

Кальцит раковин силурийских брахиопод отряда Pentamerida

Каткова В. И., Безносова Т. М.

ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
katkova@geo.komisc.ru

Аннотация

Ископаемые брахиоподы являются одной из наименее изученных групп организмов как объекты процессов биоминерализации кальцита. В настоящей работе рассмотрено строение минерального вещества раковин силурийских раннепалеозойских морских беспозвоночных – брахиопод отряда Pentamerida: виды *Pseudoconchidium kozhimicum* Niciforova и *Conchidium novosemelicum* Nalivkin. Проведены исследования стенок ventральных створок трех раковин, различающихся структурной организацией призматических зон: одно-, двух- и трехслойные. Выделена четкая иерархия структурных элементов, составляющих кальцитовые раковины на микро- и макроуровнях: субпластины, призмы, блоки (столбчатые образования), сферолиты; волокна (межпризматические) зоны.

Ключевые слова:

брахиоподы, силур, кальцит, микроструктура

Введение

Карбонатные толщи силура Североуральского региона заключают разнообразные остатки ископаемой фауны, среди которых брахиоподы отряда Pentamerida являются важными представителями бентосной биоты. Пентамериды имеют породообразующее значение, участвуя в формировании пентамеровых известняков и крупных ракушечников [1]. Они позволяют установить геологический возраст пород и выполнить палеобиогеографические и стратиграфические построения. Особенности микроструктуры и геохимии раковин, реагирующие на климатические и экологические воздействия, возможно, частично повлияли на их вымирание, что подчеркивает важность детальных микроструктурных исследований брахиопод для понимания закономерностей макроэволюции.

Пентамериды, обитавшие как на ровном дне, так и на склонах рифов, обладали толстостенными гладкими и ребристыми раковинами утяжеленного экологического типа. Они были адаптированы к условиям обитания в подвижных водах и на твердых грунтах.

Рассматриваемые силурийские пентамериды, составляющие мощные прослои в толщах органогенных известня-

Calcite in the shells of Silurian brachiopods of the Pentamerida order

Katkova V. I., Beznosova T. M.

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS,
Syktyvkar
katkova@geo.komisc.ru

Abstract

Fossil brachiopods are one of the least studied groups of organisms as objects of calcite biomineralisation processes. This paper considers the structure of the mineral substance in shells of (Silurian) Early Paleozoic marine invertebrates – brachiopods of two species of the Pentamerida order: *Pseudoconchidium kozhimicum* Nikiforov and *Conchidium novosemelicum* Nalivkin. The ventral valve walls of three shells, differing in the structural organisation of the prismatic zones: single-, double-, and triple-layered, have been studied. A clear hierarchy of structural elements composing the calcite shells at the micro- and macrolevels has been distinguished: subplates, prisms, blocks (columnar formations), spherulites; fibers (interprismatic) zones.

Keywords:

brachiopods, Silurian, calcite, microstructure

ков на западном склоне Приполярье и Северного Урала, представлены двумя рифолюбивыми сообществами: *Pseudoconchidium kozhimicum* Niciforova и *Conchidium novosemelicum* Nalivkin (рис. 1) [2].

Исследования родовой систематики ископаемых брахиопод, как правило, опираются на особенности внутреннего строения раковин. Например, удлиненные раковины рода *Pseudoconchidium* не имеют синуса, возвышения и срединной септы. Лишь у отдельных юных форм *Pseudoconchidium* наблюдается короткая тонкая септа, которая формируется на ранних стадиях развития [3].

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию биоконгломерата кальцита у современных раковин брахиопод, являющихся объектами биогеографических и экологических исследований [4]. Однако при изучении структурных элементов скелета фоссилизированных раковин, в частности раннесилурийских пентамерид, возникают сложности в связи с их последующими преобразованиями.

Различная степень диагенетических преобразований в твердых тканях ископаемых брахиопод на субмикрон-



Рисунок 1. Брахиоподовый ракушняк с *Ps. kozhimicum* в прижизненном положении.

Figure 1. Brachiopod shell rock with *Ps. kozhimicum* in a life-like position.

ных и наномасштабных уровнях раскрывается в работе Л. А. Каселла с соавторами [5]. Согласно их исследованиям, наибольшие диагенетические изменения в морфологии волокон и образование новообразованного кальция наблюдались в раковине ордовикского *Platystrophia laticostata* (McEwen). Юрские брахиоподы *Digonella digona* (Sowerby, J.) содержали как сохранившую наноконструктивную структуру, так и преобразованные участки в стенке раковин.

