

УДК 548.6:564.8
DOI 10.19110/1994-5655-2021-3-49-55

В.М. КАТКОВА, Т.М. БЕЗНОСОВА, В.Н. ФИЛИПОВ

ПСЕВДОМОРФООБРАЗОВАНИЕ ПО РАКОВИНАМ СИЛУРИЙСКИХ БРАХИПОД

*Институт геологии им. акад. Н. П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар*

*katkova@geo.komisc.ru
beznosova@geo.komisc.ru
filippov@geo.komisc.ru*

V.I. KATKOVA, T.M. BEZNOVA, V.N. FILIPPOV

PSEUDO-MORPHOGENESIS IN THE SHELLS OF THE SILURIAN BRACHIOPODS

*N.P. Yushkin Institute of Geology, Federal
Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktyvkar*

Аннотация

Структурными и оптическими методами проведено исследование псевдоморфоз кварца по створкам четырех раковин раннесилурийских брахиопод *Borealis* sp. отряда Pentamerida из карбонатной толщи гряды Чернышева. Окременение стенок раковин брахиопод привело к полной замене первоначального карбонатного скелета с изменением его структурной организации. Установлено, что основной минеральной составляющей внутрираковинного вещества и вмещающей породы является кварц. В работе обсуждается участие раннепалеозойских и современных цианобактериальных симбионтов в процессах замещения и формирования первичных и новообразованных кристаллических агрегатов кварца на стенках раковин.

Ключевые слова:

псевдоморфозы, брахиоподы, створки, раковины, силур, кварц, минерал, кристалл

Abstract

The analysis of paleontological data, the study of mineral matter transformation involving live organisms in various rocks is important for the understanding of the events of the geological past. The aim of this work is to identify the biogenic factor in the process of pseudomorphogenesis in the shell sashes of the Early Silurian brachiopods from the carbonate rocks of the Chernyshev Ridge. Structural and microscopic methods (Shimadzu XRD 6000; Fourier spectrometer InfraLum FT-02; JSM 6400 JEOL; VEGA3 TESCAN; MIN-8) were used to study quartz pseudomorphoses in the sashes of four shells of the Early Silurian brachiopods *Borealis* sp. of Pentamerida order from the carbonate strata of the Chernyshev Ridge. The salicification of the brachiopod shell walls resulted in the complete replacement of the original carbonate skeleton with a change in its structural organization. It is established that quartz is the main mineral component of the intra-shell material and secondary dolomite crystals and newly formed calcite aggregates. The paper discusses the participation of Early Paleozoic and modern cyanobacterial symbionts in the replacement of primary calcite with quartz and the formation of quartz crystalline aggregates on the shell walls. It is shown that quartz on the surface of shell sashes and in the intra-shell substance of brachiopods has undergone repeated transformations due to the combination of ancient and modern weathering processes.

Keywords:

pseudomorphoses, brachiopods, shell sashes, Silurian, quartz, mineral, crystal

Введение

Процессы фоссилизации нередко приводят к образованию различных типов псевдоморфоз по останкам организмов. Морфологические особенности и установление условий формирования фоссилий всегда привлекали внимание минералогов. Исследование фоссилизированных скелетных организмов актуально не только для палеонтологов и стратиграфов, проводящих реконструкции палеоэкосистем, литологов для изучения геохимической обстановки литификации осадков, но и биоминералогов, исследующих биоминеральные взаимодействия в седиментогенезе. Анализ палеонтологических данных, исследование преобразований минерального вещества с участием живых организмов в различных породах важно для познания событий геологического прошлого. Фоссилизированные структурные элементы и формы биоорганизмов после захоронения становятся составной частью породы и часто подвергаются процессам минерализации или замещения. Однако варианты замещения и роста новообразованных кристаллов в псевдоморфозах остаются недостаточно изученными.

