

УДК 56.016:563.1

Р. Р. Якупов, Е. О. Стаценко, А. М. Фазлиахметов

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХИТИНОЗОЙ

**Аннотация.** В результате изучения методом компьютерной рентгеновской томографии образцов с видимыми хитинозойми *Lagenochitina esthonica* Eisenack из среднеордовикских отложений сухолядской толщи (Восточно-Зилаирская зона, Южный Урал), получены томограммы скрытых в породе микрофоссилий. Хитинозои на полученных графических материалах уверенно опознаются, но их уплощенная форма и небольшие размеры позволяют установить лишь их родовую принадлежность.

**Ключевые слова:** рентгеновская компьютерная томография, хитинозои, методика.

### Введение

Хитинозои — мелкие (от 10 до 1500 мкм) органостенные микрофоссилии, впервые описанные А. Эйзенаком из эрратических валунов Прибалтики [Eisenack, 1931]. Наиболее часто они встречаются в тонкослоистых алевропелитовых породах и известняках, из которых извлекаются путем химической экстракции.

Хитинозои впервые появились в конце тремадокского века и вымерли в конце палеозоя, около 360 млн лет назад. Зональные стратиграфические шкалы по хитинозоям используются наравне с зональными шкалами, опирающимися на ортостратиграфические группы фауны — конодонты и граптолиты. Данное обстоятельство объясняет важность изучения хитинозой и возрастающий к ним интерес.

С момента открытия хитинозой для их описания и зарисовок применяется оптическая микроскопия в проходящем и отраженном свете. Внутреннее строение, с применением инфракрасной микроскопии, впервые было исследовано еще в 60-х годах XX века [Combaz, Roumout, 1962]. В конце 70-х началось массовое применение сканирующей электронной микроскопии для изучения морфологии и деталей строения хитинозой [Wrona, 1980; Paris, 1981; Schallreuter, 1981]. Появление в последние годы публикаций об успешном использовании рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) для изучения палеонтологических остатков [Пономаренко

и др., 2014; Журавлев, 2013; Фазлиахметов и др., 2014] определило цель данной работы — оценить возможности данного метода для поиска хитинозой внутри породы и их морфологического изучения.

### Материалы и методы

Для исследований были подготовлены образцы размером около 4×4×4 мм, представленные кремнистыми тонкоплитчатыми алевролитами сухолядской толщи из разреза Бусов Восточно-Зилаирской зоны Южного Урала [Якупов и др., 2002]. Крупные уплощенные везикулы *Lagenochitina esthonica* Eisenack хорошо видны на поверхностях напластования. Их среднее содержание, установленное при химической экстракции, превышает 10 экземпляров на один грамм породы [Якупов, 2009]. Эти обстоятельства позволили провести томографию микрофоссилий, расположенных на поверхности образцов, и ожидать с высокой степенью вероятности их нахождения внутри породы.

Съемка проводилась Е.О. Стаценко с помощью нанофокусной трубки компьютерного рентгеновского томографа Phoenix V|tome|XS 240 в Институте геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета. Использовалось ускоряющее напряжение 100 кВ и ток 135 мА. Разрешение съемки составило 5,9 мкм (объем одного вокселя).

### Результаты и обсуждение

Хитинозои, находящиеся на поверхности образцов и видимые невооруженным глазом, на полученных томограммах не проявлены. Однако не-

сколько экземпляров обнаружено внутри породы (рис. 1). Они уплощены и ориентированы параллельно напластованию. Таким образом, форма везикул может быть изучена на срезах, ориентированных только в этом направлении. На сечениях поперек слоистости хитинозою отвечает тонкая, практически незаметная линзочка, не дающая полезной информации. Можно предположить, что данные ограничения будут отсутствовать при исследовании неуплощенных везикул, внутренний объем которых заполнен либо осадочным материалом, либо сульфидами, например фрамбоидальным пиритом [Yakurov, 2011].

Детальность томограмм и качество изображения исследуемых объектов зависит от нескольких параметров: размер образца, размер объекта исследований, заключенного в породе, разница плотности веществ, слагающих объект исследований и окружающую его породу. В общем случае, чем меньше образец, чем больше объект исследований и чем больше разница плотностей на границе породы – объект, тем качественнее и детальнее будет томограмма.