Проведенные исследования строения 21-й раковины взрослых экземпляров брахиопод у шести современных видов, адаптированных к различным условиям окружающей среды, простирающейся от Антарктиды до Новой Зеландии, а также Средиземного моря показали, что нет существенных различий в морфологии призм между вентральными и дорсальными створками всех видов. Однако у двух видов одного и того же рода, обитающих в морской воде с разной температурой и степенью насыщения карбонатами, установлена взаимосвязь между микроструктурой и условиями окружающей среды. Согласно Еи Фейчинг и его соавторам [6], существует онтогенетическая тенденция в форме и размере структурных единиц, поскольку с возрастом они становятся крупнее, шире и более плоскими.

Цель исследования – изучение особенностей организации минерального вещества стенок вентральных створок и сохранившегося элемента скелета раковины (септа) силурийских (лландоверии, лудлов) брахиопод семейства *Virganiidae* – *Ps. kozhimicum* и семейства *Conchidiidae* – *C. novosemelicum*, распространенных в отложениях Приполярного Урала.

Материалы и методы

Материалом для исследований послужила коллекция силурийских брахиопод из разрезов Приполярного Урала и Северного Урала (таблица). Исследования ми-

Образцы брахиопод отряда Пентамерид и стратиграфические интервалы их распространения

Samples of brachiopods of the Pentamerid order and stratigraphic intervals of their distribution

№ обр.	Вид	Материал	Возраст	Местонахождение
498	<i>Ps. kozhimicum</i>	Вентральная створка	Нижний силур, азронский ярус	р. Кожым, обнажение 196
65	<i>C. novosemelicum</i>	Вентральная створка	Верхний силур, лудловский	р. Илыч, обнажение 101
234	<i>C. novosemelicum</i>	Вентральная створка	Верхний силур, лудловский	р. Илыч, обнажение 125
234а	<i>C. novosemelicum</i>	Фрагмент септы	Верхний силур, лудловский	р. Илыч, обнажение 125

нерального вещества брахиопод проведены оптическими (МБС-10; оптический микроскоп OLYMPUS BX 51), рентгеноструктурным (рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD 6000) и ИК-спектроскопическим (фурье-спектрометр ИнфраЛюм ФТ-02) методами. Морфологические особенности и химический состав минеральных фаз изучены с использованием СЭМ (JSM 6400 JEOL, на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA3 LMN с энерго-дисперсионной приставкой X-MAX Oxford instruments.). Изучение образцов проводили на базе ЦКП УрО РАН «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Коллекции брахиопод № 484 и 515 хранятся в Геологическом музее им. А. А. Чернова ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

Результаты и их обсуждение

Брахиоподы *Pseudoconchidium kozhimicum* Nikiforova (Северный Урал, р. Илыч, обр. 498), принадлежавшие к БК 3 [7], существовали в позднееландроверийское время [1].

Исследуемый образец раковины *Ps. kozhimicum* представлен вентральной створкой с выраженной ребристой поверхностью. При жизни створки раковины состояли из периостракума, первичного и вторичного (органогенно-кальцитового) слоев. Основную часть составлял вторичный слой, который в основном и сохранялся в ископаемом состоянии. Согласно данным структурного анализа, минеральная составляющая стенки раковины является кальцитом. Строение стенки брюшной створки изучено по шлифам с помощью поляризационного микроскопа. Максимальная мощность стенки в шлифе составляет 16 мм. Она имеет трехслойную структуру, разделяющуюся пограничными зонами: на наружный без периостракума, срединный и внутренний призматические слои. Наружный слой стенки характеризуется наибольшей толщиной, сужаясь к области макушки (рис. 2). Каждый призматический слой различается по толщине от переднего до заднего края и имеет сферолито-зональную структуру. Под оптическим микроскопом в сферолитовых агрегатах можно выделить лучи (нитевидные кристаллы) и едва заметную концентрическую зональность. Кристаллы, ориентированные в наружном и срединном слоях под разным углом относи-

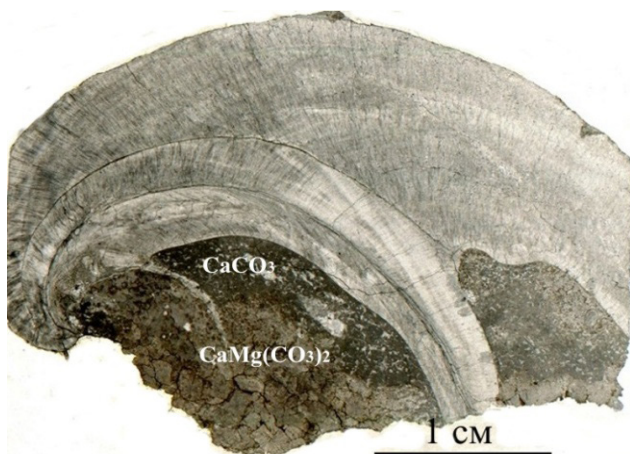


Рисунок 2. Продольный срез раковины *Ps. kozhimicum*. Шлиф, николи II (образец 498).

