

СТРОМАТОЛИТОВЫЕ ФОСФОРИТЫ ЮЖНОГО УРАЛА И ИХ ГЕНЕЗИС

© 2014 г. Т. В. Литвинова

Геологический институт РАН
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 7
E-mail: litvinova-geo@rambler.ru

Поступила в редакцию 19.06.2013 г.

В настоящее время уже ни у кого не вызывает сомнения существование тесной связи фосфоритообразования и биогенных процессов, которое установлено в том числе и для древних фосфоритов, долгое время считавшихся типично хемогенными. Эта связь продемонстрирована как экспериментальным путем, так и визуальным – многочисленными независимыми исследованиями фосфоритов и сопровождающих их пород, в которых было выявлено широкое распространение биогенных макро-, микро- и ультрамикроструктур. Однако, в так называемых пластовых фосфоритах вендско-кембрийского и пермского времени так же, как и в большинстве других типов фосфоритов фанерозоя (за исключением ордовикских ракушечных фосфоритов Прибалтики, представляющих собой обломки фосфатных створок брахиопод), жизнедеятельность организмов сопровождалась фосфатонакоплением, то есть эти два процесса осуществлялись субсинхронно, причем фосфатный материал непосредственно к строматолитам не приурочен. В рифейских отложениях Южного Урала строматолитовые столбики сложены фосфатным материалом, а вмещающие их породы имеют карбонатный или карбонатно-кремнистый состав. В литературе практически не освещено, каким образом происходило осаждение фосфата при таком избирательном распределении материала, и специальных исследований по этому вопросу не проводилось. Изучение строматолитовых фосфоритов с помощью электронного микроскопа с анализатором позволило выявить биогенные ультрамикроструктуры, определить характер распределения в карбонатных породах фосфатного и кремневого материала, а также установить их вторичный характер.

Ключевые слова: *строматолиты, фосфориты, рифей, ультрамикроструктура, морфология, биогенные образования, бактериально-водорослевое сообщество.*

ВВЕДЕНИЕ

Многие исследователи отмечали тесную связь фосфоритов и бактериально-водорослевых построек – строматолитов [4, 7, 10, 14, 31, 32 и др.]. В некоторых случаях расцвет биоса сопровождался либо был активизирован поступлением большого количества фосфора, как, например, в фосфоритах пластового типа, широко распространенных в пограничных толщах венда-кембрия. В это время сформировались крупнейшие фосфатоносные бассейны мира, особенно широко распространенные в Азии. Так, например, в Малокаратауском фосфатоносном бассейне (Казахстан) строматолиты описаны как в чичканской свите верхнего рифея [11], так и в продуктивной (чулактауской) свите вендско-нижекембрийского возраста. Последняя включает горизонт “нижних” доломитов (V), кремневый, фосфатный и железо-марганцевый горизонты (E_1), каждый из которых теснейшим образом связан с биосом. Так, в “нижних” доломитах распространены округлые строматолитоглыбовые постройки высотой до 12–15 м, которые рассматриваются исследователями как биогермы

[8] либо как реликты бактериально-водорослевых матов, вовлеченных в подводно-оползневые процессы [27 (1)]. В основании кремневого горизонта повсеместно отмечается присутствие биострома фосфатно-кремневого состава мощностью до 0.5 м, а в его пределах описаны желваковые и столбчатые строматолиты [7, 14]. В фосфатном горизонте установлены фрагменты бактериально-водорослевых матов [7, 23], а также многочисленные фосфатные пеллеты биогенного происхождения [15]. Аналогичными по морфологии, форме и составу пеллетами сложены фосфориты Хубсугульского (Монголия) и Янцзы (Китай) фосфатоносных бассейнов. В кровле продуктивной свиты в Малом Каратау выделяется так называемый железо-марганцевый горизонт, мощность которого не превышает 3 м. Он включает карбонатные пластовые строматолиты и онколиты, обогащенные оксидами железа и марганца, и представляет собой практически бактериально-водорослевый риф [17]. Карбонатные строматолиты подстилают пластовые фосфориты не только в Малокаратауском, но и во многих других фосфатоносных бассейнах вендско-кембрийского време-

ни: в Горной Шории [25], в Индии, в штате Уттар-Прадеш [29], в Джоржине (Австралия) [31], в Непале [28], в Янцзы (Китай) [20], на Харанурском месторождении в Восточных Саянах (Россия) [7]. Известны и строматолитовые фосфориты, они описаны на месторождении Белка в Горной Шории [10], частичная фосфатизация отмечается в строматолитах штата Уттар-Прадеша в Индии [32]. Экспериментальным путем установлено [19], что осаждение фосфатного материала из морской воды осуществляется с участием бактерий. Таким образом, связь древних фосфоритов с бактериально-водорослевыми постройками – достаточно частое явление, привлекающее внимание многих исследователей, причем строматолитообразование и фосфатонакопление происходили субсинхронно.

Строматолитовые постройки встречаются не только во вмещающих фосфориты породах, иногда фосфатным материалом сложены непосредственно строматолитовые столбики. Особый интерес в этом отношении представляют довендские фосфориты, которых не так уж много на нашей планете, в отличие от венд-кембрийских, хотя в докембрии строматолиты распространены очень широко [11]. Фосфатный материал в некоторых из них непосред-

ственно минерализует строматолитовые столбики, при этом вмещающая их порода сложена карбонатным материалом. Такие фосфатные строматолиты известны в нижнепротерозойских отложениях Индии, в штате Раджастан [30], и в рифейских породах Южного Урала, последние и были нами изучены. Можно предположить, что именно бактериально-водорослевая колония осаждала фосфат, поэтому только столбики сложены фосфоритом. В таком случае его распределение будет ассоциироваться прежде всего с биогенными ультрамикроструктурами. Но не исключено, что строматолитовые постройки могли быть замещены в стадии диагенеза. В работе предпринята попытка разобраться с проблемой связи этих двух процессов – строматолитообразования и фосфатонакопления, используя метод электронно-микроскопических исследований.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Кусинском и Саткинском районах Челябинской области Южного Урала, в пределах Змеиных гор (рис. 1), известны два фосфатных горизонта [22]. Они находятся в основании саткинской сви-



Рис. 1. Схема размещения участка исследований (обозначен эллипсом).