Ранее проведенные исследования показали, что в отложениях нижнего силура на гряде Чернышева встречаются окремененные раковины брахиопод удовлетворительной сохранности [1]. Одними из самых изученных представителей палеозойских морских беспозвоночных в Тимано-Североуральском палеобассейне являются брахиоподы отряда *Pentamerida*: *Virgiana*, *Borealis*, *Pentamerus*. Их раковины состоят из двух неравных створок — брюшной и спинной (педальной и брахиальной). Стенка раковины замковых брахиопод может состоять из одного, двух или трех слоев [2–4]. В работе В.П. Сапельникова [2] приняты следующие наименования слоев раковин пентамерид: внешний пластинчатый, призматический и внутренний пластинчатый. Внешний карбонатный слой считается условно первым после периостракума, редко сохранившимся на раковинах. У пентамеридин развит призматический слой. Автор отмечает [2], что типы слоев различаются внутри отдельных групп пентамерид. В частности, в брюшных створках у пентамерид развиты два слоя: наружный волокнистый и внутренний призматический, состоящий из кристаллов кальция, ориентированных перпендикулярно к створкам раковины. Внутрираковинные структурные элементы (септа, зубы, пластины) также состоят из карбоната кальция.

Целью работы является выявление биогенного фактора в процессе псевдоморфообразования по створкам раковин раннесилурийских брахиопод из карбонатных пород гряды Чернышева.

Методы и материалы исследований

Объектами наших исследований послужили брюшные створки раковин, их фрагменты, внутрираковинное вещество четырех раковин брахиопод *Borealis* sp. отряда *Pentamerida*, извлеченных из брахиоподовой банки. Средняя длина створки составляет 2.5 см, а ширина – 2 см. Массовое захоронение раковин этих брахиопод было обнаружено в разрезе

нижнего силура гр. Чернышева в бассейне р. Шарью. Брахиоподы *Borealis* sp. в захоронении представлены преимущественно крупными особями с толстостенными раковинами, а также отдельными створками и их фрагментами. Исследования минерального вещества брахиопод проведены оптическими (МБС-10; МИН-8), 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, VEGA3 TESCAN) и микрозондового анализа. Компонентный состав элементов внутрираковинного вещества и вмещающей породы в валовых пробах в виде порошка определен на приборе XRF-1800 (Shimadzu). Изучение образцов проводилось на базе ЦКП УрО РАН «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

Результаты исследований

Структурными методами установлено, что наружная поверхность створок четырех раковин брахиопод имеет мономинеральный состав и представлен кварцем. Анализ СЭМ-изображений показал, что вместо структурно упорядоченного карбонатного слоя стенки на наружной поверхности одного из створок размещаются кристаллы кварца с формами положительного, отрицательного ромбоэдра и гексагональной призмы. Кристаллы имеют короткопризматический облик, а ямки и каверны на их гранях указывают на процессы травления. Кварц формирует сплошную кристаллическую щетку, состоящую из индивидов размерами от 5 до 50 мкм (рис. 1). Наряду с кварцевой щеткой визуализируются зоны, сформированные из неориентированных индивидов разных генераций. Фигуры травления на поверхностях призм и ромбоэдров имеют как неправильные, так и геометрические формы.

На гранях отдельных кристаллов и между индивидами выявлены редкие реликты биоминеральных пленок со следовыми содержаниями алюминия и кремния. Полагаем, что их можно рассматривать как следы жизнедеятельности бактериальных сообществ в постседиментационный период (рис. 2).

Согласно микроснимкам РЭМ на поверхности двух других раковин преобладает ячеистая структура, сформированная из кварцевых сростков с диаметром 200–400 мкм (рис. 3). Размеры ограненных индивидов в агрегатах увеличиваются по мере удаления от центра сростка к периферии (рис. 4). Кварц можно наблюдать также в виде отдельных двухголовчатых индивидов между ячейками. На вершинах кристаллов в агрегатах часто наблюдаются ямки травления. Кроме того, следует отметить о явлениях выраженного растворения сростков, при которых видоизменяются облик и морфология индивидов.

