

УДК 552.6

## МИКРОБИАЛЬНЫЕ ОСТАТКИ СИНСКОЙ СВИТЫ (НИЖНИЙ КЕМБРИЙ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

© 2003 г. М. М. Астафьева

*Палеонтологический институт РАН*

Поступила в редакцию 09.04.02 г.

Принята к печати 20.05.02 г.

Проведены исследования ископаемых бактериальных остатков из черных карбонатных сланцев синской свиты нижнего кембрия Сибирской платформы. Описаны основные типы ископаемых микробных остатков, обнаруженные в изученных породах.

Необходимость исследования fossilized микроорганизмов в древних породах и определения их значения для осадконакопления связана с тем, что бактерии играют ведущую роль в минерализации органических веществ. Это вызвано тем, что, во-первых, бактерии способны гидролизовать в аэробных условиях все классы органических соединений, а во-вторых, способны минерализовать органические вещества. Причем в аэробных условиях происходит наиболее полное разложение органических веществ с образованием углекислого газа и воды. Большое значение процесса минерализации определяется тем, что он поддерживает круговорот углерода и других элементов в биосфере. Изъятие углерода из круговорота происходит при осаждении карбоната кальция во многих процессах, идущих при участии микроорганизмов. Также отложение  $\text{CaCO}_3$  происходит в скелетных структурах простейших, кораллов и моллюсков (Шлегель, 1987). Причем для круговорота углерода в океане характерно преобладание процессов фотосинтеза с участием микроводорослей. Кроме того, фиксация  $\text{CO}_2$  происходит и в процессе хемосинтеза, или углерод выводится из кругооборота в результате осаждения  $\text{CaCO}_3$ .

Вовлечение фотоавтотрофных микроорганизмов в осаждение карбонатов тесно связано с их фотосинтетической активностью и производством биомассы. Осаждение карбонатов обычно происходит на внешних поверхностях клеток цианобактерий. При такой схеме минерализации клетки цианобактерий играют роль центров кристаллизации. В результате развиваются очень тонко зернистые осадки (размер частиц часто меньше 1 мкм в диаметре) (Fortin et al., 1997). Все вышесказанное свидетельствует о существенной роли бактерий в образовании горных пород вообще, а высокоуглеродистых в особенности.

Изучение микробных остатков имеет большое значение для палеогеографии при изу-

чении эпиконтинентальных бассейнов. Обнаружение минерализованных остатков, предположительно цианобактерий, в отложениях синской свиты ботомского яруса заставило пересмотреть палеогеографию того времени. Так, если ранее не вызывало сомнений, что в раннем и среднем кембрии на востоке Сибирской платформы располагался открытый к океану относительно глубоководный бассейн, то сейчас кажется более вероятным, что этот бассейн был мелководным, даже, возможно, полузамкнутым (Заварзин, Розанов, 1997; Бактериальная палеонтология, 2002). Это предположение требовало дополнительной проверки, которая и была предпринята в настоящей работе. Поэтому в качестве объекта для исследования ископаемых бактериальных остатков были выбраны черные карбонатные сланцы синской свиты.

Стратиграфически синская свита относится к середине ботомского яруса нижнего кембрия и представлена чередованием тонкоплитчатых, темно-коричневых, битуминозных, реже более светлых, доломитизированных известняков с глинисто-кремнисто-карбонатными, темно-коричневыми и черными сланцами (Кембрий Сибири, 1992; Ярусное расчленение... , 1984). Разрезы синской свиты находятся в юго-восточной части Сибирской платформы в среднем течении реки Лены. Этот район относится к северо-восточной окраине Юдомо-Оленекского фациального региона, для которого предполагается, что формирование отложений происходило в условиях мелководного полузамкнутого бассейна с придонной аноксией. Детально эти разрезы описаны в работах В.В. Хоментовского, Л.Н. Репиной, А.Ю. Розанова, В.В. Миссаржевского, Л.И. Егоровой, В.Е. Савицкого, И.Т. Журавлевой, Н.П. Мешковой, В.А. Лучининой, В.А. Сысоева, Н.П. Суворовой и др.