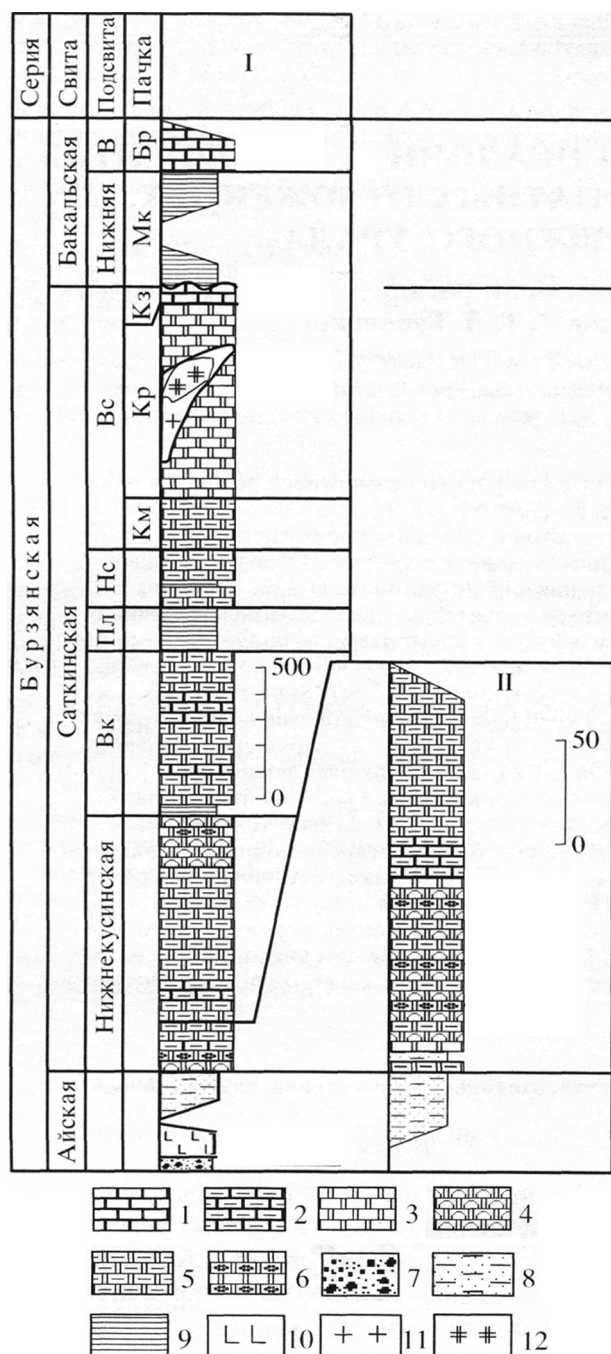


Рис. 2. Стратиграфическая колонка саткинской свиты в районе Змеиных гор (I) и положение в ней фосфоритов в основании нижнекусинской подсвиты, составлена Г.В. Овчинниковой и др. [21], внесены незначительные изменения.

1 – известняки, 2 – глинистые известняки, 3 – доломиты, 4 – строматолитовые доломиты, 5 – глинистые доломиты, 6 – доломиты с фосфоритами, 7 – конгломераты, 8 – алевролиты, 9 – глинистые сланцы, 10 – вулканогенные породы, 11 – гранитоиды Бердяушского массива, 12 – нефелиновые сиениты. Сокращения: Вк – верхнекусинская, Пк – половинкинская, Нс – нижнесатинская, Вс – верхнесатинская, В – верхняя подсвита, Км – каменногорская, Кр – корсакаловская, Кз – казымовская, Мк – макаровская, Бр – березовская пачки.

ты бурзянской серии нижнего рифея (рис. 2). Фосфориты темного цвета приурочены к строматолитовым столбикам, вмещающие их светло-серые карбонатные породы в основном не содержат фосфатного материала. Нижний горизонт мощностью до 100 м находится в основании нижнекусинской подсвиты саткинской свиты. Он обнажается в юго-восточных отрогах Змеиных гор и прослеживается на 12 км, содержание P_2O_5 в фосфоритах колеблется от 1 до 26.75% [24]. Характеристика фосфатоносных горизонтов почти не освещена в литературе, в разрезах фосфориты обнажаются лишь небольшими фрагментами. Верхний фосфатный горизонт приурочен к пограничным толщам нижней и верхнекусинских подсвит и протягивается на десятки километров, однако он до сих пор практически не изучен [22, 24].

