

Шишлина Н.И., Ларионова О.Ю. Вариации изотопного состава стронция в образцах современных улиток юга России: первые результаты // Материалы по изучению историко-культурного наследия Северного Кавказа. Археология, краеведение, музееведение. Вып. XI / Отв. ред. А.Б. Белинский. М.: Памятники исторической мысли, 2013. С. 481–485.

Фоломеев Б.А. Отчет о работе Окской археологической экспедиции Государственного исторического музея за 1994 год. М., 1995 // ИА РАН. Ф. 1. Р. 1. Д. 20078.

Frei K.M., Frei R., Mannering U., Gleba M., Nosch M.L., Lyngstrom H. Provenance of ancient textiles – A pilot study evaluating the strontium isotope system in wool // *Archaeometry*. 2009. № 51, 2. P. 252–276.

Frei K.M., Mannering U., Kristiansen K., Allentoft M.E., Wilson A.S., Skals I., Tridico S., Nosch M.L., Willerslev E., Clarke L., Frei R. Tracing the dynamic life story of a Bronze Age Female // *Scientific Reports* 2015. Vol. 5, Article number: 10431.

Kvavadze E. Palynological study of organic remains from the Ananauri kurgan // In: Ananauri Big kurgan 3. Tbilisi; Georgian National Museum, 2016. P. 156–192.

Streletskaya M., Zaytceva M., Soloshenko N. Sr and Nd chromatographic separation procedure for precise isotope ratio measurement using TIMS and MC ICP methods-MS // European winter conference on plasma spectrochemistry. Sankt Anton am Arlberg, Austria. 19–24 Feb, 2017. P. 319.

*Е.А. Панкрушина, Д.В. Киселева*  
ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург, [pankrushina@igg.uran.ru](mailto:pankrushina@igg.uran.ru)

### **Рамановская спектроскопия при изучении ископаемой зубной и костной ткани человека**

В археологии и палеонтологии рамановская спектроскопия используется в качестве неразрушающего скринингового метода для определения качества коллагена: соотношение пиков  $960\text{ см}^{-1}$  и  $1636\text{ см}^{-1}$ , не превышающее 19, отвечает хорошей сохранности коллагена [France et al., 2014]. Аналогичные попытки выявить наличие коллагена в количествах, достаточных для его последующего выделения, были предприняты по отношению пиков  $1450\text{ см}^{-1}$  и  $960\text{ см}^{-1}$  [Pestle et al., 2015]: при отношении более 0.1 образцы тканей считаются пригодными для дальнейших исследований стабильных изотопов, радиоуглеродного датирования и других разрушающих методов анализа. Вопросам определения кристалличности биогенного апатита по рамановским спектрам посвящена работа [Ruceat et al., 2004], где описан комбинированный подход с использованием рентгеновской дифракции и рамановской спектроскопии (в том числе, с термостолником). Было предложено новое определение рамановского индекса кристалличности, представляющее собой отношение ширины на полувысоте пика фосфата ( $960\text{ см}^{-1}$ ) в пробе и референтном магматическом апатите ( $4.9\text{ см}^{-1}$ ). Рассчитанные авторами индексы кристалличности по данным рамановской спектроскопии и рентгеновской дифракции удовлетворительно согласовались друг с другом, при этом на рамановский индекс кристалличности не влияет содержание карбонат-ионов. Рассчитанные величины индексов кристалличности были использованы в качестве критерия идентификации процессов диагенеза в ископаемых биогенных апатитах [Ruceat et al, 2004].

Нами было исследовано 17 образцов, 7 из которых представлены материалом зубной (эмаль и дентин) (пробы 986, 981, 995, 985, 988, 956, 937), остальные 10 – костной тканью (пробы 1011, 989, 1014, 967, 972, 973, 971, 994, 947, 979), принадлежащим древнему человеку из могильника Каменный амбар V (бронзовый век). Пробы изучались с целью поиска новых закономерностей между спектральными параметрами колебательных мод в рамановских спектрах и характеристиками образцов (пробы предоставлены сотрудниками Института эко-

логии растений и животных и Института истории и археологии УрО РАН). Возбуждение спектров рамановского рассеяния было выполнено с использованием рамановского спектрометра Horiba LabRam HR800 Evolution, оборудованного микроскопом Olympus BX-FM (объективы LM Plan FL N 50X, NA = 0.5) и He-Ne-лазером (длина волны возбуждения 488 нм), дифракционной решеткой 600 шт/мм, работающим в режиме конфокальной съемки с пространственным латеральным разрешением порядка 1–2 мкм.