Для исследования были отобраны образцы пород (сборы А.Ю. Иванцова) из типового разреза

синской свиты, расположенного на р. Синей (левый приток р. Лены), а также из отложений синской свиты района Чекуровка (низовья р. Лены) – сборы Г.Т. Ушатинской. Также в работе использованы изображения микробиальных остатков из синской свиты, полученные Розановым и Р. Хувером во время работы в НАСА. Образцы протравливались перекисью водорода в течение получаса и просушивались в муфельной печи, чтобы исключить современное бактериальное заражение. Изучение проводилось на сканирующем микроскопе CamScan-4 с микроанализатором.

Прежде чем подробно рассматривать обнаруженные биоморфные структуры, надо сказать несколько слов о характерных чертах цианобактерий, актиномицет и некоторых бактерий, присутствие которых наиболее вероятно в изучаемых отложениях. К сожалению, палеонтологический материал не позволяет судить о биохимических и физиологических особенностях ископаемых организмов, поэтому все внимание при их изучении приходится направлять на морфологические характеристики (Гусев, Минеева, 1992).

1. Итак, к цианобактериям относится большая группа организмов, сочетающая прокариотное строение клеток со способностью осуществлять фотосинтез, сопровождающийся выделением кислорода. Морфологически эта группа разнообразна и включает одноклеточные, колониальные и многоклеточные формы. У многоклеточных форм структурной единицей служит нить (трихом, или филамент). Нити бывают простые или ветвящиеся. Простые нити состоят из одного ряда клеток (однорядные трихомы), имеющих одинаковые размеры, форму и строение, или из клеток, различающихся по этим параметрам. Ветвящиеся трихомы возникают в результате разных причин, и соответственно, выделяют ложное и истинное ветвление. К истинному ветвлению приводит способность клеток трихома делиться в разных плоскостях. В результате возникают многорядные трихомы или однорядные нити с однорядными боковыми ветвями. Ложное ветвление трихомов не связано с особенностями деления клеток внутри нити, а является результатом прикрепления или соединения разных нитей под углом друг к другу.

К одноклеточным цианобактериям, существующим как в виде одиночных клеток, так и образующим колонии (скопления), относятся цианобактерии порядков *Chroococcales* и *Pleurocapsales*. Многоклеточные, или нитчатые, формы принадлежат порядку *Oscillatoriales*, *Nostocales* и *Stigoneomatales*. Представители *Oscillatoriales* и *Nostocales* имеют однорядные неветвящиеся нити, а среди *Stigoneomatales* имеются формы с ветвящимися и многорядными трихомами.

2. Группа пурпурных бактерий представлена одноклеточными организмами разной морфологии, длиной от 1 до 20 мкм, шириной от 0.3 до 6 мкм. Все пурпурные бактерии могут расти на свету в анаэробных условиях, осуществляя фотосинтез бескислородного типа. Различают серные и несерные пурпурные бактерии. Все представители серных пурпурных бактерий могут расти при освещении в анаэробных условиях в среде с  $\text{CO}_2$  как единственным источником углерода, причем сульфид ( $\text{H}_2\text{S}$ ) выступает в роли донора электронов. Пурпурные несерные бактерии в качестве доноров электронов и источника углерода для фотосинтеза предпочитают простые органические соединения: жирные кислоты, спирты, сахара, аминокислоты.

3. К сульфатредуцирующим, или сульфатовосстанавливающим, бактериям относятся организмы с различными морфологическими признаками. Среди них есть одноклеточные и нитчатые формы. Все сульфатредуцирующие бактерии – облигатные анаэробы. Многие из них относятся к категории строгих анаэробов, для роста которых требуется не только отсутствие кислорода, но и низкий окислительно-восстановительный потенциал среды.

Сульфатредуцирующие бактерии широко распространены в анаэробных зонах водоемов разного типа и почвах. Часто они развиваются вместе с пурпурными и зелеными серобактериями, использующими сероводород, возникающий при сульфатредукции. Сульфатредуцирующим бактериям принадлежит ведущая роль в образовании сероводорода в природе и в отложении сульфидных минералов.