Между друзами встречается обильное развитие внеклеточного полимерного вещества, представленное как гликокаликсом, так и чехлами современных цианофитов, разделяющих между собой

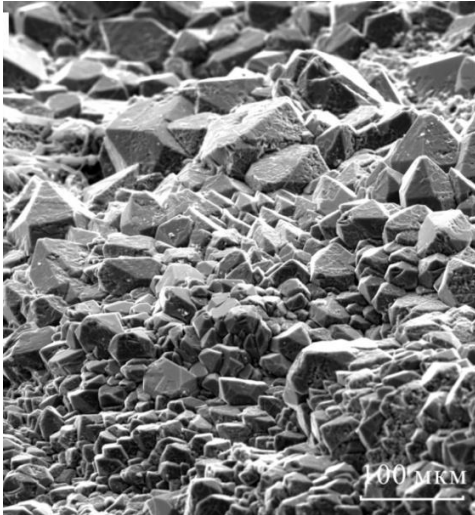


Рис. 1. Кристаллы кварца разных генераций на поверхности створки брахиопода *Borealis* sp.
Fig. 1. Quartz crystals of different generations on the surface of the sashe of the brachiopod *Borealis* sp.



Рис. 3. Общий вид фрагмента створки раковины брахиопода *Borealis* sp. (поперечное сечение брюшной створки).
Fig. 3. General view of the fragment of the shell sashe of the brachiopod *Borealis* sp.

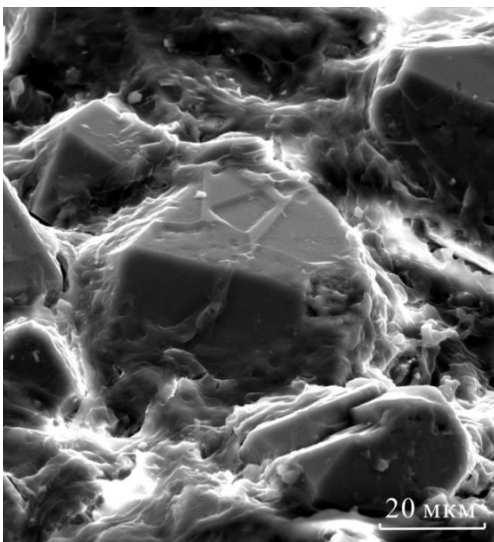


Рис. 2. Реликты окремененного гликокаликса между кристаллами кварца.
Fig. 2. Remnants of the silicified glycoalkyx between quartz crystals.

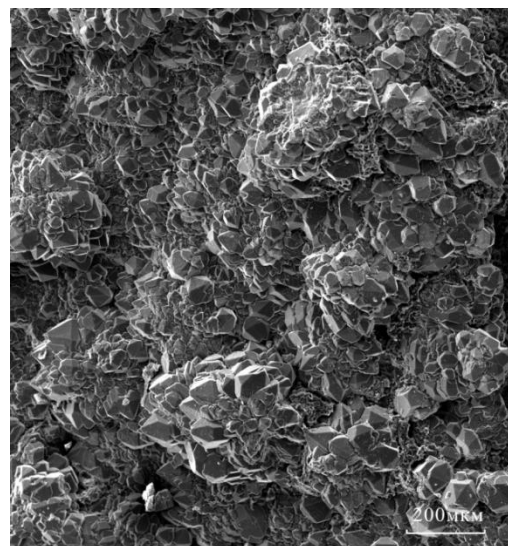


Рис. 4. Ячеистая структура кварца на его поверхности.
Fig. 4. Cellular structure of quartz on its surface.

ячейки (рис. 3). В составе внеклеточного органического вещества цианофитов зафиксированы следовые содержания Mg, Si, Ca и Al.