Рамановские спектры характеризуются сильным фотолюминесцентным фоном (вероятно, причиной которого является свечение органических составляющих [Sa et al., 2012], рис. а), который частично уменьшался при введении времени задержки возбуждения рамановского спектра 1500 с. Тем не менее, часть проб исследовать не удалось ввиду перекрытия рамановских спектров фотолюминесцентным сигналом. Время накопления спектра составило 2 с, количество накоплений – 10. Обработка спектров проводилась с помощью программного пакета PeakFitv4.11.

На спектрах фиксируются линии от колебаний минеральной составляющей – карбонат-гидроксиапатита: симметричного валентного колебания  $\nu_1$   $\text{PO}_4^{3-}$  (~960  $\text{cm}^{-1}$ ), деформационных колебаний  $\nu_4$   $\text{PO}_4^{3-}$  (430 и 580  $\text{cm}^{-1}$ ), а также валентных  $\nu_1$  колебаний примесных карбонат-ионов В-типа, замещающих фосфат-ионы в решетке апатита (1065–1070  $\text{cm}^{-1}$ ) (интерпретация полос согласно [Kirchner et al., 1997]). Также явно выражены колебания органической матрицы: колебания углеродных связей в пролине и гидроксипролине, фенилаланине, связей NH и C=O в амиде типов I и III (интерпретация полос согласно [Kirchner et al., 1997]). Все обнаруженные колебания протеиновой матрицы соответствуют фибриллярному белку коллагену, который является основным органическим компонентом зубной эмали и дентина. Для выявления закономерностей и изучения соотношений органической и неорганической составляющих были выбраны симметричное валентное колебание P-O в тетраэдре  $\text{PO}_4$  ( $\nu_1$  ~960  $\text{cm}^{-1}$ ) и симметричные колебания связи  $\text{CH}_2$  (~2940 – 2979  $\text{cm}^{-1}$ , рис. в). По данным [Pezzotti et al., 2017], в результате тетраэдрических искажений вместо одной колебательной моды около 960  $\text{cm}^{-1}$  наблюдается синглет, соответствующий ~941, 948, 957 и 972  $\text{cm}^{-1}$  в фосфате (рис. б).

Таким образом, при детальном изучении результатов были выявлены следующие закономерности:

1. При определении отношения суммарной аналитической площади (А) колебательных мод в районе 960  $\text{cm}^{-1}$  в эмали (э) к аналогичным в дентине (д) ( $A^{\text{э}}\text{PO}_4/A^{\text{д}}\text{PO}_4$ ), выявлена закономерность между рассчитанным отношением площадей и наличием рамановского спектра

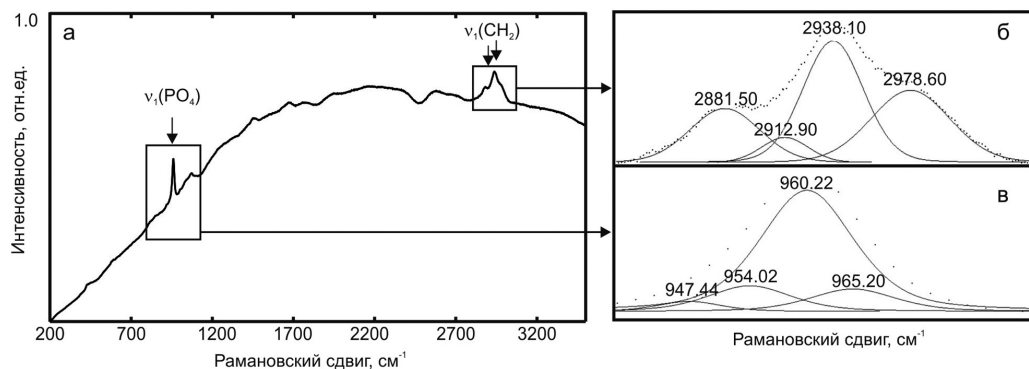


Рис. Спектр эмали пробы 985 (а), врезки – группа колебаний  $\text{CH}_2$  (б) и разложение колебательной моды  $\nu_1(\text{PO}_4)$  (в) на составляющие с помощью программного пакета PeakFitv4.11.