Figure 2. Longitudinal section of the *Ps. kozhimicum* shell. Thin section, nicols II (sample 498).

тельно пограничных зон, направлены перпендикулярно к наружной поверхности створки. Во внутреннем слое стенки в области переднего края они расположены параллельно к поверхности створки, постепенно меняя ориентацию к макушке до вертикального. Мощность пограничных зон, разделяющих призматические слои и имеющих волокнистое строение, варьирует от переднего края до макушки раковины. Волокна кальцита толщиной 10 мкм расположены параллельно наружной поверхности раковины (рис. 3). Исследования РЭМ-изображений сколов стенки показали, что основной структурной единицей стенки являются призмы (нитевидные кристаллы), сложенные элементарными субпластинами. Ширина призм составляет 8–12 мкм, а длина зависит от их расположения в стенке раковины. Призмы, тесно срастаясь и переплетаясь, формируют блоки (столбчатые образования) различной мощности (рис. 4).

Отсутствие четких границ призм и микроглобулярная структура субиндивидов могут свидетельствовать о процессах частичного растворения или перекристаллизации. Следует отметить, что структура первичного кальцита на микроуровне сохранилась фрагментарно. Согласно данным микронзондового анализа, в нескольких точках шлифа, изготовленного из продольного среза раковины, содержание кальция составляет 37–38 масс. %.

На РЭМ-изображениях наружной поверхности раковины визуализируется четкая ребристость органогенно-кальцитового слоя, вероятно, замещенная кальцитом, представлена в виде упорядоченно ориентированных цепочечных агрегатов. Агрегаты, в свою очередь, состоят из субиндивидов карбоната кальция неправильной формы, средний размер которых варьирует от 5 до 10 мкм (рис. 5).

Кроме того, визуализируется новообразованный кальцит игольчатоподобного облика (рис. 6).

На отдельных участках поверхности стенки присутствует пленка, покрывающая кристаллы, одиночные или агрегированные, редко в цепочку, оваловидные глобулы. Средний линейный размер глобул составляет 2,5 мкм. Содержание кальция в них колеблется от 32 до 41 масс. %, что является признаком минерализации глобул. Полагаем, что данные образования по морфологическим признакам

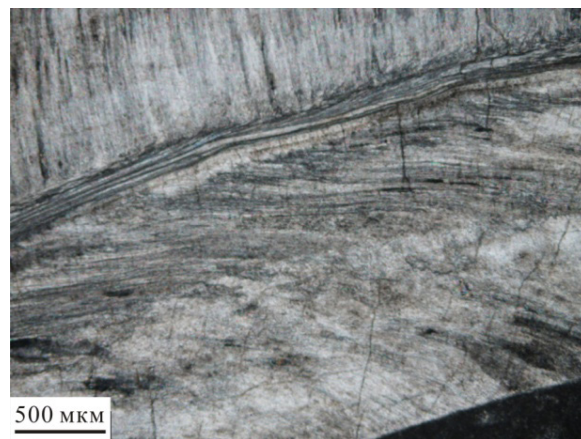


Рисунок 3. Пограничная зона между средним и наружным призматическими слоями. Шлиф, николи +.

Figure 3. Boundary zone between the middle and outer prismatic layers. Thin section, nicols +.

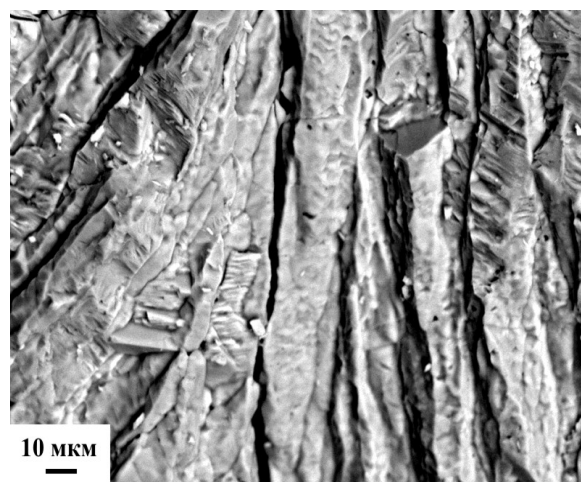


Рисунок 4. Агрегированные призмы. РЭМ-изображение в отраженных электронах (образец 498).