Внутрираковинное вещество под тонким упорядоченным слоем кристаллов кварца представлено субмикрозернистым кремнеземом, в матрицу которой включены индивиды доломита, сростки и двухголовчатые монокристаллы кварца, а также агрегаты кальцита. Кроме того, в структуре кварцевой матрицы зафиксированы фрагменты гелеподобных кремнийсодержащих пленок. Кварц, как правило, является основным минералом, заместившим створки раковин брахиопода. Монокристалльные зерна кварца и сростки заполняют трещины в кремнеземе. При изучении внутрираковинного вещества в прозрачных шлифах выявлено, что кристаллы вторич-

ного доломита чаще всего ромбической формы располагаются в кварцевой матрице неравномерно, образуя местами скопления различной формы и величины. Например, в одном из шлифов обнаружено, что одна половина створки полностью замещена кремнеземом, а на другой рассеяны индивиды доломита в микрозернистом кварце. На РЭМ-изображениях визуализируются частично корродированные кристаллы доломита ромбоэдрического облика размерами 50–100 мкм. Индивиды вторично кальцита формируют зернистые агрегаты. В строении кристаллов кальцита проявляется слоистость, а морфология поверхности отдельных кристаллов внутри створки указывает на то, что они также подвергались травлению.

На микроснимках внутрираковинного вещества обнаружены множественные чехлы современных

цианобактерий (рис.5). Исследования показали, что частично кремнистые чехлы имеют состав, мас. %: Si 11-20; Ni 1,64; S 0,97; Cu 0,89; Ca 0,45; Al 0,25. Следует отметить, что они распространены, как правило, в кварцевых прослойках. Наряду с ними встречаются гифы грибковой микрофлоры (актиномицеты?). Формирование различных минеральных пленок и фрагментов «рубашек», содержащих оксиды железа на кристаллах кварца, свидетельствует об участии бактерий в образовании новообразованных минералов во внутренней полости раковин.

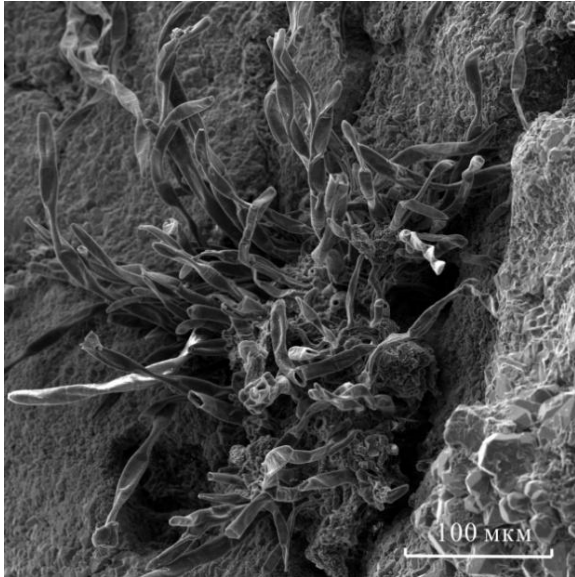


Рис. 5. Чехлы современных цианобактерий в трещинах кварцевой матрицы внутри створки раковины.
Fig. 5. Covers of modern cyanobacteria in the cracks of the quartz matrix inside the shell sashe.

Вмещающая порода брахиоподовой банки визуально на срезе представляет собой агатоподобную структуру. Исследования структурными методами показали, что преимущественным минералом в породе является кварц (см. таблицу). Содержание SiO₂ в породе по данным рентгенофлуоресцентного анализа составляет 79–87, CaO – 8-15 и Mg – 3-6 мас. %.

Изучение породы в прозрачных шлифах показало, что в постседиментационный период сформированные кристаллы кварца, игольчатого халцедона, кварцина и агрегаты кальцита инкрустируют пустоты в структуре кварцевой матрицы. На РЭМ-изображениях кварц наблюдается в виде субмикросернистых образований и индивидов без определенной ориентации, размер которых составляет 1–10 мкм. Зерна, как правило, в значительной степени протравлены по сравнению с кварцем, сформированным на наружной поверхности створки раковины, а отсутствие гранных форм и облик индивидов указывают на процессы растворения.

Вторичный доломит представлен как индивидами, так и агрегатами, часто формирующими инкорпорационную структуру. Подобно внутрираковинным индивидам кристаллы доломита во вмещающей породе сильно корродированы и их распределение неравномерное.