## Результаты расчетов по данным рамановской спектроскопии

Проба	Пол	Дентин*		Эмаль*		Кость*		$A^{\nu}PO_4 / A^{\alpha}PO_4$	$A^{н.о.}PO_4 / A^о. PO_4$
		PO <sub>4</sub>	CH <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub>	CH <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub>	CH <sub>2</sub>		
986	Женский	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
981	Н.о.**	О.***	Н.о	О.	Н.о	О.	Н.о	0.79	Н.о.
995	Мужской	О.	О.	О.	Н.о	Н.о	Н.о	2.41	Н.о.
985	Мужской	О.	О.	О.	Н.о	Н.о	Н.о	3.09	Н.о.
988	Мужской	О.	О.	О.	Н.о	О.	О.	0.71	0.12
956	Н.о.	О.	О.	О.	О.	О.	Н.о	1.10	Н.о.
937	Н.о.	О.	О.	О.	О.	О.	Н.о	1.05	Н.о.
1011	Женский	****	-	-	-	О.	Н.о	-	Н.о.
989	Мужской	-	-	-	-	О.	Н.о	-	Н.о.
1014	Женский	-	-	-	-	О.	О.	-	0.21
967	Женский	-	-	-	-	О.	Н.о	-	Н.о.
972	Мужской	-	-	-	-	О.	О.	-	0.13
973	Мужской	-	-	-	-	О.	О.	-	0.12
971	Мужской	-	-	-	-	О.	О.	-	0.12
994	Мужской	-	-	-	-	О.	О.	-	0.11
947	Н.о.	-	-	-	-	Н.о.	Н.о	-	Н.о.
979	Мужской	-	-	-	-	О.	Н.о	-	Н.о.

Примечание: \*колебательные группировки в дентине, эмали, кости; \*\*не определено; \*\*\*определено; \*\*\*\*пробы не предоставлены.

в кости (в частности, группы колебательных мод около  $960\text{ см}^{-1}$ , соответствующих колебаниям  $PO_4$ ). То есть, при увеличении значения  $A^{\nu}PO_4/A^{\alpha}PO_4$  рамановский спектр отсутствовал полностью, при уменьшении, соответственно, проявлялся, вплоть до наблюдения в спектре группы колебательных мод около  $2950\text{ см}^{-1}$  (табл.).

2. При определении отношения суммарной аналитической площади (А) колебательных мод в районе  $960\text{ см}^{-1}$  в кости (неорганическая составляющая – н.о.) к суммарной аналитической площади группы колебательных мод около  $2950\text{ см}^{-1}$  (органическая составляющая – о.) ( $A^{н.о.}PO_4/A^о. PO_4$ ), показано, что значения коррелируют с ранее определенным полом человека, образцы костной ткани которого были изучены, а именно: для образцов костной ткани, принадлежащих мужчине значение  $A^{н.о.}PO_4/A^о. PO_4$  соответствовало, в среднем, 0.12, женщине – 0.21 (табл.).

Таким образом, в настоящей работе по данным рамановской спектроскопии осуществлена попытка поиска связи между спектральными параметрами в колебательных спектрах костной и зубной ткани человека. Для достижения поставленной цели исследование необходимо продолжить при большей выборке для статистической обработки результатов.

Работа выполнена в ЦКП «Геоаналитик» при поддержке гранта РФФИ № 18-35-00462 мол. а.

## Литература

France Ch.A.M., Thomas D.B., Doney Ch.R., Odile M. FT-Raman spectroscopy as a method for screening collagen diagenesis in bone // Journal of Archaeological Science. 2014. Vol. 42. P. 346–355.