С целью установления генезиса фосфоритов и их связи с бактериально-водорослевыми постройками, были детально исследованы строение и состав биогенных ультрамикрообразований в фосфатных строматолитах. В работе использован каменный материал, собранный на юго-восточном склоне Змеиных гор, в 5–7 км от деревни Центральной, и на участке Сунгур (канавка № 1). Работа проводилась на растровом электронном микроскопе TeScan MV-2300 с энергодисперсной приставкой Cambridge instruments INCA-200, диаметр анализируемого участка – 1 мкм, чувствительность по легкой матрице составляет 0.001%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Визуально строматолитовые столбики на участке Сунгур сложены черным фосфоритом (рис. 3а), вмещающая их порода представлена светло-серыми известняками и доломитами с небольшой примесью тонкодисперсного глинистого материала. Карбонатные отложения характеризуются однородностью, они сложены весьма тонкокристаллическим карбонатным материалом, в котором иногда присутствуют мелкие темные включения (до 2 мм) фосфоритов.

Изучение ультрамикростроения строматолитовых столбиков показало, что они включают разнообразные по форме частицы, многие из которых не характерны для минеральных образований. Фосфатный материал распределен в породе повсеместно (рис. 3б), поэтому в данных образцах хомогенные и биогенные агрегаты неразличимы по составу, что затрудняет их генетическую диагностику; тем не менее, на фоне пелитоморфного фосфорита, хорошо заметны частицы неясного происхождения. По размерам и морфологии они сопоставимы с цианобактериями, практически все формы неоднократно повторяются в пробах, частицы имеют широкое распространение в строматолитовых столбиках и отсутствуют во вмещающих постройках доломитов.

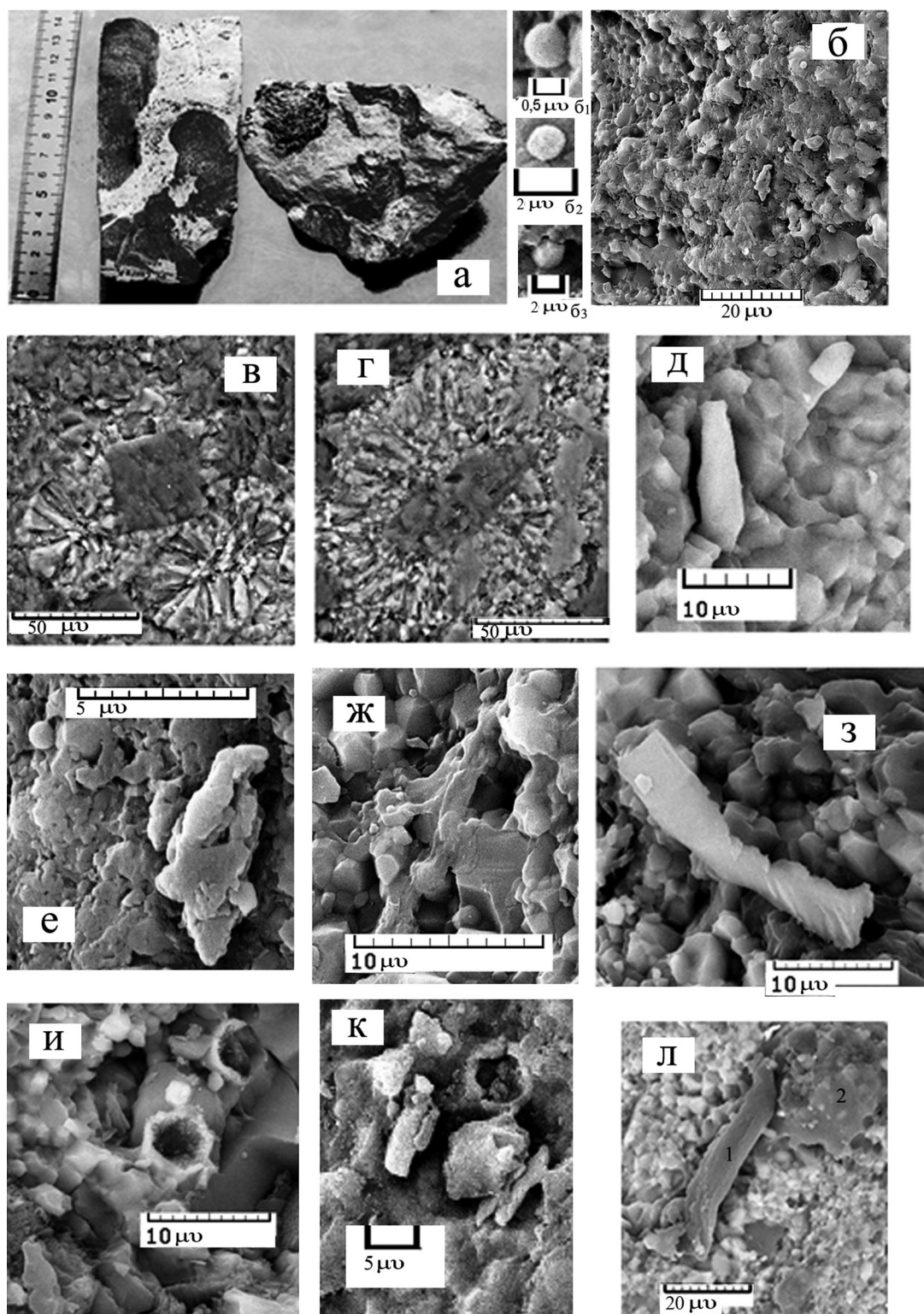


Рис. 3. Фосфатные строматолиты и их ультрамикроструктуры.

а – фосфатные строматолиты, светлое – доломит, темное – строматолитовые столбики, сложенные фосфоритом; б – фосфориты, в которых наблюдается скопление мелких округлых образований, б₁, б₂, б₃ – фрагменты рис. б, мелкие округлые образования, возможно, фоссилизированные коккоидные бактерии; в – фосфатные образования радиально-лучистого строения, в ядре структуры – окремненный кристалл доломита; г – фосфатное образование в форме цветка, ядро сложено слюдой; д – фосфатная частица в форме кувшины; е – фосфатные образования сложной формы со сморщенной поверхностью; ж – корнеобразная фосфатная частица, на раздвоенных окончаниях наросты; з – полые трубочки; и – крупные вытянутые образования (1) и облакообразные частицы (2).

