

Н. Р. Аюпова¹, О. П. Шиловский^{2, 3}, Е. О. Стаценко²

¹ – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс*

ayupova@mineralogy.ru

² – *Казанский федеральный университет, г. Казань*

³ – *Музей естественной истории Татарстана, г. Казань*

Исследования микрофауны рудоконтролирующих оксидно-железистых отложений колчеданоносных районов с помощью метода рентгеновской компьютерной томографии

Госсаниты – литифицированные продукты полного субмаринного окисления колчеданных руд [Maslennikov et al., 2012] являются конечным членом преобразования сульфидных отложений на морском дне и прослеживаются на больших расстояниях от колчеданных залежей, образуя седиментационный ореол вокруг сульфидного тела. В госсанитах колчеданных месторождений Урала, содержащих палеогидротермальные трубы «черных курильщиков» и пригидротермальную фауну [Масленников, 2006], установлена гематитизированная микрофауна трубчатой формы, тентакулитиды и другие неидентифицированные организмы [Аюпова, Масленников, 2013]. Важной составляющей исследований фоссилизированной биоты в госсанитах является диагностика гематитизированной микрофауны трубчатой формы, которая предположительно сопоставима с мелкими оруденелыми полихетами, обнаруженными в ассоциации с трубами «палеокурильщиков» и диффузерами на многих колчеданных месторождениях Урала [Масленников, 2006]. Современные полихеты входят в сообщество обитателей денсали, образуя вокруг «черных курильщиков» плотные поселения [Juniper et al., 1992]. Так как у них практически нет твердых частей тела, в ископаемом состоянии обычно сохраняются их трубчатые домики, челюсти и щетинки.

Появление в последние годы публикаций об использовании рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) для изучения палеонтологических остатков не только обычных раковинных форм [Шиловский, Стаценко, 2015], но и бесскелетных организмов или отпечатков мягких тканей скелетных форм определило цель данной работы – оценить возможности РКТ при интерпретации результатов реконструктивной томографии (распределение объектов в материале) и морфологического изучения гематитизированной микрофауны в госсанитах.

Томография микрофоссилий была проведена Е. О. Стаценко в Институте геологии и нефтегазовых технологий КФУ (г. Казань) с помощью системы промышленной рентгеновской микротомографии Phoenix V|tome|X S 240, оснащенной двумя рентгеновскими трубками: микрофокусной с максимальным ускоряющим напряжением 240 кВ и мощностью 320 Вт и нанофокусной с максимальным ускоряющим напряжением 180 кВ и мощностью 15 Вт. Для получения данных была использована микрофокусная трубка. Съемка проводилась при ускоряющем напряжении 120 кВ и токе 150 мА. Использовался медный фильтр (Cu) толщиной 0.5 мм. Разрешение при съемке – 33.4 мкм (объем 1-го вокселя). Снимки и видео 2D–3D получены в ПО VG Studio MAX 2.1 и ПО Avizo Fire 7.1.

Для исследований был использован образец кварц-хлорит-гематитовой породы размером около 27 × 26 × 6 мм из Молодежного медно-цинково-колчеданного месторождения на Южном Урале, приуроченного к нижнедевонской Восточно-Магнитогорской островной дуге. Ранее в колчеданных рудах месторождения были найдены

мелкие трубчатые черви, замещенные пиритом и баритом [Масленников, 2006]. В изученном образце под бинокляром визуально хорошо диагностируются продольные и поперечные срезы микрофоссилий, что и определило его использование для томографических исследований. Присутствие разнообразных остатков микрофауны характерно и для госсанитов из других колчеданных месторождений Южного Урала.

Результаты исследований шлифов и аншлифов с ископаемыми организмами, а также данные реконструктивной томографии позволяют выделить следующие группы объектов, интерпретируемых как ископаемые остатки: 1) тентакулитиды, 2) полихеты или погонофоры и 3) эмбриональные раковины прямых головоногих.