Figure 4. Aggregated prisms. SEM-image in reflected electrons (sample 498).

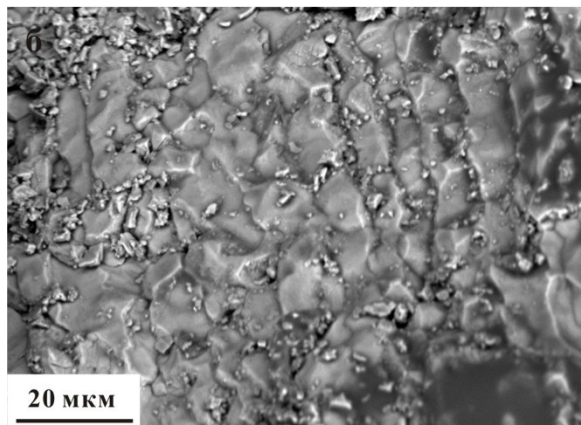


Рисунок 5. Упорядоченная структура минерализованного органогенно-кальцитового слоя.

Figure 5. Ordered structure of the mineralised organogenic-calcite layer.

можно интерпретировать как минерализованные формы микроорганизмов и внеклеточное полимерное вещество (рис. 7). Порода, заместившая мягкие ткани в раковине, состоит из кальцита пелитовой структуры и кристаллов доломита.

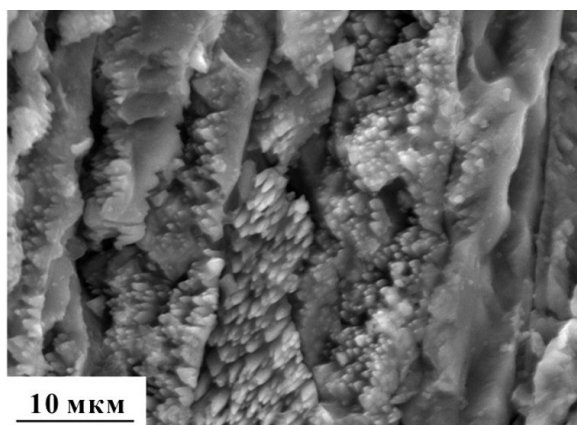


Рисунок 6. Новообразованный кальцит в сохранившемся слое раковины. РЭМ-изображение (образец 498).

Figure 6. Newly formed calcite in preserved shell layer. SEM-image (sample 498).

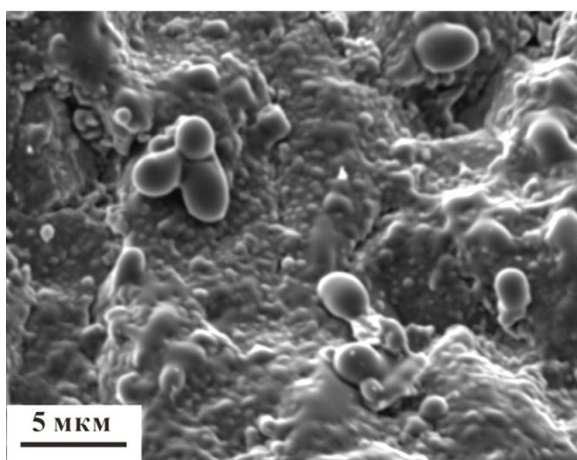


Рисунок 7. Минерализованные бактерии на наружной поверхности брюшной створки раковины *Ps. kozhimicum*. РЭМ-изображение (образец 498).

Figure 7. Mineralised bacteria on the surface of the ventral wall of the *Ps. kozhimicum* shell. SEM- image (sample 498).

Образец раковины *Conchidium novosemelicum* (обр. 65) представлен вентральной створкой, минеральной составляющей которой является кальцит. Поляризационно-оптическим методом выявлено, что стенка створки представлена одним призматическим слоем сферолито-зонального строения. Максимальная толщина стенки составляет в шлифе 5 мм (рис. 8).