митах – все это говорит в пользу их биогенного генезиса. Среди них часто встречаются скопления округлых мелких образований диаметром от 0.5 до 2 мкм (рис. 3б), которые представляют собой достаточно правильные шарики (рис. 3б₁, б₂, б₃). Частицы такого облика описаны в породах разного возраста и состава [9, табл. VII, фиг. 3; табл. XI, фиг. 3; табл. XIII, фиг. 2–4], и рассматриваются многими исследователями как скопление коккоидных бактериальных форм и даже как бактериальные маты. Аналогичные фосфатные “шарики” [9, табл. XXVIII, фиг. 1, 3] обнаружены и в нижнепротеройских фосфоритах, “заклученных в конгломератах в свите Пилгуяри серии Печенга, Кольский п-ов” [9, с. 86].

В пробах установлены также округлые фосфатные частицы размером от 30 до 100 мкм, некоторые из которых имеют радиально-лучистое (рис. 3в), другие – лучистое строение (рис. 3г). Первые формируются вокруг зерна окремненного доломита, вторые – вокруг чешуйки слюды. Если подобные структуры возникли в результате фоссилизации колонии бактерий, процесс фосфатизации мог не затронуть хомогенные образования, поэтому в ядре структуры сохранился кристалл доломита, подвергшийся впоследствии окремнению и другим изменениям. В то же время фосфатный материал часто формирует разнообразные радиально-лучистые структуры, происхождение которых может быть связано и с чисто хомогенными процессами, поэтому пока не представляется возможным определить их генезис.

В строматолитовых фосфоритах выявлены и другие образования, мало напоминающие ультрамикроструктуры, установленные ранее в фосфоритах различного возраста [26]. Так, в них встречаются вытянутые частицы в форме кувшина, размер которых от 2 до 10 мкм, поперечная часть округлена с одной стороны, а с другой ровная, плоская (рис. 3д). Достаточно широко распространены в этих породах образования сложного строения, имеющие комковатую структуру (3е), а также раздвоенные корнеобразные частицы размером $10 \times 1.5\text{--}2$ мкм, на свободных концах которых образуются почковидные “клубни” (3ж). Подобные формы часто присутствуют в строматолитах разного возраста [9, табл. XXXVII, фиг. 2; 13]. Обнаружены также полые трубочки как в продольном, так и в поперечном сечении (3и, к), причем они могут быть частично скручены (рис. 3з). Все образования неясного генезиса и вмещающая их порода имеют одинаковый состав, они сложены фосфоритом, без каких-либо сопутствующих макро- и микроэлементов. Заметно повышенным количеством углерода характеризуются лишь те из частиц, которые находятся в переходной области, то есть на отдельных участках пробы, где фосфатный материал сменяется кремнеземом. В такой пограничной зоне

выявлены относительно крупные вытянутые образования размером 5×40 мкм (рис. 3л, 1) и облакообразные частицы (рис. 3л, 2). В пределах строматолитового столбика часто встречаются фоссилизированные нитевидные бактерии различной длины и толщины (рис. 4а–е). Кроме того, обращают на себя внимание частицы причудливой формы (рис. 4ж) и пеллеты-шарики (рис. 4з), состоящие из нескольких оболочек. Фосфатные пеллеты такой формы распространены в вендско-кембрийских фосфоритах, причем там они иногда достигают относительно больших размеров – 60 мкм [15]. На отдельных участках пробы фосфориты могут быть пронизаны включениями переотложенного пелитоморфного известняка 16–18 мкм в ширину и до 200 мкм в длину (рис. 4и, л).

При поступлении фосфата в водоем, как было установлено при изучении современных диатомовых илов [3], углерод в замещенных организмах не сохраняется. В ходе фосфатизации содержание Сорг падает в 4–6 раз, а затем, в соответствии со степенью литификации отложений и их возрастом, достаточно быстро происходит синхронное уменьшение общего количества органического вещества и других микроэлементов до их полного исчезновения, и, соответственно, возрастание содержания фосфора.

Одинаковый состав фоссилизированной биопленки и минерального субстрата, как и его постоянство, указывают на вторичный процесс фосфатизации породы. Равномерное распределение фосфатного материала не свойственно для фосфоритов, которые обычно характеризуются сложным и крайне изменчивым составом в результате многостадийного процесса образования этих пород [3, 27]. Так, считается, что в нижнекембрийских фосфоритах, сложенных пеллетами биогенного происхождения, извлечение бактериально-водорослевой колонией фосфата из водоемов осуществлялось как прижизненно [2, 15], так и продолжалось в процессе захоронения организмов, в стадии диагенеза и последующего перемыва осадков [27 (2)]. Однако вмещающая фосфатные пеллеты порода может быть сложена и карбонатом, и кремнеземом, и фосфоритом, причем содержание P_2O_5 в ней крайне изменчиво, в отличие от фоссилизированных организмов.