На полученных графических материалах хитинозы окрашены в тона, более темные по отноше-

нию к окружающей породе. Это указывает на относительно более низкую плотность слагающего их вещества. Учитывая наличие внутри хитинозой участков с цветотонам, близким к окружающей массе, разница плотностей невелика. Данный вывод подтверждается при анализе объемных изображений (рис. 2), где видно, что в окружающей породе есть участки по плотности близкие веществу, слагающему хитинозою. Еще одной причиной искажений является крайне малая толщина везикул, сопоставимая с разрешающей способностью РКТ при заданных параметрах съемки и размерах образцов.

### Выводы

По полученным томограммам возможно определить таксономическую принадлежность хитинозой до рода.

Качество изображения хитинозой плохое. При увеличении размера образца и, следовательно, при снижении детальности (разрешения) съемки, хитинозой визуализироваться, по всей видимости, не будут. Таким образом, для поиска и изучения уплощенных везикул максимальный размер сечения образца не должен превышать 4×4 мм.

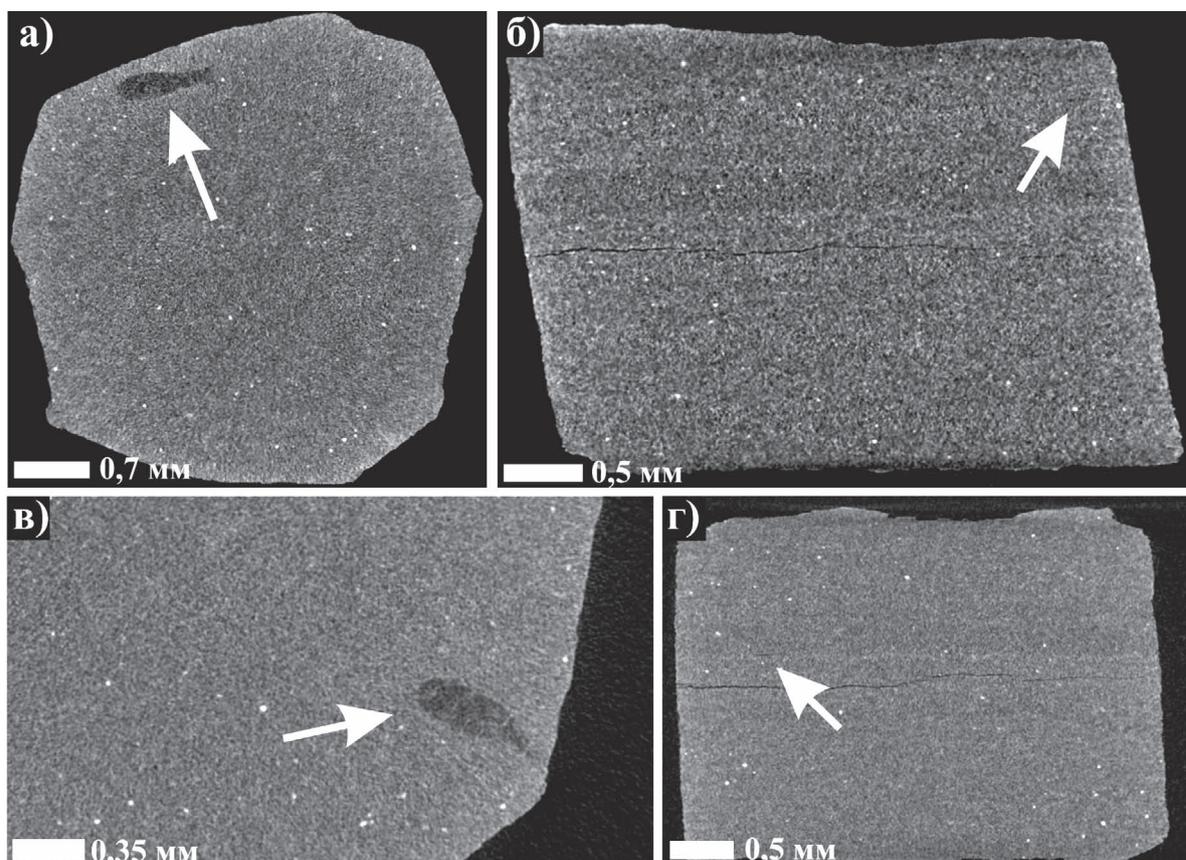


Рис. 1. Томографические срезы хитинозой *Lagenochitina* sp. параллельно (а, в) и перпендикулярно (б, г) напластованию