4. Группа актиномицет объединяет организмы с разной морфологией: от кокков и палочек до форм, образующих ветвящиеся нити или формирующие развитый мицелий. Общее строение актиномицет аналогично строению эвкариотных грибов, но с гораздо более тонкими прокариотными гифами, содержащими много нуклеоидов и не всегда разделенными на отдельные клетки. Это в основном почвенные организмы, приспособленные к развитию в относительно засушливых условиях на твердом субстрате. Актиномицеты часто развиваются по отмершему грибному мицелию. Все они являются органотрофными аэробами. К водным актиномицетам относятся лишь представители группы актиноплан (группа 24 по классификации Берги) (Бактериальная палеонтология, 2002).

Биоморфные структуры, встреченные в изучаемых породах, разнообразны. Они представлены трубочками, кокками, тонкими нитями, а также фрамбоидами пирита, образование которых связано с жизнедеятельностью сульфатредуцирующих бактерий.

1. Наиболее широко представлены одиночные, длинные (часто более 100 мкм) полые трубочки, без ответвлений, диаметр которых не превышает 5 мкм (табл. I, см. вклейку), а обычно около 3 мкм. Наружная поверхность трубочек, как правило, инкрустирована рельефными бугорками. Они бывают двух типов. Бугорки первого типа представляют собой округлые или овальные, иногда слабо угловатые, очень выпуклые наросты или бляшки на наружной поверхности трубочек. Диаметр бугорков не превышает 0.5 мкм (табл. I, фиг. 1, 2, 5, 6).

Другой тип бугорков придает поверхности трубочек скорее “мелкосопочный” рельеф. Они имеют в разрезе форму крупных холмов или сопков (табл. I, фиг. 4). Можно сказать, что поверхность трубочек напоминает крокодильиую кожу. Размер бугорков-холмиков (сопок) не превышает 1 мкм (табл. I, фиг. 3, 5). Скорее всего, эти бугорки второго типа образованы изгибом стенки.

Иногда трубочки имеют гладкую поверхность. Однако в этом случае нельзя исключить, что подобный характер поверхности мог быть связан с особенностями минерализации или с последующим разрушением или удалением этих бугорков.

Судя по форме, размерам, характеру объединения трубочек, делению их на клетки соответствующего размера, морфологически “трубочки с бугорками” близки современным цианобактериям.

Что касается биологической природы и систематического положения “трубочек с бугорками”, то можно было бы предположить, что “бугорки” – это биоморфные микроструктуры, прикрепленные к цианобактериям, поскольку трубочки, покрытые бугорками, схожи с изображением фагового поражения нитчатой бактерии (Горленко и др., 1977) и в меньшей степени схожи с изображением паразитирующего вибриона, существующего за счет клеток хлореллы (Громов, Павленко, 1989). В качестве паразитирующих могли бы выступать микроорганизмы, способные лизировать клетки цианобактерий при непосредственном контакте с ними. Причем лизису могут подвергаться как живые, так и мертвые клетки цианобактерий за счет действия термостабильных внеклеточных выделений (Горленко и др., 1977). Однако наблюдаемые нами трубочки имеют отнюдь не угнетенный вид, к тому же бугорки разбросаны по поверхности трубочек в беспорядке (табл. I). Подобное распределение бугорков заставляет отказаться от предположения о фаговом поражении, так как в этом случае паразитирующие (или хищные) бактерии обычно концентрируются, образуя колонии.

В химическом составе трубочек и окружающих их пород (чередование пачек битуминозных известняков и глинисто-кремнисто-карбонатных битуминозных сланцев) преобладают Ca и Si, по-

этому можно предположить окремнение или карбонатизацию чехлов цианобактерий. К тому же “трубочки с бугорками” практически неотличимы от “Phormidium” (цианобактерий с неветвящимися нитями постоянного диаметра, характерных для термофильных матов), инкрустированных маленькими кремниевыми бусинками, которые были обнаружены вблизи (?фартуке разгрузки) термальных источников Новой Зеландии (Jones et al., 1998, рис.13f). Образование мелкодисперсного кремнезема в термофильном мате не связано непосредственно с деятельностью микроорганизмов, а происходит вследствие выпадения из раствора при изменении гидрохимической характеристики при контакте с матом (Герасименко, Заварзин, 1993). Но окончательные выводы делать преждевременно, так как породы сами по себе карбонатно-глинистые, т.е. содержат и Ca и Si.

