

Salje E. K. H., Carpenter M.A., Malcherek T., Boffa Ballaran T. Autocorrelation analysis of infrared spectra from minerals // *European Journal of Mineralogy*. 2000. Vol. 12(3). P. 503–519.

Zhang M., Salje E. K. H., Redfern S. T., Bismayer U., Groat L. Intermediate structures in radiation damaged titanite (CaTiSiO₅): a Raman spectroscopic study // *Journal of Physics Condensed Matter*. 2013. Vol. 25(11). P. 115402.

О. П. Шиловский^{1, 2}, Д. В. Киселева³

¹ – Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

² – Музей естественной истории Татарстана, г. Казань
nau@hotmail.ru

³ – Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

Микроскопическое исследование ископаемых зубных тканей пермских парейазавра и суминии (Котельничское местонахождение, Кировская область)

С палеонтологической точки зрения Котельничское местонахождение рассматривается как субориктокомплекс соколковского ориктокомплекса [Ивахненко, 2001]. Для него характерно присутствие полных скелетов парейазавров (40 % в суммарном соотношении ориктоценоза) и анмондотов суминий (25 %), а также полное отсутствие остатков рыб и рыбообразных групп тетрапод. Уникальная сохранность скелетов и внутренней структуры костных тканей (включая ископаемые клеточные структуры) обусловлена особенностями захоронения на местонахождении [Киселева и др., 2017; Шиловский, Киселева, 2018].

Два наиболее массовых и часто встречаемых представителей ископаемой фауны Котельничского местонахождения – парейазавр *Deltavjatia vjatensis* из отряда проколофономорфы (*Procolophonomorpha*) и анмондонт *Suminia getmanovi* из отряда терапсиды (*Therapsida*). Немаловажным является трофическая принадлежность этих видов к растительноядным формам, где крупные амфибиогические парейазавры составляют основу прибрежной ассоциации комплекса, а мелкие растительноядные суминии приурочены к низменной и заболоченной береговой полосе, где произрастала специфическая жесткая растительность [Ивахненко, 2001].

Ископаемые зубные ткани (в частности, наиболее минерализованная эмаль) характеризуются наибольшей степенью устойчивости к диагенетическим изменениям. Дентин современных зубных тканей животных и человека представляет собой обызвестленное межклеточное вещество, пронизанное дентинными трубками. Межклеточное вещество дентина представлено коллагеновыми волокнами и основным веществом (содержащим преимущественно протеогликаны), которые связаны с кристаллами гидроксиапатита. Последние имеют вид уплощенных шестигранных призм или пластин. Кристаллы откладываются в виде зерен и глыб, которые сливаются в шаровидные образования – глобулы или калькосфериты. Дентинные трубки – тонкие, сужающиеся к наружной части каналы, радиально пронизывающие дентин от пульпы до его периферии и обуславливающие его исчерченность. В дентинных трубках располагаются отростки одонтобластов, нервные волокна, окруженные тканевой

(дентинной) жидкостью (транссудат периферических капилляров пульпы, содержащая также гликопротеины и фибронектин). Эта жидкость заполняет периодонтбластическое пространство (путь переноса различных веществ из пульпы к дентино-эмалевой границе), оно может содержать отдельные неизвестные коллагеновые фибриллы. Изнутри стенка дентинной трубки покрыта тонкой пленкой органического вещества – пограничной пластиной (мембраной Неймана), которая проходит по всей длине дентинной трубки.

Целью данной работы была оценка степени сохранности структур зубной ткани парейазавра и суминии на микроскопическом уровне. Были исследованы зубы двух разных представителей ископаемой фауны (парейазавра *Deltavjatia vjatkensis* и суминии *Suminia getmanovi*) с использованием СЭМ Carl Zeiss AURIGA CrossBeam с ЭДС Oxford instruments Inca X-Max (КФУ, оператор А. А. Трифонов). Перед исследованием образцы напылялись углеродом.

По данным ЭДС в состав ископаемых зубных тканей входят Са, Р и F, что может свидетельствовать о том, что гидроксипатит костной ткани был преобразован за время фоссилизации во фторпатит. В одном из фрагментов зуба парейазавра зафиксированы высокие содержания Се и U, что может говорить о поступлении РЗЭ и U в зубную ткань в результате диагенетических преобразований. Фрагмент породы на зубе парейазавра соответствует глинистым минералам и кальциту.

