

Russian Academy of Sciences
Paleontological Society of the Russian Academy of Sciences
A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute
Borissiak Paleontological Institute of Russian Academy of Sciences

PROCEEDINGS
OF THE PALEONTOLOGICAL SOCIETY

VOLUME III

Moscow PIN RAS
2020

Российская академия наук
Палеонтологическое общество при Российской академии наук
Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
им. А.П. Карпинского
Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка Российской академии наук

ТРУДЫ
ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

ТОМ III

Москва ПИН РАН
2020

ISBN 978-5-903825-47-9

УДК 56:55

Труды палеонтологического общества. Том III.

Отв. ред. С.В. Рожнов. М.: ПИН РАН, 2020. 160 с. (53 ил., 6 текст.-табл., 7 фототабл.).

В сборнике 14 статей по докладам, представленным на LXV сессии Палеонтологического общества при РАН. Сессия «Морфологическая эволюция и стратиграфические проблемы» прошла 1-5 апреля 2019 г. в Санкт-Петербурге. Обсуждается широкий круг актуальных вопросов палеонтологии и стратиграфии. Рассматриваются новые данные по морфологии фораминифер, мшанок, брахиопод, трилобитов, полученные с помощью рентгеновской компьютерной микротомографии. Рассмотрены вопросы стратиграфии ордовика и силура Урала, венда Сибирской платформы и палеоклиматологии. Большое внимание уделено истории палеонтологических исследований. Представляет интерес для стратиграфов, палеонтологов и биологов.

Редакционная коллегия:

А.С. Алексеев, Т.Н. Богданова, Э.М. Бугрова, А.В. Дронов,
М.В. Ошуркова, Е.Г. Раевская, С.В. Рожнов, А.А. Суяркова,
Т.Ю. Толмачева, А.Г. Федяевский

Ответственный редактор С.В. Рожнов

Proceedings of Paleontological society. Volume III.

Ed. S.V. Rozhnov. M.: PIN RAS, 2020. 160 p. (53 ill., 6 text-tables, 7 plates).

The volume includes 14 papers prepared on the base of scientific reports presented at the LXV session of the Paleontological Society of RAS «Integrative paleontology: prospects for development in geological purposes», April 1-5, 2019, St. Petersburg. A wide range of actual problems in paleontology and stratigraphy are discussed. We consider new data on the morphology of foraminifera, bryozoans, brachiopods, trilobites, obtained using x-ray computer microtomography. The issues of stratigraphy of the Ordovician and Silurian of the Urals, the Vendian of the Siberian Platform and paleoclimatology are considered. Much attention is paid to the history of paleontological research. It is of interest to stratigraphists, paleontologists and biologists.

Editorial Board:

A.S. Alekseev, T.N. Bogdanova, E.M. Bugrova, A.V. Dronov,
M.V. Oshurkova, E.G. Raevskaya, S.V. Rozhnov, A.A. Suyarkova,
T.Yu. Tolmacheva, A.G. Fedyaevskiy

Editor S.V. Rozhnov



ISBN 978-5-903825-47-9

© Российская академия наук
© Палеонтологическое общество при РАН
© ПИН РАН, 2020
© А.А. Ермаков (обложка)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРДОВИКСКИХ И ПЕРМСКИХ МШАНОК МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ

А.В. Коромыслова¹, П.В. Федоров², З.А. Толоконникова^{3,4}

¹Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

³Кубанский государственный университет, Краснодар

⁴Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань
koromyslova.anna@mail.ru

В статье представлены результаты исследования палеозойских мшанок из отрядов *Esthonioporata*, *Trepostomata*, *Cryptostomata* и *Fenestrata* методом рентгеновской компьютерной микротомографии (РКМ). Было изучено восемь колоний мшанок из дапинского яруса (средний ордовик) Ленинградской области и четыре колонии из казанского яруса (пермь) Самарской области. Колонии мшанок дополнительно изучались на сканирующем электронном микроскопе и в прозрачных ориентированных шлифах для сравнения результатов, полученных с помощью РКМ. Показаны преимущества и недостатки РКМ перед другими методами исследования палеозойских мшанок.

ВВЕДЕНИЕ

Мшанки – это колониальные преимущественно морские беспозвоночные животные, обитающие в морских бассейнах начиная с раннего ордовика и до настоящего времени. Внутреннее строение ископаемых мшанок традиционно изучают с помощью прозрачных ориентированных шлифов. Рентгеновская компьютерная микротомография (РКМ) – перспективный метод исследования мшанок, который является неразрушающим, позволяет получить тысячи виртуальных срезов в разных плоскостях и создавать трехмерные изображения колоний. К настоящему времени РКМ использовалась при изучении ордовикских (Fedorov et al., 2017; Fedorov, Koromyslova, 2019), каменноугольных (Wyse Jackson, McKinney, 2013), юрских (Вискова, Пахневич, 2010), меловых (Коромыслова, Пахневич, 2016; Koromyslova et al., 2018, 2019а, 2) и современных (Schmidt, 2013; Matsuyama et al., 2015; Jacob et al., 2019) мшанок.