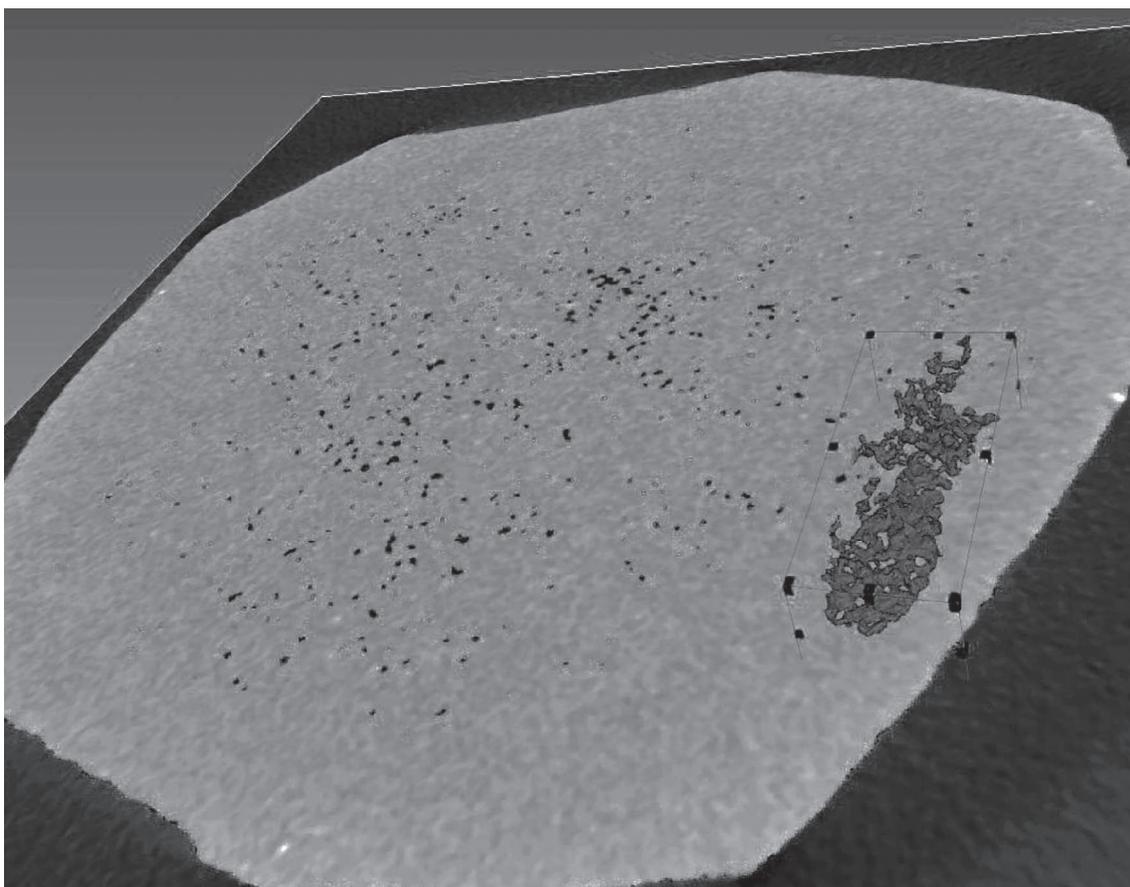


Рис. 2. Объемное томографическое изображение хитинозой *Lagenochitina* sp.

Уп্লощенные хитинозой ориентированы параллельно напластованию. Следовательно, в томографических срезах, ориентированных в этом направлении, вероятность обнаружить плоских хитинозой максимальна.

Метод РКТ для поиска и изучения уплощенных хитинозой внутри породы существенно уступает методу кислотной дезинтеграции. Вероятно, томография объемных везикул позволит достичь лучших результатов.