Из трех модификаций карбоната кальция в породе структурными методами идентифицирован минерал – кальцит. В палеополостях кремнистой породы на подложке первичного доломита он формирует сростки и монокристаллы скаленоэдрического облика с субиндивидами на гранях. Кроме того, согласно микроснимкам карбонат кальция (Ca 33 масс. %) в виде новообразованных веерообразных агрегатов визуализируется на поверхности кристаллов кальцитовых агрегатов (рис. 6, а, б).

На кристаллах кварца обнаружены карбонатсодержащие пленки чешуйчатой структуры с толщиной слоя 1 мкм, состоящие из упорядоченных палочковидных наноразмерных частиц (рис. 7). Состав нанокристаллов по данным микрозондового анализа представлен в мас. %: Ca 30–33; Mg 2,5.

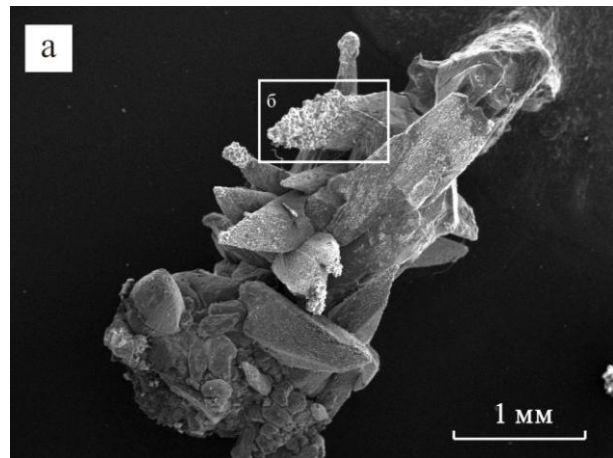


Рис. 6, а. Сросток вторичного кальцита в палеополостях вмещающей породы в брахиоподовой банке.
Fig. 6, а. Aggregates of secondary calcite in the paleocavities of the host rock in the brachiopod bank.

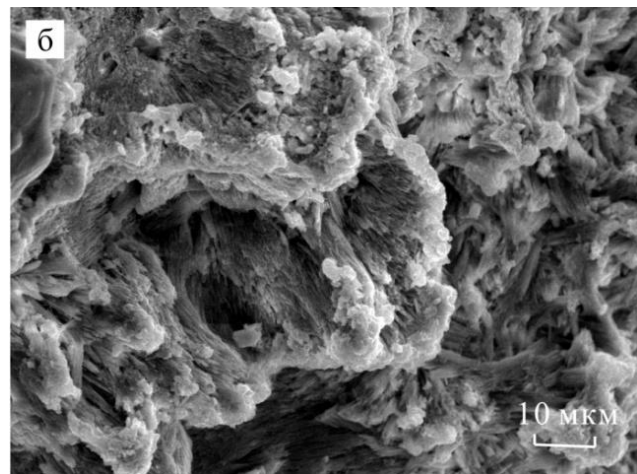


Рис. 6, б. Веерообразные агрегаты новообразованного карбоната кальция на поверхности кристалла вторичного кальцита.
Fig. 6, б. Fan-shaped aggregates of newly formed calcium carbonate on the surface of a secondary calcite crystal.

Обсуждение результатов

Гряда Чернышева расположена в северо-восточной части Тимано-Печорского бассейна, где распространены деформированные силурийско-

