

М.М. Астафьева  
Л.М. Герасименко  
А.Р. Гейтнер  
Е.А. Жегалло  
С.И. Жмур  
Г.А. Карпов  
В.К. Орлеанский  
А.Г. Пономаренко  
А.Ю. Розанов  
Е.Л. Сумина  
Г.Т. Ушатинская  
Р. Хувер  
Э.Л. Школьник

# Ископаемые бактерии

и другие  
микроорганизмы  
в земных породах  
и астроматериалах

Москва  
ГИН РАН  
2011



# Ископаемые бактерии

## и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах

М.М. Астафьева, Л.М. Герасименко, А.Р. Гептнер, Е.А. Жегалло, С.И. Жмур, Г.А. Карпов,  
В.К. Орлеанский, А.Г. Пономаренко, А.Ю. Розанов, Е.Л. Сумина,  
Г.Т. Ушатинская, Р. Хувер, Э.Л. Школьник

Научные редакторы:  
А.Ю. Розанов  
Г.Т. Ушатинская

Москва  
ПИН РАН  
2011

ISBN 978-5-903825-16-5

Утверждено к печати Ученым советом Палеонтологического института им. А.А. Борисяка РАН

Издание осуществлено при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований  
по проекту № 11-04-07051  
Издание РФФИ не подлежит продаже



Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах. Научное издание. М.М. Астафьева, Л.М. Герасименко, А.Р. Гептнер и др. / Научные редакторы Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. - М.: ПИН РАН, 2011. - 172 с., 71 фототаблица.

Издание представляет собой атлас фотографий ископаемых бактерий и бактериоморфных структур из древних пород и метеоритов, полученных в последние годы с помощью сканирующих электронных микроскопов.

ISBN 978-5-903825-16-5

ISBN 978-5-903825-16-5



**Введение**

**Краткие сведения о современных и ископаемых микроорганизмах.  
Гликокаликс и биопленки.**

**Биогенные минералы****Некоторые ископаемые микробные сообщества**

Архейские ископаемые микроорганизмы  
Древние (архейско-протерозойские) коры выветривания  
Протерозойские ископаемые микроорганизмы

**Ископаемые микроорганизмы, связанные с разными типами осадочных отложений**

Микроорганизмы и образование строматолитов и онколитов  
Ископаемые микроорганизмы в фосфоритах  
Ископаемые микроорганизмы в кремнистых породах;  
процесс окремнения  
Ископаемые микроорганизмы в высокоуглеродистых породах  
Бактерии и глинистые минералы  
Микроорганизмы и образование бокситов  
Бактериоморфные структуры в отложениях  
континентальных озер  
Остатки микроорганизмов и следов их жизнедеятельности  
в раковинах древних фосфатных брахиопод  
Золото и микроорганизмы

**Псевдоморфозы по микроорганизмам в метеоритах**

**Трудности бактериально-палеонтологического изучения  
древних пород и астроматериалов**

**Методика изучения ископаемых микроорганизмов****Литература****Фототаблицы и объяснения к ним****Introduction**

**Brief review of recent and fossil microorganisms.  
Glycocalyx and biofilms.**

**Biogenic minerals****Some fossil microbial communities**

Archaean fossil microorganisms  
Ancient (Archaean-Lower Proterozoic) weathering crusts  
Proterozoic fossil microorganisms

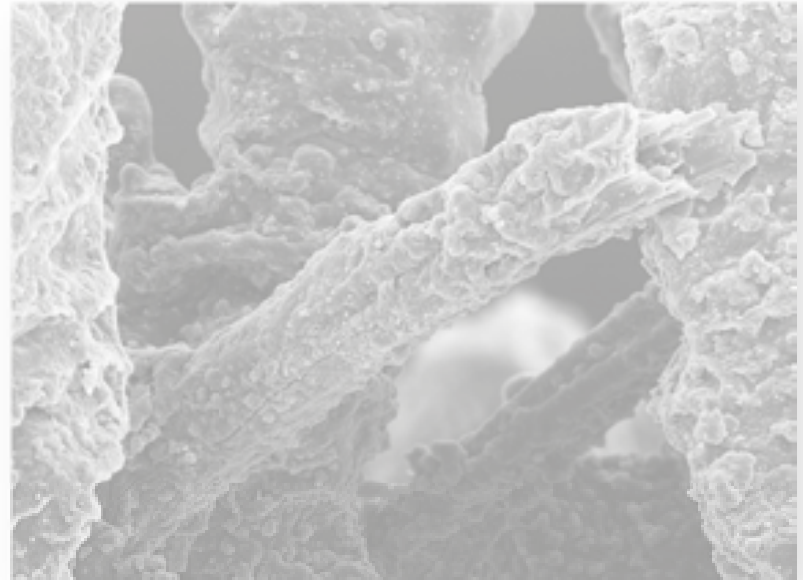
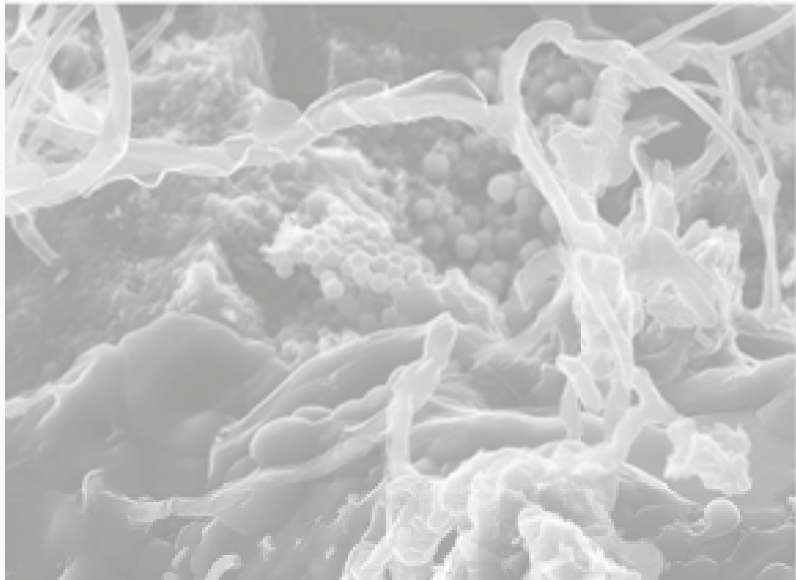
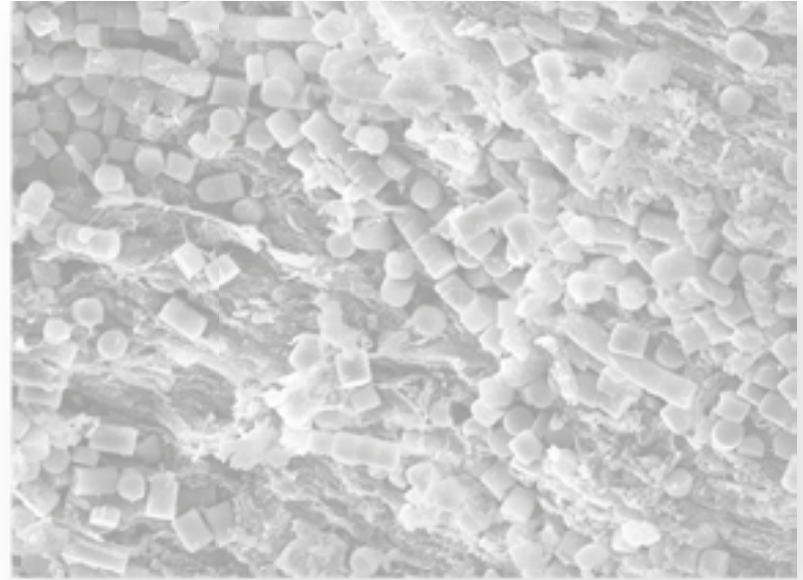
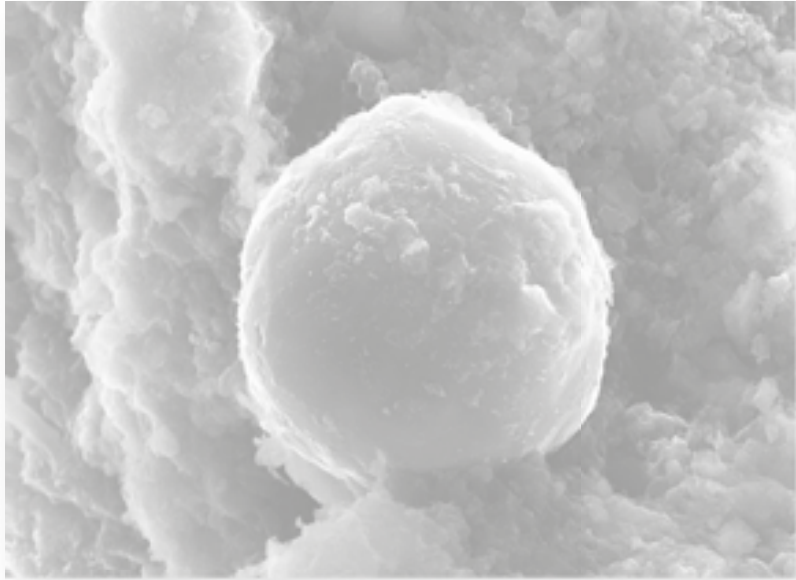
**Fossils microorganisms connected with different types of sedimentary deposits**

Microorganisms and the formation of stromatolites and oncolites  
Fossil microorganisms in phosphorites  
Fossil microorganisms in siliceous rocks and the process  
of silicification.  
Fossil microorganisms in high carbonaceous rocks  
Bacteria and clay minerals  
Microorganisms and the formation of bauxites  
Bacteriomorph structures in the deposits of continental lakes  
Remains of microorganisms and their life activity in shells  
of oldest phosphatic brachiopods  
Gold and microorganisms

**Pseudomorphs of microorganisms in meteorites**

**Difficulties of bacterial-paleontological study of ancient rocks  
and astromaterials**

**Methods for the study of fossil microorganisms****Reference****Photos, Tables and Captions**



## ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение многочисленных остатков ископаемых бактерий в древнейших осадочных породах Земли с возрастом до 3.5 млрд. л. явилось одним из удивительных открытий, сделанных геологами и палеонтологами в конце прошлого века, хотя сведения о присутствии остатков микроорганизмов в древних породах на протяжении XX в. появлялись неоднократно (Cayeux, 1911; Mooge, 1918; Вологдин, 1947; Barghoom, Tyler, 1965; Barghoom, Schopf, 1965, 1966; и др.). Изучение ископаемых бактерий представляет чрезвычайно важную задачу. Во-первых, исследование древнейших бактерий проливает свет на появление и развитие жизни на Земле и становление на ней биосферы. Во-вторых, бактериальная деятельность играла и играет до сих пор важную роль в образовании на Земле осадочных пород и связанных с ними многих полезных ископаемых. В-третьих, анализ ископаемых бактерий является ключом к пониманию закономерностей процессов фоссилизации и сохранения остатков древних организмов в палеонтологической летописи. И наконец, ископаемые бактерии могут служить моделями при расшифровке природы биоморфных структур в астроматериалах.

Данная работа содержит фотографии фоссилизированных ископаемых бактерий и других бактериоморфных структур, полученные в последние годы с помощью сканирующих электронных микроскопов. Фотографии смонтированы в 71 фототаблицу.

Фототаблицы предваряются текстом, в котором даны краткие сведения о современных и ископаемых бактериях, перечислены известные к настоящему времени минералы, происхождение которых связано с деятельностью бактерий, охарактеризованы породы, в которых бактерии чаще всего сохраняются в ископаемом состоянии. Из 71 фототаблицы 56 содержат фотографии фоссилизированных микроорганизмов из осадочных пород Земли докембрия и фанерозоя, сопровождаемые подробными объяснениями. Для лучшей интерпретации древних биоморфных структур необходимо знание современного

биологического материала, поэтому кроме изображений ископаемых бактерий в начале представлены фотографии современных микроскопических организмов, как прокариот, так и эвкариот. Последние 15 таблиц содержат фотографии бактериоморфных структур, найденных в метеоритах.

Фотографии выполнены с помощью электронных сканирующих микроскопов в Палеонтологическом институте им. А.А. Борисяка РАН (микроскопы CamScan-4, Cambridge и EVO-50, Zeiss), в Институте микробиологии им. С.Н. Виноградского (микроскоп YSM-300) и в Центре НАСА в Хантсвилле (микроскопы S-4100 FESEM и EDAX).

Авторы очень благодарны за переданные для изучения образцы древних пород сотрудникам Института геологии и геохронологии докембрия РАН Н.А. Алфимовой, А.Б. Вревскому, В.А. Матреничеву, С.Б. Фелицыну, сотрудникам того же Института Т.Н. Герман и Е.Г. Раевской – за ценные советы и консультации; за переданные образцы древних пород – сотрудникам Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН М.М. Богиней, А.В. Чистякову, Е.В. Шаркову, коллегам из Палеонтологического института им. А.А. Борисяка А.Ю. Иванцову, Я.Е. Малаховской, П.Б. Кабанову и коллегам из Швеции – Д. Корнеллу и из Норвегии – В. Мележику и А. Лепланду.

Авторы приносят свою глубокую благодарность сотрудникам Кабинета электронной микроскопии Палеонтологического института им. А.А. Борисяка РАН – Л.Т. Протасевичу, А.В. Кравцеву и Л.В. Зайцевой за постоянную помощь и внимание при работе на сканирующих электронных микроскопах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 15 Президиума РАН «Происхождение биосферы и эволюция геобиологических систем», грантов РФФИ (№№ 08-04-00484, 10-04-01475 и 11-04-00129) и Научной школы НШ 65493.2010.4.

