первичный пучок синхротронного излучения, проходя через кристалл-монокристалл, попадает на образец под углом 45° к его поверхности и генерирует характеристическое флуоресцентное излучение, которое регистрируется полупроводниковым детектором, расположенным под углом 90° по отношению к направлению первичного возбуждающего излучения. Это позволяет уменьшить интенсивность упругорассеянного и комптоновского пиков, а соответственно, и высоту фона. Для разложения полученного спектра по энергиям флуоресцентных квантов используется многоканальный анализатор OXFORD (Oxford Instruments Inc., USA). Время набора спектров варьирует от 400 до 1000 с. Обработку полученных спектров осуществляют при помощи международной программы AXIL для флуоресцентных спектров (Canberra Packard, Venelux). В качестве формы линии в ней принята гауссиана, расчет спектров осуществляется в диалоговом режиме по методу наименьших квадратов (МНК). Концентрации химических элементов в образцах рассчитываются методом внешнего стандарта, в качестве которого

используются международные биологические стандарты (подбираются для каждого исследуемого типа образцов) [Трунова, Зверева, 2008]. Концентрации химических элементов рассчитывают по следующей формуле:

$$\frac{I_X^i}{I_0^i} = \frac{C_i^X}{C_i^0} \cdot \frac{\left(\frac{\mu_{m1}^0}{\sin \varphi} + \frac{\mu_{mi}^0}{\sin \psi} \right)}{\left(\frac{\mu_{m1}^X}{\sin \varphi} + \frac{\mu_{mi}^X}{\sin \psi} \right)}, \quad (1)$$

где I_X^i и I_0^i – интенсивности флуоресцентных линий элемента i в исследуемом и стандартном образце соответственно; C_i^X и C_i^0 – концентрации элемента i в исследуемом и стандартном образце; μ_{m1}^X , μ_{mi}^X и μ_{m1}^0 , μ_{mi}^0 – массовые коэффициенты поглощения для первичного излучения и аналитической линии i соответственно в пробе и стандартном образце; φ и ψ – углы падения первичного излучения и отбора флуоресцентного излучения из пробы.

Подбирая эталон (внешний стандарт) близкого химического состава, когда наполнители пробы и стандартного образца имеют близкий химический состав, а концентрации определяемого элемента в анализируемых пробах меняются мало, приходим к упрощенному виду формулы [Вольдсет, 1977; Мазалов, 2003]:

$$\frac{I_X^i}{I_0^i} = \frac{C_i}{I_S}. \quad (2)$$

Для разработки методик анализа археологических образцов органического происхождения были использованы следующие международные стандартные образцы: три стандартных образца волос человека – NCS ZC 81002b Human hair (Китай), NCS DC 73347 Human hair (Китай) и NIES 5 Human hair (Япония); стандарт говяжьей печени Bovine liver NIST 1577 (США) – для определения высоких концентраций Cu в образцах; для образцов глины использовали стандартный образец байкальского ила 381-93 БИЛ-1 (Россия), донные осадки NIES 2 Pond sediment (Япония) и стандартный образец почвы IAEA Soil 7; для образцов зубной эмали и костей был использован фосфорит IRMM BCR 032 Phosphorite (США) – осадочная горная порода, состоящая преимущественно из фосфатных минералов группы апатита (основного минерального компонента зубов и костей).

Результаты и обсуждение

При помощи метода РФА-СИ проанализированы образцы кос и прядей волос из курганов хунну могильника Ноин-Ула. Получены данные о содержании следующих химических элементов: S, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Se, Br, Rb, Sr, Hg и Pb (табл. 1). Во всех образцах волос было обнаружено крайне высокое содержание Cu (от 750 до 20000 мкг/г) [Trunova et al., 2015], а также Hg (от 2,3 до 1100 мкг/г). Практически во всех образцах было высоким содержание Fe.

Метод РФА-СИ был также использован для анализа элементного состава костей, зубной эмали, фрагментов текстиля и растительных остатков, находившихся в погребениях (табл. 1).

Для выявления источника поступления аномального количества меди в волосы (прижизненное отравление или внешнее загрязнение) был задействован целый ряд методов: РФА-анализ, РФА-СИ, микро-РФА-СИ, методы спектроскопии поглощения (EXAFS и XANES), сканирующая электронная микроскопия (с ЭДС), рентгеновская компьютерная томография с высоким разрешением (HRXCT).