Сохранность трубочек различна. Иногда они сохраняют округлое поперечное сечение и внутреннюю полость (табл. I, фиг. 2), а иногда расплющены (табл. I, фиг. 5). Довольно часто расплющенные и деформированные трубочки как бы плавно переходят в породу, сливаясь с ней, а иногда даже создается впечатление, что порода сложена расплющенными трубочками (табл. I, фиг. 5; табл. II, фиг. 1–5, см. вклейку).

Среди биоморфных структур, исследованных нами, преобладают “трубочки с бугорками”, предположительно цианобактерии, которые играют ведущую роль в так называемых цианобактериальных матах – специфических устойчивых бактериальных сообществах, основой которых являются цианобактерии. Сообщество считается устойчивым, если оно способно существовать за счет поступающей извне энергии, солнечной или химической. Условием устойчивости является замкнутость циклов биогенных элементов, т.е. в каждом сообществе формируется трофическая сеть, представленная уравновешенными ветвями продуцентов и деструкторов (Заварзин, 1993). В нашем случае основной синтез органического вещества происходил за счет фотосинтеза, осуществляемого цианобактериями в аэробной зоне. Во всех современных матах доминируют осцилляториевые водоросли, представляющие собой подвижные нитчатые формы (Герасименко, Заварзин, 1993). В экстремальных для роста цианобактерий условиях аноксигенный фотосинтез осуществляют фототрофные бактерии – как зеленые, так и пурпурные.

В условиях благоприятных для роста цианобактерий, т.е. при температуре меньше 45° и солености не выше 16%, цианобактерии являются высокопродуктивной системой, причем общая продуктивность мата зависит от соотношения продукционных и деструкционных процессов. В благоприятных для цианобактерий условиях

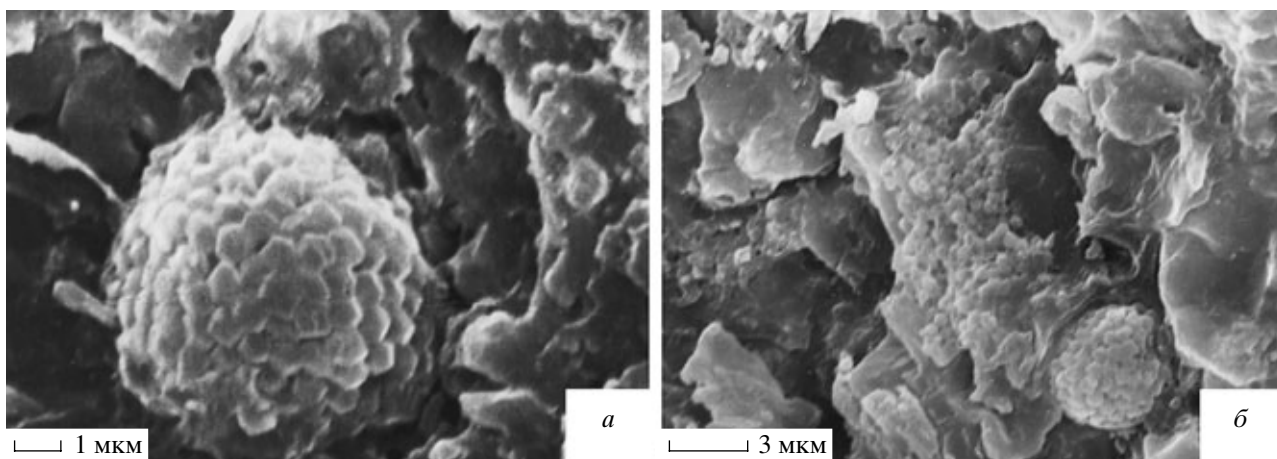


Рис. 1. Пирит: *а* – фрамбоидальный; *б* – фрамбоидальный и в россыпи кристаллитов.