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СОВРЕМЕННЫХ И ИСКОПАЕМЫХ МИКРООРГАНИЗМАХ

Бактерии являются самой древней и многочисленной формой жизни на нашей планете. Они наиболее полно освоили пространство Земли для обитания, в чем далеко превосходили более сложные организмы. В современных условиях бактериальная жизнь существует практически везде: на суше, в водной среде, где они могут обитать при температурах от  $-10$  до  $+120$  °С, глубоко подо льдом в Антарктиде и в высоких слоях атмосферы (Procarיותes, 2007). А при температурах ниже  $-10$  и выше  $+120$  °С бактерии могут переходить в покоящееся состояние, в котором они сохраняют повышенную устойчивость к неблагоприятным температурным условиям, обезвоживанию, к повышенным дозам радиации. Покоящиеся клетки в течение длительного времени (вплоть до 2 млн. и более лет) могут находиться в жизнеспособном состоянии; в частности, извлеченные из вечной мерзлоты в подходящих условиях они прорастают (Абызов и др., 1988; Гиличинский и др., 1996). Первые сведения о присутствии fossilized микроорганизмов в древних отложениях появились в начале XX века. В работах L. Saueux, 1911 и E.S. Moore, 1918 были описаны кремненные бактериоморфные тела из нижнепротерозойской формации Ганфлинт (возраст около 2 млрд. л., оз. Верхнее, Канада). Об участии биогенного фактора в образовании многих осадочных пород и полезных ископаемых писали L. Saueux (1936) Б.Л. Исаченко (1948), Г.И. Бушинский (1966), В.И. Вернадский (1967) и многие другие. В 1947 году В.Г. Вологдин в небольшой работе перечислил длинный ряд пород разного состава и различного возраста, содержащих fossilized бактериоподобные структуры, которые он наблюдал в тонких шлифах в проходящем свете. Но к этим работам палеонтологическое сообщество отнеслось скептически, так как господствовало мнение, что сохранение в ископаемом состоянии столь древних остатков бесскелетных организмов невозможно, а изображения, приведенные Вологдиным, были маловыразительны. Интерес к изучению древнейшей жизни возобновился в 60-е годы XX в. после выхода в свет статьи E. Barghoorn и C. Tyler (Barghoorn, Tyler, 1965), посвященной описанию кремненных микроорганизмов из той же

формации Ганфлинт Канады. После этого одна за другой стали появляться работы, содержащие описание кремненных микроорганизмов из архейских и протерозойских отложений всего мира, включая территорию Советского Союза (Barghoorn, Schopf, 1965, 1966; Schopf, Barghoorn, 1967, 1969; Schopf, 1968, 1970, 1992, 1993; Cloud et al., 1969; Schopf et al., 1977; Вейс, 1984, 1988; Walsh, 1992; Сергеев, 1992; Allwood et al., 2006; Van Kranendork, 2008; и др.). Исследователи обратили внимание на то, что большая часть найденных микроорганизмов очень похожа на современных цианобактерий. Knoll и Golubic (1979) проанализировали кремненные микрофоссилии из верхнедокембрийской формации Биттер-Спрингс Австралии и пришли к выводу, что они являются остатками fossilized циано-бактериального мата со всеми группами входящих в него микроорганизмов. Но до недавнего времени все эти знаменитые «кремнистые биоты», в том числе акритархи, изучались в шлифах и мацерациях с использованием оптического микроскопа. С начала 1990-х годов геологами и палеонтологами для исследований стал использоваться сканирующий электронный микроскоп (СЭМ). С его помощью было обнаружено, что во многих древних осадочных породах часто в массовом количестве присутствуют fossilized бактериальные структуры. Это позволило поставить вопрос об огромной роли бактериальной деятельности в накоплении практически всех осадочных пород (Розанов, 2002, 2003; Rozanov, 2002). Особенно хорошо сохраняются тела fossilized бактерий среди древних фосфоритов (Zhegallo et al., 2000), кремнистых пород (Barghoorn, Schopf, 1965, 1966; Сергеев, 1992; и др.), высокоуглеродистых отложений (Жмур и др., 1993, 1996; Бактериальная палеонтология, 2002). Их минерализованные остатки встречаются среди карбонатных и глинистых осадков, среди бокситов, железных и марганцеворудных пород (Герасименко и др., 1996; Наймарк и др., 2009; и др. работы). Сохранение бактерий в ископаемом состоянии связано с их очень быстрой минерализацией, которая должна была происходить до начала деградации бактериальных тел. Кроме собственно бактерий к миру микроорганизмов относятся мелкие эукариоты, также имеющие размеры от первых единиц до первых сотен микрон; это акритархи, некоторые микроскопические водорос-



ли и грибы, ряд простейших. Их сохранение в ископаемом состоянии часто определяется теми же факторами, что и у бактерий.

С малыми размерами микроорганизмов связаны особенности их морфологии, характер метаболизма, распространение в природе. Микроорганизмы объединяют представителей трех царств (доменов): архебактерии (или археи), бактерии и эукариоты. Первые два домена, *архебактерии и бактерии*, характеризуются прокариотным строением клетки. У них отсутствует обособленное клеточное ядро, и ядерная ДНК в виде замкнутой в кольцо молекулы локализована непосредственно в цитоплазме. В клетках *эукариот* имеется ядро и другие органеллы, отделенные от цитоплазмы мембранами. Эта разница в строении клетки прокариот и эукариот является одной из главных характеристик при описании разнообразия всего органического мира. Прокариоты, возможно, были первыми обитателями Земли и благодаря их жизнедеятельности на Земле была создана биосфера, определившая развитие всех остальных организмов. Архебактерии являются древнейшими представителями живых организмов, которые на ранних этапах развития Земли стали получать энергию за счет преобразования неорганических элементов (Воробьева, 2007). Среди архебактерий присутствуют строгие и факультативные аэробы и анаэробы, экстремальные галофилы и экстремальные термофилы.

Бактерии внешне не отличаются от архебактерий. Различия между ними заключаются в ряде физиолого-биохимических свойств клетки и клеточной стенки. В основе систематики бактерий долгое время лежали легко различимые под микроскопом формы клеток – кокки, палочки, фибриллы (табл. I–IV), окраска по Грамму, отношение к молекулярному кислороду (аэробы, анаэробы), различные способы питания и взаимоотношения с окружающей средой. Первая систематизация бактерий на основе данных характеристик была предпринята группой американских микробиологов под руководством Д.Х. Берги. В последние годы вышло второе сильно исправленное его издание в нескольких томах (*Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, 2004–2009). В них все множество прокариот, включающих как археи, так и бактерии, разделено на 14 филумов, характеризующихся функционально значимыми признаками в сочетании с морфологией. Опреде-

ления внутри филумов проводятся в соответствии с их фенотипическими, генотипическими и экологическими признаками

В последнее десятилетие некоторые исследователи стали считать генотипические признаки основными при определении бактерий, и система современных бактерий опирается на анализ 16S рибосомальной РНК (16S рРНК). Под этот анализ подгоняются остальные характеристики бактерий, такие как строение клеточной стенки, состав мембран, размеры, общая морфология, типы питания и проч. Однако, как подчеркивают Г.А. Заварзин и Н.Н. Колотилова (2001), «филогенетическая система, основанная на одном рибосомном гене не более, чем одна из технически удобных и разработанных систем для современных бактерий». При изучении fossilized бактерий из древних толщ классификация на этой основе пока не может быть использована.

Изучение морфологии, физиологии, биохимии, генетики отдельных бактерий не отражает всего разнообразия метаболизма микробных сообществ, в которых они распространены. По Г.А. Заварзину, микробное сообщество – это совокупность взаимодействующих между собой функционально различных микроорганизмов, которые связаны либо конкуренцией за общие субстраты, либо кооперацией в их использовании (Заварзин, 2003). Эта область знаний названа Г.А. Заварзиным «природоведческой микробиологией». В ней, кроме функционального разнообразия микроорганизмов и аутоэкологии их видов, изучается взаимодействие отдельных микроорганизмов между собой внутри микробных сообществ и деятельность самих микробных сообществ. Наиболее ярким классическим примером микробного сообщества являются циано-бактериальные маты.

Бактерии характеризуются удивительным многообразием и пластичностью метаболических процессов. Они различаются по способам питания и получению энергии, по месту обитания, по отношению к кислороду, к температуре, к рН среды.

По способам питания бактерии делятся на автотрофные и гетеротрофные. Автотрофные используют в качестве единственного источника углерода углекислый газ. Для гетеротрофных источником клеточного углерода служат органические соединения. По способам получения энергии среди бактерий выделяются фототрофные и хемо-



трофные организмы. Для фототрофных основным источником энергии является солнечный свет. Цианобактерии представляют собой кислородные фототрофные бактерии, т. е. выделяют при фотосинтезе кислород. Пурпурные и зеленые бактерии, не выделяющие при фотосинтезе кислород, называются аноксигенными фототрофными бактериями. Хемотрофные бактерии используют энергию химических реакций неорганических (литотрофные) или органических веществ (органотрофные). Бактерии, способные получать энергию за счет окисления водорода, окиси углерода, серы, азота, железа, марганца называются хемолитотрофами. Многие организмы способны переходить от одного типа питания к другому.

По отношению к температуре прокариоты условно делятся на мезофилов (20–40 °С), термофилов (до 70 °С) и психрофилов (ниже 20 °С). Те бактерии, которые живут при температуре выше 70 °С носят название гипертермофилов. *Pyrodiction occultum* растет при 105 °С. Некоторые психрофилы могут расти при –10 °С в микроскопических водных карманах на границе раздела между льдом и водой.

По отношению к кислороду имеются облигатно аэробные бактерии, которые нуждаются для роста в молекулярном кислороде, факультативно анаэробные, предпочитающие расти в анаэробных условиях, но могут существовать и в присутствии O<sub>2</sub>. Микроаэрофилы приспособлены к росту при низком содержании кислорода (0.1–0.55 %), а облигатные анаэробы растут при полном отсутствии кислорода.

Большинство видов бактерий способно расти в широком диапазоне рН (с колебаниями до 4 ед.), но их быстрый рост наблюдается в более узком диапазоне (с колебаниями до 2 ед.). При этом значение рН цитоплазмы поддерживается на постоянном оптимальном уровне, который часто отличается от рН окружающей среды. Бактерии, для которых оптимальные значения рН близки к 7.0, составляют группу нейтрофилов. Виды, приспособленные к очень низким значениям рН, называют ацидофилами. Виды-алкалофилы растут в щелочных средах. Алкалофилы могут выживать при рН больше 10, но, как правило, оптимальный рост достигается при рН меньше 10.

При определении ископаемых остатков бактерий основными критериями остаются их форма и размеры. Существует несколько распо-

знаваемых морфологических форм клеток и их объединений: трихомы, как у цианобактерий, ветвящийся мицелий у актиномицет и нити у скользящих флексибактерий, одиночные кокки, палочки (прямые, изогнутые) и пластинки. Иногда у клеток бывают выросты, а при размножении они могут объединяться в нити или тетрады (табл. I–IV).

При разделении ископаемых остатков прокариот и эвкариот одним из важных критериев является размер клеток, так как считается, что в ископаемом состоянии ядра не сохраняются. У прокариот размеры клеток колеблются от 0.5 мкм до 5 мкм, хотя имеются бактерии с диаметром клеток 0.1–0.15 мкм (нанобактерии), а наиболее крупные бактериальные организмы могут достигать первых сотен микрон, в отдельных случаях – нескольких миллиметров в диаметре. У эвкариот размеры клеток обычно превышают 5 мкм, хотя тоже есть исключения. Среди микроорганизмов, которые относятся к эвкариотам, присутствуют микроскопические грибы, водоросли (в том числе акритархи), простейшие (табл. III, фиг. 3; табл. IV, фиг. 3, 4). Б.В. Тимофеев еще в 1982 г. описал акритархи из лопия (верхний архей, ~ 3.0 млрд. л.) Центральной Карелии и Средне-го Приднепровья, отнесенные им к группе сфероморфид, т. е. к эвкариотным организмам, и нитчатые формы с диаметром до 15 мкм и длиной, превышающей 80 мкм (табл. V). Это, пожалуй, самые ранние находки фоссилизированных остатков эвкариот. Эвкариотные организмы были описаны М.Ю. Беловой и А.М. Ахмедовым из отложений с возрастом 2.2 млрд. л. (Белова, Ахмедов, 2006) Кольского п-ва и А.Ю. Розановым и М.М. Астафьевой (2008) из фосфоритов с возрастом 2 млрд. л. Печенги. Начиная с ганфлинского времени раннего протерозоя (около 2 млрд. л.) имеются неоднократные упоминания о находках эвкариот (Schopf, ed., 1983; Knoll, 1994; Сергеев, 2002).

Среди биоморфных структур, обнаруженных в метеоритах, были встречены формы с размером 1–2–5 мкм и углеродистые образования, размеры которых доходят до 50 мкм. Вполне вероятно, что последние являются остатками не прокариот, а эвкариот.

Гликокаликс и биопленки. Вокруг клеток бактерий нередко в виде слизи выделяется внеклеточное полимерное вещество (EPS – extrapallial polymer substance) – *гликокаликс* (табл. I, фиг. 2). Выделение гликокаликса, с одной стороны, является естественным процессом

жизнедеятельности бактерий, необходимым, например, для их движения. С другой стороны, слизь несет защитную функцию. Например, у цианобактерий слизь появляется вокруг клеток и нитей при подсыхании или при появлении в окружающей среде высоких концентраций каких-либо элементов. Ослизнение, наблюдающееся при разложении животных и растительных тканей, происходит благодаря развитию гетеротрофных бактерий.

Возникновение биопленок (biofilms) связано с колонизацией микроорганизмами границ раздела фаз: жидкости и воздуха, жидкости и твердого тела, твердой поверхности и воздуха, двух несмешивающихся жидкостей. Биопленки являются результатом взаимодействия бактерий и продуктов их жизнедеятельности с субстратом и состоят из совокупности микробных клеток, воды и гликокаликса, который удерживает клетки вместе (табл. I, фиг. 3). Биопленки могут включать мелкие терригенные частицы и продукты эрозии субстрата. Гликокаликс в биопленках представляет собою слизистую бесструктурную массу, иногда с пространствами, заполненными водой. Нередко биопленки появляются и на временно покрываемых водой твердых субстратах, после высыхания они могут превращаться в тонкую плотную пленку. В природе биопленки распространены повсеместно. Они встречаются на дне морей, рек, озер, на суше, развиваются на поверхностях отдельных песчинок, галек, на обломках раковин, на скелетных остатках животных, обволакивают взвешенные в воде обломочные частицы. Будучи минерализованными, биопленки нередко сохраняются в ископаемом состоянии. Среди древних пород можно наблюдать и фоссилизованные участки гликокаликса.

## БИОГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ

Еще в XIX веке было известно, что образование железных и серных месторождений связано с жизнедеятельностью бактерий. В связи с работами по бактериальному обогащению руд (Полькин и др., 1982; Karavaiko, Groudev, 1985) и работами по биоминералогии (Kirshvink et al., 1985; Lowenstam, Weiner, 1989; Rozanov, Barskov, 1998), значение бактерий при образовании минералов и пород многократно обсуждалось. И если около 20 лет назад было известно 20 минералов, образующихся при активном участии бактерий (Lowenstam, Weiner, 1989), то сейчас описано уже более 100 минералов, образование которых может быть связано с деятельностью микроорганизмов (Tazaki, 1997; Banfield, Nealson, 1997; American Mineralogist, 1998; Fortin et al., 1998; Герасименко и др., 1999). Некоторые минералы, например, магнетит, могут образовываться внутри клеток магнетотактических бактерий (Kirshvink et al., 1985; Devouagard et al., 1998; Postfai et al., 1998); фосфатные и другие минералы могут отлагаться как снаружи, так и внутри клеток (Герасименко и др., 1993, 1996, 1999; Westall et al., 1995; Zhegallo et al., 2000). Результаты изучения ископаемых бактерий показывают, что минералообразование под влиянием бактерий или с их участием – процесс, который появился на Земле вместе с возникновением бактерий (Бактериальная палеонтология, 2002; Пономаренко, 2002; Розанов, 2002). Известные на сегодня минералы, образование которых может быть связано с активностью микроорганизмов, сведены в таблицу 1.