- Kirchner M.T., Edwards H.G.M., Lucy D., Pollard A.M.* Ancient and modern specimens of human teeth: a fourier transform Raman spectroscopic study // *Journal of Raman Spectroscopy*, 1997. Vol. 28. P. 171–177;
- Pestle W.J., Brennan V., Sierra R.L., Smith E.K., Vesper B.J., Cordell G.A., Colvard M.D.* Hand-held Raman spectroscopy as a pre-screening tool for archaeological bone // *Journal of Archaeological Science*. 2015. Vol. 58. P. 113–120.
- Pezzotti G., Adachi T., Gasparutti I., Vincini G., Zhu W., Boffelli M., Kanamura N.* Vibrational monitor of early demineralization in tooth enamel after in vitro exposure to phosphoric liquid // *Spectrochimica Acta – Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2017. Vol. 173. P. 19–33.
- Puceat E., Reynard B., Lecuyer Ch.* Can crystallinity be used to determine the degree of chemical alteration of biogenic apatites // *Chemical Geology*. 2004. Vol. 205. P. 83–97.
- Sa Y., Chen D., Liu Y., Wen W., Xu M., Jiang T., Wang Y.* Effects of two in-office bleaching agents with different pH values on enamel surface structure and color: An in situ vs. in vitro study // *Journal of Dentistry*. 2012. Vol. 40. P. 26–34.

**Е.О. Васючков**

*ЮУрГГПУ, г. Челябинск, [alaevaira@mail.ru](mailto:alaevaira@mail.ru)*

## **Топография поселенческих и погребальных площадок бронзового века в Южном Зауралье**

*(научный руководитель к.и.н. И.П. Алаева)*

На территории Челябинской области известны как поселенческие, так и погребальные памятники позднего бронзового века. Общая хронология и культурная принадлежность дают основания говорить о том, что данные поселения и могильники были связаны между собой [Археология..., 1987]. Существенным является вопрос о том, каким образом эти площадки располагаются в ландшафте и относительно друг друга.

Целью работы было выявление закономерностей расположения поселенческих и погребальных памятников бронзового века в Южном Зауралье.

В качестве методов исследования использовались составление и анализ статистики по отчетам об археологической разведке.

В таблице представлена выборка из 24 комплексов, включающих могильник и поселение. Все включенные в выборку памятники отнесены к бронзовому веку, в шурфах поселений представлены фрагменты керамической посуды алакульской, срубно-алакульской и саргаринско-алексеевской культур.

Малое количество курганов на некоторых могильниках можно объяснить тем, что многие курганы могли быть сnivelированы распашкой и не фиксируются разведками [Зданович и др., 2003].

Осмысление поселения и могильника как одного комплекса вызывает ряд проблем. Поселения и могильники, попавшие в выборку, соотнесены на основе культурной схожести, хронологической близости и близкого расположения площадок. В данной работе рассматривается наличие у поселения одной погребальной площадки, которая может с большей вероятностью к нему относиться. Но А.В. Епимахов [2010], ссылаясь на ряд работ, указывает, что по данным этнографии, наличие и использование в пределах одного общества нескольких погребальных площадок отнюдь не редкость.

Исследователи, занимавшиеся системой расселения андроновского населения на территории Южного Урала, обращают внимание на то, что поселения расположены близко к водоемам зачастую на пространстве первой надпойменной террасы, занимая удобные площадки

*Научное издание*

# **ГЕОАРХЕОЛОГИЯ И АРХЕОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ–2018**

*Рекомендовано к изданию  
Ученым советом Института минералогии УрО РАН*

ISBN 978-5-7691-2509-6



Редакторы *Е.В. Зайкова, А.М. Юминов*  
Компьютерная верстка *О.Л. Бусловская*  
Корректоры *Н.М. Анкушева, Е.Е. Паленова*

---

Подписано в печать 23.08.2018. Формат 70×100 1/16  
Печать офсетная. Усл.-изд. л. 12. Уч. печ. л. 12.2. Тираж 100 экз.  
Институт минералогии УрО РАН  
456317, г. Миасс Челябинской обл., Ильменский заповедник

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии  
в ООО «ФОРТ-ДИАЛОГ-Исеть»  
620142, г. Екатеринбург, ул. Декабристов, 75