продукционные процессы преобладают, в неблагоприятных – деструкция выше продукции (Герасименко, Заварзин, 1993).

2. В исследуемых образцах наряду с трубочками (цианобактериями) широко распространены и шаровидные формы – кокки диаметром около 5 мкм. Они встречаются как в виде одиночных форм, вкрапленных в породу, так и в скоплениях (россыпях) – “колониях”. Диаметр колоний может превышать 60 мкм. Часто кокки как бы окружают трубочки. А иногда создается впечатление, что кокки, так же как и трубочки, являются основным элементом породы (табл. II).

Морфологически эти кокки вполне отвечают современным пурпурным бактериям. Данных, говорящих о недопустимости подобного предположения, не имеется.

3. В отдельных прослоях изучаемых пород распространен пирит, причем как во фрамбоидах, что характерно для термофильных цианобактериальных матов (Герасименко, Заварзин, 1993), так и в виде россыпи. Размер фрамбоидов пирита колеблется в основном от 5 до 6 мкм, а размер кристаллитов в россыпи около 0.2–0.3 мкм (рис. 1).

Присутствие фрамбоидного пирита автоматически предполагает и наличие процесса сульфатредукции, осуществляемого сульфатредуцирующими бактериями. Эти бактерии используют элементарную серу и сульфаты, образующиеся в результате фотосинтеза, производимого пурпурными бактериями (Громов, Павленко, 1989). Сульфатредуцирующие бактерии (СРБ) трофически тесно связаны с серными пурпурными бактериями (Громов, Павленко, 1989). Причем симбиотическое взаимодействие в этом случае переходит в синтрофию, т.е. в способность двух или более видов бактерий осуществлять такой процесс, который ни один из них не способен осуществлять по отдельности (Громов, Павленко, 1989).

В нашем случае синтрофия, вероятно, основана на двунаправленном переносе соединений серы. СРБ, развиваясь в присутствии сульфата, образуют сероводород, который, в свою очередь, может использоваться серной пурпурной бактерией в процессе аноксигенного фотосинтеза. В результате снова образуется сульфат, который может использоваться СРБ (Громов, Павленко, 1989). Развитие же сульфидогенов – СРБ и метаногенов характерно для нижней, анаэробной, зоны цианобактериального мата (Герасименко, Заварзин, 1993).

Сульфатредукция под матом создает сероводородный барьер на пути миграции минерализованных вод и обуславливает отложение сульфидов тяжелых металлов, в первую очередь, железа. В илах и темновой анаэробной зоне сероводород связывается в нерастворимые сульфиды железа, осаждается и выбывает из круговорота серы (Горленко и др., 1977). В случае достаточной освещенности главные потребители сероводорода – фототрофные пурпурные бактерии. При дефиците сероводорода главным продуктом окисления сероводорода являются сульфаты, а сера не накапливается. Образование промежуточной серы внутри клеток пурпурных серобактерий происходит, если скорость образования сероводорода или поступления его извне превышает быстроту его окисления микроорганизмами (Горленко и др., 1977).

В исследованных образцах находки пирита крайне редки, тогда как кокки – пурпурные бактерии – достаточно обильны, а данные химических анализов отрицают присутствие в исследованных образцах серы. Следовательно, дефицита сероводорода ( $H_2S$ ), скорее всего, не было. Поэтому логично предположить, что образование пород синской свиты происходило в фотической зоне. Как известно, деятельность СРБ наиболее

активна в темное время суток, а микробное аэробное окисление сульфидов наиболее интенсивно днем (Visscher et al., 1998). Следовательно, образование пирита связано с суточными колебаниями освещенности, т.е. осаждение сульфида железа осуществлялось только в темное время суток, когда потребление сероводорода пурпурными бактериями приостанавливалось. В светлое время сероводород использовался пурпурными бактериями.