**Таблица 1. Минералы, происхождение которых связано с деятельностью микроорганизмов**

(по: Lowenstam, Weiner, 1989; Banfield, Nealson, 1997; Tazaki, 1997).

Минералы	Формулы
<b>Самородные элементы</b>	
платина	Pt
медь	Cu
золото	Au
сера	S
шунгит	C
аморфный кремний	Si
<b>Сульфиды</b>	
халькозин (chalcocine)	$Cu_2S$
дигенит (digenite)	$Cu_9S_5$
джарлеит (djurleite)	$Cu_{31}S_{16}$
анилит (anilite)	$Cu_7S_4$
спионкопит (spionkopite)	$Cu_{39}S_{28}$
геерит (geerite)	$Cu_8S_5$
ковеллин=ковеллит (covellite)	CuS
халькопирит (chalcopyrite)	$CuFeS_2$
сфалерит=цинковая обманка (black jack)	ZnS
вюртцит (wurtzite)	ZnS
галенит (galena)	PbS
пирротин (pirrotine)	$Fe_{1-x}S$
пирит (pyrite)	$FeS_2$
марказит (marcasite)	$FeS_2$
гидротроилит (hydrotroilite)	$FeS.nH_2O$

грейгит (greigite)	$Fe_3S_4$
макинавит (makinawite)	$(Fe,Ni)_9S_8$
молибденит (molybdenite)	$MoS_2$
<b>Оксиды и гидроксиды</b>	
кварц	$SiO_2$
кристобалит (cristobalite)	$SiO_2$
опал	$SiO_2.nH_2O$
пирролюзит	$\beta-MnO_2$
цинкит	ZnO
гематит	$Fe_2O_3$
маггемит	$\gamma-Fe_2O_3$
ферригидрит	$5Fe_2O_3.9H_2O$
гетит	$\alpha-FeOOH$
магнетит	$Fe_3O_4=FeFe_2O_4$
лепидокрокит	$\gamma-FeOOH$
акагенеит (akaganeite)	$Fe_8O_8.(OH)_6.FCl$
аморфный «ильменит» (amorphous «ilmenite»)	$FeTiO_3$
куприт (cuprite)	$Cu_2O$
паратакамит (paratacamite)	$Cu_2(OH)_3Cl$
бернессит (birnessite)	$MnMn_3O_7.3H_2O$
бузерит (buserite)	$[NaCaK][MgMn]Mn_6O_{14}.5H_2O=Na_4Mn_{14}O_{27}.21H_2O$
вернадит (vernadite)	$\delta MnO_2.H_2O$
гаусманит (hausmannite)	$MnMn_2O_4$
грутит (groutite)	$\alpha MnOOH$

файткнехтит (feitknechtite)	$\beta\text{MnOOH}$
манганит (manganite)	$\gamma\text{MnOOH}$
псиломелан (psilomelane)	$\text{BaMnMn}_4\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$
<b>Силикаты</b>	
полевые шпаты (feldspars)	
форстерит (forsterite)	$\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$
мусковит	$\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$
иллит=гидромусковит (illite=hydromuscovite)	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O})_{-1}\text{Al}_2[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
каолинит (kaolin)	$\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$
нонtronит (nontronite)	$\text{Fe}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
смектит (монтмориллонит) smectite (montmorillonite)	$(\text{Al}, \text{Mg})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
волконскоит (volkonskoit)	$\text{Cr}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
шамозит	$(\text{Fe}, \text{Al}, \text{Mg})_3 [(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_2 (\text{Fe}, \text{Mg})_3 (\text{O}, \text{OH})_6$
<b>Карбонаты</b>	
кальцит (calcite)	$\text{Ca}[\text{CO}_3]$
арагонит (aragonite)	$\text{Ca}[\text{CO}_3]$
моногидрокальцит (monohydrocalcite)	$\text{Ca}[\text{CO}_3] \cdot \text{H}_2\text{O}$
гидроцеруссит (hydrocerussite)	$\text{Pb}_3 [\text{CO}_3]_2 (\text{OH})_2$
азурит (azurite)	$\text{Cu}_3 [\text{CO}_3]_2 (\text{OH})_2$
малахит (malachite)	$\text{Cu}_2 (\text{OH})_2 [\text{CO}_3]$
сидерит (siderite)	$\text{Fe}[\text{CO}_3]$
<b>Фосфаты</b>	
апатит (apatite)	$\text{Ca}_5 [\text{PO}_4]_3 (\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$
гидроксилапатит (hydroxyapatite indet.)	$\text{Ca}_5 [\text{PO}_4]_3 (\text{OH})$

франколит (francolite)= карбонат-фторапатит	$\text{Ca}_5 [\text{PO}_4, \text{CO}_3]_3 \text{F}$
даллит (dahllite)= карбонат-гидроксилапатит	$\text{Ca}_5 [\text{PO}_4, \text{CO}_3]_3 (\text{OH})$
витлокит (whitlockite)	$\text{Ca}_{18} \text{H}_2 (\text{Mg}, \text{Fe})_2 [\text{PO}_4]_{14} = \text{Ca}_9 \text{Cr} [\text{PO}_4]_7$
вивианит (vivianite)	$\text{Fe}_3 [\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
струвит (struvite)	$(\text{NH}_4) \text{Mg} [\text{PO}_4] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
<b>Сульфаты</b>	
барит (barite)	$\text{Ba}[\text{SO}_4]$
гипс (gypsum)	$\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
целестит (celestite)	$\text{Sr}[\text{SO}_4]$
швертманит (schvertmanite)	$\text{Fe}_8 \text{O}_8 [\text{SO}_4] (\text{OH})_6$
ярозит (jarosite)	$\text{KFe}_3 [\text{SO}_4]_2 (\text{OH})_6$
<b>Вольфраматы</b>	
шеелит (scheelite)	$\text{Ca}[\text{WO}_4]$
<b>Оксалаты</b>	
уэвеллит (whewellite)	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
уэдделит (weddelite)	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
глушинскит (gluchkinskite)	$\text{MgC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
мулуит (moolooite)	$\text{CuC}_2\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
оксалат Ca (Ca oxalate indet.)	$\text{CaC}_2\text{O}_4$

Все данные таблицы проверены А.С. Марфуниным и его коллегами на кафедре минералогии МГУ.



# НЕКОТОРЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА

## Архейские ископаемые микроорганизмы

Наиболее древние микрофоссилии известны из архейских зеленокаменных поясов Южной Африки и Австралии, где они встречены как в осадочных, так и в вулканогенных породах.

Остатки древнейших архейских микрофоссилий описаны из серии Барбертон Южной Африки (Walsh, 1992; Westall et al., 2001; Westall, 2008). Возраст отложений 3.5–3.3 млрд. л. Остатки микроорганизмов присутствуют в строматолитах, которые сохранились в кремнеземе или в смеси кремнезем/барит и кремнезем/карбонат. В шлифах и на фотографиях (Вестал, Вельш, 2002, табл. 3, 4) можно видеть участки, состоящие из тонких протяженных волнистых пластин, богатых керогеном – нерастворимым органическим веществом. В пластинах присутствует комплекс фоссилизированных бактериоморфных форм, которые по размерам и по внешнему виду, по связи друг с другом, по нахождению вместе с биопленками и гликокаликсом, по постоянному присутствию в них керогена позволяют относить их к бактериям. Поверхности пластин представляют собою растрескавшиеся пленки. Края отдельных участков пленок подняты и напоминают газовые пузырьки, возникающие внутри слизистых слоев современных матов как результат микробиального метаболизма. На поверхностях пластин иногда присутствует галит. И трещины, и заключенные в пластинах минералы указывают на то, что породообразование могло происходить, вероятно, на мелководье, в приливно-отливной зоне.

Микрофоссилии, связанные с границей изверженная порода (осадок)/вода, были описаны из архейских пиллоу-лав зеленокаменного пояса Барбертон в Южной Африке. По-видимому, микроорганизмы заселили эти подводные вулканические породы сразу после их извержения около 3.5 млрд. л. н. (Furnes et al., 2004). Остатки архейских микрофоссилий (3.235 млрд. л.) среди вулканогенных пород были также обнаружены в вулканогенном массиве сульфидных отложений в кратоне Пилбара в Австралии, где бактериальная жизнь была приурочена к системе подводных термальных источников (Rasmussen, 2000).

Еще более разнообразный комплекс древних нитчатых и коккоидных фоссилизированных микроорганизмов обнаружен в отложениях верхнего архея. Из сланцевого пояса Сандур Индии (2.75–2.65 млрд. л., Chadwick et al., 1997) описаны возможные гормогониевые цианобактерии, а в Западной Австралии в серии Фонтескью (2.76–2.69 млрд. л.) найдены трихомоподобные образования и кремневые слепки филаментов, вероятно, цианобактерий (Schopf, ed., 1983). Комплекс фоссилизированных бактерий из пояса окремненных строматолитовых известняков группы Кемпбелл в Южной Африке (2.6 млрд. л., Altermann, Schopf, 1995) включает, вероятнее всего, нитчатые бактерии и колониальные коккоидные формы.

Интереснейший комплекс микрофитофоссилий описан Б.В. Тимофеевым (1982) из верхнего архея Центральной Карелии и Приднепровья Украины. В отложениях лопия Карелии (~3 млрд. л., по данным Б.В. Тимофеева) обнаружены округлые и овальные силуэтные формы, отнесенные Тимофеевым к группе *Sphaeromorpha*, многочисленные обломки пленок, гладких и с округлыми пустотами. В Среднем Приднестровье из конско-верховцевской серии (3–3.1 млрд. л.) определен большой комплекс микрофитофоссилий-сфероморф, среди которых есть делящиеся сфероморфиды, их цепочки, округлые силуэтные формы, а также трихомы цианобактерий и обломки органических пленок. Встреченные во многих местонахождениях верхнего архея сфероморфиды представляют собою оболочки диаметром от 1–2 до 300–400 мкм, редко больше, сферической и субсферической формы, одиночные или образующие скопления, толстостенные, со слабо развитой скульптурой оболочек. Коллекция Тимофеева была переизучена и полученные результаты подтвердили достоверность его выводов относительно обнаружения эвкариотных организмов, к которым относятся сфероморфиды, уже в архее (табл. V) (Астафьева, 2006; Astafieva, Rozanov, 2009; Astafieva et al., 2005).

Новые находки ископаемых микроорганизмов были сделаны в верхнеархейских (лопийских) отложениях северной части Хизоваарской структуры, входящей в состав Парандовско-Тикшозерского зеленокаменного пояса Карелии. Хизоваарская структура выполнена мощным, сложно устроенным комплексом вулканогенно-осадочных пород (Ко-

жевников, 2000). Возраст нижней части этого комплекса определяется как  $2803 \pm 35$  млн. л., возраст его верхней части соответствует  $2706 \pm 7$  млн. л. (Слабунов и др., 2006). В этих отложениях были обнаружены довольно разнообразные микрофоссилии, представленные нитевидными и коккоидными формами (табл. VI, VII, VIII). Они встречаются в углеродсодержащих сланцах, кварцитах (метапесчаниках), туфогенно-осадочных и осадочных породах (Астафьева, 2006; Astafieva et al., 2005, 2006).

### **Древние (архейско-протерозойские) коры выветривания**

Древние коры выветривания являются практически единственными достоверными свидетельствами существования на Земле континентальных обстановок и зачастую становятся важнейшими источниками информации об условиях, в которых происходило развитие биосферы.

Архейские и нижнепротерозойские коры выветривания обнаружены в Карелии. Остатки микроорганизмов встречены среди лопийских кор выветривания по гранитам и плагиогранитам в охтинской серии Лехтинской структуры, с возрастом 2.8 млрд. л. (оз. Воронье, устье р. Нижняя Охта); среди протерозойских кор выветривания по кислым метавулканитам, с возрастом 2.4 млрд. л. (северный берег оз. Паанаярви) и среди предъятулийских кор выветривания (нижняя граница ятулия – 2.3 млрд. л.) по гранито-гнейсам в Карельской гранит-зеленокаменной области (оз. Малый Янисъярви, северное Приладожье).

Комплекс микрофоссилий представлен нитчатыми, коккоидными, более крупными шаровидными формами, фоссилизированными биопленками и т. д. (табл. IX–XIII) (Розанов и др., 2008; Астафьева и др., 2009; Astafieva et al., 2009 a, b).

Химический состав микрофоссилий, входящих в состав описанных комплексов, во всех случаях идентичен составу вмещающих пород. Это служит косвенным подтверждением того, что микробные комплексы одновозрастны с вмещающими породами. Нахождение ископаемых микроорганизмов в древних корах выветривания принципиально важно, поскольку позволяет сделать вывод о том, что уже в столь отдаленное время суша была заселена микробами.

### **Протерозойские ископаемые микроорганизмы**

Большой вклад в изучение остатков позднеархейских и протерозойских микроорганизмов внес Б.В. Тимофеев. Им были изучены железорудные формации, вулканогенно-осадочные, карбонатные, глинистые породы, известные на территории Европы и Азии, в Карелии, на Украине, в пределах Воронежского массива, на западном склоне Южного Урала, в Восточной Сибири (Тимофеев, 1982). Во всех перечисленных районах в отложениях с возрастом 2.6–2 млрд. л. были обнаружены многочисленные остатки сфероморфид из более чем 10 родов, трихомы цианобактерий, обломки фоссилизированных биопленок. В отличие от позднеархейских протерозойские сфероморфиды, как правило, характеризуются скульптурированной, а не гладкой поверхностью (шагреновой, бородавчатой, бугорчатой, ячеистой, ямчатой, ворсинчатой).

В данной работе представлены ископаемые микроорганизмы, обнаруженные среди нижнепротерозойских вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, приуроченных к границе изверженная порода/вода. Были изучены вулканические стекла нижнего протерозоя (2.45 млрд. л.) Карелии (Astafieva et al., 2009c); нижнепротерозойские (2.2 млрд. л.) пиллоу-лавы Онгелюк Южной Африки (Астафьева и др., 2008; Astafieva et al., 2008) и прослой вулканогенно-осадочного материала между базальтовыми потоками (Карелия, 2.0 млрд. л.) (Rozanov, Astafieva, 2009) (табл. XV–XX). Для сравнения приведены современные минерализованные микроорганизмы, найденные в Исландии в зоне выветривания позднечетвертичных базальтовых гиалокластитов (табл. XIV) (Гептнер, 2001).