Фосфатный материал затронул только строматолитовые столбики, но не вмещающую их породу. Это объясняется тем, что бактериально-водорослевое сообщество, создавая на поверхности минерального осадка биопленку, включает воду и внеклеточное полимерное вещество (EPS) микробного генезиса. EPS имеет пористую структуру, оно способно, наподобие губки, впитывать и удерживать воду [6]. Кроме того, клетки бактерий выделяют слизь (гликокаликс), которая защищает их от воздействия резких климатических изме-

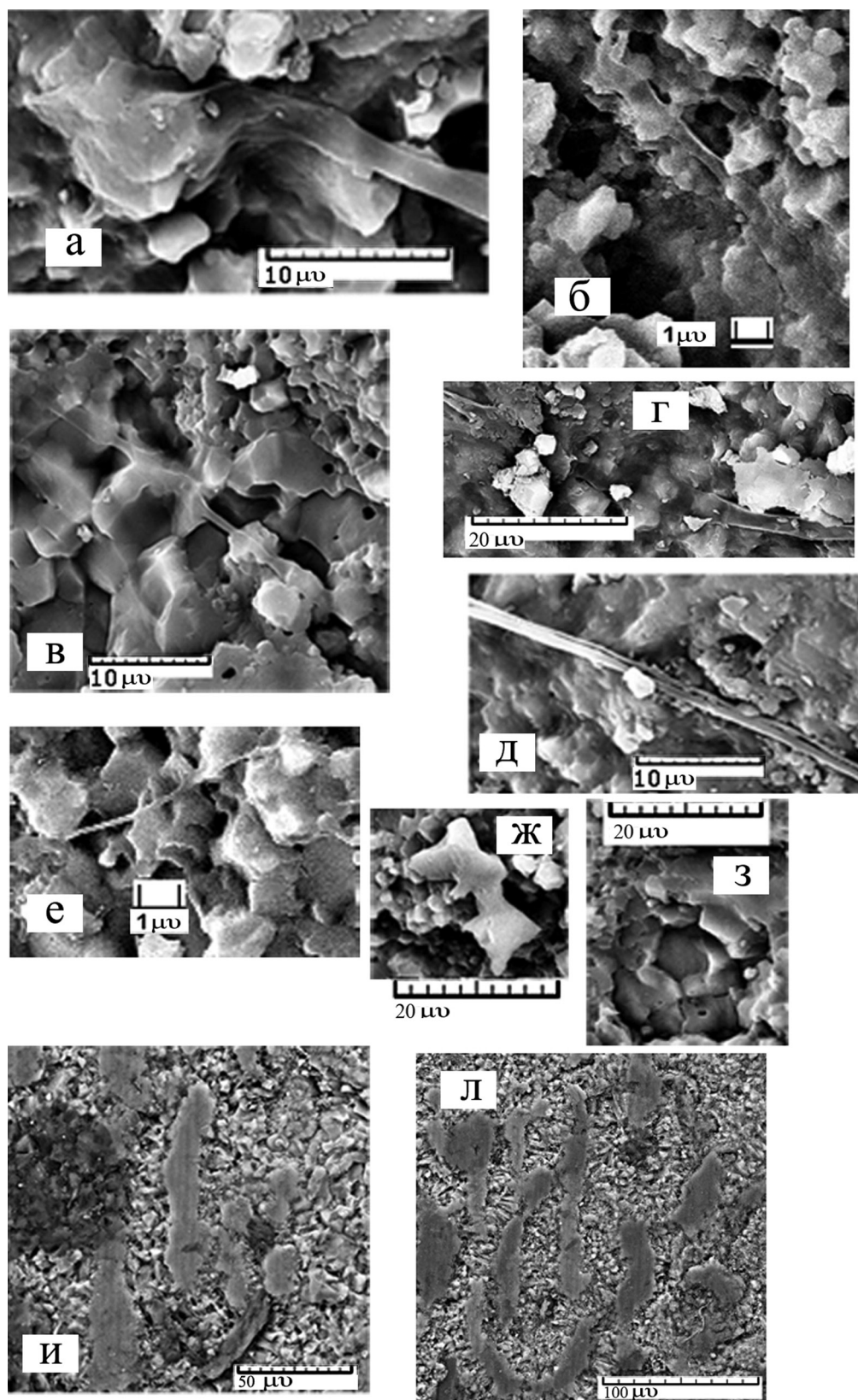


Рис. 4. Ультрамикроструктуры фосфатных строматолитов.

а–е – фоссилизированные нитевидные бактерии, сложенные фосфором; ж – фосфатные частицы причудливой формы; з – пеллеты-шарики, состоящие из нескольких фосфатных оболочек; и, л – переотложенный пелитоморфный известняк (серые извилистые полосы) на фосфорите.

нений и также препятствует высыханию организмов [1]. Все это позволяет колонии более длительное время, даже посмертно, сохранять влагу и тормозить процессы литификации породы.

Строматолитовые столбики (рис. 5а) и включающие их породы, отобранные в обнажениях отрогов Змеиных гор, в верховьях реки Сунгурки, окрашены соответственно в черный и темно-серый цвета. Ширина столбиков 13–20 мм, высота 50–70 мм, они характеризуются тонкой куполообразной слоистостью: темно-серые слои неравномерно чередуются с черными, мощность последних значительно меньше. По размеру, морфологии и строению они схожи с фосфатными строматолитами, однако слоистость в последних отсутствует.