Цель данной работы – продемонстрировать возможности метода РКМ для изучения морфологии палеозойских мшанок, которая является основополагающей для рассмотрения вопросов их систематики и эволюционного развития.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Ордовикские мшанки были собраны из разреза Симанковского «геккерова горба», расположенного на правом берегу р. Волхов у дер. Симанково в Ленинградской области. «Геккерова горбы» – это карбонатно-глиняные иловые холмы, различного размера и строения, сформировавшиеся при накоплении глауконитовых известняков на территории Восточно-Европейской платформы в первой половине ордовика (Fedorov, 2003). Стратиграфический диапазон распространения крупного Симанковского «геккерова горба» соответствует дапинскому ярусу среднего ордовика и охватывает интервал от поверхности твердого дна, так называемого «стекла», внутри пачки дикарей (ВІа) волховской свиты, до низов пачки желтяков (ВІб) этой же свиты.

Фрагменты колоний рассматриваемых далее пермских мшанок собраны на окраинах сел Камышла, Татарский Байтуган и Чувашский Байтуган, в бассейне р. Сок, Самарская область. Опробованные на мшанки отложения относятся к немдинскому горизонту (конодонтонная зона *Kamagnathus khalimbadzhae*) казанского яруса (биарминский отдел, пермь).

Колонии мшанок сканировали с помощью рентгеновского компьютерного микротомографа Skyscan 1172 (Bruker Corporation) в Центре рентгеноструктурных дифракционных исследований Ресурсного парка Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург. Фильтр не использовался, напряжение для анализа составляло 74 кВ, а ток был равен 133 мА. Образцы поворачивались на 180° во время исследования, угол поворота составлял 0.7°. Экспозиция составила 1010 мс. Для каждого образца было создано 770 виртуальных срезов. Виртуальные трехмерные модели поверхностей колоний были построены на основе двумерных данных. Данные РКМ были обработаны с использованием программ CTVox и DataViewer. Для сравнения результатов, полученных методом РКМ, мшанки исследовались на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ). СЭМ проводилось в Центре микроскопии и микроанализа того же Ресурсного парка, где использовался сканирующий электронный микроскоп Tabletop TM 3000 (Hitachi) и Центре нанотехнологий Кубанского государственного университета, Краснодар, на сканирующем электронном микроскопе JSM-7500F. Из некоторых образцов, для уточнения внутренней структуры колоний, были изготовлены традиционные прозрачные ориентированные шлифы в Палеонтологическом институте им. А.А. Борисяка (ПИН РАН), Москва, и в Кубанском государственном университете, Краснодар. Шлифы изучались и фотографировались с использованием стереомикроскопов Leica M165C и Altami PS0745.

Изученный материал хранится в Лаборатории высших беспозвоночных ПИН РАН, № 5075, и геологическом музее Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ), № 12.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ордовикские мшанки. Ранее методом РКМ были изучены колонии древнейших мшанок Балтоскандии, размером менее 5 мм (ранний ордовик, хуннебергский горизонт, конодонтонная зона *Paroistodus proteus*, Ленинградская область) (Fedorov et al., 2017; Fedorov, Koromyslova, 2019). Ниже приведены результаты исследования среднеордовикских (дапинских) мшанок из Симанковского «геккерова горба». Изученные мшанки селились на раковинах брахиопод, были свободнлежащими или крепились, предположительно, к спикулам губок и имеют размеры 1.0–15 мм. Методом РКМ было изучено восемь колоний, размером до 5.0 мм. Среди них представители отряда *Esthonioporata* – виды *Revalotrypa gibbosa* Bassler, 1911 (1 экз.) (рис. 1, a–d), *R. papillaris* (Modzalevskaya,