Вулканические стекла нижнепротерозойской свиты Ветреного пояса Карелии содержат разнообразные и многочисленные остатки микроорганизмов, среди которых преобладают нитевидные формы (Astafieva et al., 2009c) (табл. XV, XVI, фиг. 1, 2; XVII, фиг. 1–3). В нижнепротерозойских пиллоу-лавах Онгелюк Южной Африки (2.2 млрд. л.) присутствуют разнообразные псевдоморфозы по биогенным объектам: нитчатым, коккоидным, отмечены фоссилизированный гликокаликс и фрамбоиды, иногда окруженные псевдоморфозами по бактериям, скорее всего, пурпурным (табл. XVI, фиг. 3, 4; табл. XVII, фиг. 4; табл. XVIII–XX) (Астафьева и др., 2008; Astafieva et al., 2008). Возможно, все эти остатки



являются составляющими циано-бактериального мата. Но встречены и микрофоссилии, по-видимому, не связанные с циано-бактериальным матом. Среди них наибольший интерес представляют крупные пятиугольные структуры диаметром около 50–60  $\mu\text{m}$  (табл. XIX, фиг. 1–3). Среди вулканогенно-осадочных пород (2.0 млрд. л.), заключенных между базальтовыми покровами на Сортавальском поднятии (Карелия) обнаружены нити, кокки и т. д., также, вероятно, имеющие микробиальное происхождение. Там же присутствуют более крупные формы, которые, возможно, относятся к эвкариотам (табл. XIX, фиг. 4; табл. XX) (Rozanov, Astafieva, 2009).

## **ИСКОПАЕМЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ, СВЯЗАННЫЕ С РАЗНЫМИ ТИПАМИ ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

### **Микроорганизмы и образование строматолитов, онколитов и оолитов**

Строматолиты – слоистые органо-минеральные структуры, образующиеся в результате взаимодействия микробных сообществ с окружающей средой, которое заключается в осаждении и связывании карбонатных частиц чаще всего цианобактериями с последующей их литификацией (Stromatolites, 1976). Обычно строматолиты начинают формироваться на дне в мелководных условиях: в приливно-отливной зоне морских побережий, в лагунах, озерах. Образование тех или иных слоев зависит от изменяющихся условий окружающей среды, благоприятных то для роста микроорганизмов, то для выпадения минерального осадка. Строматолиты чаще всего представлены карбонатными породами: известняками или доломитами, нередко окремненными, но бывают строматолиты кремнистые, фосфатные, железистые, марганцевые, серные.

Самые древние строматолиты, встречены среди нижнеархейских отложений Австралии и имеют возраст 3.46 млрд. л. (Schopf, 1993; Van Kranendonk, 2003; Allwood et al., 2006; Van Kranendonk et al., 2008). Во второй половине архея и в протерозое строматолиты были очень широко распространены, но уже в конце докембрия площади, занятые ими, стали уменьшаться, а начиная с середины палеозоя произошло резкое

сокращение областей распространения строматолитов и их разнообразия (Комар, 1966, 1990; Крылов, 1975; Walsh, 1992; Семихатов, Раабен, 1994, 1996; Сергеев, 2006; Allwood et al., 2006; Medvedev, Makarikhin, 2008; и многие другие работы).

По форме построек различают столбчатые, пластовые и желваковые строматолиты. Они могут слагать линзовидные или куполовидные тела, образуя биогермы и биостромы, иногда очень крупные, протягивающиеся на километры. Основными диагностическими признаками строматолитов являются форма и размеры постройки, характер ее бокового ограничения, способность к ветвлению, характер слоистости, микроструктура слоев. Существуют определенные закономерности в распространении различного типа построек строматолитов на разных уровнях докембрийского геологического разреза, благодаря чему строматолиты широко использовались для целей биостратиграфии.

Современными аналогами строматолитообразователей являются микробные, в основном, циано-бактериальные сообщества, развитие которых происходит в обстановках с экстремальными условиями (залив Шарк Бей, Австралия; Багамские острова).

К сожалению, среди карбонатных строматолитов сравнительно редко наблюдаются остатки фоссилизированных микроорганизмов. Это связано с тем, что карбонаты (кальцит и арагонит) имеют очень короткую аморфную стадию, после которой начинается быстрая раскристаллизация, в ходе чего клеточные оболочки бактериальных тел разрушаются и они не сохраняются (Розанов, 2003). Но иногда остатки бактериальных тел все-таки встречаются и среди строматолитов (табл. XXI) или в карбонатных породах (табл. XXII, фиг. 4). Среди фосфатных и железо-марганцевых строматолитов минерализованные бактериальные тела сохраняются хорошо (табл. XXIII, XXIV).

Еще одним образованием, обязанным своим происхождением взаимодействию микробных сообществ и окружающей среды, являются онколиты (Журавлева, 1964). Это округлые или овальные стяжения от первых миллиметров до 10–20 см в диаметре, с концентрической слоистостью, образовавшиеся в мелководной неспокойной обстановке, и состоящие, как и строматолиты, из более плотных карбонатных (или фосфатных, или кремневых, или марганец содержащих) слоев и менее

плотных, заключающих минерализованные трихомы цианобактерий, тела других бактерий, слизи. В отличие от строматолитов они во время образования не были связаны с субстратом, а свободно перемещались благодаря движению воды. Другими мелкими шаровидными образованиями с концентрической слоистостью, возникающими на мелководье, являются оолиты. Они обычно состоят из карбоната или окислов железа и марганца. Ядром для них служат песчинки, фрагменты цианобактерий. Скопления оолитов часто присутствуют в виде небольших линз среди строматолитов (табл. XXII, фиг. 1–3). Замещение органических слоев минеральными соединениями часто сохраняет их прижизненную структуру, что дает возможность изучать и сравнивать остатки микроорганизмов из древних строматолитов с ныне живущими. Поэтому строматолиты можно рассматривать как надежный источник информации о древнейших биоценозах.

### **Ископаемые микроорганизмы в фосфоритах**

Древние фосфориты являются одним из наиболее интересных и наглядных объектов, в которых сохранившиеся ископаемые микроорганизмы часто имеют прекрасную сохранность (Розанов, Жегалло, 1989). Это объясняется тем, что формирование фосфоритов связано с замещением биогенных остатков фосфатом кальция, которое в природе осуществляется с большой скоростью. Быстрая фосфатизация (часы, первые сутки) цианобактериальных сообществ была подтверждена экспериментально (Герасименко и др., 1996).

В истории Земли было несколько эпох, когда фосфоритообразование приобретало грандиозные масштабы. Такие события известны в начале кембрия, в пермском периоде, в меловом и палеогеновом периодах. Одним из главных модельных объектов при исследовании ископаемых бактериальных сообществ является Хубсугульский фосфоритоносный бассейн (Монголия, томмотский ярус нижнего кембрия) (Розанов, Жегалло, 1989; Zhegallo et al., 2000). При изучении хубсугульских фосфоритов было обнаружено, что они образованы слоями фосфатизированных циано-бактериальных матов, накапливавшихся в условиях обширного мелководного бассейна. Фосфориты сложены скоплениями фосфатизированных обломков циано-бактериальных матов, микроонколитов,

псевдоморфоз по пурпурным и иным бактериям (табл. XXV–XXVII). Остатки фосфатизированных циано-бактериальных матов и бактериоморфных тел в большом количестве присутствуют в Каратауских и Южно-Китайских нижнепалеозойских фосфоритах (Бушинский, 1966; Еганов, 1988, Холодов, Пауль, 1993, 1994; Школьник и др., 1999).

Недавно было рассмотрено с помощью сканирующего микроскопа строение галек фосфоритов, заключенных в серии Печенга Карелии (2.04 млрд. л.). Оказалось, что эти древнейшие из известных фосфоритов тоже содержат фосфатизированные многочисленные остатки бактериоморфных тел: нитчатых, коккоидных, овальных, палочковидных, по форме и размерам напоминающих цианобактерии и пурпурные бактерии. Вместе с ними встречаются структуры, которые можно трактовать как биопленки, окружающие бактериальные клетки (Melezhik et al., 2006; Rozanov et al., 2007). Но кроме бактериоморфных форм и продуктов их жизнедеятельности в этих древнейших фосфоритах обнаружены образования, которые при детальном изучении были отнесены к эвкарриотам – прازیнофитовым зеленым водорослям (табл. XXVIII, XXIX) (Розанов, Астафьева, 2008).

В одном из крупнейших в мире пермском фосфоритоносном бассейне, располагающемся на западе США, фосфориты являются составной частью формации Фосфория. Как показали исследования многих лет (Cressman, Swanson, 1964; Бушинский, 1969; Школьник и др., 1999), в образовании этих фосфоритов основную роль играли фосфатизированные кремневые губки, фрагменты циано-бактериального мата, водорослей и мелких обломков скелетных организмов.

Мел-палеоген-неогеновые фосфориты, богатые месторождения которых известны в Северной Африке, на Ближнем Востоке, в Северной и Южной Америке также включают в большом количестве обломки, состоящие из фосфатизированных циано-бактериальных матов и скоплений бактерий (Cressman, Swanson, 1964; Soudry, 1987; Prevot, 1990; Школьник и др., 1999; и др.).

Накопление фосфоритов говорит о двух важных вещах: 1) фосфоритонакопление везде связано с бактериальной активностью и 2) их накопление возможно лишь при высоком содержании  $O_2$  в атмосфере, что подтверждается и находками в них эвкарриот.

## Ископаемые микроорганизмы в кремнистых породах; процесс окремнения

Окремненные микроорганизмы описаны из докембрийских отложений многих районов мира (Barghoorn, Schopf, 1965, 1966; Schopf, 1968, 1970, 1992, 1993; Schopf, Barghoorn, 1967, 1969; Cloud et al., 1969; Schopf et al., 1977; Вейс, 1984, 1988; Сергеев, 1992; Walsh, 1992; Allwood et al., 2006; и многие другие работы). Фотографии микроорганизмов из древних кремнистых пород неоднократно публиковались в перечисленных работах, поэтому здесь мы приводим фотографии кремнистых пород вместе с заключенными в них микроорганизмами, образовавшихся недавно рядом с современными горячими источниками (Камчатка), и результаты лабораторных экспериментов по окремнению цианобактерий.

Процесс окремнения микроорганизмов в настоящее время неоднократно наблюдался рядом с горячими источниками с высокой концентрацией растворов кремния, распространенных во многих районах мира: на Камчатке, в Японии, в Кении, в Новой Зеландии, в Йеллоустонском национальном парке (США) и др. (Крылов, Тихомирова, 1988; Jones et al., 1998, 2005; Renaux et al., 1998; Phoenix et al., 2000; Konhauser et al., 2001; Yee et al., 2003; Jones, Renaux, 2006; и многие другие). Полученные данные стимулировали постановку экспериментальных работ по силификации микроорганизмов в лабораторных условиях (Oehler, Schopf, 1971; Westall et al., 1995; Toporski et al., 2002; Benning et al., 2002, 2004; Герасименко и др., 2004; Жегалло и др., 2007; и др.). Натурные и экспериментальные исследования позволили достаточно точно восстановить процесс окремнения и превращения минерализующихся бактериальных тел в «вечный препарат».

Например, в микрофлоре участков, прилегающим к термальным источникам кальдеры Узон (Кроноцкий заповедник) на Камчатке основными продуцентами являются цианобактерии *Phormidium*, *Lyngbya*, *Mastigocladus*, *Oscillatoria*, одноклеточные *Synechococcus* и зеленые бактерии *Chloroflexus*, растущие при температуре около 50 °С и ниже. Количество кремнезема, растворенного в источниках Узона, достигает 360 мг/л. Такая концентрация меньше предела насыщения кремнезема и его выпадения не происходит. Увеличение концентрации кремнезема

происходит в ходе испарения. На участках, которые испытывали хотя бы временное осушение, образуются слоистые слизистые пленки из цианобактерий, частично или полностью минерализованные с образованием опала. По наблюдениям И.Н. Крылова и Н.С. Тихомировой (1988), на пленках сначала опал начинает выпадать в виде островков сферических гранул диаметром 0.1–3 мкм. Затем островки сливаются и образуют тонкие опаловые корочки, которые утолщаясь, замещают клеточные стенки. Гибель клеток и начало их лизиса способствуют проникновению кремнезема внутрь клеток. Происходит их полное окремнение. При быстром окремнении микрофоссилии полностью сохраняют свой объем и не подвержены дальнейшим диагенетическим изменениям. Позже при поступлении новых порций кремнезема происходит хемогенное осаждение глобулей опала снаружи, внутри нитей цианобактерий и в пространствах между ними. В результате образуется сплошной кремнезем (гейзерит), на сколах которого и в шлифах хорошо видны разнообразные микрофоссилии. Скорость процесса окремнения на начальных стадиях, как и в случаях с фосфатизацией, весьма высокая – первые дни или даже первые часы после взаимодействия с концентрированным раствором. Продолжительность следующих стадий, вплоть до образования сплошного кремнезема, зависит, вероятно, от количества поступающего кремния (Крылов, Тихомирова, 1988; Жегалло и др., 2007) (табл. XXX–XXXIV).

В лабораторных условиях были поставлены эксперименты по окремнению термофильных цианобактерий из циано-бактериального мата Камчатки (тест – объекты *Oscillatoria terebriformis* и *Phormidium angustissima*). Было показано, что, как и в природе, степень силификации цианобактерий определяется концентрацией кремния в растворе и длительностью инкубирования. При этом концентрация кремния является более важным агентом минерализации, чем время экспозиции. Цианобактерии способны принимать активное участие в осаждении кремния из раствора посредством образования мощного гликокаликса, сорбирующего кремний из среды. В живой культуре минерализуется только гликокаликс, в мертвой – трихомы (Герасименко и др., 2004) (табл. XXXV). По данным Топорски с соавторами (Toporski et al., 2002), не все микроорганизмы силифицируются с одинаковой легкостью. Грам-



отрицательные бактерии, за исключением цианобактерий, поддаются минерализации труднее, чем грамположительные бактерии и эвкариоты; аэробные организмы более подвержены окремнению, чем анаэробные.

## **Ископаемые микроорганизмы в высокоуглеродистых породах**

Высокоуглеродистые породы на Русской и Сибирской платформах и в прилегающих к ним складчатых областях распространены, начиная с раннего протерозоя. Они представлены шунгитами, графитами, горючими и черными сланцами, известковистыми сланцами, глинистыми известняками, окрашенными в темные цвета за счет сохранившегося в них органического веществ. Примерами их могут служить графиты Ботогола, нижнепротерозойские шунгиты Карелии, нижнекембрийские известковистые сланцы синской свиты Сибирской платформы, горючие сланцы из меловых озерных отложений Украины, из палеогеновых морских отложений Азербайджана и Краснодарского края и др. В формировании всех этих пород важную роль играли микробиальные сообщества (Жмур и др., 1996, 1997; Герасименко и др., 1999; Жмур, 2010).