С помощью электронного микроскопа в кремневых строматолитах были установлены следующие биогенные ультрамикроструктуры: многочисленные образования сложной формы со сморщенной поверхностью размером до 20 мкм в длину (рис. 5б, е); нитевидные (рис. 5в) и округлые кувшинообразные частицы (рис. 5ж); формы размером от 2 до 5 мкм с округлым полым отверстием (рис. 5з); тонкие “кружевные” образования необычного облика, напоминающие лоскуты мятой материи (рис. 5к, л); крупные округлые частицы с гладкой поверхностью (рис. 5н); многочисленные сморщенные “шкурки” размером от 10 до 45 мкм (рис. 5г, д, и, о, п). Последние большинство исследователей диагностируют как расплюснутые минерализованные бактериальные пленки, сморщенная структура которых сформировалась в процессах обезвоживания и дальнейшего высыхания организмов [9]. Такие образования, по нашим наблюдениям, широко распространены в строматолитах разного возраста [13]. Все биоморфные ультрамикроструктуры в этих породах характеризуются существенно повышенными количествами углерода и кислорода, обязательным присутствием кремнезема и карбоната, в качестве примеси в некоторых из них отмечаются хлор, иногда калий (табл. 1). Кремнезем способствует сохранению морфологии бактериальной клетки [2, 12], что активно используется

при изучении микрофоссилий, диагностируемых преимущественно в шлифах из кремневых пород [5]. Более того, присутствие кремнезема в фоссилизованных биочастицах является своего рода гарантией сохранения в их составе углерода и некоторых других микроэлементов, что показала практика изучения строматолитов различного возраста [16, 18]. Во вмещающей строматолитовые столбики породе биогенные образования не выявлены. Она сложена однообразной скрытокристаллической массой кремнезема, в котором иногда могут присутствовать незначительные количества алюминия, железа, магния; углерод отсутствует.

Процесс окремнения обычно осуществляется в несколько стадий, как было установлено электронно-микроскопическими исследованиями [12] и подтверждено экспериментальным путем [2]. Первоначально кремнезем замещает организмы, фиксируя их морфологию. Высокая скорость фоссильзации позволяет сохранить в их составе органический углерод и некоторые другие сопровождающие биос микроэлементы. Впоследствии происходит полное замещение карбонатного материала кремнеземом как в строматолитовых постройках, так и во вмещающей их породе.

Сопоставление комплекса биогенных ультрамикроструктур в фосфатных и в кремневых строматолитах по морфологическим признакам и закономерности их распределения в породе не показывают каких-либо принципиальных различий между этими частицами.

ВЫВОДЫ

1. Широкое распространение биогенных ультрамикроструктур в строматолитовых постройках как фосфатного, так и кремневого состава и отсутствие таковых во вмещающих отложениях указывают на определяющую роль биоса в формировании текстурно-структурных особенностей этих пород. Однако процесс замещения первично карбонатных осадков фосфатным и кремневым материалом осуществлялся неодинаково во времени и в пространстве.

2. Фосфатизация строматолитов происходила на ранних стадиях диагенеза, фосфатное вещество прежде всего поступало в зоны развития биогенных осадков, так как организмы способны длительное время удерживать влагу, что замедляет процесс литификации отложений. Строматолитовые столбики, сложенные фосфоритом, сформировались в результате замещения фосфором бактериально-водорослевой колонии и продуктов ее жизнедеятельности.

3. И биогенные ультрамикрочастицы, и вмещающая их порода сложены равномерно распределенным фосфатным материалом. Характерная для строматолитов слоистость, возникающая в результате тонкого чередования различных по строению и

Таблица 1. Состав биогенных частиц в кремневых строматолитах

Пробы	Единицы	Элементы						Сумма
		C	O	Si	Ca	Cl	K	
1	мас. %	23.64	44.88	27.07	2.17	2.24		100
	ат. %	33.61	47.92	16.47	0.93	1.08		
2	мас. %	38.14	39.07	22.79				100
	ат. %	49.39	37.98	12.62				
3	мас. %	26.63	28.98	29.38		9.09	5.93	100
	ат. %	40.44	33.04	19.08		4.68	2.77	
4	мас. %	48.88	12.88	25.51		12.73		100
	ат. %	66.26	13.11	14.78		5.84		

Примечание. Пустая клетка – элемент не обнаружен.