Кроме того, визуализируется спондиллий, превышающий длину септы в раковине. В области макушки раковины по обе стороны септы выделяются полусферолиты (зубной аппарат). Под оптическим микроскопом отчетливо просматривается чередование темных и светлых concentрических зон в биоагрегатах кальцита, отличающихся своей мощностью (рис. 9).

На микроуровне аналогично строению стенки раковины *Ps. kozhimicum* основным структурным элементом у *C. novosemelicum* являются призмы, сложенные из субиндивидов пластинчатого облика. Средний размер ширины пластинок составляет 10 мкм (рис. 10).

На микроснимках сколов раковины агрегированные призмы представлены в виде столбчатых образований (блоки), диаметр которых колеблется от 100 до 200 мкм



Рисунок 8. Поперечный срез вентральной створки раковины *C. novosemelicum*. Шлиф, николи II (образец 65).

Figure 8. Cross-section of the ventral valve of the *C. novosemelicum* shell. Thin section, nicols II (sample 65).

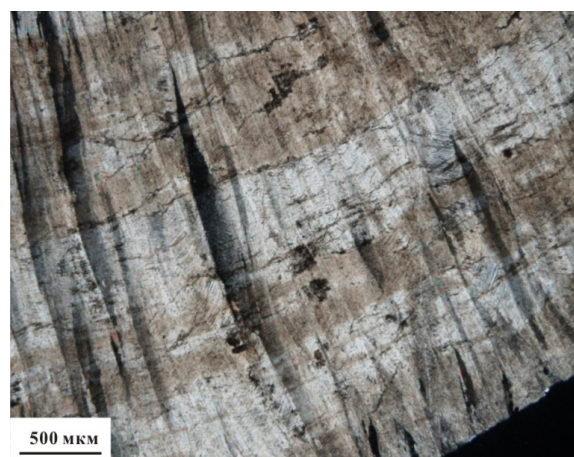


Рисунок 9. Сферолито-зональная структура стенки брахиоподы *C. novosemelicum*. Шлиф, николи + (образец 65).

Figure 9. Spherolithozonal structure of the shell wall of *C. novosemelicum*. Thin section, nicols + (sample 65).

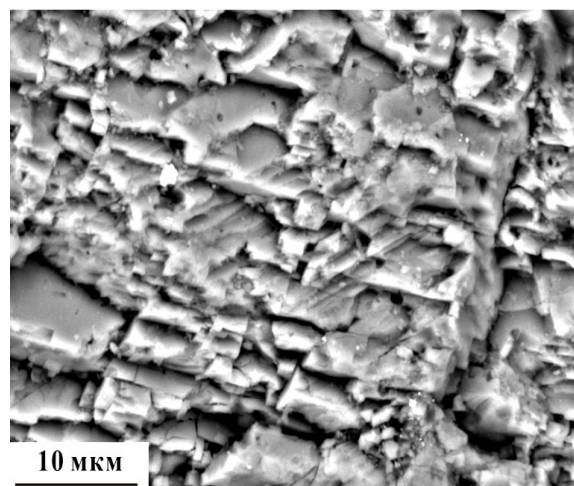


Рисунок 10. Агрегация субиндивидов кальцита в призмах. РЭМ-изображение.

Figure 10. Subdivisions of the lamellar appearance in prisms. SEM-image.

(рис. 11). Однако, в отличие от трехслойной раковины, морфология структурных элементов (призмы, субпластины) свидетельствует о сохранности первичного биокальцита. Между призматическим слоем и вмещающей породой на РЭМ-изображении зафиксирован пограничный слой, со-

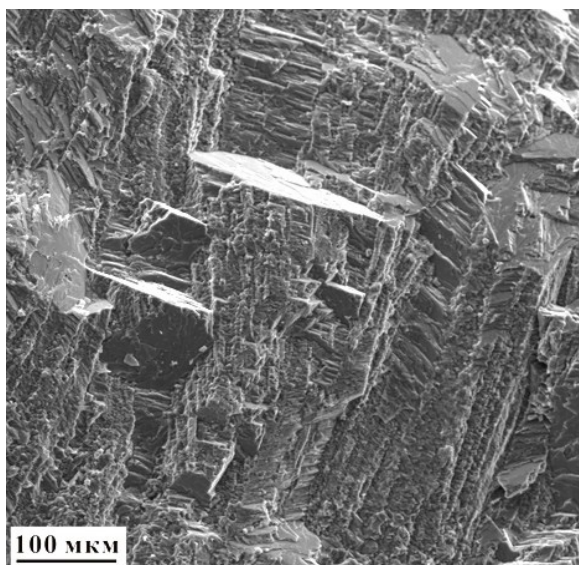


Рисунок 11. Агрегация призм в «блоки». РЭМ-изображение (образец 65).
Figure 11. Aggregation of prisms into "blocks". SEM-image (sample 65).