Рентгеновская компьютерная томография с высоким разрешением (PKT BP/HRXCT). Метод PKT BP использовали для визуализации макроструктуры волоса, а также неоднородностей, таких как поры, включения и т.п. в микрометрической шкале. Метод реализован на станции «Микроскопии и микротомографии» в ЦССТИ, на накопителе ВЭПП-3 (ИЯФ СО РАН). Было установлено, что внутренняя часть стержня волоса (так называемое мозговое вещество) отсутствовала (рис. 1), что связано с процессом биodeградации в течение длительного времени в захоронении [Bertrand et al., 2003; Kenney, 1981; Mansilla et al., 2011; Wilson et al., 2007]. Волос фактически представляет собой сохранившийся кератиновый каркас. Известно, что кератин устойчив к процессам диагенеза в течение длительного периода времени (до нескольких тысячелетий) [Gillespie, 1970; Ryder, 1974].

Распределение химических элементов в поперечном сечении волоса было установлено при помощи сканирующего электронного микроскопа (SEM, Hitachi S-3400N Type II), оснащенного специализированной аналитической приставкой – энергодисперсионным спектрометром (ЭДС). Распределение серы в поперечном сечении од-

нородно, что, по-видимому, отражает распределение кератина (содержание S-содержащих аминокислот может достигать 18 %). Кремний и алюминий локализованы на поверхности волоса и, вероятно, отражают распределение алюмосиликатов, наличие которых обусловлено присутствием глины. Медь также распределена равномерно по поперечному сечению волоса, что косвенно может свидетельствовать об экзогенном (*post mortem*) источнике высоких концентраций этого элемента в образцах волос (рис. 2).

Методы рентгеновской спектроскопии поглощения (XANES и EXAFS). С целью определения ближнего окружения атомов меди (т.е. в каком химическом соединении медь может находиться в образцах) был проведен анализ образцов волос и зубной эмали методом EXAFS-спектроскопии: были получены данные о ближней тонкой структуре (XANES) и дальней тонкой структуре (EXAFS) рентгеновских спектров поглощения образцов. Полученные данные (рис. 3) позволяют предположить, что медь в образцах волос и зубной эмали присутствует в виде комплексного медь-органического соединения: атом меди, по-видимому, координируется аминокислотными остатками, что подразумевает наличие связывания меди с белком, предположительно – с кератином волоса (в зубной эмали – предположительно со специфическими белками эмали).

Спектры XANES и EXAFS (в режиме на пропускание и во флуоресцентном режиме) К-края меди для исследуемых образцов были получены на станции EXAFS-спектроскопии в ЦССТИ (ИЯФ СО РАН, ВЭПП-3). В качестве монохроматора использовался прорезной моноблочный монокристалл Si(111) типа «бабочка» (channel cut). Все EXAFS- и XANES-спектры были зарегистрированы с шагом ~1,5 эВ и ~0,3 эВ соответственно.

Все полученные EXAFS-спектры обрабатывались согласно стандартной методике [Kochubev, 1992; Klementev, 2001]. Процедура подгонки кривых для расчета межатомных расстояний и координационных чисел была выполнена при помощи программы EXCURV92 – для $k^2\chi(k)$ в интервале волновых чисел 3,0–12,0 Å⁻¹ после предварительной Фурье-фильтрации, с использованием известных рентгеноструктурных данных для массивных образцов.

Таблица 1. Содержание химических элементов в образцах органического происхождения из погребений знати хунну, мкг/г