В строении раковины тентакулитид конической формы выделяются первичная и вторичная раковины, которые различаются количеством и строением слоев, входящих в их состав [Дороднова, 1993]. Стенка первичной раковины состоит из внешнего органического, среднего кристаллического и внутреннего органического слоев. Из органических слоев лучшую сохранность имеет внутренний слой, толщина которого может достигать 0.05 мм. Кристаллический слой тентакулитид состоит из таблитчатых кристаллов кальцита псевдогексагональной или неправильной формы, перфорированных отверстиями. Микроструктура кристаллического слоя раковины тентакулитид может быть ламинарной, губчатой и псевдопористой. Своеобразным, но не обязательным элементом кристаллического слоя являются псевдопоры – микроскопические конические образования, формировавшиеся в результате изгиба кристаллических пластин [Дороднова, 1993]. Вторичная раковина может быть представлена слоем, который выстилает внутреннюю полость первичной раковины в виде перегородок, разделяющих проксимальную часть внутренней полости на камеры, или секреторными отложениями, которые выполняют внутреннюю полость в проксимальной и начале дистальной части раковины [Дороднова, 1993]. Все эти слои могут образовывать различные комбинации и меняться у одной особи. Основное отличие в строении стенки вторичной раковины от первичной – отсутствие псевдопор. Хорошая сохранность вытянутых конусовидных форм и произвольная ориентировка указывает на их поступление в момент существования еще вязкого неуплотненного осадка.

Другая группа ископаемых остатков интерпретируется как представители погонофор, в частности, вестиментифер. Об этом свидетельствует присутствие многочисленных стержнеподобных трубочек одинаковой направленности. Длина некоторых трубочек достигает 5–6 мм, а диаметр – 0.5 мм. Стенки изученных трубок могут представлять собой хитиновые трубки погонофор, замещенные тонкодисперсным гематитовым или гематит-кварцевым материалом, а полость трубочки чаще всего заполнена гематитом и/или прозрачным кварцем, гораздо реже сульфидами, баритом, железистым хлоритом и лейкоксеном [Аюпова, Масленников, 2013]. На томограмме хорошо видна микрослоистость, которая может отражать кольчатость трубок, что также свойственно погонофорам. С другой стороны, эта микрослоистость может отражать сегментацию тела полихет, что говорит в пользу их интерпретации как фоссилизированных остатков кольчатых червей (аннелид). Поскольку у всех кольчатых червей имеется вторичная полость или целом, который наблюдается в аншлифах и отражает начальные стадии его развития, в центре червей сохраняется кишка и две мезодермические полости по бокам – зачатки будущих целомических мешков (мезобласты). На полученных графических материалах эти трубочки окрашены в более темные тона по отношению к окружающей породе, хорошо просматривается наружная оторочка, что обусловлено разной плотностью материала, заместившего объекты, и вмещающей породы (рис.).

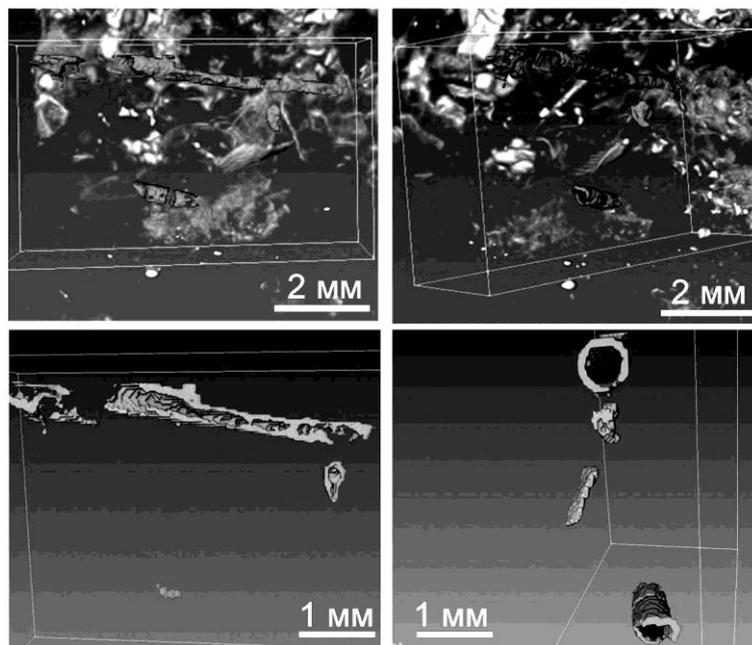


Рис. Томограммы трубчатой микрофауны по разным осям симметрии: а, б – положение внутри вмещающей породы; в, г – микрослоистость в продольном и поперечном изображениях.