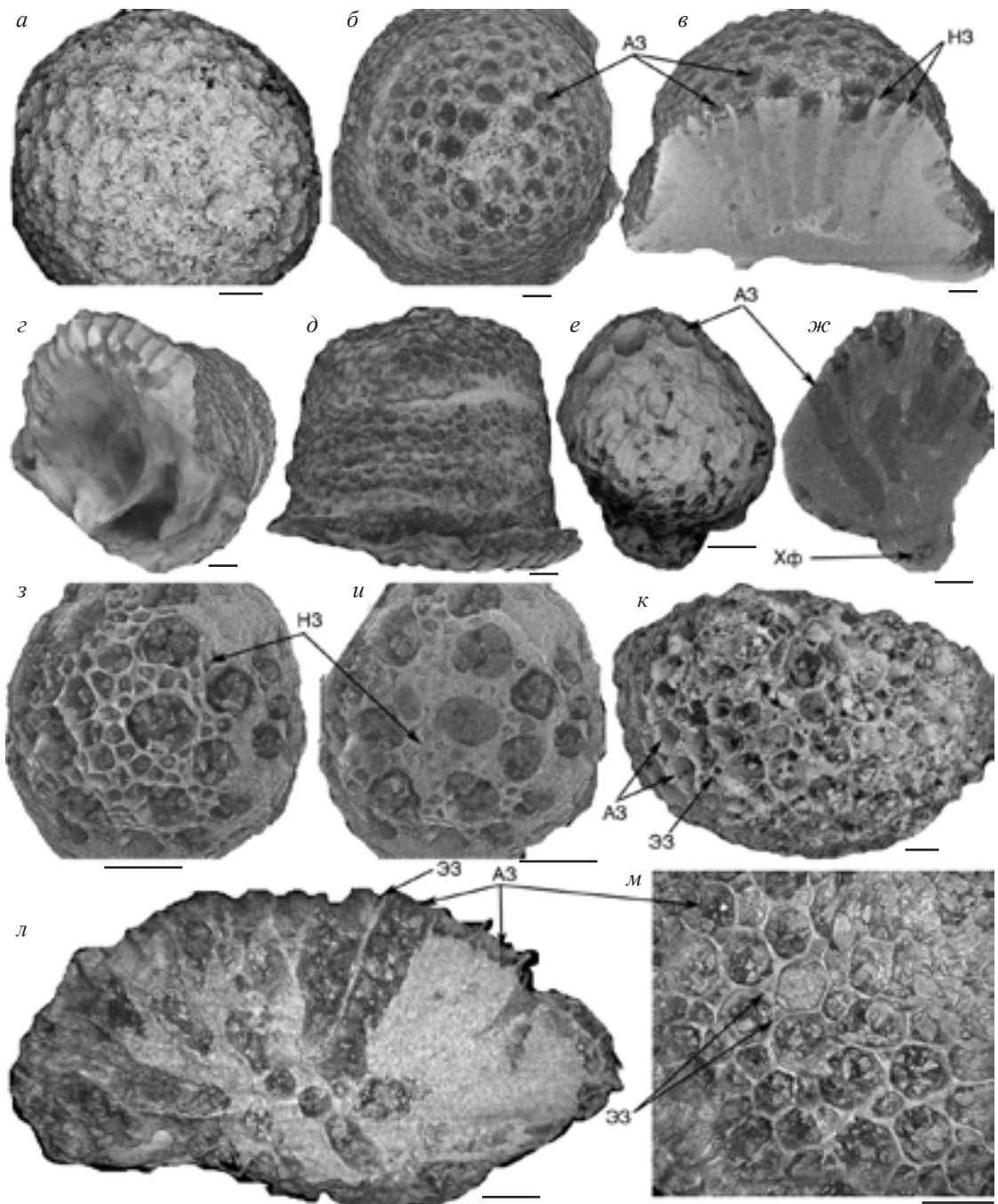


Рис. 1. Колонии мшанок *Revalotrypa* Bassler, 1952 и *Monotrypa* Nicholson, 1879 из среднего ордовика (даппин, волховский горизонт), Симанковский «геккерев горб», Ленинградская область. *а–д* – *Revalotrypa gibbosa* (Bassler, 1911), экз. ПИН, № 5075/2001: *а* – вид колонии сверху, СЭМ, *б* – вид колонии сверху, РКМ, *в* – РКМ реконструкция внешней поверхности колонии и продольного среза, *г* – брахиопода, послужившая субстратом для колонии, РКМ, *д* – вид колонии сбоку, РКМ; *е–и* – *Revalotrypa papillaris* (Modzalevskaya, 1953), экз. ПИН, № 5075/2002: *е* – вид колонии сбоку, СЭМ, *ж* – продольный срез, РКМ, *з* – вид колонии сверху, РКМ, *и* – тангенциальный срез, РКМ; *к–м* – *Monotrypa* sp., экз. ПИН, № 5075/2003: *к* – вид колонии сверху, СЭМ, *л* – продольный срез, РКМ, *м* – внешняя поверхность колонии, РКМ. Условные обозначения: АЗ – автозооций, НЗ – неозооций, ЭЗ – эксилязооций, Хф – холдфаст. Масштабная линейка 500 μ m.