Образец	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Se	Br	Rb	Sr	Hg	Pb
«Нормальное» содержание: 1,06–146 53–280														
Волос человека п. 10 / кург. 20	480	2700	<ПО	15	3100	35	16000	85	<ПО	4,3	4,3	10	<ПО	32
Волос человека п. 8 / кург. 20	370	2100	<ПО	9,2	2000	33	12000	61	<ПО	4,4	1,5	6,8	18	540
Волос человека п. 5 / кург. 20	580	2700	<ПО	16	2500	32	4300	46	0,20	3,2	4,1	9,6	9	110
Волос человека п. 12 / кург. 20	140	2100	3,3	15	780	5,3	1000	15	<ПО	3,2	<ПО	10	56	33
Волос человека п. 9 / кург. 20	720	4100	4,9	17	2000	20	9400	84	0,26	4,3	2,5	10	6	8
Волос человека п. 7 / кург. 20	320	2500	7,3	22	1600	16	5800	47	0,28	2,5	2,9	11	9	7
Волос человека п. 6 / кург. 20	410	2000	5,1	19	1400	16	1000	34	0,38	2,2	3,5	9,7	4	13
Волос человека п. 4 / кург. 20	220	4300	1,6	6,4	1200	11	6800	44	0,30	2,6	1,5	15	<ПО	13
Волос человека п. 3 / кург. 31	500	3700	<ПО	290	17000	150	11000	97	<ПО	7,8	<ПО	37	5000	150
Волос человека п. 13 / кург. 31	400	2600	14	140	2600	5,7	6000	140	0,39	3,6	<ПО	14	4	15
Sr %, отн. станд. отклон.	18 %	15 %	21 %	8 %	6 %	19 %	11 %	6 %	14 %	12 %	17 %	18 %	21 %	19 %
«Нормальное» содержание: 6,0–16 450–700														
Эмаль зуба п. 1 / кург. 20	600	440000	8	100	3400	<ПО	710	700	<ПО	1,0	<ПО	190	<ПО	60
Эмаль зуба п. 2 / кург. 20	230	170000	6	28	1800	2,9	170	360	1,3	1,5	<ПО	82	<ПО	42
Sr %	20 %	27 %	22 %	14 %	10 %	15 %	10 %	8 %	16 %	14 %		16 %		22 %
«Нормальное» содержание: 2,0–400 104–837														
Кость человека п. 1 / кург. 31	700	350000	90	5800	54000	<ПО	3,2	110	12	2,6	3,4	800	<ПО	8
Кость человека п. 2 / кург. 11	330	200000	1,9	1100	1600	13	20	680	<ПО	7,3	2,6	600	<ПО	4,1
Sr %	21 %	27 %	19 %	14 %	13 %	16 %	9 %	9 %	16 %	16 %	15 %	15 %		20 %
Зерна проса п. 1 / кург. 31	4600	15000	7,2	170	15000	11	51	45	1,4	3,6	31	70	<ПО	50
Зерна проса п. 2 / кург. 31	8000	4700	4,5	110	12000	9	45	24	1,7	3,4	40	44	<ПО	45
Sr %	18 %	16 %	19 %	10 %	12 %	18 %	6 %	6 %	14 %	10 %	14 %	15 %		20 %
Шерстяная ткань п. 14 / кург. 31		2500	6	70	6900	28	390	66	0,49	1,4	0,11	14	34	16
Sr %		15 %	20 %	12 %	10 %	18 %	6 %	7 %	16 %	16 %	17 %	16 %	20 %	22 %
Озерная глина п. 1 / кург. 31		4100	<ПО	330	33000	<ПО	28	100	<ПО	<ПО	90	140	0,6	28
Глина п. 1 / кург. 31		2000	<ПО	350	43000	<ПО	75	220	<ПО	<ПО	110	120	<ПО	32
Sr %		20 %		15 %	16 %		12 %	10 %			16 %	16 %	20 %	19 %

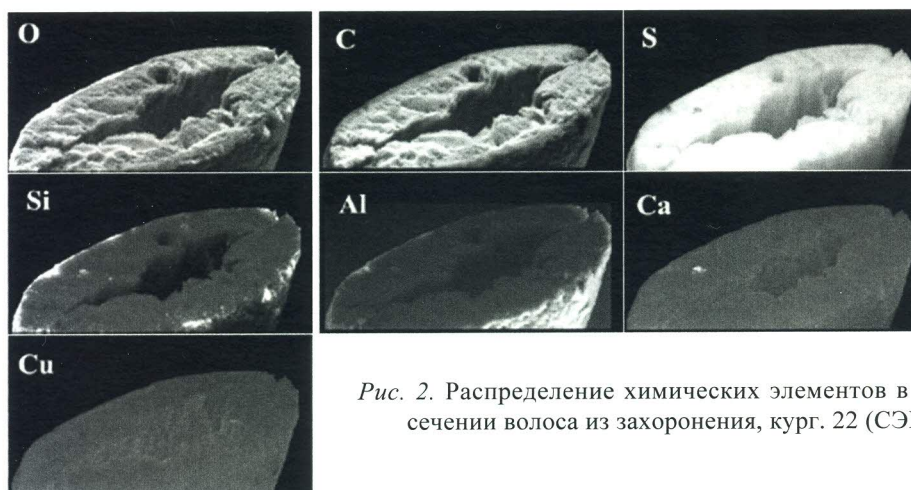


Рис. 2. Распределение химических элементов в поперечном сечении волоса из захоронения, кург. 22 (СЭМ ЭДС).