Графиты – породы, состоящие из углерода, происхождение которых чаще всего объясняется магматическими или метаморфическими процессами. С помощью сканирующего электронного микроскопа были исследованы графиты из Ботогольского сиенитового массива (Жмур и др., 1996; Rozanov et al., 1999). В образцах были обнаружены массовые скопления хорошо сохранившихся остатков нитчатых и коккоидных микроорганизмов, по своей структуре характерных для циано-бактериальных матов. Иногда они почти полностью слагают породу. Кроме них встречаются структуры, напоминающие споры, акритархи, конидии низших грибов, обнаружены фрагменты, вероятно, принадлежащие панцирному клещу девонского возраста (табл. XXXVI, XXXVII). Все эти находки полностью опровергают представление о магматическом происхождении ботогольских графитов. Сохранение в них столь многочисленной биоты хорошей сохранности, целиком замещенной графитом, несмотря на сильный метаморфизм, делает ботогольские графиты прекрасной моделью, которая может быть использована при изучении биоморфных образований в метеоритах.

Исследования шунгитов, несмотря на сильнейший наложенный метаморфизм, выявили в их стратифицированных разностях многочисленные остатки коккоидных и нитчатых колониальных микроорганизмов и остатки минерализованного гликокаликса (Жмур и др., 1993; Бактериальная палеонтология, 2002; Жмур, 2010) (табл. XXXVIII).

Большой комплекс микроорганизмов обнаружен в черных углеродистых сланцах синской свиты (нижний кембрий) в среднем течении р. Лены (Сибирская платформа). Биоморфные структуры представлены трубочками, кокками и тонкими нитями, а также фрамбоидами пирита, образование которых, по всей видимости, связано с деятельностью сульфатредуцирующих бактерий (Astafieva, 2002; Астафьева, 2003, 2005; Astafieva et al., 2004; Астафьева и др., 2005) (табл. XXXIX, XL).

В палеоценовых горючих сланцах озерного происхождения Болтышской структуры на Украине также обнаружены многочисленные нитевидные и коккоидные структуры, остатки минерализованного гликокаликса и россыпь кристаллитов пирита (табл. XLI). Близкий комплекс микроорганизмов и сопутствующих им кристаллитов пирита обнаружен в морских палеогеновых горючих сланцах коунской (верхний эоцен) и майкопской (олигоцен) свит Шемахино-Кабыстанского прогиба Азербайджана (табл. XLII) (Жмур, 2010).

Итак, среди биоморфных структур в высокоуглеродистых породах присутствуют фоссилизированные остатки практически всех слоев, составляющих циано-бактериальный мат: остатки собственно цианобактерий, пурпурных бактерий и сульфидогенов. По всей вероятности, микроорганизмы входили в состав циано-бактериальных матов, которые занимали обширные участки в местах накопления высокоуглеродистых пород.

## **Бактерии и глинистые минералы**

Долгое время образование и преобразование глинистых осадочных пород и минералов связывалось только с абиотическими факторами. Исследования последних лет показали, что бактерии могут участвовать во всех процессах, связанных с появлением и трансформацией глинистых минералов, и в их присутствии ход процессов значительно ускоряется (Чижикова и др., 2008; Алексеева и др., 2009; Наймарк и др., 2009). Бактерии и создаваемое ими органическое вещество способствуют накоплению

мощных толщ глинистых пород путем образования длинного ряда глинистых минералов – хлоритов, каолинитов, монтмориллонитов, смектитов и др. (Розанов, 2002, 2003). Подробно процесс аутигенного осаждения глинистых минералов в присутствии бактерий, способствующих разложению органического вещества, описал Конхаузер с соавторами (Konhauser et al., 1993) на примере р. Рио-Солимос (Бразилия), в водах которой избыток взвеси и растворенные неорганические вещества и присутствует богатая бактериальная флора. Авторы показали, что на поверхности бактериальных клеток активно осаждаются катионы железа, которые в свою очередь служат местом формирования и роста тонкой аутигенной минеральной фазы Fe-Al силикатов различного состава от почти аморфной гелеподобной до кристаллической. Гелеподобная структура по составу близка шамозитовой глине (железистый хлорит), а кристаллическая фаза имеет каолинитовый состав. В результате происходит частичная или полная минерализация бактериальных клеток и осуществляется переход растворенных в воде соединений в осадок с образованием глинистых соединений, переполненных остатками минерализованных бактериальных тел. Глинистые минералы также играют заметную роль в фоссилизации и сохранении в ископаемом состоянии микроорганизмов. Так, в глинистых породах томингской свиты нижнего протерозоя Карелии (2.0 млрд. л.) сохранились коккоидные и нитевидные формы (табл. XLIII, табл. XLIV, фиг. 1). На нескольких уровнях глинистой толщи в зимнегорских слоях верхнего венда (местонахождение Зимний берег, Архангельская обл.) обнаружен ископаемый водорослевый комплекс, включающий как вендотениевые водоросли так и остатки циано-бактериальных матов (Леонов, 2002). На известковистой глине верховской свиты верхнего венда (Архангельская обл., Онежский п-ов) на месте прикрепления *Palaeophragmodictya spinosa* Serezhnikova, 2007 наблюдалось скопление фрамбоидов пирита, образовавшихся при участии микроорганизмов по обитавшей здесь органике (табл. XLIV, фиг. 3) (Сережникова, 2007; Serezhnikova, 2010). Внутри костных тканей в скелетах нижепермских парейазавров из Архангельской области участки, где находились кровеносные сосуды, заполнены глинистым веществом, которым были замещены стенки сосудов и тела бактерий, принимавших участие в их разложении (табл. XLIV, фиг. 2). Знаменитые верхнеюрские литографские сланцы Золенгофена (Герма-

ния, Бавария) нацело сложены мельчайшими карбонатными водорослями – кокколитофоридами и их обломками, скрепленными глинистым цементом (табл. XLIV, фиг. 4). В подмосковных глинах подольского и мячковского горизонтов московского яруса среднего карбона обнаружены многочисленные минерализованные нитевидные и коккоидные формы и биопленки, свидетельствующие о некогда распространенной здесь бактериальной флоре (табл. XLV). Были также обнаружены биоморфные структуры, минерализованные глинистыми силикатами селадонитового и смектит-селадонитового состава, среди глубоких горизонтов миоценовых базальтовых лав в Исландии (Гептнер и др., 1997, 2005). Лавы были погружены ниже уровня подземных вод и подвергались воздействию низкотемпературных пресных подземных источников. Многие из выявленных биоморфных структур близки по размерам бактериям и их колониям, минерализованным в других условиях. Среди них присутствуют палочки, шары, нити, полусферы, пленки. Перечисленные структуры встречаются отдельно или образуют разнообразные ассоциации, обычно сложенные глинистым веществом (табл. XLVI). Интересно отметить, что в элементном составе выявленных биоморфных структур калия намного больше (например, в селадоните до 7–8 %) по сравнению с фоновым содержанием этого элемента (0.2–0.4 %) во вмещающих базальтах. Известно, что калий играет важнейшую роль в метаболизме живых организмов и мог аккумулироваться в процессе жизнедеятельности микроорганизмов в слоистых силикатах (Гептнер и др., 2007).

### **Микроорганизмы и образование бокситов**

Бокситы, являющиеся сырьем для получения алюминия, известны с позднего докембрия до настоящего времени, но более всего они распространены в мезо-кайнозойских отложениях. Первоначальное образование бокситов связано с корами выветривания в условиях жаркого климата. Впоследствии их скопления могут переотлагаться среди озерных, болотных или прибрежно-морских отложений. Об участии в генезисе бокситов биогенного фактора, в том числе микроорганизмов, писали еще в 40-х годах XX века Л.С. Берг (1945) и А.Г. Вологдин (1947). Изучение с помощью сканирующего электронного микроскопа большой коллекции образцов из месторождений и проявлений бокситов Ев-

ропы, Азии, Северной и Южной Америки, Африки с возрастным диапазоном от современной эпохи до протерозоя, подтвердило важнейшую роль микроорганизмов в их образовании. Минерализованные остатки биогенных структур обнаружены во всех изученных месторождениях бокситов как в латеритных так и в переотложенных. Хотя встречаются биоморфные замещения минералами бокситов разных организмов растительного и животного происхождения, но наиболее важная роль принадлежит бактериям (Бактериальная палеонтология, 2002; Школьник и др., 2004). При этом следует отметить, что основная часть алюминия содержится в кристаллах бемита или гиббсита, а псевдоморфозы по микроорганизмам, включая, вероятно, и грибы, состоят преимущественно из железо-марганцевых минералов (табл. XLVII–XLIX).

### **Бактериоморфные структуры в отложениях континентальных озер**

Подавляющее большинство исследований древних микрофоссилий бактериального происхождения было сделано на материале из морских отложений. Однако весьма интересным представляется и изучение бактериоморфных структур в континентальных озерных отложениях.

Было предпринято изучение озерных отложений с девона до неогена. Изучалось девонское местонахождение в Казахстане. В черных алевролитах с высоким содержанием углерода были найдены остатки членистоногих – малдыбулакий. В одной из точек вместе с малдыбулакиями обнаружены коккоидные остатки, которые можно отнести к фоссилизированным бактериям (табл. L, фиг. 1, 2).

Массовые захоронения остатков, в том числе и похожие на цианобактерий, были обнаружены в тонкослойчатых алевролитах позднепермского местонахождения Караунгур в Кендерлыкской впадине в Восточном Казахстане (табл. L, фиг. 3, 4). Судя по массовым захоронениям остатков насекомых, условия на дне были бескислородными.

В тонкослойчатых вулканогенно-осадочных породах местонахождения Новоспасское в Бурятии, которые представляют собою озерные отложения, найдены более крупные (до 10  $\mu\text{m}$ ) коккоидные образования с внутренней отдельностью, погруженные в замещенный гликокаликс (табл. LI, фиг. 1). Дно также было бескислородным.

Благодатным объектом исследований оказались отложения обширных раннемеловых озер на территории Восточной Азии (Пономаренко, 2002). Высокий уровень обнаженности позволил изучить все этапы развития озерного бассейна от маленьких озер на периферии пролювиальных конусов к водорослевым карбонатным платформам и к отложениям наиболее глубоких частей озера. Наиболее распространенными бактериоморфными структурами в тонкослойчатых отложениях, как богатых, так и бедных органическим веществом были коккоподобные окаменелости размером в 3–5  $\mu\text{m}$ . Они встречаются и на поверхности напластования и внутри слоев, одиночно или в виде колоний, погруженных в так же минерализованный гликокаликс (табл. LI, фиг. 2–4; табл. LII, фиг. 1–4).

Минерализация бактериоморфных структур в озерных отложениях обычно карбонатная. Фосфоритная минерализация весьма редка и найдена только в фосфоритах (вельдские отложения Англии) (табл. LI, фиг. 3).

### **Остатки микроорганизмов и следов их жизнедеятельности в раковинах древних фосфатных брахиопод**

В раковинах и в скелетах ископаемых животных тоже иногда может сохраняться информация о древних микроорганизмах, которые существовали одновременно с ними или принимали участие в посмертном разложении их мягких тканей. Имеются публикации о находках остатков фоссилизированных бактериальных тел среди минерализованных мягких тканей палеозойских и мезозойских ископаемых. А. Мартилл и Д. Бриггс с соавторами при изучении остатков рыб из меловых отложений Бразилии и мечехвостов из верхней юры Германии (Martill, 1988; Briggs et al., 2005) показали, что в обоих случаях прекрасно сохранившиеся мягкие ткани после смерти животных были покрыты тонкой бактериальной пленкой, очень быстро фосфатизированной. Пленка препятствовала колонизации мягких тканей эпибионтами и эндобионтами и защищала верхнюю часть осадка вместе с попавшими в него организмами от биотурбации. Одновременно она затрудняла доступ кислорода, сама служила источником питания для автотрофных бактерий и к тому же была дополнительным источником фосфора. В результате участки мускульных тканей, находившиеся под пленкой, были замеще-



ны фосфатом кальция, а вместе с ними были фосфатизированы тела бактерий и сама биопленка. Также были покрыты фосфатизированной биопленкой участки скелета нижнемелового динозавра орнитомимозавра из Испании, что определило сохранение участков кожи, мягких тканей и даже кровеносных сосудов (Briggs et al., 1997).

Хорошим объектом для изучения ископаемых бактерий являются брахиоподы, принадлежащие классу Lingulata (Ушатинская, 1995). Их раковины при жизни были построены чередующимися органо-фосфатными и органическими слоями. После смерти органика частично или полностью разрушалась с помощью микроорганизмов, но в некоторых случаях (например, при большой скорости захоронения, при захоронении брахиопод в тонких илистых породах, при незначительном доступе кислорода) органика вместе с микроорганизмами могла замещаться фосфатом кальция. В результате раковины лингулят и сохранившиеся в них тела микроорганизмов оказывались нацело сложеными этим минералом. Фосфатизированные бактериальные тела встречаются внутри створок, где они видны на сколах и на внутренних поверхностях (табл. LIII, LIV). Особенно часто можно видеть скопления бактериальных тел в местах, где при жизни у брахиопод прикреплялись мускулы (табл. LIII, фиг. 4).

### **Золото и микроорганизмы**

Псевдоморфные замещения бактерий и грибов золотом описывались неоднократно (Овчаренко и др., 1985; Коробушкина, Коробушкин, 1986; Амосов, Васин, 1993; Моисеенко и др., 1999; Амосов и др., 2002 а, б). Образцы золота из россыпных месторождений Амурской области, Камчатки, Урала, Хабаровского края включают нитчатые, спиральные и коккоидные формы, морфологически и по размерности похожие на литифицированные цианобактерии и микроскопические грибы (Моисеенко и др., 1999). Способность микроорганизмов извлекать и накапливать золото из окружающей среды позволяет рассматривать этот способ его накопления в качестве одного из возможных механизмов возникновения ряда низкотемпературных осадочных золоторудных месторождений (Куимова, 2004). В настоящее время в за-

водских условиях с помощью бактерий осуществляется обогащение золотых (а также серебряных, медных, железных, урановых) руд.

Из всемирно известного золоторудного месторождения Витватерсранд, ЮАР (Юго-Восток Африки) (возраст 2.4–2.35 млрд. л.) из тонких (3–6 см) высокоуглеродистых слойков, присутствующих на нескольких уровнях в нижней части группы Витватерсранд, с помощью сканирующего микроскопа было изучено несколько образцов, содержащих золото (Школьник и др., 2005). Было обнаружено, что сами высокоуглеродистые слойки представляют собою фоссилизованные микробиальные маты, скорее всего обитавшие на данной территории в мелководном бассейне, возможно, в периоды некоторого опреснения. Отложения золота, концентрация которого в окружающих иловых водах была высокой (что определялось соответствующей геологической историей формирования бассейна Витватерсранд), происходило путем замещения трихомов цианобактерий и других микробов, входящих в состав цианобактериального мата, а также заполнения оставшихся после гибели микроорганизмов пустот (табл. LV, LVI).