Рентгенографические данные новообразованных минералов в псевдоморфозах
X-ray data of newly formed minerals in pseudomorphs

d	Стенка раковины брахиопода		Внутрираковинные минералы			Вмещающая порода в брахиоподовой банке		
	1	2	1	2	3	1	2	3
	hkl(l)	hkl(l)	hkl(l)	hkl(l)	hkl(l)	hkl(l)	hkl(l)	hkl(l)
4,26	100(16)	—	100(20)	—	—	100(30)	—	—
3,34	101 100	—	101(100)	—	—	101(100)	—	—
3,03	—	—	—	—	104 (4)	—	—	104(2)
2,89	—	104(3)	—	104 37)	—	—	104(64)	—
2,67	—	—	—	006 (2)	—	—	006(1)	—
2,54	—	—	—	015(2)	—	—	—	—
2,46	110 (8)	—	110(9)	—	—	110(12)	—	—
2,40	—	—	—	110(1)	—	—	—	—
2,29	102 (7)	—	102(9)	—	—	102(9)	—	—
2,23	111 (3)	—	111(4)	—	—	111(5)	—	—
2,19	—	—	—	113(30)	—	—	113(2)	—
2,13	200(5)	—	200(5)	—	—	200(8)	—	—
2,02	—	—	—	202(2)	—	—	202(1)	—
1,979	201 (4)	—	201(4)	—	—	201(5)	—	—
1,817	112 (13)	—	112(15)	—	—	112(17)	—	—
1,803	—	—	—	018(5)	—	—	018(3)	—
1,785	—	—	—	116(3)	—	—	116(2)	—
1,670	202(5)	—	202(5)	—	—	202(5)	—	—
1,542	—	—	211(6)	—	—	211(11)	—	—

Примечание: 1 – кварц; 2 – доломит; 3 – кальцит. (I) – относительная интенсивность дифракционных пиков; прочерк – дифракционные пики отсутствуют.

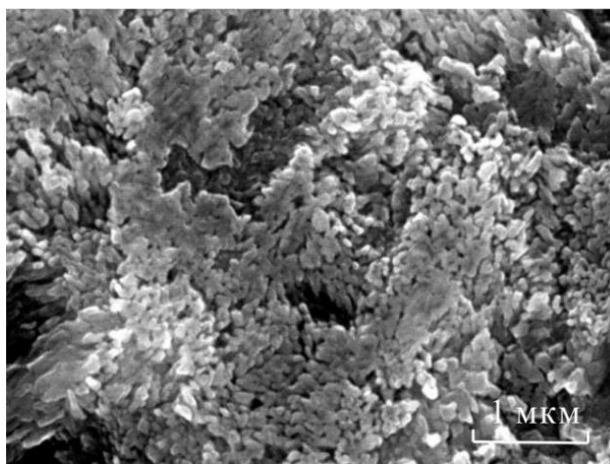


Рис. 7. Наноиндивиды карбоната кальция на поверхности кристаллов кварца из вмещающей породы.
 Fig. 7. Calcium carbonate nanoindivids on the surface of quartz crystals from the host rock.

нижнепермские преимущественно карбонатные отложения с подчиненными прослоями песчано-глинистых пород и эвапоритов позднего ордовика [5]. Один из наиболее представительных по полноте разрезов силура находится в центральной части гряды Чернышева на р. Шарью. Он расположен в районе «нижних ворот» среднего течения реки. Возраст самой древней толщи в этом разрезе – нижне-среднелландоверийский – предположительно определяется по находкам брахиопод *Borealis* sp., представленных массовым скоплением (ракушняковой банкой).

На развитие брахиопод и других представителей бентосных организмов, населявших Тимано-Североуральский бассейн в раннем силуре, влияли

специфика тектонического режима территории, эв-статические изменения уровня Мирового океана, седиментологические условия, климатические изменения и другие [1]. Глобальная силурийская трансгрессия с начала лландовери способствовала широкому расселению брахиопод. Усиление регрессивных тенденций на большей части Североуральского палеобассейна в позднеаэронское время, вымирание бентосной биоты, в том числе и брахиопод *Borealis*, за исключением строматопорат и цианобактериальных сообществ, свидетельствуют о крупной экосистемной перестройке на рубеже аэрона и телича. В разрезе этот рубеж литологически фиксируется появлением тонкоплитчатых строматолитовых известняков в основании телича (филиппельского горизонта) [1, 6–8].