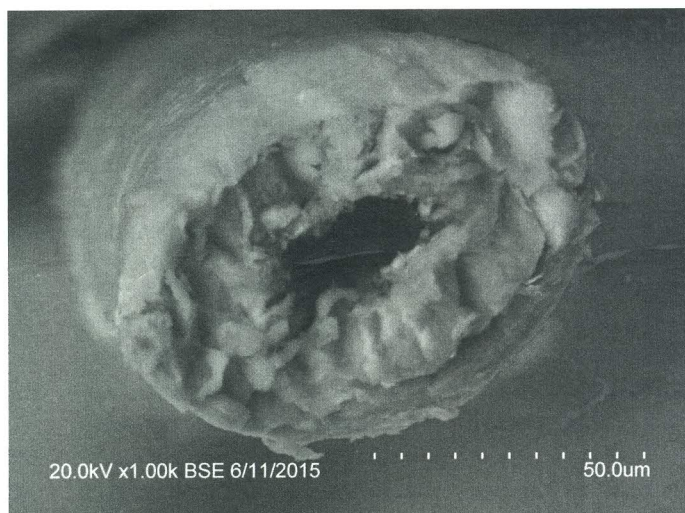
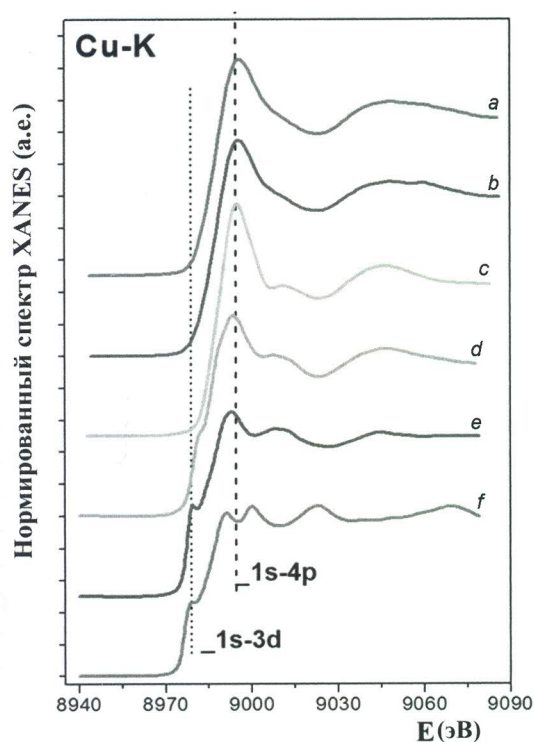


Рис. 3. Спектры XANES.

a – волос человека из погр. 20; *b* – зубная эмаль человека из погр. 20; *c* – катализатор $\text{Cu-FeO}_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$ (смешанная оксидная система), искаженный октаэдр; *d-f* – стандартные образцы CuO , Cu_2O и Cu соответственно.

Конфокальная рентгеновская микроскопия (КРМ). В последнее время на станции элементного РФА-СИ-анализа в СЦСТИ (ИЯФ СО РАН) была реализована методика КРМ-анализа [Дарьин, Ракшун, 2013] – в конфокальной геометрии, которая позволяет проводить сканирование волоса как по всей длине, так и в поперечном сечении без разрушения уникального археологического материала. Пространственное разрешение рентгеновского конфокального микроскопа составляет порядка 10 мкм.

В ходе исследования было предпринято сканирование поперечного среза волоса методом КРМ. Была получена картина распределения

меди в поперечном сечении отдельно взятого волоса (рис. 4) из погребения в кург. 20 (шаг сканирования 5 мкм): внутри волос был полым (как и на снимках, сделанных ранее при помощи метода сканирующей электронной микроскопии); распределение меди – практически однородным. Уровни содержания меди в волосах из погребений хунну значительно превышают уровни содержания этого элемента в волосах людей даже при остром отравлении медью. Однородность распределения меди в поперечном сечении волоса (по данным СЭМ и КРМ) свидетельствует о внешнем источнике ее поступления.