## **ПСЕВДОМОРФОЗЫ ПО МИКРООРГАНИЗМАМ В МЕТЕОРИТАХ**

В последние 10–15 лет в связи с освоением новой техники с высокими разрешающими возможностями сильно возрос интерес к результатам биологических исследований астроматериалов. Такие работы проводились и в Палеонтологическом институте совместно с американскими коллегами. Результаты этих исследований с подробным описанием объектов были неоднократно опубликованы (Жмур и др., 1997, 1999; Hoover et al., 1998, 2004; Герасименко и др., 1999; Rozanov, Hoover, 2002; Hoover, Rozanov, 2003; Розанов, 2009; Жмур, 2010 и др.).

Основным источником биологической информации являются метеориты, которые относятся к классу углистых хондритов. Своё название они получили от специфических включений сфероидальной формы с радиально-лучистой структурой диаметром около 1 мм –

хондр. Хондры обычно состоят из минералов основной и ультраосновной групп – бронзита и оливина, иногда с включениями стекла. Кроме хондр углистые хондриты содержат непереплавленные агрегаты, представленные оливином, пироксеном, хромитом, погруженными в матрикс, состоящий из глинистоподобного силиката. Углистая составляющая представлена сложными углеводородами. Название метеоритов дается по месту, где они были обнаружены. Все полученные данные о возрасте метеоритов находятся в интервале 4.4–4.59 млрд. л.

Наиболее интересные материалы получены по метеоритам Мурчисон, Ефремовка, Алленде, Оргей, Алаис, Муррей, Нагойя и некоторых других. На таблицах LVII–LXXI и в объяснениях к ним приводятся результаты исследования более чем 10 метеоритов на электронном сканирующем микроскопе CamScan – 4 Cambridge в Палеонтологическом институте им. А.А. Борисяка РАН (Россия) и на микроскопах S-4100 FESEM и EDAX в центре НАСА в Хантсвилле (США).

## **ТРУДНОСТИ БАКТЕРИАЛЬНО-ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ДРЕВНИХ ПОРОД И АСТРОМАТЕРИАЛОВ**

Практически одновременно с опубликованием материалов об обнаружении в метеоритах органического вещества и бактериоморфных структур (Nagy, 1975) появились публикации, в которых отрицалось внеземное происхождение этих находок, и они трактовались как артефакты или как земное загрязнение (Anders, 1962). Действительно, попав на Землю, а впоследствии и в музейные коллекции, метеориты нередко осваивались микроорганизмами. Известны случаи прорастания метеоритов актиномицетами или грибами по микротрещинам. Так, при изучении образца метеорита Мурчисон из Филд Музея (Чикаго) было обнаружено, что вся его поверхность заражена современными актиномицетами (Герасименко и др., 1999). Обнаружены гифы современных актиномицетов и в нескольких образцах метеоритов, хранящихся в Палеонтологическом институте. Но надо иметь в виду, что при поисках бактериоморфных структур в метеоритах исследу-

ются псевдоморфозы, которые тесно связаны с породой, а не лежат на поверхности образца. Они образованы минералами, по составу не отличающимися от состава самого метеорита.

Другое возражение против интерпретации биоморфных структур в метеоритах связано с очень мелкими (нанометровыми) их размерами в метеорите ALH84001. Однако в настоящее время уже не подвергается сомнению широкое распространение нанобактерий на Земле, имеется обширная литература, посвященная их метаболизму, условиям их существования (Kajander et al., 1998; Vainshtein et al., 1998; и др.). Более того, существует работа, в которой показана принципиальная неотличимость современных нанобактерий от объектов из ALH84001 (Folk, Linch, 1998).

Противниками биогенной природы обнаруживаемых в метеоритах биоморфных структур приводится также соображение о том, что мы очень плохо знаем морфологию абиогенных материалов на нанометровом уровне и потому можем столкнуться со структурами, неотличимыми от тех, которые принимаются за псевдоморфозы по микробам и низшим грибам. Действительно, иногда среди синтезированных материалов, например, гётита и гематита наблюдаются выделения, весьма напоминающие бактерий (Zachara et al., 1998). Представляется, что на этом направлении могут возникнуть неожиданности и здесь требуется продолжение исследований.

Наконец, на Земле встречаются заведомо абиогенные полимерные кристаллы, например, керит, которые трудно отличимы от фоссилизированных микробных и даже цианобактериальных форм. Речь идет прежде всего о керитах из камерных пегматитов среди гранитов Волыни (Украина), переописанных Н.П. Юшкиным (Yushkin, 1996, 1998), который на основании присутствия в керитах 18 аминокислот выдвинул концепцию о «предбиологических организмах». Войлокоподобная структура керитов очень похожа на структуру современных и древних нитчатых цианобактерий. В.М. Горленко с соавторами (Gorlenko et al., 1999) показал, что в нитях данных керитов присутствуют многие клеточные атрибуты. Нельзя исключить, что образование волынского керита происходило позднее формирования минералов на последней стадии гидротермального процесса.

## МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ИСКОПАЕМЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

Изучение ископаемых микроорганизмов часто требует специальной подготовки содержащих их образцов для просмотра в электронном сканирующем микроскопе и работе с микроанализатором. Во-первых, необходима предварительная чистка образцов для удаления нежелательных загрязнений. Для этих целей образцы промывают спиртом или используют ультразвуковую очистку. В случае изучения образцов после химического протравливания необходимо тщательная промывка водой для удаления растворимых солей. Современные органические засорения можно удалять с образцов перекисью водорода или прогревая образцы в муфельной печи.

Для исследования в сканирующем электронном микроскопе с микроанализатором были разработаны разные методики в соответствии со спецификой конкретного объекта изучения. Из образцов вырезаются плоские пластинки, делаются прозрачные непокрытые шлифы или используются свежие сколы породы. Для ряда пород необходимо протравливание поверхности слабым раствором соляной или уксусной кислоты (2–10 %), а в ряде случаев щелочью, при этом надо учитывать, что травление соляной кислотой дает более четкую картину, а уксусной – бо-

лее сглаженную. В каждом конкретном случае концентрация кислоты и время травления подбирается опытным путем, после протравливания образцы промываются проточной водой не менее 15–30 минут.

Если образцы рыхлые, их можно заливать в эпоксидную смолу, а потом делать шлифы или пластинки. Высокоуглеродистые породы, чтобы получить их минеральную составляющую, надо прокалывать в муфельной печи. Кремнистые породы типа гейзеритов, особенно молодые, можно изучать на сколах и пластинках. Древние кремнистые породы изучают по общепринятой методике в стандартных петрографических шлифах толщиной около 0.5 мм в проходящем свете в оптических микроскопах. Значительно реже пользуются сканирующим микроскопом, в этом случае породу (кусочки или шлифы) осторожно протравливают в парах HF.

В настоящее время в палеонтологии стали использовать сканирующий томограф. Объект изучения сканируется рентгеновскими лучами с получением нескольких срезов через заданные интервалы. В результате анализа полученных сечений создается компьютерная модель объекта, внутри которой выявляются полости, трещины, каналы, поры, наросты и элементы, находящиеся в полостях. При этом изучаемый материал не повреждается. Благодаря микротомофотографии иногда возможно выявлять микрообъекты диаметром в первые микроны внутри горной породы, если они различаются по физической плотности на 10–15 %.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абызов С.С., Кириллова Н.Ф., Черкесова Т.В. Длительный анабиоз у спорообразующих бактерий в толще ледника Центральной Антарктиды // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1988. № 6. С. 885–891.
- Алексеева Т.В., Сапова Е.В., Герасименко Л.М., Алексеев А.О. Трансформация глинистых минералов, вызванная алкалофильным циано-бактериальным сообществом // Микробиология. 2009. Т. 78. № 6. С. 816–825.
- Амосов Р.А., Васин С.Л. Золотые микрофоссилии // Руды и металлы. 1993. № 36. С. 101–107.
- Амосов Р.А., Орлеанский В.К., Жегалло Е.А., Зайцева Л.В., Щегольков Ю.В. Золото и цианобактериальные маты // Бактериальная палеонтология. Инструменты, методы и задачи астробиологии V. Тезисы. М.: ПИН РАН, 2002а. С. 18–19.
- Амосов Р.А., Столяренко В.В., Щегольков Ю.В., Лапина М.И. Биогенно-гидротермальная золотая минерализация в мезозойских россыпях платины на Урале // Бактериальная палеонтология. Инструменты, методы и задачи астробиологии V. Тезисы. М.: ПИН РАН, 2002б. С. 15–16.
- Астафьева М.М. Микробиальные остатки синской свиты (нижний кембрий Сибирской платформы) // Палеонтол. журн. 2003. № 4. С. 3–8.
- Астафьева М.М. Фрамбоидальные структуры черных сланцев кембрия Сибирской платформы и перми шельфа Баренцева моря // Палеонтол. журн. 2005. № 1. С. 3–8.
- Астафьева М.М. Архей Карелии и бактериальная палеонтология. Эволюция биосферы и биоразнообразия. К 70-летию А.Ю. Розанова. М.: Т-во научных изданий КМК. 2006. С. 120–128.
- Астафьева М.М., Розанов А.Ю., Хувер Р. Фрамбоиды: их структура и происхождение // Палеонтол. журн. 2005. № 5. С. 1–7.
- Астафьева М.М., Розанов А.Ю., Корнелл Д. Раннепротерозойские (2.2. Ga) пиллоу-лавы Южной Африки и ископаемые микроорганизмы // Тезисы докладов ЛШ сессии Палеонт. о-ва, С.-Пб. 2008. С. 6–7.
- Астафьева М.М., Алфимова Н.А., Матреничев В.А., Розанов А.Ю. Древние коры выветривания и ископаемые микроорганизмы // Рабочее совещание по палеопочвам. Москва, ПИН РАН, 16–17 апреля 2009 г. Мат-лы совещания. С. 12–15.
- Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. 188 с.
- Белова М.Ю., Ахмедов А.М. *Petsamomyces* – новый род органостенных микрофоссилий в углеродсодержащих отложениях раннего протерозоя Кольского полуострова // Палеонтол. журн. 2006. № 5. С. 3–12.
- Берг Л.С. Происхождение уральских бокситов // Докл. АН СССР. Нов. сер. 1945. Т. 46. № 4. С. 167–172.
- Бушинский Г.И. Древние фосфориты Азии и их генезис. М.: Наука, 1966. 226 с.
- Бушинский Г.И. Формация Фосфория. М.: Наука, 1969. 110 с.
- Вейс А.Ф. Микофоссилии из верхнего рифея Туруханского района // Палеонтол. журн. 1984. № 2. С. 102–108.
- Вейс А.Ф. Микрофоссилии рифея и венда Учуро-Майского и Туруханского районов Сибири // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1988. № 5. С. 47–64.
- Вернадский В.И. Биосфера. М., 1967. 376 с.
- Вестал Ф., Вельш М. Раннеархейские ископаемые бактерии. В кн.: Бактериальная палеонтология. М., ПИН РАН, 2002. С. 84–90.
- Вологдин А.Г. Геологическая деятельность микроорганизмов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1947. № 3. С. 19–36.
- Воробьева Л.И. Археи. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 447 с.
- Гептнер А.Р. Абиогенное и биохомогенное изменение базальтового стекла в низкотемпературных условиях // Литология и полезн. ископаемые. 2001. № 6. С. 631–645.
- Гептнер А.Р., Петрова В.В., Соколова А.Л., Горькова Н.В. Биохомогенное формирование слоистых силикатов при гидротермальном изменении базальтов, Исландия // Литология и полезн. ископаемые. 1997. № 3. С. 249–259.
- Гептнер А.Р., Ивановская Т.А., Покровская Е.В. Гидротермальная фоссилизация микроорганизмов на поверхности Земли (Исландия) // Литология и полезн. ископаемые. 2005. № 6. С. 581–599.
- Гептнер А.Р., Ивановская Т.А., Покровская Е.В. Ляпунов С.М., Савичев А.Т., Горбунов А.В., Горькова Н.В. Гидротермально измененные гиалокластиты

- ты на поверхности земли в рифтовой зоне Исландии (проблема биохемогенной аккумуляции микроэлементов // Литология и полезн. ископаемые. 2007. № 5. С. 503–529.
- Герасименко Л.М., Гончарова И.В., Жегалло Е.А., Заварзин Г.А., Зайцева Л.В., Орлеанский В.К., Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. Процесс минерализации (фосфатизации) нитчатых цианобактерий // Литология и полезн. ископаемые. 1996. № 2. С. 208–214.
- Герасименко Л.М., Гончарова И.В., Заварзин Г.А., Жегалло Е.А., Почтарева И.В., Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. Динамика высвобождения и поглощения фосфора цианобактериями // Экосистемные перестройки и эволюция биосеры. М.: Недра. 1993. Вып. 1. С. 348–353.
- Герасименко Л.М., Жегалло Е.А., Жмур С.И., Розанов А.Ю., Хувер Р. Бактериальная палеонтология и исследования углистых хондритов // Палеонтол. журн. 1999. № 4. С. 103–125.
- Герасименко Л.М., Сапова Е.В., Орлеанский В.К., Ушатинская Г.Т., Жегалло Е.А., Розанов А.Ю., Заварзин Г.А. Силицификация цианобактерий в лабораторной культуре // В сб.: Кварц, кремнезем. Сыктывкар, Геопринт. 2004. С. 276–277.
- Гиличинский Д.А., Воробьева Е.А., Соина В.С., Ривкина Е.М., Федоров-Давыдов Д.Г. Микробиология вечной мерзлоты // Мат-лы 1 конф. геокринологов России, 1996. Кн. 1. С. 174–185.
- Еганов Э.А. Фосфоритообразование и строматолиты. Новосибирск: Ин-т геол. и геофиз. СО АН СССР, 1988. 90 с.
- Жегалло Е.А., Карпов Г.А., Лупкина Е.Г., Герасименко Л.М., Орлеанский В.К. Суанопхита в гейзеритовых постройках Камчатки // Альгология. Т. 17. № 1. 2007. С. 88–92.
- Жмур С.И. Роль цианобактериальной системы в формировании высокоуглеродистых пород. М.: КомКнига, 2010. 160 с.
- Жмур С.И., Горленко В.М., Герасименко Л.М. Сравнительная морфология современных и древних земных бактериальных организмов и микрофоссилий из углеродистых метеоритов // Микробиология. 1999. Т. 68. № 6. С. 838–844.
- Жмур С.И., Горленко В.М., Розанов А.Ю., Жегалло Е.А., Лобзова Р.В. Цианобактериальная бентосная система-продуцент углеродистого вещества шунгитов нижнего протерозоя Карелии // Литология и полезн. ископаемые. 1993. № 2. С. 122–127.
- Жмур С.И., Розанов А.Ю., Горленко В.М. Литифицированные остатки микроорганизмов в углистых хондритах // Геохимия. 1997. № 1. С. 66–68.
- Жмур С.И., Розанов А.Ю., Лобзова Р.В., Жегалло Е.А. Об источнике углерода графитовых руд Ботогольского щелочного массива (Восточный Саян) // Докл. АН РАН. 1996. Т. 348. № 3. С. 360–362.
- Журавлева З.А. Онколиты и катаграфии рифея и нижнего кембрия Сибири и их стратиграфическое значение. М.: Наука, 1964. 75 с.
- Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2003. 348 с.
- Заварзин Г.А., Колотилова Н.Н. Введение в природоведческую микробиологию. М.: Книжный дом «Университет». 2001. 256 с.
- Исаченко Б.Л. О биогенном образовании карбоната кальция // Микробиология. 1948. Т. 17. С. 118–125.
- Кожевников В.Н. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск: Карельск. научн. центр РАН. 2000. 223 с.
- Комар В.А. Строматолиты верхнедокембрийских отложений севера Сибирской платформы и их стратиграфическое значение. М.: Наука, 1966. 122 с.
- Комар В.А. Строматолиты и корреляция опорных разрезов рифея Сибири и Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1990. № 10. С. 30–35.
- Коробушкина Е.Д., Коробушкин И.М. Взаимодействие золота с бактериями и образование «нового» золота // Докл. АН СССР. 1986. Т. 287. № 4. С. 978–980.
- Крылов И.Н. Строматолиты рифея и фанерозоя СССР. М.: Наука, 1975. 284 с.
- Крылов И.Н., Тихомирова Н.С. К образованию кремнистых микрофоссилий // Палеонтол. журн. 1988. № 3. С. 3–9.
- Куимова Н.Г. Аккумуляция и кристаллизация золота микроорганизмами, выделенными из рудных и россыпных месторождений. Владивосток: Дальнаука. 2004. 160 с.
- Леонов М.В. Вендские цианобактериальные сообщества как один из факторов, обуславливающих сохранность эукариотных растительных остатков // Междунар. конф. «Бактериальная палеонтология», тезисы. М.: ПИН РАН, 2002. С. 48–49.
- Моисеенко В.Г., Куимова Н.Г., Макеева Т.Б., Павлова Л.М. Образование биогенного золота мицелиальными грибами // Докл. РАН. 1999. Т. 364. № 4. С. 535–537.
- Наймарк Е.Б., Ерошев-Шак В.А., Чижикова Н.П., Компанцева Е.И. Взаимодействие глинистых минералов с микроорганизмами: обзор экспериментальных данных // Журн. общ. биол. 2009. Т. 70. № 2. С. 155–167.