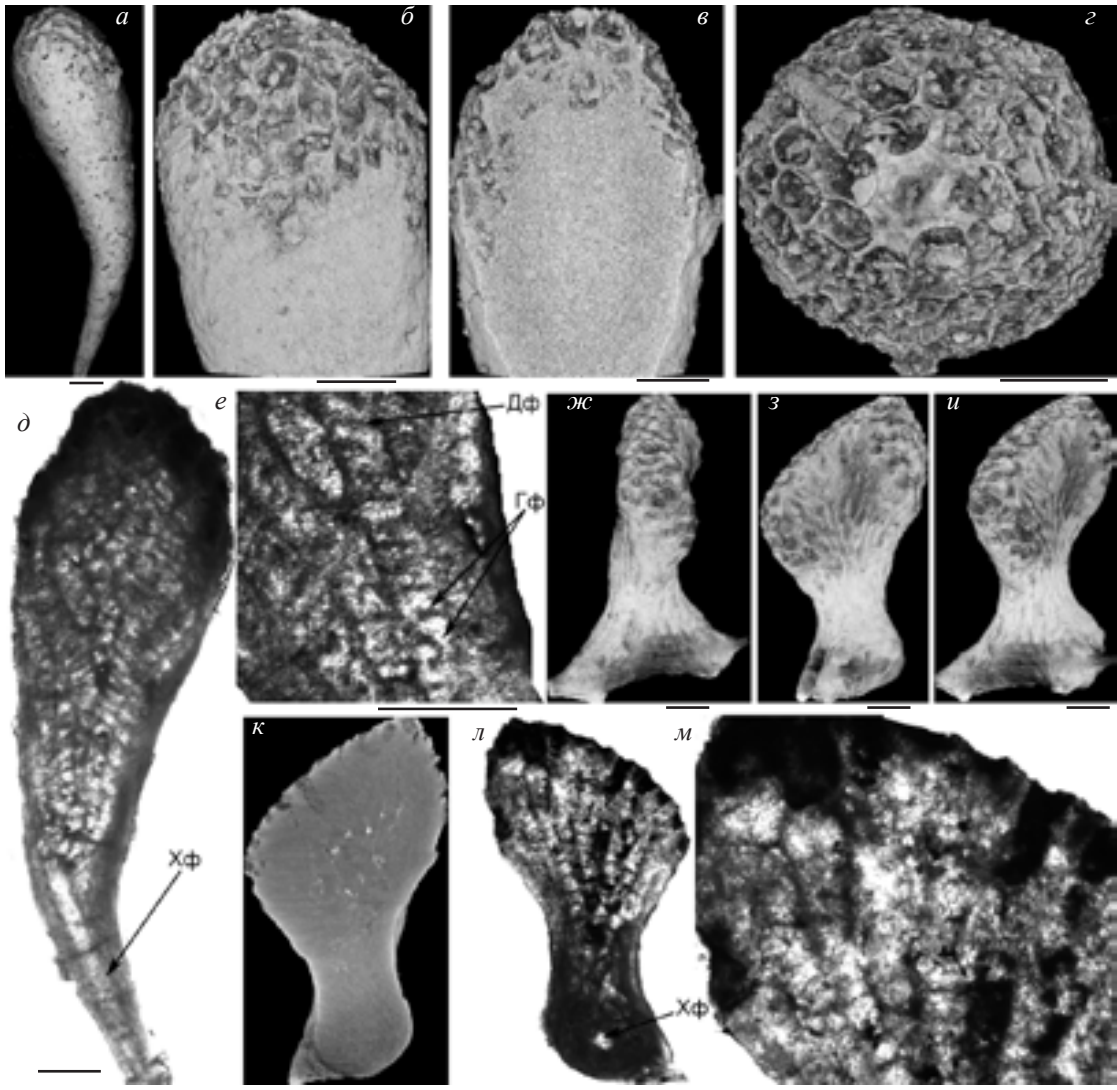


Рис. 2. Колонии мшанок *Esthoniopora clara* Koromysova, 2011 из среднего ордовика (дапин, волховский горизонт), Симанковский «геккерс горб», Ленинградская область. *a–e* – экз. ПИН, № 5075/2004: *a* – вид колонии сбоку, СЭМ, *б* – вид колонии сбоку, РКМ, *в* – продольный срез, РКМ, *г* – вид сверху, РКМ, *д* – продольный срез в шлифе, *е* – увеличенный участок продольного среза в шлифе; *ж–м* – экз. ПИН, № 5075/2005: *ж–и* – РКМ реконструкции внешнего вида колонии: *к* – продольный срез, РКМ, *л* – продольный срез в шлифе, *м* – увеличенный участок продольного среза в шлифе. Условные обозначения: Гф – гемифрагма, Дф – диафрагма, Хф – холдфаст. Масштабная линейка 500 μm .

1953) (1 экз.) (рис. 1, *e–u*) и *Esthoniopora clara* Koromysova, 2011 (3 экз.) (рис. 2), отряда Trepostomata – вид *Monotrypa* sp. (1 экз.) (рис. 1, *к–м*) и отряда Cryptostomata – ?*Prophylodictya* sp. (2 экз.) (рис. 3).

Колонии мшанок *R. gibbosa*, *R. papillaris* и *Monotrypa* sp. характеризуются очень редкими диафрагмами в автозооэциях и их отсутствием в неозооэциях (род *Revalotrypa*) (рис. 1, *a–u*) и эксилязооэциях (род *Monotrypa*) (рис. 1, *к–м*). Мшанка *R. gibbosa* обрастала раковину брахиоподы (рис. 1, *г*), тогда как колония вида *R. papillaris* имеет в своем основании холдфаст – прикрепительную структуру, охватывающую длинный цилиндриче-