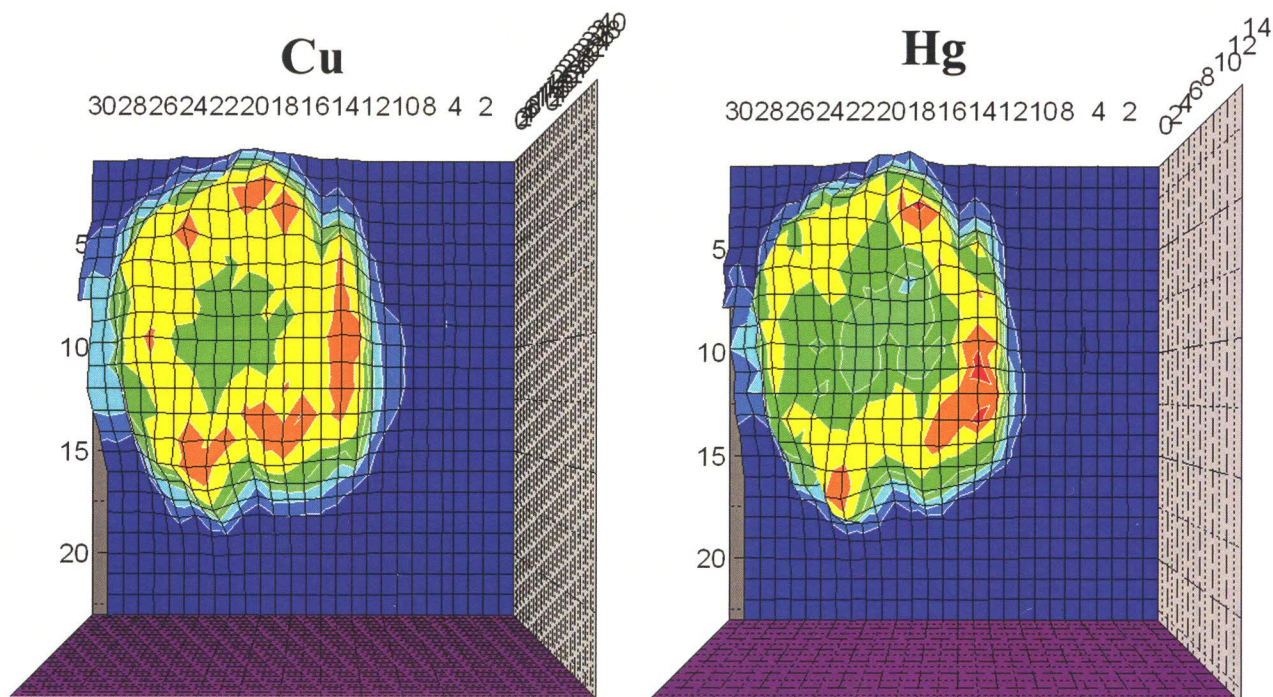


Рис. 4. Распределение Cu и Hg в поперечном сечении отдельного волоса (кург. 20). Метод КРМ.

Использование метода КРМ позволяет также получить картину распределения ртути в поперечном сечении волоса (рис. 4), что практически невозможно осуществить другими методами анализа, учитывая невысокий уровень концентраций этого элемента в отдельно взятом волосе. По результатам рентгеновского микроанализа можно судить о том, что распределение ртути в поперечном сечении волоса близко к однородному, что косвенно может указывать на экзогенный источник ее происхождения. Этому предположению противоречит тот факт, что содержание ртути было крайне высоким в волосах из погребения, в то время как в глине из захоронения ее уровни не превышали нормы. Эти данные косвенно указывают

на внутренний источник поступления ртути в волосы. Как видно, данный вопрос во многом остается открытым и требует проведения дальнейших исследований.

Дополнительно было проведено исследование элементного состава металлических изделий из погребений (медных и бронзовых предметов, а также предметов, покрытых амальгамой) методом рентгенофлуоресцентного анализа (рентгенофлуоресцентный спектрометр MISTRAL M1, Bruker). Было установлено содержание Mn, Fe, Cu, Zn, Ag, Au, Hg и Pb. Результаты представлены в табл. 2.