Продольные срезы некоторых организмов и видимые в них структуры внутренней морфологии интерпретируются нами как сифон прямых головоногих моллюсков, а также округлое образование у проксимального конца, диагностируемое как протоконх бактритоидей [Шиманский, Журавлева, 1961]. При этом сравнимы не только морфология, но и размеры объектов, что весьма важно при сопоставимости в визуальном анализе.

Таким образом, полученные томографические данные существенно расширяют рамки нашего двухмерного восприятия шлифов и аншлифов. На томограммах по разным осям симметрии прослеживается изменение организма в трех плоскостях: его размеры, морфология, в том числе и внутренняя, положение внутри вмещающей породы и соотношение с другими ископаемыми остатками (см. рис.). Расположение, разрозненность и/или скопление тех или иных ископаемых организмов и их ориентация внутри вмещающей породы дают понимание о тафономических особенностях и условиях захоронения этой фауны, что весьма важно знать при определении положения фауны *in situ* и степени переноса ископаемого материала. Идентификация этих организмов в госсанитах важна для диагностики рудоконтролирующих горизонтов кремнисто-железистых отложений.

Работа выполнена в рамках государственной бюджетной темы Института минералогии УрО РАН «Минералогия и геохимия рудных и рудоносных фаций как отражение геологической истории палеогидротермальных систем».

Литература

- Аюпова Н. Р., Масленников В. В.* Биоморфные структуры в железисто-кремнистых отложениях колчеданоносных палеогидротермальных полей Урала // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 3. С. 486–504.
- Дороднова И. В.* Тентакулиты девона Закавказья. М.: Наука, 1993. 108 с.
- Масленников В. В.* Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.
- Шиловский О. П., Стаценко Е. О.* Предварительные данные исследования наутилоидей казанского яруса методом рентгеновской компьютерной томографии // Современные проблемы изучения головоногих моллюсков. Морфология, систематика, эволюция, экология и био-стратиграфия. М.: ПИН РАН, 2015. С. 133–135.
- Шиманский В. Н., Журавлева Ф. А.* Основные вопросы систематики наутилоидей и родственных им групп // Тр. Палеонтологического ин-та АН СССР. 1961. Т. 90. С. 1–175.
- Juniper S. K., Jonnasson I. R., Tunnicliffe V., Southward A. J.* Influence of tube building polychaete on hydrothermal chimney mineralization // *Geology*. 1992. Vol. 20. P. 895–898.
- Maslennikov V. V., Ayupova N. R., Herrington R. J., Danyushevskiy L. V., Large R. R.* Ferruginous and manganiferous haloes around massive sulphide deposits of the Urals // *Ore Geology Reviews*. 2012. Vol. 47. P. 5–41.

А. М. Гедз

*Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, г. Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
arandelix@gmail.com*

Перспективы использования сульфидных минералов в U-Th-He геохронологии колчеданных месторождений (научный руководитель О. В. Якубович)

Исторически считалось, что изотопные системы с использованием радиогенного гелия по причине его быстрой миграции в кристаллических структурах неприменимы в геохронологии. Однако исследования последних лет под руководством Ю. А. Шуколюкова показали возможность удержания гелия в течение геологического времени в самородных металлах – свойство высокой сохранности обнаружено для золота и минералов платиновой группы [Шуколюков и др., 2010; 2012]. Особый интерес вызвало обнаружение этого свойства в несамородных минералах, например, в сперрилите [Якубович и др., 2015]. Так появилось предположение о том, что схожие химически и кристаллографически сульфиды могут сохранять радиогенный гелий в течение геологического времени.

Цель работы – проверка гипотезы о высокой сохранности гелия в сульфидных минералах. Параметры миграции гелия определены методом ступенчатого отжига на масс-спектрометрическом комплексе МСУ-Г-01-М по методике [Шуколюков и др., 2012]. Объектом исследования стали пирит (FeS_2), халькопирит (CuFeS_2), пирротин ($\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$), теннантит ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) и борнит (Cu_5FeS_4) из Гайского ($\text{D}_{1\text{ems}}$), Узельгинского и Молодежного ($\text{D}_{2\text{eif}}$) колчеданных месторождений на Южном Урале. Образцы для исследований были предоставлены д.г.-м.н. И. В. Викентьевым (ИГЕМ РАН, г. Москва).