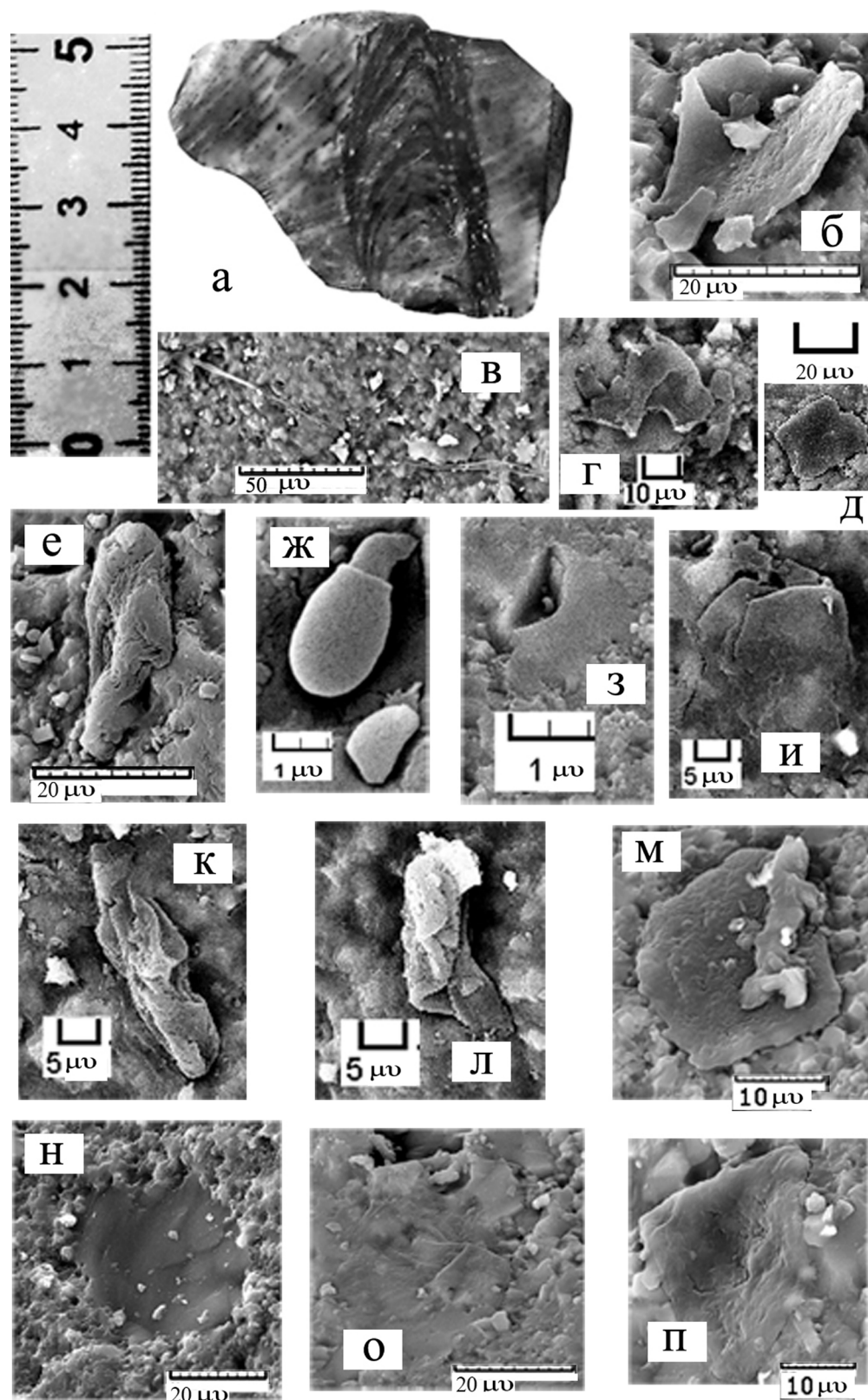


Рис. 5. Ультрамикроструктуры кремневых строматолитов.

а – кремневые строматолиты (темный столбик); б, г, е, м – образования сложной формы со сморщенной поверхностью; в – фоссилизированная нитевидная бактерия; ж – кувшинообразная частица; з – форма с округлым полым отверстием; к, л – кружевные образования причудливой формы со сморщенной поверхностью; н – крупные округлые частицы с гладкой поверхностью; д, и, о, п – фоссилизированные бактериальные пленки.

составу минеральных и органогенных микрослоев, уничтожена вторичными событиями. Хорошая сохранность фоссилизированных организмов и стабильный состав фосфоритов указывают на высокую скорость этого процесса.

4. Вмещающая фосфатные строматолиты карбонатная порода частично сохранила первичный состав, претерпев уплотнение и обезвоживание осадка на более ранних стадиях литогенеза, чем зоны накопления биогенных субстанций. Позднее, во время диагенеза, под давлением масс в отложившихся осадках протекали процессы перекристаллизации и формирования доломитов, а также обезвоживание и уплотнение замещенных фосфатом строматолитовых построек.

5. Иная ситуация складывалась в кремневых строматолитах. Кремнезем, в отличие от фосфата, замещал и вмещающую строматолиты породу, и биогенные постройки, при этом бактериально-водорослевая колония постмортально сохраняла в своем составе органическое вещество, окрашивающее в черный цвет лишь фоссилизированные биопленки, в результате чего в строматолитовых столбиках хорошо прослеживается слоистость, зафиксированная кремнеземом.