На рисунке 1а изображен фрагмент дентина зуба парейазавра, на котором прослеживается структура с дентинными каналами (трубками). На рисунке 1б показано сечение вдоль дентиновой трубки с хорошо различимыми волокнистыми образованиями, которые могут представлять собой псевдоморфозы фибрилл коллагеновых волокон, связывающих отростки одонтобластов со стенками трубок. Их размеры (толщина ~0.2 мкм) совпадают с размерами коллагеновых фибрилл, обнаруженных в костной ткани ихтиозавра [Plet et al., 2017].

Внешний вид зуба суминии приведен на рис. 2а. По данным ЭДС поверхностные слои эмали зуба содержат Na, Mg, Al, Si, К и Fe, соответствующие глинистым минералам вмещающей породы. В нижележащем дентине эти примеси практически не обнаружены. На месте естественного скола вскрыта пульпарная камера (рис. 2б), которая не заполнена вторичной минерализацией. Пульпа в современных зубах представляет собой рыхлую волокнистую соединительную ткань с большим количеством нервных окончаний, кровеносных и лимфатических сосудов, и, вполне возможно, что внутреннее строение в ней может быть сохранено в виде псевдоморфоз по клеточным структурам.

На стенках камеры выявлены многочисленные округлые структуры диаметром ~8 мкм с высоким содержанием Fe (38 %), пониженным количеством Са (7 %) и присутствием Si и Ti по сравнению с элементным составом перитубулярного дентина стенки пульпарной камеры. Размеры отверстий в стенке пульпарной камеры (рис. 2г) соответствуют размерам дентинных каналов (0.5–1.5 мкм). Исходя из размеров и элементного состава, эти структуры могут быть интерпретированы как форменные элементы крови. Ранее сообщалось об обнаружении красных и белых клеток крови меньшего размера (до 5 мкм) в костной ткани ихтиозавра (~180 млн лет) с уплощенным видом эритроцитоподобных клеток [Plet et al., 2017]. Если экстраполировать к эритроцитам современных рептилий, то у большинства видов форма эритроцитов овальная. Изменение формы эритроцитов с овальной на округлую может быть объяснено гипотонической обстановкой при фоссилизации, что привело к разбуханию

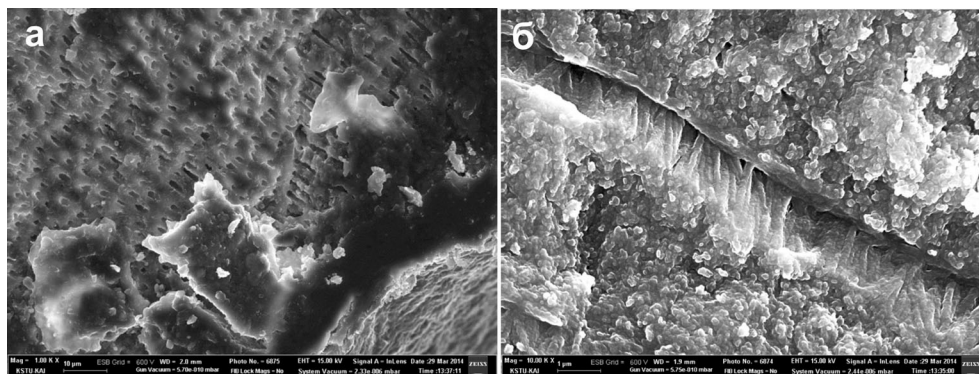


Рис. 1. Дентин зуба парейазавра (а) и сечение вдоль дентинной трубки (б).