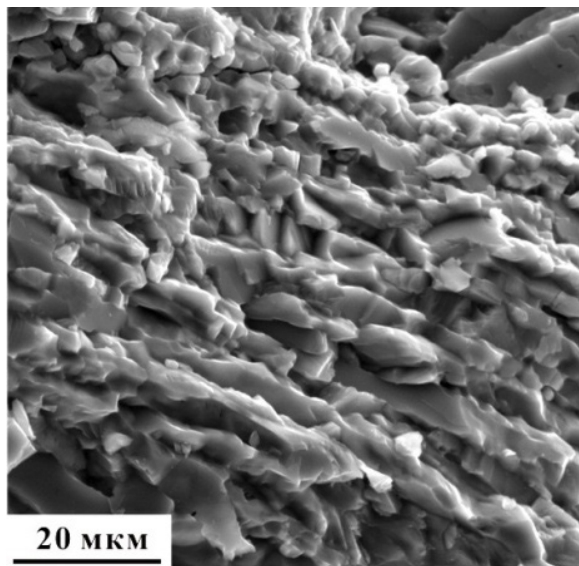


Рисунок 12. Волокна биогенного кальцита пограничной зоны в раковине *C. novosemelicum*. РЭМ-изображение (образец 65).
Figure 12. Biogenic calcite fibers of the boundary zone in the shell of *C. novosemelicum*. SEM-image (sample 65).

стоящий из волокон биогенного кальцита, расположенных параллельно ко внешней поверхности раковины (рис. 12).

Стенка раковины, состоящая из одного призматического слоя, может быть следствием как онтогенетической стадии, так и видовой принадлежности, а обнаруженный волокнистый слой может быть границей утраченного призматического слоя. Мощность данного сохранившегося волокнистого слоя с признаками растворения составляет 50 мкм, что может свидетельствовать об исчезновении второго призматического слоя в результате катагенетических процессов. Следует отметить, что фиксируется резкая граница между волокнистым (пограничным) и призматическим слоями.

Наружная поверхность стенки брюшной створки характеризуется отсутствием упорядоченности кальцитовых агрегатов, состоящих из индивидов неправильной

формы. Они, в свою очередь, имеют микрозернистую структуру.

Вмещающая карбонатная порода, заместившая мягкое тело раковины брахиопода *C. novosemelicum*, представлена кальцитом пелитоморфной структуры с примесями образований доломита.

Исследуемый фрагмент створки раковины *C. novosemelicum* (обр. 234) представлен двухслойной призматической стенкой, состоящей из кальцита. В шлифе мощность сохранившихся слоев сферолито-зонального строения составляет 5 мм. Во внутреннем призматическом слое стенки раковины визуализируется участок, замещенный новообразованным кальцитом. На микроснимках ширина призм составляет 10-13 мкм. Пластинчатые субиндивиды в результате слипания не имеют четких границ.

Исследования РЭМ-изображений наводят на мысль, что большая часть наружной поверхности стенки подвергалась значительным изменениям. Можно предположить, что новообразованный кальцит претерпел неоднократные процессы перекристаллизации и травления. Однако на отдельных участках сохраняется слабо выраженная структурная упорядоченность агрегатов кальцита. Линейный размер новообразованных кристаллов неправильной формы имеет значительные колебания (5-30 мкм). Ромбоэдры кристаллов кальцита обнаружены как в микрозернистой массе, так и на вкраплениях редких кварцевых выделений.

На микроснимках наружной поверхности зафиксированы скопления современных водорослей. Микросондовым методом в них определены элементы: Са – 0,56; Mg – 0,29; К – 0,91; S – 0,57; Na – 0,35.

Септа раковины *C. novosemelicum* (обр. 234) подразделяется первичной септой на две половины и каждая из них имеет сферолито-зональное строение (рис. 13). Между слоями под оптическим микроскопом четко визуализируется пограничная зона. Кристаллы (лучи), независимо от расположения в слоях, направлены от первичной септы под одним углом. Аналогично структуре стенки нитевидные кристаллы на РЭМ-изображениях представляют собой призмы, сложенные из субиндивидов с признаками растворения. Ширина субэлементов пластинчатоподобного облика составляет 5-10 мкм. Призмы формируют столбчатые образования (блоки).