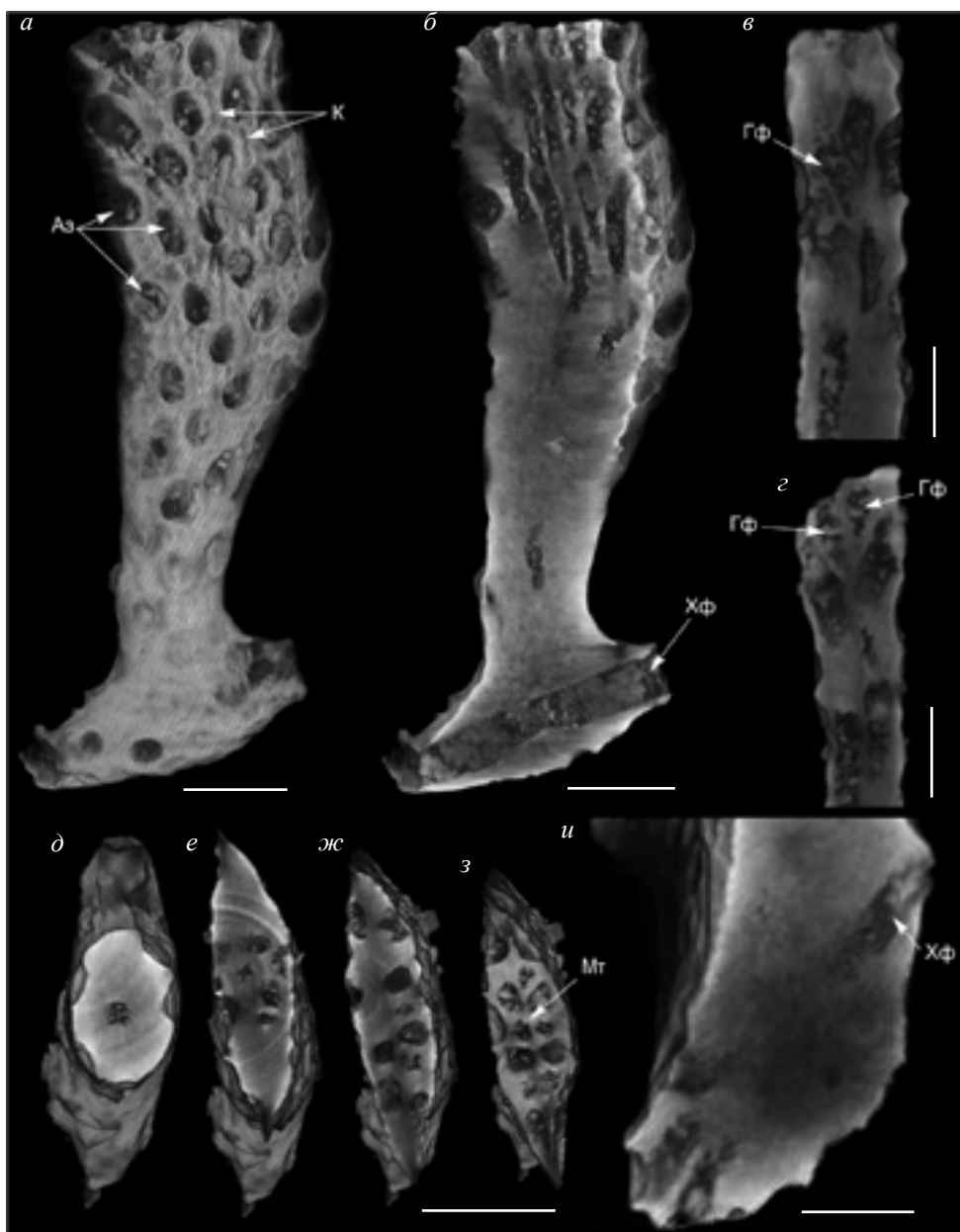


Рис. 3. РКМ реконструкции колоний мшанок *Prophyllodictya* sp. из среднего ордовика (дапин, волховский горизонт), Симанковский «геккерев горб», Ленинградская область. *a–з* – экз. ПИН, № 5075/2006: *a* – вид колонии сбоку, *б* – продольный срез параллельно широкой поверхности колонии; *в–г* – продольные срезы параллельно узкой поверхности колонии; *д–з* – последовательность поперечных срезов; *и* – экз. ПИН, № 5075/2007, продольный срез через холдфаст. Условные обозначения: АЗ – автозооций, Гф – гемифрагма, К – капилляр, Мг – мезотека. Хф – холдфаст. Масштабная линейка 500 μm (*a, б, д, е, ж, з*), 250 μm (*в, г, и*).

ский объект округлого сечения (рис. 1,ж), что, вероятно, свидетельствует о креплении этой колонии к спикуле губки. Мшанка *Monotrypa* sp., очевидно, была свободнолежащей или обрастала очень маленький объект, например тонкую спикулу (рис. 1,л). С помощью РКМ были построены трехмерные модели колоний этих мшанок (рис. 1,б–д, з,

м), которые по качеству и информативности превосходят изображения, сделанные на СЭМ (рис. 1,а, е, к). На основании РКМ реконструкций продольных и тангенциальных срезов, несмотря на то, что внутренние полости зооэциев заполнены микритом, внутреннее строение колоний выявлено без применения шлифов (рис. 1,в, ж, и, л).

Колонии мшанок *E. clara* состоят из автозооэциев, внутренние полости которых пересечены частыми диафрагмами и гемифрагмами (рис. 2). Очевидно, эти мшанки обрастали спиккулы губок, так как на их срезах наблюдаются холдфасты, крепившиеся к единичным спиккулам (рис. 2,д, л), а на поверхности базальной части – множественные тонкие трубчатые выступы, вероятно, служившие для прикрепления к группе мелких спиккул (рис. 2,ж, з, и). С помощью РКМ были построены трехмерные модели колоний этого вида (рис. 2,б, г, ж, и), которые превосходят по качеству и информативности СЭМ изображения (рис. 2,а). Автозооэциии *E. clara* почти полностью заполнены микритом и на РКМ реконструкциях (рис. 2,в, к) внутреннее строение этих мшанок просматривается только вблизи их поверхности. В тоже время в шлифах, которые были сделаны из этих колоний, четко видны автозооэциии, диафрагмы и гемифрагмы (рис. 2,д, е, л, м). Сравнивая результаты РКМ реконструкций видов *R. gibbosa*, *R. papillaris*, *Monotrypa* sp. и *E. clara*, можно сделать вывод, что на их информативность влияет не только степень заполненности зооэциев микритом, но также и внутренняя морфология зооэциев. В данном случае, частые диафрагмы и гемифрагмы, пересекающие полости автозооэциев у вида *E. clara*, привели к отсутствию контраста между скелетом зооэциев и микритом. Очевидно, бóльшая информативность шлифов связана с тем, что при шлифовании происходит вымывание микрита из междиафрагмных полостей автозооэциев.