Статистическая обработка полученных результатов позволила выявить сильные корреляции ($r = 0,7-0,9$, $p = 0,05$) между Mn, Fe и Sr как

Таблица 2. Содержание химических элементов в ряде образцов металлических изделий из погребений знати хунну, % вес. Данные РФА ЭД. Относительное стандартное отклонение Sr % = 1–15 %

№ образца	Mn	Fe	Cu	Zn	Ag	Sn	Au	Hg	Pb
1		1,70	69,0		0,41				28,00
2		5,50	6,5		65,00	0,10	18,50	4,7	0,22
3	1,7	89,00	3,4	0,12					0,15
4	2,5	93,00	0,9	0,11					0,10
5		4,10	84,0		0,50	1,30		2,1	4,40
6		1,80	2,0		95,00	0,20	0,61		0,14
7		0,51	0,9		98,00	0,20	0,66		0,11
8	2,3	86,00	3,3						0,12

в образцах фрагментов костей, так и в образцах волос из погребений. Это может быть объяснено влиянием среды захоронения, а именно грунта и грунтовых вод, обогащенных Mn и Fe. Для данного региона также характерно повышенное содержание Sr. Кроме того, была обнаружена корреляционная связь между Cu и Pb как в образцах волос ($r = 0,4$, $p = 0,05$), так и во фрагментах костей ($r = 0,8-0,9$), что может указывать на один источник поступления этих элементов. Для исследуемых металлических предметов с высоким содержанием Cu характерно также более высокое содержание Pb. Известно, что свинец использовали при изготовлении бронзы как более доступный заменитель олова. Таким образом, высокие концентрации меди в волосах хунну могут быть объяснены влиянием среды захоронения, вследствие близкого расположения медных и бронзовых предметов. В данном случае эндогенный источник поступления меди в волос (отравление) маловероятен.

Интерпретация результатов исследования

Отрезанная коса или волосы во всех культурах, вплоть до современности, обозначали моральную смерть человека. Косы и пряди, обнаруженные в ноин-улинских курганах, могли быть трофеями, принадлежать побежденным, пленным, убитым. В свое время С.И. Руденко собрал большую коллекцию волос представителей разных народов, которые были изучены с целью сравнения их по толщине и форме с волосами из археологической коллекции. Оказалось, что по этим показателям волосы из исследованных экспедицией П.К. Козлова ноин-улинских курганов близки к группе самых толстых и прямых волос, принадлежащих корейцам, бурятам, монголам-халхасцам, алтайцам (С.И. Руденко ограничился сравнительным материалом из

собственной коллекции [1962, с. 111]. Сергей Иванович также провел сравнение волос из ноин-улинской коллекции Государственного Эрмитажа с имеющимися у него образцами волос пазырыкцев из материалов раскопок «царских» курганов Горного Алтая. Его вывод заключался в том, что волосы пазырыкцев значительно отличались от тех, что были обнаружены в ноин-улинских курганах, они были более тонкие и волнистые [Там же]. Нами также было проведено сопоставление образцов волос из 22-го ноин-улинского кургана с волосами, обнаруженными в пазырыкских погребениях Укока. Определение толщины волос осуществлялось при помощи сканирующего электронного микроскопа с ЭДС (Hitachi S-3400N Type II) в ИЯФ СО РАН. Для каждого из исследуемых образцов были сделаны снимки поперечного сечения волоса, а также снимки при определении толщины.

При помощи сканирующего электронного микроскопа с ЭДС (Hitachi S-3400N Type II) была определена толщина волос, обнаруженных в кург. 22 (табл. 3). Она варьирует в диапазоне от 60 до 96 мкм. С показателем 60 мкм, приближающимся к параметру славянских волос (55 мкм), есть только один образец, тогда как наибольшее количество образцов (8) имеет толщину, варьирующую в диапазоне от 80 до 89 мкм. К ним примыкают два образца очень толстых волос — с показателями 90 и 96 мкм. Еще одна группа волос (4 образца) имеет толщину от 70 до 76 мкм. Т.е. в целом разброс показателей толщины волос в этой коллекции достаточно велик, что уже само по себе может свидетельствовать о том, что это могли быть косы и пряди представителей разных племен и народов. На толщине волос отражается также и возраст: они становятся тем тоньше, чем старше человек.

Результаты сравнения волос древних и современных людей (образцы принадлежали молодым людям) по толщине показали (табл. 4),

Таблица 3. Результаты определения толщины (мкм) волос из 15 кос, кург. № 22, Ноин-Ула (Северная Монголия)

Показатель	№ косы*														
	14	15	16	17	19	20	22	23	24	25	26	27	32	37	38
X ср. (толщина, мкм)	80	60	89	80	83	76	96	88	73	90	80	70	86,9	70	80
Sr % (n = 3)	23 %	16 %	4 %	15 %	5 %	3 %	3 %	3 %	13 %	14 %	11 %	17 %	1 %	17 %	28 %

*Из каждой косы (n = 15) произвольным образом было отобрано по три отдельных волоса, для каждого из которых производилось по три измерения толщины на участке длиной порядка 1 см.