- Овчаренко Ф.А., Ульберг З.Р., Гарбора С.В. Механизм биогенного формирования аутигенных включений золота в тонкодисперсных осадках // Докл. АН СССР. 1985. Т. 284. № 3. С. 711–715.
- Полькин Г.И., Адамов Э.В., Панин В.В. Технология бактериального выщелачивания цветных и редких металлов. М.: Недра, 1982. 288 с.
- Пономаренко А.Г. Бактериоморфные структуры в мезозойских озерных отложениях. The bacteriomorphic structures in Mesozoic lake deposits // Междунар. конф. «Бактериальная палеонтология», тезисы. М.: ПИН РАН, 2002. С. 63.
- Розанов А.Ю. Некоторые вопросы бактериального минерало- и седиментообразования // Междунар. конф. «Бактериальная палеонтология», тезисы. М.: ПИН РАН, 2002. С. 68.
- Розанов А.Ю. Ископаемые бактерии, седиментогенез и ранние стадии эволюции биосферы // Палеонтол. журн. 2003. № 6. С. 41–49.
- Розанов А.Ю. Псевдоморфозы по микробам в метеоритах // Проблемы происхождения жизни. М.: ПИН РАН, 2009. С. 158–165.
- Розанов А.Ю., Астафьева М.М., Вревский А.Б., Алфимова Н.А., Матреничев В.А. Микрофоссилии раннедокембрийских континентальных кор выветривания Фенноскандинавского щита // Отечеств. геол. 2008. № 3. С. 83–90.
- Розанов А.Ю., Астафьева М.М. Празинофиты (зеленые водоросли) из нижнего протерозоя Кольского полуострова // Палеонтол. журн. 2008. № 4. С. 90–93.
- Розанов А.Ю., Жегалло Е.А. К проблеме генезиса древних фосфоритов Азии // Литология и полезн. ископаемые. 1989. № 3. С. 67–82.
- Семихатов М.А., Раабен М.Е. Динамика глобального разнообразия строматолитов протерозоя. Ст. 1. Северная Европа, Китай, Индия // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1994. Т. 2. № 6. С. 10–32.
- Семихатов М.А., Раабен М.Е. Динамика глобального разнообразия протерозойских строматолитов. Ст. 2. Африка, Австралия, Северная Америка и общий синтез // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1996. Т. 4. № 1. С. 26–54.
- Сергеев В.Н. Окремненные микрофоссилии докембрия и кембрия Урала и Средней Азии. М.: Наука, 1992. 139 с.
- Сергеев В.Н. Окремненные микрофоссилии. В сб. «Бактериальная палеонтология», ред. А.Ю. Розанов. М.: ПИН РАН, 2002. С. 91–96.
- Сергеев В.Н. Окремненные микрофоссилии докембрия: природа, классификация, и биостратиграфическое значение. Тр. ГИН РАН. М.: ГЕОС, 2006. Вып. 567. 280 с.
- Серезникова Е.А. *Palaeophragmodictya spinosa* sp. nov. – билатеральный седентарный организм из венда юго-восточного Беломорья // Палеонтол. журн. 2007. № 4. С. 16–24.
- Слабунов А.И., Лобач-Жученко С.Б., Бибикова Е.В., Балаганский В.В., Сорьонен-Вард П., Володичев О.И., Щипанский А.А., Светов С.А., Чекулаев В.П., Арестова Н.А., Степанов В.С. Архей Балтийского щита: геология, геохронология, геодинамические обстановки // Геотектоника. 2006. № 6. С. 3–32.
- Тимофеев Б.В. Микрофитофоссилии раннего докембрия. Л.: Наука. 1982. 128 с.
- Ушатинская Г.Т. Древнейшие лингуляты. М.: Наука. 1995. 88 с.
- Холодов В.Н., Пауль Р.К. Проблема генезиса фосфоритов // Литология и полезн. ископаемые. 1993. № 3. С. 110–125.
- Холодов В.Н., Пауль Р.К. Морфогенетические особенности фосфоритов Каратау (Казахстан) и проблема древнего фосфоритообразования // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. М.: Недра, 1994. С. 339–348.
- Чижикова Н.П., Омарова Е.О., Зенова Г.М., Манучаров А.С. Взаимодействие циано-актиномицетных сообществ с глинистыми минералами // Бюл. Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2008. Вып. 61. С. 50–59.
- Школьник Э.Л., Жегалло Е.А., Богатырев Б.А., Бугельский Ю.Ю., Слукин А.Д., Новиков В.М., Еганов Э.А., Георгиевский А.Ф., Жуков В.В., Мышкин В.И., Одокий Б.Н. Биоморфные структуры в бокситах (по материалам электронно-микроскопического изучения. М.: Эллан, 2004. 184 с.
- Школьник Э.Л., Жегалло Е.А., Герасименко Л.М., Шувалова Ю.В. Углеродистые породы и золото в них бассейна Витватерсранд, ЮАР – исследование с помощью электронного микроскопа. М.: Эллан, 2005. 120 с.
- Школьник Э.Л., Тан Тяньфу, Еганов Э.А., Розанов А.Ю., Батулин Г.Н., Жегалло Е.А., Сюэ Яосун, Юй Цюню, Джел К., Пайнер Д., Медрано М. Природа фосфатных зерен и фосфоритов крупнейших бассейнов мира. Владивосток: Дальнаука, 1999. 207 с.
- Allwood A.C., Walter M.R., Kamber B.S., Marshall C.P., Burch I.W. Stromatolite reef from the Early Archaean era of Australia // Nature. 2006. V. 441. P. 714–717.
- Altermann W., Schopf J.W. Microfossils from the Neoproterozoic Campbell Group, Griqualand West sequence of the Transvaal Supergroup, and their paleoenvironmental and evolutionary implications // Precambrian Res. 1995. V. 75. P. 65–90.
- American Mineralogist. 1998. V. 83. № 11–12(2). P. 1378–1607.
- Anders E. Meteoritic hydrocarbons and extraterrestrial life // Ann. N.Y. Acad. Sci. Lett. 1962. V. 93. P. 651–657.
- Astafieva M. M. Biomorph microstructures in the Sinsk formation (Lower Cambrian of the Siberian platform) // Proc. SPIE. 2002. V. 4939. P. 93–100.
- Astafieva M. M. Bacteriomorphic structures from the Sinsk formation (Lower Cambrian of Siberian platform) // Perspectives in Astrobiology. NATO Science Series. V. 366. Amsterdam, 2005. P. 6–10.

- Astafieva M.M., Hoover R., Rozanov A.Yu. Framboidal structures in Earth rocks and in astromaterials // Proc. SPIE. 2004. V. 5163. P. 36–47.
- Astafieva M.M., Hoover R.B., Rozanov A.Yu., Vrevskiy A.B. Fossil microorganisms in Archaean deposits of Northern Karelia // Proc. SPIE. 2005. V. 5906. P. 1–6.
- Astafieva M.M., Hoover R.B., Rozanov A.Yu., Vrevskiy A.B. Fossil microorganisms in Archaean // Proc. SPIE. 2006. V. 6309. P. 630904-1 – 630904-10.
- Astafieva M.M., Rozanov A.Yu., Cornell D.H., Hoover R.B. Development of living organisms on the lava-water interface of Palaeoproterozoic Ongeluk lavas of South Africa // Proc. SPIE, 2008. V. 7097. P. 3–13.
- Astafieva M.M., Rozanov A.Yu. Lopian (Upper Archaean) microfossils from Karelia (Khizovaar Greenstone structure) // Paleontol. J. 2009. V. 43. № 8. P. 55–60.
- Astafieva M., Rozanov A., Alfimova N., Matrenichev V., Vrevsky A., Hoover R. The role of microorganisms in rock formation // 4 September 2009a, SPIE Newsroom. DOI: 10.1117/2.1200909.1746 (<http://spie.org/x36956.xml?highlight=x2416&ArticleID=x36956>).
- Astafieva M.M., Rozanov A.Yu., Vrevsky A.B., Alfimova N.A., Matrenichev V.A., Hoover R.B. Fossil microorganisms and formation of Early Precambrian weathering crusts // Proc. SPIE. 2009b. V. 7441. P. 1–15.
- Astafieva M.M., Rozanov A.Yu., Sharkov E.V., Chistyakov A.V., Bogina M.M., Hoover R.B. Volcanic Glasses as Habitat for Microfossils: Evidence from the Early Paleoproterozoic Pillow Lavas of Karelia and their Modern Analogues in the Mid-Atlantic Ridge // Proc. SPIE. 2009c. V. 7441. P. 4–12.
- Banfield J.F., Nealson K.H. (*eds.*). Geomicrobiology: Interactions between microbes and minerals // Rev. Mineralogy. 1997. V. 35. 448 p.
- Barghoorn E.S., Schopf J.W. Microorganisms from the Late Precambrian of Central Australia // Science. 1965. V. 150. № 3684. P. 337–339.
- Barghoorn E.S., Schopf J.W. Microorganisms three billion years old from the Precambrian of South Africa // Science. 1966. V. 152. № 3723. P. 758–76.
- Barghoorn E.S., Tyler S.A. Microorganisms from the Gunflint chert // Science. 1965. V. 147. № 3658. P. 563–577.
- Benning L.G., Phoenix V., Yee M.J., Konhauser K.O., Mountain B.W. Molecular characterization of cyanobacterial cells during silicification: A synchrotron-based infrared study // Geochem. Earth Surf. 2002. V. 6. P. 259–263.
- Benning L.G., Phoenix V.R., Yee N., Tobin M.J. Molecular characterization of cyanobacteria silicification using synchrotron infrared micro-spectroscopy // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2004. V. 68. № 4. P. 729–741.
- Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Edition 2. Springer. 2004–2009.
- Briggs D.E.G., Moore R.A., Shultz J.W., Schweigert G. Mineralization of soft-part anatomy and invading microbes in the horseshoe crab *Mesolimulus* from the Upper Jurassic Lagerstätte of Nusplingen, Germany // Proc. Roy. Soc. B. 2005. V. 272. P. 627–632.
- Briggs D.E.G., Wilby P.R., Perez-Moreno B.P., Sans J.L., Fregenal-Martinez M. The mineralization of dinosaur soft tissue in the Lower Cretaceous of Las Hoyas, Spain // J. Geol. Soc. of London, 1997. V. 154. № 4. P. 587–588.
- Cayeux L. Existence de restes organiques les roches ferrugineuses associees au minerale de fer huroniens des Etats-Unis // C. R. Acad. Sci. B. 1911. V. 153. P. 910–912.
- Cayeux L. Existence de nombreuses roches phosphates sedimentaires de tout age // C.R. Acad. Sci. 1936. V. 23. P. 1198–2000.
- Chadwick B., Vasudev V.N., Negde G.V. The Dharwar Craton, Southern India, and its Late Archean plate tectonic setting: current interpretation and controversies // Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.). 1997. V. 106. № 4. P. 249–258.
- Cloud P.E., Licari G.R., Wright L.A., Troxel B.W. Proterozoic eucariotes from Eastern California // Precambrian Res. 1969. V. 62. № 3. P. 623–630.
- Cressman E.R., Swanson R.W. Stratigraphy and Petrology of the Permian rocks of southern Montana // U.S. Geol. Surv. Prof. Paper. 1964. № 313-C. P. 275–567.
- Devouagard B., Posfai M., Xin Hua, Bazylinski D.A., Frankel R.B., Buseck P.R. Magnetite from magnetotactic bacteria: size distributions and twinning // Amer. Mineralogist. 1998. V. 83. P. 1387–1398.
- Folk R.L., Lynch F.L. Carbonaceous objects resembling nanobacteria in the Allende meteorite // Proc. SPIE. 1998. V. 3441. P. 112–122.
- Fortin D., Ferris F.G., Beveridge F.G. Surface-mediated Mineral Development by Bacteria // Reviews in Mineralogy. 1998. V. 35. Geomicrobiology: Interactions between Microbes and Minerals. *Eds.*: J.F. Banfield, K.H. Nealson. P. 161–180.
- Furnes H., Banerjee N.R., Muehlenbachs K., Staudigel H., de Wit M. Early life recorded in Archaean pillow lavas // Science. 2004. V. 304. P. 578–581.
- Gorlenko V.M., Zhmur S.I., Duda V.I., Osipov G.A., Duzina N.E., Dmitriev V.V. Microbial nature of fibrous kerite of Volyn // Proc. SPIE. 1999. V. 3755. P. 83–95.
- 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 Research. 1998. V. 68. № 3. P. 413–434.
- Jones B., Renaut R.W. Growth of siliceous spicules in acidic hot springs, Waiotapu geothermal Area, North Island, New Zealand // Palaios. 2006. V. 21. P. 406–423.