Колонии мшанок *?Prophyllodictya* sp. уплощенно стержневидные с холдфастами (рис. 3,б, и). На РКМ реконструкциях внешней поверхности, которая заменила СЭМ, видны апертуры автозооэциев и расположенные вокруг них в один ряд, реже в два, отверстия капилляров (рис. 3,а). Во внутренней полости автозооэциев были обнаружены гемифрагмы (рис. 3,в, з). На РКМ реконструкциях поперечных срезов, идущих вверх от основания колонии, была предпринята попытка отследить момент появления мезотеки (рис. 3,д, з). К сожалению, сохранность колонии не позволила выявить детали ее морфологии на ранней стадии роста. Тем не менее, на срезах видно, что на этой стадии у мшанок *?Prophyllodictya* sp. отсутствуют мезотека и билатеральное расположение автозооэциев (рис. 3,д, е), которые просматриваются на более поздней стадии (рис. 3,ж, з). Подобная картина развития колоний была описана ранее для мшанок *Prophyllodictya intermedia* Gorjunova (Gorjunova, Lavrentjeva, 1987). Однако авторами исследование астогенеза проводилось на колонии размером примерно 3 см, из которой было изготовлено несколько последовательных поперечных шлифов (Горюнова, Лаврентьева, 1987).

Пермские мшанки. Изначально среднепермские мшанки Самарской области были изучены с помощью прозрачных ориентированных шлифов и СЭМ (Толоконникова, Волкова, 2018; Tolokonnikova, in press). Качественная и количественная характеристика внутренних микроструктур исследовалась по ориентированным шлифам, тогда как СЭМ позволил изучить внешнее строение колоний. В данной статье приведены первые результаты исследования пермских мшанок бассейна р. Сок с применением метода РКМ по четырем колониям.

Для мшанок *Dyscritella spinigeriformis* Morozova, 1970 (рис. 4,б, в) и *D. incrustata* Morozova, 1970 (рис. 4,а, з) из отряда Trepostomata характерны ветвистые, шаровидные, веретеновидные или однослойные инкрустирующие колонии, с обилием хаотично расположенных крупных и мелких акантоцилий.