Все сказанное выше позволяет достаточно уверенно говорить о том, что обнаруженные нами микроорганизмы слагали в синское время цианобактериальный мат. Эти маты представляют собой бентосные сообщества микроорганизмов с доминирующей ролью фототрофных бактерий, среди которых цианобактерии являются основным продуцентом органического вещества и отвечают за структуру мата. Во всех современных цианобактериальных сообществах выделяются три зоны: аэробная с развитием цианобактерий, анаэробная с развитием сульфидогенов и метаногенов и промежуточная – с развитием факультативных анаэробов. Данные, опровергающие модель цианобактериального мата применительно к синским бактериям, нам не известны, а поскольку современные цианобактериальные маты представлены бентосными формами бактерий, то и мы придерживаемся концепции о бентосном образе жизни бактерий синской свиты, слагающих цианобактериальный мат.

К тому же, как уже говорилось, некоторые исследованные образцы буквально сложены расплюснутыми нитями цианобактерий и кокками – пурпурными бактериями, что подтверждает, с одной стороны, принятую нами модель цианобактериального мата, в котором пурпурные бактерии существуют совместно с цианобактериями, а с другой стороны, говорит о прижизненном захоронении бактериальных остатков. Захоронение *in situ* подтверждается и тем, что в ряде случаев единичные кокки были обнаружены как бы сидящими в матричной породе.

4. В изучаемых образцах обнаружен еще один тип нитчатых биоморфных структур. Это очень тонкие (~1 мкм) прямые или ветвящиеся нити. На данном этапе мы рассматриваем их как актиномицеты (табл. II, фиг. 6). Если это актиномицеты, то нельзя исключить возможность периодического пересыхания бассейна, поскольку актиномицеты способны переносить относительно засушливые условия. Этому не противоречит и то, что актиномицеты развиваются часто и на отмершем мицелии, т.е. на умерших при осушении формах. Надо отметить, что на данном этапе исследования создается впечатление, что подобные формы (“актиномицеты”) присутствуют как в плотных, так и в тонкослоистых разностях. Эти формы,

как правило, находятся как бы на плоскостях напластования исследуемых образцов. К тому же нет ни одного случая, когда бы они слагали породу. Отсюда можно сделать вывод, что эти формы являются более поздним заражением, либо они играли в сообществе крайне подчиненную роль, либо были приносным элементом.

Нами были исследованы образцы из различных частей синской свиты, в основном из так называемого пласта “туойдахский сланец”. Наиболее обильны и разнообразны находки ископаемых бактерий в тонкослоистых частях разреза и несколько менее разнообразны в более плотных частях пласта.

Известно, что все цианобактериальные сообщества образуют выраженную слоистую структуру с характерным чередованием зон развития определенных групп микроорганизмов со слоями минералов (Бактериальная палеонтология, 2002), причем минералообразованию именно в тонких прослоях, приуроченному к определенной группе микроорганизмов, способствует крайне низкая проницаемость матов. Не исключено, что именно эта слоистая структура цианобактериальных сообществ и обуславливает нахождение наших “трубочек с пупырышками”, т.е. цианобактерий в тонкослоистых породах, причем иногда создается впечатление, что эти породы буквально сложены бактериальными остатками. Это говорит в пользу прижизненного захоронения сообществ, так как сохранилась даже их слоистая структура. Можно предположить, что тонкослоистая часть синской свиты является преимущественно прижизненно захороненными остатками цианобактериального мата.

Само же присутствие бентосных цианобактерий в синской свите говорит о том, что ее породы должны были образовываться в фотической зоне в условиях относительного мелководья, и, соответственно, о достаточной мелководности синского бассейна (Заварзин, Розанов, 1997).

Практически лишены биоморфных микроструктур породы из нижней части пласта “туойдахский сланец” – местонахождения “водорослевая линза”, т.е. из скопления водорослевых таломов и фосфатизированных остатков фауны.

Относительно практически полного отсутствия бактериоморфных структур в слоях, богатых более крупной фауной, можно сделать два взаимоисключающих предположения. Во-первых, нельзя исключить, что условия цианобактериального мата были неблагоприятными для макрофауны. Второе предположение связано с тем, что микроорганизмы могут использоваться в пищу более крупными беспозвоночными (Мишустина и др., 1985).