Примечание. X ср. — среднее значение толщины для трех волос (мкм), Sr % — относительное стандартное отклонение в %.

Таблица 4. Результаты определения толщины волос современных людей*

Показатель	Волосы корейцев (муж.)				Волосы китайцев, хань (муж.)				Волосы славян (жен.)
	25 лет	31 год	24 года	65 лет	34 года	29 лет	21 год	34 года	
X ср. (толщина, мкм)	63	83	56	56	85	62	74	55	
Sr % (n = 3)	2 %	3 %	2 %	19 %	1 %	2 %	2 %	6 %	

*См. примечание к табл. 3.

что разброс параметров толщины волос среди современных представителей некоторых народов меньше, чем среди древних.

Важно отметить, что среди ноин-улинских кос, наряду с заплетенными из трех прядей, есть косы, свитые из двух прядей, так же, как, например, у мужчины, похороненного в кург. 3 могильника Верх-Кальджин-2 [Полосьмак, 2001, с. 161, рис. 108]. Сохранившиеся мумии Синьцзяна тоже демонстрируют наличие у мужчин кос, свитых из двух темно-каштановых прядей волос (см., напр.: [Mallory, Mair, 2000, p. 16, рис. II]). Таким образом, косы заплетали мужчины из многих окружающих хунну народов и племен, и ханьцы тоже. Китайцы носили волосы заплетенными в косы и уложенными с помощью шпилек в сложные прически, что в их собственных представлениях противопоставляло их «варварам», которые носили волосы распущенными. О мужчинах хунну известно, что волосы они не заплетали. По словам китайского автора Фань Сюаньлина (398–445 гг.), «сюнну ходят с распущенными, свешивающимися волосами...» [Материалы..., 1989, с. 13]. Про прически хуннских женщин мы ничего не знаем. Вероятно, набор кос и прядей, обнаруженный в ноин-улинских курганах, формировался из волос представителей разных племен и народов, с кем доводилось воевать хунну, а таких, как мы знаем, было немало, и многие из них в результате этих войн вошли в состав хуннской державы. Среди них, судя по археологическим свидетельствам, могли быть пазырыкцы, ханьцы, жители оазисов Тарима, а если судить по письменным данным, то к ним могут добавиться сяньби, ухуани [Крюков и др., 1983, с. 61], возможно, цяны.

Выводы

Обнаруженные в ноин-улинских курганах косы не принадлежали похороненным в них людям. Наблюдения, сделанные в ходе раско-

пок трех больших курганов, позволили прийти к выводу о том, что многочисленные косы и пряди волос, найденные в коридорах между внутренней и внешней погребальными камерами, рядом с металлическими украшениями конской упряжи и деталями седел, были частью декора конского снаряжения. Они подвешивались к конской упряжи и служили своеобразным украшением коня, показателем статуса, доблести и воинской славы погребенного. Они принадлежали представителям различных племен и народов из окружения хунну, многие из которых вошли в состав империи. Как мы знаем из письменных источников, империя хунну создавалась путем подчинения и объединения различных кочевых племен Центральной Азии.

Аномально высокое содержание в волосах меди, железа и, возможно, ртути объясняется экзогенными причинами и связано с длительным пребыванием волос во влажной среде погребальных камер рядом с медными, железными и бронзовыми предметами, нередко покрытыми ртутной амальгамой.

Благодарности

Выражаем глубокую признательность К.Э. Куперу, Д.И. Кочубею, В.В. Кривенцову, Д.С. Сороколетову за участие в исследовании археологического материала рентгеновскими методами анализа, аспиранту кафедры археологии и этнографии ГФ НГУ Паку Кюджину за помощь в сборе образцов волос современных людей.

Список литературы

- Вадецкая Э.Б.** Таштыкская эпоха в древней истории Сибири. – СПб.: Петербург. востоковедение, 1999. – 440 с.
- Вольдсет Р.** Прикладная спектроскопия рентгеновского излучения. – М.: Атомиздат, 1977. – 192 с.
- Дарьин Ф.А., Ракшун Я.В.** Методика выполнения измерений при проведении рентгенофлуоресцентного анализа с использованием рентгеновской концентрирующей оптики (поликапиллярные линзы) // Науч. вестн. НГТУ. – 2013. – № 2 (51). – С. 119–129.