Ранее были показаны особенности современного биоминералообразования в гликокаликсе цианопрокариот из различных водных сред [9]. Определенные современные виды цианофитов, продуцируя слизистые образования, обрастают к субстрату. Формирование микроминералов независимо от условий кристаллизации и места обитания цианопрокариот происходит в пределах их гликокаликса.

Первоначальное формирование внеклеточных зерен кварца при участии цианобактериальных симбионтов (губок, радиолярий), на наш взгляд, могло быть в пределах бактериальной биопленки на поверхности створок, возможно, еще живых форм брахиопод. В качестве источника кремния древние цианофиты использовали биогенный кремнезем – радиолярии и губки. Однако остатки организмов, служивших источником кремнекислоты, не считая единичных спикул, замещенных кремнеземом, нами не обнаружены в петрографических шлифах.

Изначально в доломитизированных брахиоподах на стадии диагенеза, в последующем, на наш взгляд, произошло первичное окремнение. Повышенное содержание растворенного кремнезема может вызвать растворение доломита и окремнение раковин в определенных литологических условиях. После осаждения кремнеземом проходит стадии постседиментационных трансформаций: опал → скрытокристаллический кварц или халцедон → субмикрозернистый кварц.

Полагаем, что ячеистая структура агрегатов новообразованного кварца на наружной поверхности стенки створок брахиопод сформировалась в гликокаликсе современных цианобактерий. Присутствие реликтов окремненного гликокаликса, выявленного на кристаллах и между агрегатами, а также полимерного органического вещества и частично минерализованных чехлов современных цианобактерий, указывает на участие биоты в формировании псевдоморфоз кварца по створкам раковин раннесилурийских брахиопод.

Заключение

Таким образом, показано, что в постседиментационных условиях изменились минеральный состав и структура стенки раковин брахиопод. Окремнение стенки раковин брахиопод привело к полной замене первоначального карбонатного скелета с изменением его структурной организации.

Наблюдаемая структурная упорядоченность, размеры кристаллов на стенках створок брахиопод, различающаяся не только на разных ископаемых образцах, но и в пределах одной створки раковины, свидетельствует о присутствии кварца разных генераций. На основе изученных микроснимков можно сказать, что кварц на створках раковин и во внутрираковинном веществе брахиопод претерпел неоднократные преобразования, обусловленные совокупностью внешних факторов: процессов древнего и современного выветривания.

Реликты биоминеральных пленок на кварцевых щетках свидетельствуют о влиянии микробных сообществ на процессы замещения первичного карбонатного скелета на первичный кварцевый.

Генезис кристаллических агрегатов кварца на поверхности связан как с современными, так и раннепалеозойскими процессами биоминералообразования при участии цианобактериальных симбионтов (радиолярий, губки).

Авторы благодарят д.г.-м.н., гл.н.с. В.И. Ракина, Е.М. Тропникова за сотрудничество в исследованиях.

Литература

1. Безносова Т.М. История развития пентамерид (Brachiopoda) в Тимано-Североуральском бассейне // Палеонтологический журнал. 2014. № 1. С. 49–54.
2. Сапельников В.П. Морфология и таксономическая эволюция брахиопод (отряд пентамериды). Свердловск, 1985. 231с.
3. Ушатинская Г.Т., Малаховская Я.Е. Первые брахиоподы с карбонатным скелетом: появ-

ление, расселение, строение стенки раковины // Эволюция биосферы и биоразнообразие. М.: ПИН РАН, 2006. С. 177–192.