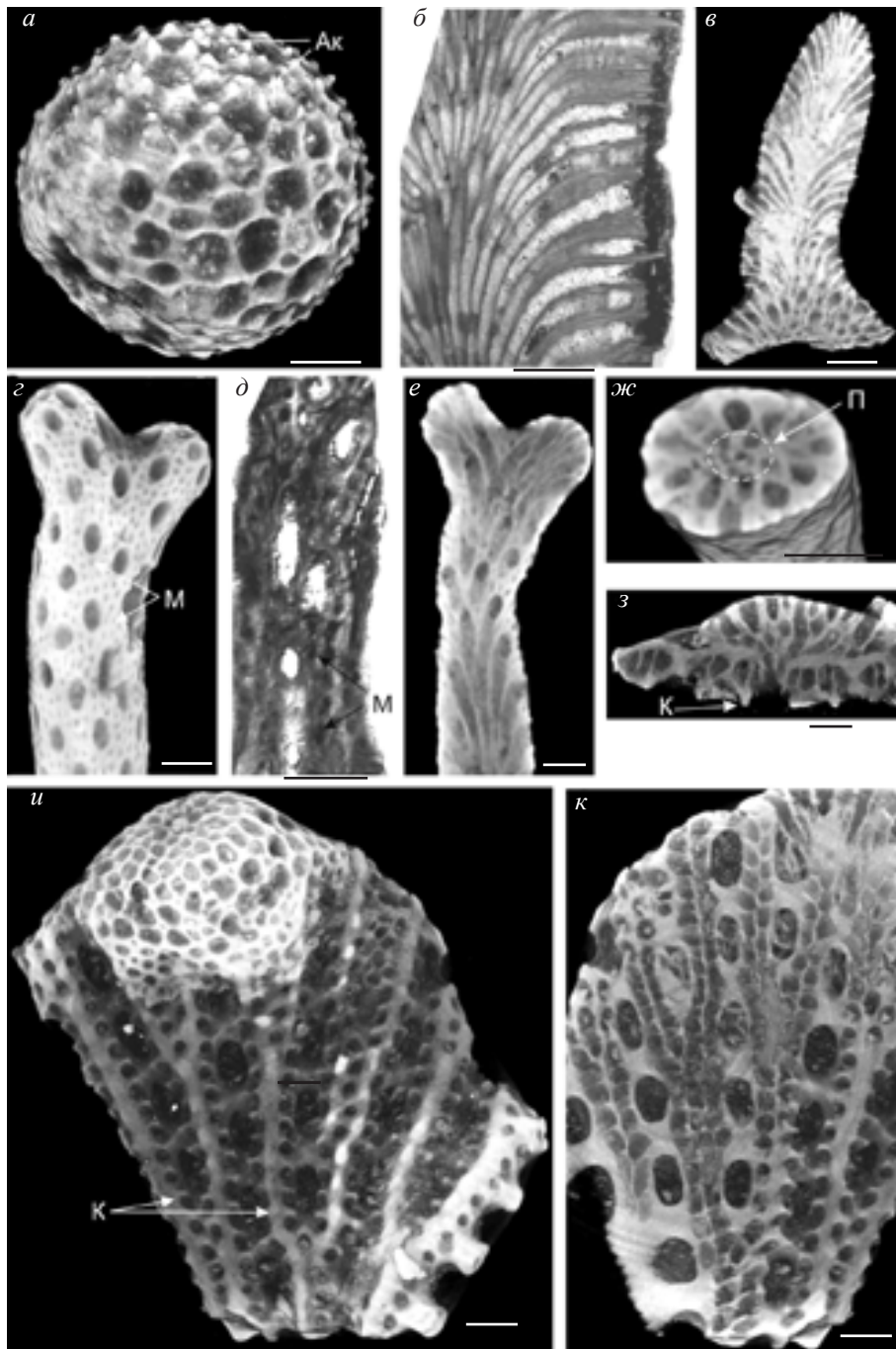


Рис. 4. Колонии среднепермских мшанок (казанский ярус, немдинский горизонт) бассейна р. Сок, Самарская область. а – *Dyscritella incrustata* Morozova, 1970, экз. СибГИУ, № 12/17.13, массивная колония с крупными акантостилиями, РКМ; б–в – *Dyscritella spinigeriformis* Morozova, 1970, б – участок продольного сечения ветвистой колонии в шлифе, экз. СибГИУ, № 12/16.1, в – продольный срез ветвистой колонии, РКМ, экз. СибГИУ, № 12/16.20; г–ж – *Streblotrypa (Strebloscopora) fasciculata* (Bassler, 1929): г – тонковетвистая колония, РКМ, экз. СибГИУ, № 12/19.2, д – участок тангенциального сечения в шлифе, экз. СибГИУ, № 12/19.1, е – продольный срез, РКМ, экз. СибГИУ, № 12/19, ж – поперечный срез, РКМ, экз. СибГИУ, № 12/19.2; з–к – *Wjatella wjatkensis* (Netschajev, 1894): з – поперечный срез колонии с продольным срезом *Dyscritella incrustata*, РКМ, экз. СибГИУ, № 12/20.5, и – воронковидная колония с инкрустирующей колонией *Dyscritella incrustata*, РКМ, экз. СибГИУ, № 12/20.5, к – тангенциально-продольный срез колонии, РКМ, экз. СибГИУ, № 12/20.5. Условные обозначения: Ак – акантостили, Д – диафрагма, К – киль, М – метазооции, П – пучок первичных зооциев. Масштабная линейка 1 мм (в); 500 μ m (а, б, г, е, ж, з, и, к); 200 μ m (д).

Сравнение РКМ реконструкций и ориентированных шлифов показало меньшую степень информативности РКМ. Это можно связать с близким минеральным составом стенок зооциев и заполняющего их полость вещества, что снизило контрастность виртуальных срезов и в результате детальность описаний элементов колонии.

Для тонких веточек мшанки *Streblotrypa (Streblascopora) fasciculata* (Bassler, 1929) из отряда *Cryptostomata*, диаметром 0.72–0.90 мм, в шлифах не удалось четко проследить строение всех значимых микроструктур (рис. 4,д). С помощью РКМ построены виртуальные модели, отражающие обильные метазооциии, пучок первичных зооциев и удлиненные автозооциии (рис. 4,г, е, ж).

Мшанке *Wjatkella wjatkensis* (Netschajew, 1893) из отряда *Fenestrata* свойственны воронкообразные колонии с защитной сеткой, образованной за счет килевых выростов и выростов на перекладинах, которая редко сохраняется в ископаемом состоянии из-за своей хрупкости. В шлифах разрастание килей не было встречено. РКМ показал их расширение (рис. 4,з, и), а также многоугольные камеры автозооциев (рис. 4,к).

ОБСУЖДЕНИЕ

При традиционном изучении внутреннего строения палеозойских мшанок в шлифах необходимы строго ориентированные срезы их колоний, сделанные в двух или трех направлениях. Из колонии размером до 10 мм обычно можно сделать два ориентированных шлифа, чаще только один. В тоже время РКМ дает возможность сделать достаточное количество срезов колонии в любых необходимых направлениях, независимо от ее размеров и не разрушить ее. Метод РКМ является незаменимым при исследовании единичного материала и, в случае, если требуется детальное изучение внутреннего строения колоний, в том числе исследование астогенеза. При хорошей сохранности колоний мы получаем максимально полную информацию, как о внешнем, так и о внутреннем строении колоний, а также сохраняем редкий материал. В случае если зооциии мшанок заполнены микритом, в результате чего на томографических срезах наблюдается низкий контраст между микритом и стенками зооциев, возможен комплексный подход к исследованию материала с использованием РКМ, СЭМ и прозрачных ориентированных шлифов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование ранне- и позднепалеозойских мшанок с помощью РКМ показало неоспоримые преимущества рассматриваемого метода по сравнению с классическими. Метод РКМ является неразрушающим. Он позволяет: (1) получить тысячи виртуальных срезов колоний мшанок в любом выбранном направлении, а также строить их трехмерные модели, (2) провести комплексное исследование внешних и внутренних морфологических элементов колоний и получить в целом максимально полную картину строения колонии, (3) изучать последовательность изменения морфологических структур в астогенезе колоний. Недостатком РКМ является ограниченная возможность использования этого метода при плохой сохранности материала.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проекты №№ 18-05-00245-А, 18-04-01046-А), частично за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