Проведенные исследования показали, что слипание субпластин с признаками растворения, отсутствие границ между призмами в стенке трех ископаемых образцов силурийских брахиопод свидетельствуют о воздействии диагенетических и катагенетических процессов на структурную организацию первичного кальцита.

Закключение

Результаты исследований вентральных створок силурийских брахиопод показали, что существуют различия в структурной организации стенки раковин между видами на макроуровне: исследованные брахиоподы имеют трех-, двух- и однослойную стенки, состоящие из сферолитов кальцита. Между слоями присутствуют пограничные зоны, в которых кальцит представлен в виде волокон.



Рисунок 13. Фрагмент септы *C. novosemelicum*. Шлиф, николи II (образец 234).

Figure 13. Fragment of septum of *C. novosemelicum*. Thin section, nicols II (sample 234).

Призмы, сложенные субиндивидами пластинчатого облика, являющиеся основным структурным элементом, в свою очередь, агрегируются в блоки в виде столбчатых образований. Двухслойная септа *C. novosemelicum* на макро- и микроуровнях имеет аналогичное строение.

Существует различная степень постседиментационных преобразований первичного биокальцита на микроуровне: наименьший катагенетический отпечаток в исследованных призматических слоях среди ископаемых раковин наблюдался в однослойной раковине *C. novosemelicum* Nalivkin (обр. 65), а наибольший – в *Ps. kozhimicum*.

Новообразованные ромбоздры кальцита, отсутствие их упорядоченности, вариации размеров и морфологии кристаллов, а также присутствие микробиальной флоры свидетельствуют о неоднократных процессах перекристаллизации в раковинах.

Минеральное вещество, заместившее мягкие ткани в раковинах силурийских брахиопод, представлено кальцитом пелитовой, пелитоморфной структуры и кристаллами доломита призматического облика.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники и литература

1. Безносова, Т. М. Сообщества брахиопод и биостратиграфия верхнего ордовика, силура и нижнего девона северо-восточной окраины палеоконтинента Балтия / Т. М. Безносова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 217 с.
2. Ушатинская Г. Т. Первые брахиоподы с карбонатным скелетом: появление, расселение, строение стенки раковины / Г. Т. Ушатинская, Я. Е. Малаховская // Эволюция биосферы и биоразнообразие. – М.: ПИН РАН – 2006. – С. 177–192.
3. Безносова, Т. М. Событийный фактор в эволюции Тимано-Североуральских сообществ брахиопод позднего

ордовика и раннего силура / Т. М. Безносова // Тр. Института геологии. – 2019. – Вып. № 9. – С. 17–21. – DOI: 10.19110/0568-6156-2019-1-1.

4. Безносова, Т. М. История развития пентамерид (brachiopoda) в Тимано-Североуральском бассейне / Т. М. Безносова // Палеонтологический журнал. – 2014. – № 1. – С. 49–54. – DOI: 10.7868/S0031031X14010048.
5. The architecture of recent brachiopod shells: diversity of biocrystal and biopolymer assemblages in rhynchonellide, terebratulide, thecideide and craniide shells / M. S. Roda, E. Griesshaber, L. Angiolini [et al.] // Marine Biology. – 2022. – Vol. 169, № 4. – P. 1–52. – DOI.org/10.1007/s00227-021-03962-4.
6. Micro- and nanostructures reflect the degree of diagenetic alteration in modern and fossil brachiopod shell calcite: A multi-analytical screening approach (CL, FE-SEM, AFM, E EBSD) / L. A. Casella, E. Griesshaber, M. S. Roda [et al.] // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2018. – Vol. 502, № 1. – P. 13–30. – DOI: 10.1016/j.palaeo.2018.03.011.
7. Boucot, A. J. Evolution and extinction rate control / A. J. Boucot. – Amsterdam, 1975. – 427 p.
8. Mapping of recent brachiopod microstructure: A tool for environmental studies / F. Ye, G. Crippa, L. Angiolini [et al.] // Journal of Structural Biology. – 2017. – P. 1–16. – DOI: 10.1016/j.jsb.2017.11.01.