4. Мадисон А.А. Микроструктура раковины строфоменид рода *Bilovia Cooper* (brachiopoda) из позднего ордовика Балтоскандии // Палеонтологический журнал. 2019. № 1. С. 34–45.
5. Соборнов К.О., Данилов В.Н. Гряда Чернышева: суперловушка или зона рассеивания углеводородов? // SPE : Материалы конференции. М., 2015. С. 1–18.
6. Безносова Т.М. Сообщества брахиопод и биостратиграфия ордовика, силура и нижнего девона северо-восточной окраины палеоконтинента Балтия. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 216 с.
7. Цыганко В.С., Безносова Т.М., Лукин В.Ю., Соболев Д.Б. Палеозойская стратисфера северо-востока Европы: стратиграфическая корреляция, биогеособытийная история, эволюция морских палеоэкосистем // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 3 (3). С. 55–61.
8. Матвеев В.А. Основные морфотипы и микроструктура лландоверийских строматолитовых построек на западном склоне Приполярного Урала // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2013. № 2. С. 17–20.
9. Каткова В.И., Митюшева Т.П., Филиппов В.Н., Симакова Ю.С. Минеральные включения в цианобактериях из водных объектов юга Республики Коми // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. № 4. С. 65–71.

References

1. *Beznosova T.M. Istoriya razvitiya pentamerid (Brachiopoda) v Timano-Severoural'skom bassejne* [The history of the development of pentamerides (Brachiopoda) in the Timan-North Urals basin] // *Paleontological J.* № 1. 2014. P. 49–54.
2. *Sapel'nikov V.P. Morfologiya i taksonomicheskaya evolyutsiya brachiopod (otryad pentameridy)* [Morphology and taxonomic evolution of brachiopods (Pentamerida order)]. Sverdlovsk, 1985. 231p.
3. *Ushatinskaya G.T., Malakhovskaya Ya.E. Pervyye brachiopody s karbonatnym skelotom: poyavleniye, rasseleniye, stroyeniye stenki rakoviny* [The first brachiopods with a carbonate skeleton: appearance, dispersal, structure of the shell wall] // *Evolyutsiya biosfery i bioraznoobraziya* [Evolution of the biosphere and biodiversity]. Moscow: Paleontological Inst., RAS, 2006. P. 177–192.
4. *Madison A.A. Mikrostruktura rakoviny strofomenid roda Bilovia Cooper (brachiopoda) iz pozdnego ordovika Baltoskandii* [Shell microstructure of strophomenids of the genus *Bilovia Cooper* (brachiopoda) from the Late Ordovician of Baltoscandia] // *Paleontological J.* 2019. No. 1. P. 34–45.
5. *Sobornov K.O., Danilov V.N. Gryada Chernysheva: superlovushka ili zona rasseivaniya углеводородов?* [Chernyshev Ridge: Super Trap or Hydrocarbon Dispersion Zone?] // *SPE: Conf. materials.* Moscow, 2015. P. 1–18.

6. *Beznosova T.M.* Soobshchestva brakhiopod i biostratigrafiya ordovika, silura i nizhnego devona severo-vostochnoy okrainy paleokontinenta Baltiya. [Brachiopod communities and biostratigraphy of the Ordovician, Silurian and Lower Devonian of the northeastern margin of the Baltic paleocontinent]. Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 2008. 216 p.
7. *Tsyganko V.S., Beznosova T.M., Lukin V.Yu., Sobolev D.B.* Paleozoyskaya stratisfera severo-vostoka yevropy: stratigraficheskaya korrelyatsiya, biogeosobytiynaya istoriya, evolyutsiya morskikh paleoekosistem [Paleozoic stratisphere of northeastern Europe: stratigraphic correlation, biogeo-event history, evolution of marine paleoecosystems] // Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2010. № 3 (3). P. 55–61.
8. *Matveyev V.A.* Osnovnyye morfotipy i mikrostruktura llandoveryyskikh stromatolitovykh postroyek na zapadnom sklone Pripolyarnogo Urala [The main morphotypes and microstructure of Llandoveryian stromatolite structures on the western slope of the Subpolar Urals] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2013. № 2. P. 17–20.
9. *Katkova V. I., Mityusheva T. P., Filippov V. N., Simakova Yu.S.* Mineral'nyye vklyucheniya v tsianobakteriyakh iz vodnykh ob'yektov yuga Respubliki Komi [Mineral inclusions in cyanobacteria from water bodies in the south of the Komi Republic] // Bull. of the Kola Sci. Centre, RAS. 2017. № 4. P. 65–71.

Статья поступила в редакцию 23.04.2021