- Крюков М.В., Переломов Л.С., Софронов М.В., Чебоксаров Н.Н.** Древние китайцы в эпоху централизованных империй. – М.: Наука, 1983. – 407 с.
- Латышев В.В.** Известия древних писателей о скифах и Кавказе. – СПб.: Фарн, 1992. – Вып. 1/2. – 335 с.
- Мазалов Л.Н.** Рентгеновские спектры. – Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2003. – 329 с.
- Материалы** по истории кочевых народов в Китае III–V вв. Вып. 1: Сюнну / пер. с кит., предисл. и коммент. В.С. Таскина. – М.: Наука, 1989. – 285 с.
- Миняев С.С.** Элитный комплекс захоронений сюнну в пади Царам (Забайкалье) // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2009. – № 2. – С. 49–58.
- Полосьмак Н.В.** Всадники Укока. – Новосибирск: Инфолио-пресс, 2001. – 336 с.
- Полосьмак Н.В., Богданов Е.С.** Курганы Суцзуктэ (Ноин-Ула, Монголия). – Новосибирск: Инфолио, 2015. – Ч. 1. – 136 с.
- Полосьмак Н.В., Богданов Е.С., Цэвээндорж Д.** Двадцатый ноин-улинский курган. – Новосибирск: Инфолио, 2011. – 184 с.
- Полосьмак Н.В., Трунова В.А.** Волосы из пазырыкских могил (рентгенофлуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения) // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2004. – № 1(17). – С. 73–81.
- Руденко С.И.** Культура хуннов и ноинулинские курганы. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – 204 с.
- Трунова В.А.** Рентгенофлуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения: автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Новосибирск, 1997. – 37 с.
- Трунова В.А., Зверева В.В.** Исследование распределения макро- и микроэлементов в образцах миокарда и сосудов у кардиохирургических больных, метод РФА-СИ // Журн. структурной химии. – 2008. – Т. 49. – С. 211–216.
- Юрийчук Д.** Денверский художественный музей. – М.: Директ-Медиа, 2013. – 96 с. – (Великие музеи мира; т. 82).
- Bertrand L., Doucet J., Dumas P., Simionovici A., Tsoucaris J., Walter P.** Microbeam synchrotron imaging of hairs from Ancient Egyptian mummies // J. of Synchrotron Radiation. – 2003. – Vol. 10. – P. 387–392.
- Gillespie J.M.** Mammoth hair: stability of alpha-keratin structure and constituent proteins // Science. – 1970. – Vol. 170. – P. 1100–1102.
- Kenney D.** X-ray diffraction studies of ancient hairs // Cosmetics and Toiletries. – 1981. – Vol. 96. – P. 121–122.
- Klementev K.V.** Extraction of the fine structure from X-ray absorption spectra // J. of Physics D: Applied Physics. – 2001. – Vol. 34. – P. 209–217.
- Kochubey D.I.** EXAFS-spectroscopy of catalysts. – Novosibirsk: Nauka, 1992.
- Mallory J.P., Mair V.H.** The Tarim mummies. – Thames & Hudson, 2000. – 352 p.
- Mansilla J., Bosch P., Menéndez M.T., Pijoan C., Flores C., López M.C., Lima E., Leboreiro I.** Archaeological and contemporary human hair composition and morphology // Cungara, Revista de Antropología Chilena. – 2011. – Vol. 43. – P. 293–302.
- Ryder M.L.** Hair of the mammoth // Nature. – 1974. – Vol. 249. – P. 190–192.
- Trounova V.A., Zolotarev K.V., Baryshev V.B., Phedorin M.A.** Analytical possibilities of SRXRF station at VEPP-3 SR source // Nuclear Instruments Methods. – 1998. – Vol. A405. – P. 532–536.
- Trunova V., Zvereva V., Polosmak N., Kochubey D., Kriventsov V., Kuper K.** Investigation of Organic Materials From the 'Royal' Burials of Xiongnu (Noin-Ula, Mongolia) by Srxrf and XAFS Methods // Archaeometry. – 2015. – Vol. 57, N 6. – P. 1060–1077. DOI: –10.1111/arc.12109.
- Wilson A.S., Dodson H.I., Janaway R.C., Pollard A.M., Tobin D.J.** Selective biodegradation in hair shafts derived from archaeological, forensic and experimental contexts // British J. of Dermatology. – 2007. – Vol. 154. – P. 450–457.