ЛИТЕРАТУРА

- Вискова Л.А., Пахневич А.В. Новая сверлящая мшанка из средней юры Московской области и ее микротомографическое исследование // Палеонтол. журн. 2010. № 2. С. 38–46.
- Горюнова Р.В., Лаврентьева В.Д. Новый род *Prophyllodictya* – древнейший представитель криптостомидных мшанок // Палеонтол. журн. 1987. № 1. С. 41–51.
- Коромыслова А.В., Пахневич А.В. Новые виды *Pachydermopora* Gordon, 2002 и *Beisselina* Canu, 1913 (Bryozoa: **Cheilostomida**) из кампанского отторженца Белоруссии и их микротомографическое исследование // Палеонтол. журн. 2016. № 1. С. 40–50.
- Толоконникова З.А., Волкова В.В. Среднепермские мшанки Самарской области // В.М. Подобина (ред.). Эволюция жизни на Земле: мат-лы V Междунар. симп. 2018. Томск: ИД ТГУ. С. 128–130.
- Fedorov P.V. Lower Ordovician mud mounds from the St. Petersburg region, northwestern Russia // Bulletin of the Geological Society of Denmark. 2003. V. 50. P. 125–137.
- Fedorov P.V., Koromyslova A.V. New findings of the genus *Revalotrypa*, the oldest bryozoan genus of Baltoscandia, in north-western Russia // Carnets Geol. 2019. Is. 11. P. 199–209.
- Fedorov P.V., Koromyslova A.V., Martha S.O. The oldest bryozoans of Baltoscandia from the lowermost Floian (lower Ordovician) of north-western Russia: two new rare, small and simple species of *Revalotrypidae* // PalZ. 2017. V. 91. P. 353–373.
- Jacob D.E., Ruthensteiner B., Trimby P. et al. Architecture of *Anoteropora latirostris* (Bryozoa, Cheilostomata) and implications for their biomineralization // Scientific Rep. 2019. V. 9. P. 1–13.
- Koromyslova A.V., Martha S.O., Pakhnevich A.V. The internal morphology of *Acoscinopectora* Voigt, 1956 (Cheilostomata, Bryozoa) from the Campanian and Maastrichtian of Central and Eastern Europe // PalZ. 2018. V. 92. P. 241–266.
- Koromyslova A.V., Martha S.O., Pakhnevich A.V. Revision of the Porina-like cheilostome Bryozoa from the Campanian and Maastrichtian of Central Asia // Annales Paléontol. 2019a. V. 105. P. 1–19.
- Koromyslova A.V., Pakhnevich A.V., Fedorov P.V. *Tobolocella levinae* n. gen., n. sp., a cheilostome bryozoan from the late Maastrichtian of northern Kazakhstan: scanning electron microscope and micro-CT study // N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 2019b. V. 294. N 1. P. 91–101.
- Matsuyama K., Titschack J., Baum D., Freiwald A. Two new species of erect Bryozoa (Gymnolaemata: Cheilostomata) and the application of non-destructive imaging methods for quantitative taxonomy // Zootaxa. 2015. V. 4020. P. 81–100.
- Schmidt R. High resolution non-destructive imaging techniques for internal fine structure of bryozoan skeletons // Bryozoan Studies 2010. Lecture Notes in Earth System Sciences 143. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. P. 321–326.
- Tolokonnikova Z. Permian bryozoans from the Nemda horizon (Roadian) of Samara Region, Russia // PalZ. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12542-018-00440-z>.
- Wyse Jackson P.N., McKinney F.K. A micro-computed tomography and scanning electron microscopy investigation of the structure of *Polyfenestella* Bancroft, 1986 (Bryozoa: Fenestrata), from the Mississippian of Scotland: Revealing the nature of its heteromorphs // J. Earth Sci. 2013. V. 31. P. 1–6.

RESULTS OF THE STUDY OF ORDOVICIAN AND PERMIAN BRYOZOANS BY USING X-RAY MICRO-CT

A.V. Koromyslova, P.V. Fedorov, Z.A. Tolokonnikova

Results of a study of the Paleozoic bryozoans from the orders of Esthonioporata, Trepostomata, Cryptostomata and Fenestrata by using X-ray micro-CT are presented in this paper. Eight bryozoan colonies from the Dapingian (the middle Ordovician) of Leningrad Region and four bryozoan colonies from the Kazanian (Permian) Samara Region were studied. The colonies were additionally studied using a scanning electron microscope and transparent oriented thin sections to compare the results obtained using the X-ray micro-CT. The advantages and disadvantages of the X-ray micro-CT over other methods for the study of Paleozoic bryozoans are shown.