Практический интерес может представлять поиск хитинозой по томографическим материалам образцов, съемка которых проведена с иной целью (изучение структуры породы, трещиноватости и др.), либо при изучении образцов в тех случаях, когда важно по небольшому объему породы установить ее возраст и вещественный состав.

*Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант № 14-05-31271).*

#### Литература:

**Журавлев А.В.** Возможности использования компьютерной микротомографии для изучения конодонтовых элементов // Литосфера. – 2013. – № 2. – С. 163–166.

**Пономаренко Е.С., Стаценко Е.О., Уразаева М.Н.** Гидрозойная интерпретация Palaeoplesina (проблематика) на основе строения системы каналов // Палеонтологический журнал. – 2014. – № 2. – С. 20–25.

**Фазлиахметов А.М., Стаценко Е.О., Храменков Э.М.** О применении рентгеновской компьютерной томографии при изучении конодонтов // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: Матер. II Всерос. молодежной геол. конференции, Уфа, окт. 2014 г. – Уфа: ДизайнПресс, 2014. – С. 174–177.

**Якупов Р.Р.** Хитинозой ордовика западного склона Южного Урала // Новости палеонтологии и стратиграфии: Приложение к журналу «Геология и геофизика». Вып. 12. / Под ред. А.В. Каныгина и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – Т. 50. – С. 11–27.

**Якупов Р.Р., Мавринская Т.М., Абрамова А.Н.** Палеонтологическое обоснование схемы стратиграфии палеозоя северной части Зилаирского мегасинклинория. – Екатеринбург, 2002. – 158 с.

**Combaz A., Poumout C.** Observation sur la structure des Chitinozoaires // Review micropaleontology. – 1962. – V. 5, No 3. – P. 146–150.

**Eisenack A.** Neue Mikrofossilien des baltischen Silurs. I. // Paleontologische Zeitschrift. – 1931. – V. 13. – P. 74–118.

**Paris F.** Les Chitinozoaires dans le Paleozoique du sud-ouest de l'Europe (Cadre geologique – etude systematique – biostratigraphie) // Memoire de la Societe geologique et mineralogique de Bretagne. – 26. – 1981. – 496 p.

**Schallreuter R.** Chitinozoen aus dem Sularpschieffer (Mittelordoviz) von Schonen (Schweden) // Palaeontographica B. – 1981. – V. 178. – P. 89–142.

**Wrona R.** Microarchitecture of the chitinozoan vesicles and its paleobiological significance // Acta Palaeontologica Polonica. – 1980. – V. 25, № 1. – P. 123–163.

**Yakupov R.R.** Ordovician chitinozoa of South Ural, ecology and paleobiogeography // Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology: Proceedings of the 6-th Intern. conf. Sept. 19–22. – M., 2011. – P. 311–313.

*Сведения об авторах:*

**Якупов Рустем Раулевич**, Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук (ИГ УНЦ РАН), г. Уфа. E-mail: stpal@ufaras.ru.

**Стаценко Евгений Олегович**, Институт геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета. E-mail: e.statsenko@yahoo.com.

**Фазлиахметов Александр Маратович**, Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук (ИГ УНЦ РАН), г. Уфа. E-mail: famrb@mail.ru.

**APPLICATION OF X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY  
FOR CHITINOZOANS RESEARCH**

*R.R. Yakupov, E.O. Statsenko, A.M. Fazliakhmetov*

**Yakupov Rustem Raulevitch**, Institute of geology of the Ufimian scientific centre RAS, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation. E-mail: stpal@ufaras.ru.

**Statsenko Evgeny Olegovich**, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation. E-mail: e.statsenko@yahoo.com.

**Fazliakhmetov Alexander Maratovich**, Institute of geology of the Ufimian scientific centre RAS, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation. E-mail: famrb@mail.ru.

**Abstract.** A computed tomography study of the samples with visible chitinozoans *Lagenochitina esthonica* Eisenack, from Ordovician sediments Sukholyadskaya sequence (East Zilair zone, Southern Urals), obtained tomograms of microfossils hidden in the rock. Chitinozoans are recognized confidently in acquired graphical materials, but their flattened shape and small size allow to establish only their tribal affiliation.

**Keywords:** X-ray computer tomography, chitinozoans, methods.