Итак, по всей видимости, в синском бассейне условия осадконакопления периодически изменялись. Преобладали же условия благоприятные

для развития бактериальных сообществ, составляющих цианобактериальные маты, т.е. синский бассейн был достаточно теплопроводным и относительно мелководным, причем глубина его не превышала мощности фотической зоны. Подобная оценка температурных условий синского бассейна совпадает с палеотемпературными данными Н.А. Ясаманова и И.В. Николаевой (Розанов, 1986), т.е. температуры могли колебаться от 25 до 56°. Причем максимальные температуры были, вероятно, приурочены к западной части региона, где отлагались эвапориты. О теплопроводности синского бассейна говорит и присутствие остатков цианобактерий, сходных с современными термофильными *Thormidium*.

Автор признателен за обсуждение материала и ценные советы А.Ю. Розанову, Е.А. Жегалло, Г.Т. Ушатинской, Л.М. Герасименко, В.К. Орлеанскому, а также Л.Т. Протасевичу за помощь при работе на сканирующем электронном микроскопе *ScamScan-4* и А.Ю. Иванцову за предоставленные материалы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 00-15-97764, 00-05-64603.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. 188 с.

Герасименко Л.М., Заварзин Г.А. Реликтовые цианобактериальные сообщества // Проблемы доантропогенной эволюции биосферы. М.: Наука, 1993. С. 222–253.

Горленко В.М., Дубинина Г.А., Кузнецов С.И. Экология водных микроорганизмов. М.: Наука, 1977. 288 с.

Громов Б.В., Павленко Г.В. Экология бактерий. Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. 248 с.

Гусев М.В., Минеева Л.А. Микробиология: учебник. М.: Изд-во МГУ, 1992. 448 с.

Заварзин Г.А. Развитие микробных сообществ в истории Земли // Проблемы доантропогенной эволюции биосферы. М.: Наука, 1993. С. 212–221.

Заварзин Г.А., Розанов А.Ю. Бактериальная палеонтология // Вест. РАН. 1997. Т. 67. № 3. С. 241–245.

Кембрий Сибири. Новосибирск: ВО "Наука", 1992. 135 с. (Тр. Ин-та геол. и геофиз. СО РАН. Вып. 788).

Мишустина И.Е., Шеглова И.К., Мицкевич И.Н. Морская микробиология. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1985. 184 с.

Розанов А.Ю. Что произошло 600 миллионов лет назад. М.: Наука, 1986. 96 с.

Шлегель Г.Г. Общая микробиология. М.: Мир, 1987. 566 с.

Ярусное расчленение нижнего кембрия. Стратигр. М.: Наука, 1984. 184 с.

Fortin D., Ferris F.G., Beveridge F.G. Surface-mediated mineral development by Bacteria // Rev. Mineral. 1997. V. 35. P. 161–180.

Jones B., Renaut R.W., Rosen M.R. Microbial biofacies in hot-spring sinters: a model based on Ohaaki Pool, North Island, New Zealand // J. Sedimentary Res. 1998. V. 68. № 3. P. 413–434.

Visscher P.T., Reid R.P., Bebout B.M. et al. Formation of lithified micritic laminae in modern marine stromatolites (Bahamas): the role of sulfur cycling // Amer. Mineral. 1998. V. 83. № 11, 12. Pt. 2. P. 1482–1493.

#### Объяснение к таблице I

Фиг. 1–6. Минерализованные филаменты цианобактерий.

#### Объяснение к таблице II

Фиг. 1–5. Минерализованные филаменты цианобактерий и псевдоморфозы по пурпурным бактериям.

Фиг. 6. Минерализованные ?актиномицеты.

## Microbial Remains from the Sinsk Formation (Lower Cambrian of the Siberian Platform)

M. M. Astafieva

Fossil bacterial remains from black carbonate shales of the Sinsk Formation from the Lower Cambrian of the Siberian Platform are studied. The main types of fossil microbial remains found in these strata are described.

Таблица I