References

1. Beznosova, T. M. Soobshchestva brahiopod i biostratigrafiya verhnego ordovika, silura i nizhnego devona severo-vostochnoj okrainy paleokontinenta Baltiya [Brachiopod communities and biostratigraphy of Upper Ordovician, Silurian and Lower Devonian of the North-Eastern margin of Baltia paleocontinent] / T. M. Beznosova. – Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2008. – 217 p.
2. Ushatinskaya, G. T. Pervye brahiopody s karbonatnym skeletom: poyavlenie, rasselenie, stroenie stenki rakoviny [The first brachiopods with a carbonate skeleton: appearance, dispersal, structure of the shell wall] / G. T. Ushatinskaya, Ya. E. Malakhovskaya // Evolyuciya biosfery i bioraznoobraziya [Evolution of the Biosphere and the Biodiversity]. – Moscow: Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences. – 2006. – P. 177–192.
3. Beznosova, T. M. Sobytiyniy faktor v evolyucii Timano-Severouralskikh soobshchestv brahiopod pozdnego ordovika i rannego silura [The event factor in the evolution of the Timan-Northern Ural brachiopod communities of the Late Ordovician and Early Silurian] / T. M. Beznosova // Transactions of the Institute of Geology Komi SC UB RAS. – 2019. – Iss. 9. – P. 17–21. – DOI: 10.19110/0568-6156-2019-1-3.
4. Beznosova, T. M. Istoriya razvitiya pentamerid (brachiopoda) v Timano-Severouralskom bassejne [History of the development of pentamerids (Brachiopoda) in the Timan-Northern Ural basin] / T. M. Beznosova // Paleontologicheskyy zhurnal [Paleontological Journal]. – 2014. – № 1. – P. 49–54. – DOI: 10.7868/S0031031X14010048.

5. The architecture of recent brachiopod shells: diversity of biocrystal and biopolymer assemblages in rhynchonellide, terebratulide, thecideide and craniide shells / M. S. Roda, E. Griesshaber, L. Angiolini [et al.] // *Marine Biology*. – 2022. – Vol. 169, № 4. – P. 1–52. – DOI.org/10.1007/s00227-021-03962-4.
6. Micro- and nanostructures reflect the degree of diagenetic alteration in modern and fossil brachiopod shell calcite: A multi-analytical screening approach (CL, FE-SEM, AFM, E EBSD) / L. A. Casella, E. Griesshaber, M. S. Roda [et al.] // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2018. – Vol. 502, № 1. – P. 13–30. – DOI: 10.1016/j.palaeo.2018.03.011.
7. Boucot, A. J. Evolution and extinction rate control / A. J. Boucot. – Amsterdam, 1975. – 427 p.
8. Mapping of recent brachiopod microstructure: A tool for environmental studies / F. Ye, G. Crippa, L. Angiolini [et al.] // *Journal of Structural Biology*. – 2017. – P. 1–16. – DOI: 10.1016/j.jsb.2017.11.01.

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (ГР № 122040600009-2 и 122040600008-5). Авторы благодарят рецензента за конструктивное замечание, которое значительно улучшило содержание статьи.

Acknowledgements (state task)

The work was conducted within the frames of the state task of the Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS (state registration № 122040600009-2 and 122040600008-5).

We thank the reviewer for constructive comments, which significantly improved the content of the article.

Информация об авторах:

Каткова Валентина Ивановна – кандидат геолого-минералогических наук, инженер Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; ORCID: 0000-0002-5788-165X; SPIN-код: 9820-8918 (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: katkova@geo.komisc.ru).

Безносова Татьяна Михайловна – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; ORCID: 0000-0002-4313-7117; SPIN-код: 4873-6923 (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: beznosova@geo.komisc.ru).

About the authors:

Valentina I. Katkova – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Engineer at the Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; ORCID: 0000-0002-5788-165X; SPIN-code: 9820-8918 (54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: katkova@geo.komisc.ru).

Tatyana M. Beznosova – Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Leading Researcher at the Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; ORCID: 0000-0002-4313-7117; SPIN-code: 4873-6923 (54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: beznosova@geo.komisc.ru).

Для цитирования:

Каткова, В. И. Кальцит раковин силурийских брахиопод отряда Pentamerida / В. И. Каткова, Т. М. Безносова // *Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле»*. – 2026. – № 4 (89). – С. 63–69.

For citation:

Katkova, V. I. Kaltsit rakovin suluriyskikh brachiopod otryada Pentamerida [Calcite in the shells of Silurian brachiopods of the Pentamerida order] / V. I. Katkova, T. M. Beznosova // *Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences"*. – 2026. – № 4 (89). – P. 63–69.

Дата поступления рукописи: 09.04.2026

Прошла рецензирование: 17.04.2026

Принято решение о публикации: 26.05.2026

Received: 09.04.2026

Reviewed: 17.04.2026

Accepted: 26.05.2026