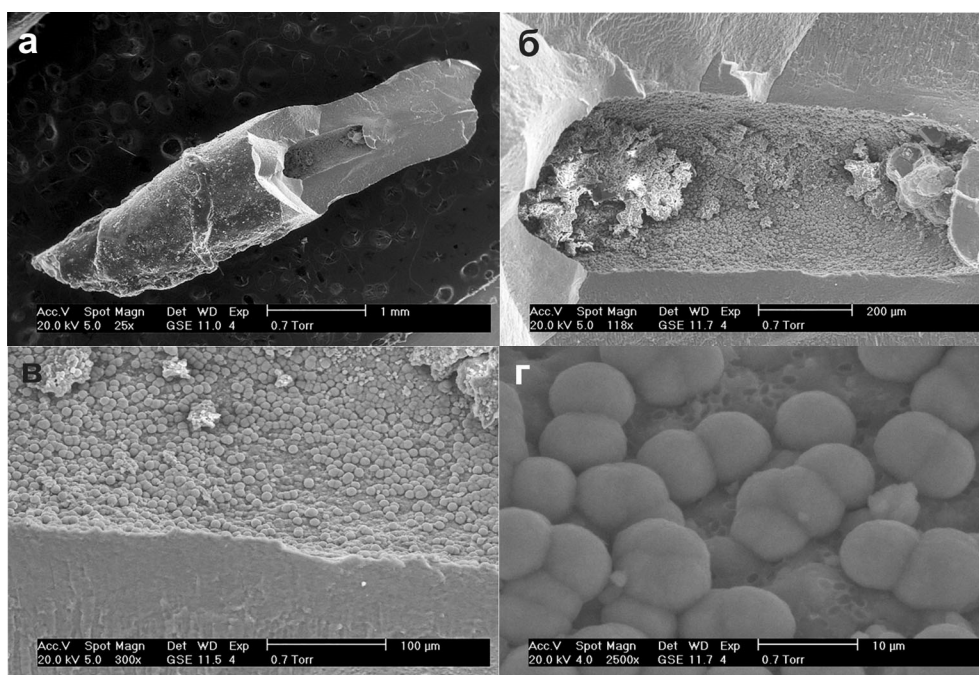


Рис. 2. Общий вид зуба сумнии (а), сколотый вдоль зуба участок, вскрывающий пульпарную камеру (б), увеличенное изображение стенок пульпарной камеры со сферическими образованиями (в), сферические образования (г).

эритроцитов и приобретению округлой формы. Аналогично клеточным структурам, обнаруженным в костной ткани парейазавра [Шиловский, Киселева, 2018], в пользу их небактериального происхождения говорит факт их обнаружения в дентине на внутренней стенке полости пульпарного канала в месте нахождения кровеносных и лимфатических сосудов. При бактериальной колонизации эти структуры не были бы так четко локализованы, а обнаруживались бы повсеместно, включая различные

части зубной ткани. Бактерии коккоидной формы обычно имеют меньшие размеры (0.5–2 мкм) [Plet et al., 2017], чем идентифицированные нами клеточные структуры (~8 мкм).

Таким образом, микроскопические исследования структуры ископаемых зубных тканей пермских парейазавра *Deltavjatia vjatkensis* и суминии *Suminia getmanovi* показали их высокую степень сохранности. Состав зубных тканей соответствует фторопатиту. В дентинных трубках обнаружены псевдоморфозы сохранившихся фибрилл коллагеновых волокон, связывающих отростки одонтобластов со стенками трубок. В пульпарной полости обнаружены сферические структуры, которые могут быть интерпретированы как форменные элементы крови.

Литература

Ивахненко М. Ф. Тетраподы Восточно-Европейского плакката – позднепалеозойского территориально-природного комплекса. Труды ПИН РАН. М.: ПИН РАН, 2001. Т. 283. 200 с.

Киселева Д. В., Шиловский О. П., Шагалов Е. С., Рянская А. Д. Минеральные и химические особенности состава и структуры костных остатков пермских тетрапод (Котельничское местонахождение, р. Вятка, Россия) и их изменения при fossilization как основа для палео-экологических реконструкций // Металлогения древних и современных океанов–2017. Дифференциация и причины разнообразия рудных месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 2017. С. 249–252.

Шиловский О. П., Киселева Д. В. Ископаемые клеточные структуры костной ткани ребра парейазавра // Металлогения древних и современных океанов–2018. Вулканизм и рудообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2018. С. 241–245.

Plet C., Grice K., Pagès A., Verrall M., Coolen M. J. L., Ruebsam W., Rickard W. D. A., Schwark L. Palaeobiology of red and white blood cell-like structures, collagen and cholesterol in an ichthyosaur bone // Nature Scientific Reports. 2017. Vol. 7. P. 13776.

Д. В. Киселева¹, О. П. Шиловский^{2, 3}, Е. С. Шагалов¹, Е. А. Панкрушина¹

¹ – Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург
kiseleva@igg.uran.ru

² – Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

³ – Музей естественной истории Татарстана, г. Казань

Микроспектроскопический анализ пермских ихнофоссилий (Котельничское местонахождение парейазавров, Кировская область)

Ихнофоссилии – следы жизнедеятельности ископаемых организмов, которые чаще всего сохраняются во вмещающих осадочных породах в виде биогенных структур, таких как следы/отпечатки лап, отпечатки беспозвоночных, зубные отметины, яйца и яичная скорлупа, окаменевшие фекалии (копролиты) и др. [Seilacher, 2007]. Анализируя состав копролитов, например, можно выявить компоненты пищи, которую употребляли вымершие организмы, а также оценить эффективность их пищеварительных процессов, физиологию и пищевое поведение [Qvarnström et al., 2017; Rodrigues et al., 2018]. Исследование ископаемых яиц и скорлупы может дать информацию о репродуктивной биологии, физиологии и эволюционных взаимоотношениях