6. Многостадийный процесс окремнения происходил в позднем диагенезе и эпигенезе, в течение длительного времени, охватывающего тысячелетия, до полного замещения карбонатных строматолитов и вмещающей их породы кремнеземом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алкофильные микробные сообщества // Тр. Института микробиологии. Вып. XIX. М.: Наука, 2007. 396 с.
2. Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. 188 с.
3. Батуринов Г.Н. Фосфориты на дне океанов. М.: Наука, 1978. 231 с.
4. Герасименко Л.М., Заварзин Г.А., Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. Роль цианобактерий в образовании фосфатных минералов // Общая биология. 1999. Т. 60, № 4. С. 415–430.
5. Головенков В.К. Отбор кремней докембрийских карбонатных пород для изучения древних микрофоссилий. Л.: ВСЕГЕИ, 1989. 26 с.
6. Гусев М.В., Минеева Л.А. Микробиология. М.: Академия, 2003. 447 с.
7. Еганов Э.А. Фосфоритообразование и строматолиты. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1988. 89 с.
8. Еганов Э.А., Советов Ю.К. Каратау – модель региона фосфоритонакопления. Новосибирск: Наука, 1979. 192 с.
9. Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных и астроматериалах / А.Ю. Розанов., Г.Т. Ушатинская М.: ПИН РАН, 2011. 173 с.
10. Красильникова Н.А., Пауль Р.К. Строматолитовые фосфориты Горной Шории // Геология и геофизика. 1983. № 1. С. 63–68.
11. Крылов И.Н. Строматолиты рифея и фанерозоя СССР. М.: Наука, 1975. 245 с.
12. Крылов И.Н., Тихомирова Н.С. К образованию кремнистых микрофоссилий // Палеонтол. журн. 1998. № 3. С. 3–9.
13. Леонова Л. В., Литвинова Т. В., Главатских С. П. Минеральные агрегаты специфического облика в литологических обособлениях осадочных пород // Юшкинские чтения-2013: мат-лы минералогич. семинара с междунар. участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2013. С. 461–464.
14. Литвинова Т.В. О строматолитовой природе кремнистого горизонта чулактауской свиты Малого Каратау // Литология и полез. ископаемые. 1990. № 2. С. 88–96.
15. Литвинова Т.В. Состав, морфология и происхождение фосфатных пеллет (на примере фосфоритов Малого. Каратау) // Литология и полез. ископаемые. 2007. № 4 С. 426–443.
16. Литвинова Т.В. Новые данные по строению и составу строматолитовых построек (С. Прианабарье) // Литология и полез. ископаемые. 2009. № 4. С. 428–437.
17. Литвинова Т.В. Онколиты железо-марганцевого горизонта Малого Каратау // Современная микропалеонтология: мат-лы X Всерос. микропалеонт. совещ. Геленджик: КГУ, 2012. С. 496–500.
18. Литвинова Т.В., Сонин Г.В. Биоминерализация пермских строматолитов (Казахстан) // Водоросли в эволюции биосферы: мат-лы I палеоальгол. Конф. М.: ПИН РАН, 2013. С. 72–75.
19. Лука Ж., Прево Л. Синтез апатита. К вопросу о новой модели генезиса осадочных фосфоритов // 27 Междунар. геол. конгресс. Доклады. Секц. С. 15. Неметаллические полез. ископаемые. М.: Наука, 1984. С. 59–68.
20. Льянзун Н. Закономерности размещения фосфоритов Китая // 27 Междунар. геол. конгресс. Доклады. Секц. С. 15. Неметаллические полез. ископ. М.: Наука, 1984. С. 68–75.
21. Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Васильева И.М., Горохов И.М., Крупенин М.Т., Маслов А.В., Турченко Т.Л. Pb-Pb возраст преобразования осадочных фосфоритов в нижнерифейских карбонатных отложениях, саткинская свита Южного Урала // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2008. Т. 16, № 2. С. 35–41.
22. Петров В.И., Шалагин А.Э., Пунегов Б.Н. Фосфориты в саткинской свите нижнего рифея Южного Урала // Общие проблемы стратиграфии и геологической истории рифея Северной Евразии. Тез. докл. Всерос. совещ. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1995. С. 78–79.
23. Природа фосфатных зерен и фосфоритов крупнейших бассейнов мира / Э.Л. Школьник, Т. Тан, Э.А. Еганов и др. Владивосток: Дальнаука, 1999. 206 с.
24. Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерогения, геологические памятники природы). Т. I. / А.В. Маслов, М.Т. Крупенин, Э.З. Гареев, Л.В. Анфимов. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. 351 с.
25. Спандерашвили Г.И. Фосфориты Горной Шории // Фосфориты Западной Сибири. М.: Наука, 1965. С. 41–55.
26. Ультрамикроструктуры фосфоритов (Атлас фотографий) / Ю.В. Миртов, Ю.Н. Занин, Н.А. Красильникова, Б.Г. Гуревич, Л.М. Кривошукская, И.Г. Кра-

- сильникова, Ю.К. Сухов М.: Наука, 1987. 222с.
27. Холодов В.Н., Пауль Р.К. Фации и генезис фосфоритов Каратау // Литология и полез. ископаемые. 1999. Ч. 1. № 4. С. 350–367. Ч. 2. № 5. С. 503–517.
28. Bashayal R.P. Stromatolitic phosphorite occurrences in the Lesser Himalaya of far Western Nepal // Phosphorite. Spec. publ. Geol. Surv. India. 1984. № 17. P. 197–206.
29. Petwardhan A.M. New data on the Mussoorie phosphorites, Lower Himalaya // Proterozoic-Cambrian phosphorites. Canberra. 1979. P. 43–44.
30. Sant V.N. Occurrence of algal phosphorite in the Precambrian rocks of Rajasthan // Current Sci. India: Muktinath: 1967. V. 36. P. 638.
31. Southgate P.N. Cambrian stromatolitic phosphorites from the Georgina Basin, Australia // Nature. 1980. V. 285, № 5764. P. 395–397.
32. Valdiya K.S. Origin of phosphorite of the Late Precambrian Gangolihat Dolomites of Pithoragarh, Kumaun Himalaya, India // Sedimentology. 1972. V. 19, № 1/2. P. 115–128.

Рецензент А.В. Маслов

Stromatolite phosphorites of Southern Ural and their genesis

T. V. Litvinova

Geological Institute RAS

At present no one doubts the existence of close connection between phosphorite formation and biogenic processes, which also includes ancient phosphorites, before long thought to be chemogenic. This connection was shown both experimentally and visually – by numerous independent studies of phosphorites and accompanying rocks, which revealed widespread biogenic macro-, micro-, and ultramicrostructures. However, in the stratal phosphorites of Vendian-Cambrian and Permian age, just as in most other Phanerozoic phosphorites (except for Ordovician phosphorites of the Baltic region), the vital activity of organisms was accompanied by phosphate accumulation, i.e., these two processes were synchronous, though the phosphate material was not confined to stromatolites. In Riphean deposits of Southern Urals, stromatolite columns are composed of phosphate material, and the enclosing rocks are of carbonate or carbonate-silica composition. Literature does not provide information on phosphate deposition with such selective distribution of material. No special studies were conducted on this problem either. Poor exposure of Riphean deposits in the Southern Urals complicates their study in the field, though studies of stromatolite phosphorites using the electron microscope allowed identifying biogenic ultramicrostructures and revealing the distribution of phosphate and silica material in carbonate rocks, and to establish their secondary nature.

Key words: *stromatolites, phosphorites, Ripheans, ultramicrostructure, morphology, biogenic formations, filiform bacteria.*