- Jones B., Renaux R.W., Konhauser K.O. Genesis of large siliceous stromatolites at Frying Pan Lake, Waimangu geothermal field, North Island, New Zealand // *Sedimentology*. 2005. V. 52. P. 1229–1252.
- Hoover R.B., Jerman G., Rozanov A.Yu., Davies P.C.W. Biomarkers and microfossils in the Murchison, Tagish Lake and Rainbow meteorites // *Proc. SPIE*. 2003. V. 4859. P. 5–31.
- Hoover R.B., Jerman G., Rozanov A.Yu., Sipiera P.P. Indigenous microfossils in carbonaceous meteorites // *Proc. SPIE*. 2004. V. 5555. P. 1–47.
- Hoover R.B., Rozanov A.Yu. Microfossils, biominerals and chemical biomarkers in meteorites // *Proc. SPIE*. 2003. V. 4939. P. 10–27.
- Hoover R.B., Rozanov A.Yu., Zhmur S.I., Gorlenko V.M. Further evidence of microfossils in carbonaceous chondrites // *Proc. SPIE*. 1998. V. 3441. P. 203–216.
- Kajander E.O., Bjorklund M., Çiftcioglu N. Mineralization by nanobacteria // *Proc. SPIE*. 1998. V. 3441. P. 86–94.
- Karavaiko G.I., Groudev S.N. (eds.) *Biogeotechnology of metals* // *Proceed. Intern. Seminar and Intern. Training Course*. Moscow, 1985. 417 p.
- Kirshvink J.L., Jones D.S., MacFadden B.J. (eds.) *Magnetite biomineralization and magnetoreception in organisms*. N.Y.- L.: Plenum 2. 1985.
- Knoll A.N. Proterozoic and Early Cambrian protists: evidence for accelerating evolutionary tempo // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1994. V. 91. № 6. P. 6743–6750.
- Knoll A.N., Golubic S. Anatomy and taphonomy of a Precambrian algal stromatolite // *Precambrian Res.* 1979. V. 10. P. 115–151.
- Konhauser K.O., Fyle W.S., Ferris F.G., Beveridge T.J. Metal sorption and mineral precipitation by bacteria in two Amazonian river: Rio Solimoes and Rio Negro // *Geology*. 1993. V. 21. P. 1103–1106.
- Konhauser K.O., Phoenix V.R., Bottrell S.H., Adams D.G., Head I.M. Microbial-silica interactions in modern hot spring sinter: Possible analogues for Precambrian siliceous stromatolites // *Sedimentology*. 2001. V. 48. P. 415–433.
- Lowenstam, H.A., Weiner, S. *On biomineralization*. Oxford: Oxford Univ. Press. 1989. 324 p.
- Martill D.M. Preservation of fish in the Cretaceous Santana Formation of Brasil // *Palaeontology*. 1988. V. 31. № 1. P. 1–18.
- Medvedev P.V., Makarikhin V.V. Early Precambrian stromatolite assemblages of the Baltic Shield // *Geobiology of Stromatolites*. Intern. Kalkowsky-Symposium Gottingen, October 4-11, 2008. Abstract Volume. Universitätsverlag Gottingen. 2008. P. 99–100.
- Melezhik V.A., Leland I., Rozanov A.Yu., Astafieva M.M. 2000 Ma phosphorites in the context of evolution of Paleoproterozoic ocean chemistry // *Abstr. 2 Int. Paleontol. Congress*. June 17–21, 2006. P. 45–46.
- Moore E.S. The iron formation on Belcher Island, Hudson Bay, with reference to its origin and its associated algal limestones // *J. Geology*. 1918. V. 26. P. 412–438.
- Nagy B. *Carbonaceous Meteorites*. N.Y.: Elsevier Sci. Publ. Co. 1975. 747 p.
- Oehler J.H., Schopf J.W. Artificial Microfossils: Experimental Studies of Permineralization of Blue-Green Algae in Silica // *Science*. 1971. V. 174. P. 1229–1231.
- Phoenix V., Konhauser K., Howe A. Mechanisms of rapid silicate biomineralisation in Hot Springs // *J. of Conference Abstracts*. 2000. V. 5(2). P. 794.
- Ponomarenko A.G. Bacteriomorph structures in Mesozoic lake deposits // *Proc. SPIE*. 2002. V. 4939. P. 88–92.
- Postfai M., Buseck P.R., Bazylynski D.A., Frankel R.B. Iron sulfides from magnetotactic bacteria: Structure, composition, and phase transitions // *American Mineralogist*. 1998. V. 83. № 11–12(2). P. 1469–1481.
- Prevot L. Geochemistry, petrography, genesis of Cretaceous-Eocene phosphorites, the Canntour deposit (Morocco): a type example // *Mem. Soc. Geol.* 1990. № 158. 232 p.
- The Prokaryotes. *A Handbook on Habitats, Isolation, and Identification of Bacteria* (Eds. M.P. Starr, H. Stolp, H.G. Truger, A. Balows, H.G. Schlegel). V.1. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 1981. 1102 p.
- Renaux K.O., Jones B., Tiercelin Rapid in situ silicification of microbes at Loburu hot springs, Lake Bogoria, Kenya Rift Valley // *Sedimentology*. 1998. V. 45. № 6. P. 1083–1103.
- Rozanov A.Yu. Some problems of bacterial mineralization and sedimentation // *Proc. SPIE*. 2002. V. 4939. P. 83–87.
- Rozanov A. Yu., Astafieva M. M.. The Evolution of the Early Precambrian Geobiological Systems // *Paleontological Journal*. 2009. V. 43. №. 8. P. 61–77.
- Rozanov A.Yu., Astafieva M.M., Hoover R.B. Early Proterozoic (2.04 Ga) phosphorites of Pechenga Greenstone Belt and their origin // *Proc. SPIE*. 2007. V. 6694. P. 166–167.
- Rozanov A.Yu., Barskov I.S. Diversity and phylum distribution of biominerals // *Advanced Mineralogy*. 1998. V. 3. P. 247–255.
- Rozanov A.Yu., Hoover R.B. Bacterial paleontology and astrobiology // *Proc. SPIE*. 2002. V. 4495. P. 283–294.
- Rozanov A.Yu., Zhegallo E.A., Hoover R. Microbiota of the Botogol Graphites // *Proc. SPIE*. 1999. V. 3755. P. 31–38.

- Schopf J.W. Microflora of the Bitter Springs Formation, Late Precambrian, Central Australia // *J. Paleontol.* 1968. V. 42. № 3. P. 651–688.
- Schopf J.W. Electron microscopy of organically preserved Precambrian microorganisms // *J. Paleontol.* 1970. V. 44. № 1. P. 1–6.
- Schopf J.W. Atlas of representative Proterozoic microfossils // *The Proterozoic Biosphere / Eds. J.W. Schopf, C. Klein.* Cambridge: Cambridge University Press, 1992. P. 1055–1118.
- Schopf J.W. Microfossils of the early Archean Apex Chert: New evidence for the antiquity of life // *Science.* 1993. V. 260. P. 640–646.
- Schopf J.W. (ed.). *Earth's Biosphere, its Origin and Evolution.* Princeton: Princeton Univ. Press. 1983.
- Schopf J.W., Barghoorn E.S. Algal-like fossils from the Early Precambrian of South Africa // *Science.* 1967. V. 156. P. 508–512.
- Schopf J.W., Barghoorn E.S. Microorganisms from the Late Precambrian of South Australia // *J. Paleontol.* 1969. V. 43. P. 111–118.
- Schopf J.W., Mendelson C.V., Nyberg A.V., Dolnik T.A., Krylov I.N., Nazarov B.B. Six new stromatolitic microbiotas from the Proterozoic of the Soviet Union // *Precambrian Res.* 1977. V. 4. № 3. P. 269–284.
- Serezhnikova E.A. Microbial Binding as a Probable Cause of Taphonomic Variability of Vendian Fossils: Carbonate Casting // *J. Reitner et al. Advances in Stromatolite Geobiology, Lecture Notes in Earth Sciences 131, DOI 10.1007/978-3-642-10415-2\_30, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.* 2010.
- Simakova Y.S. Proposed role of bacteria in volkonskoite formation // *Proc. SPIE.* 2002. V. 4939. P. 117–126.
- Soudry D. Ultra-fine structure and genesis of the Campanian Negev high-grade phosphorites (southern Israel) // *Sedimentology.* 1987. V. 34. P. 641–660.
- Stromatolites.* Walter M.R. (ed.). Amsterdam: Elsevier. 1976. 790 p.
- Tazaki K. Biomineralization of layer silicates and hydrated Fe/Mn oxides in microbial mats: an electron microscopical study // *Clays and Clay Minerals.* 1997. V. 45(2). P. 203–212.
- Toporski J.K.W., Steele A., Westall F., Kathie L., Thomas-Keptra, McKay D.S. The Simulated Silicification of Bacteria – New Clues to the Modes and Timing of Bacterial // *Preservation and Implications for the Search for Extraterrestrial Microfossils. Astrobiology.* 2002. V. 2. № 1. P. 1–26.
- Vainshtein M., Kudryashova E., Suzina N. Formation of bacterial nanocells // *Proc. SPIE.* 1998. V. 3441. P. 95–104.
- Van Kranendonk M.J. Stromatolite morphology as an indicator of biogenicity for Earth's oldest fossils from then 3.5–3.4 Ga Pilbara Craton, Western Australia // *Geobiology of Stromatolites. Intern. Kalkowsky-Symposium Gottingen, October 4-11, 2008. Abstract Volume. Universitätsverlag Gottingen.* 2008. P. 33–37.
- Van Kranendonk M.J., Webb G.E., Kamber B.S. Geological and trace element evidence for a marine sedimentary environment of deposition and biogenicity of 3.45 Ga stromatolitic carbonates in the Pilbara Craton, and support for a reducing Archean ocean // *Geobiology.* 2003. V. 1. № 2. P. 91–108.
- Walsh M.M. Microfossils and possible microfossils from the Early Archean Onverwacht Group, Barberton Mountain Land, South Africa // *Precambrian Res.* 1992. V. 54. P. 271–293.
- Westall F. A stratiform stromatolite from 3.33 Ga-old biolaminated sediments in the Barberton Greenstone Belt, South Africa // *Geobiology of Stromatolites. Intern. Kalkowsky-Symposium Gottingen, October 4-11, 2008. Abstract Volume. Universitätsverlag Gottingen.* 2008. P. 37–38.
- Westall F., Boni L., Guerzoni E. The experimental silicification of microorganisms // *Paleontol.* 1995. V. 38(3). P. 495–528.
- Westall F., de Wit M.J., Dann J., de Ronde C.E.J., Gaast S.J., Gerneke D. Early Archean fossil bacteria and biofilms in hydrothermally-influenced, shallow water sediments, Barberton greenstone belt, South Africa // *Precambrian Res.* 2001. V. 106. P. 93–116.
- Yee N., Phoenix V.R., Konhauser K.O., Bennig L.G., Ferris F.G. The effect of cyanobacteria on silica precipitation at neutral pH: implications for bacterial silicification in geothermal hot springs // *Chem. Geology.* 2003. P. 83–90.
- Yushkin N.P. Natural polymer crystals of hydrocarbons as models of prebiological organisms // *J. Crystal Growth.* 1996. V. 167. P. 237–247.
- Yushkin N.P. Hydrocarbon crystals as protoorganisms and biological systems predecessors // *Proc. SPIE.* 1998. V. 3441. P. 234–246.
- Zachara J.M., Fredrickson J.K., Shu-Mei Li et al. Bacterial reduction of crystalline Fe<sup>3+</sup> oxides in single phase suspensions and surface materials // *American Mineralogist.* 1998. V. 83. №№ 11-12(2). P. 1426–1443.
- Zhegallo E.A., Rozanov A.Yu., Ushatinskaya G.T., Hoover R.B., Gerasimenko L.M., Ragozina A.L. Atlas of microorganisms from ancient phosphorites of Khubsugul (Mongolia). Huntsville, Alabama, USA. 2000. 168 p.



**Таблица I**

Разнообразие аэробных бактерий из различных циано-бактериальных матов.

Фиг. 1. Нити цианобактерии *Phormidium laminosum* (стрелка 1) и фотосинтезирующей бактерии *Chloroflexus aurantiacus* (стрелка 2), доминирующих в мате горячих источников кальдеры Узон (Камчатка).

Фиг. 2. Высушенный лабораторный мат; виден гликокаликс, образованный трихомными цианобактериями.

Фиг. 3. На фоне подсушенной биопленки – различные бактерии: трихомные, палочковидные, в центре – делящаяся коккоидная бактерия.

Фиг. 4. Лабораторная культура *Microcoleus chthonoplastes* (стрелка 1) с сопутствующими аэробными бактериями (стрелка 2).

**Plate I**

Diversity of aerobic bacteria from different cyano-bacterial mats.

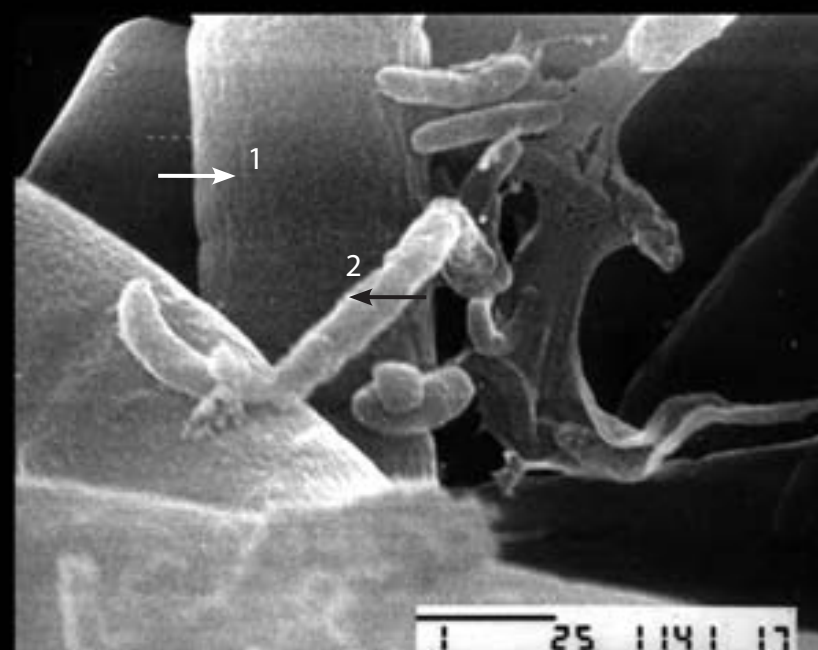
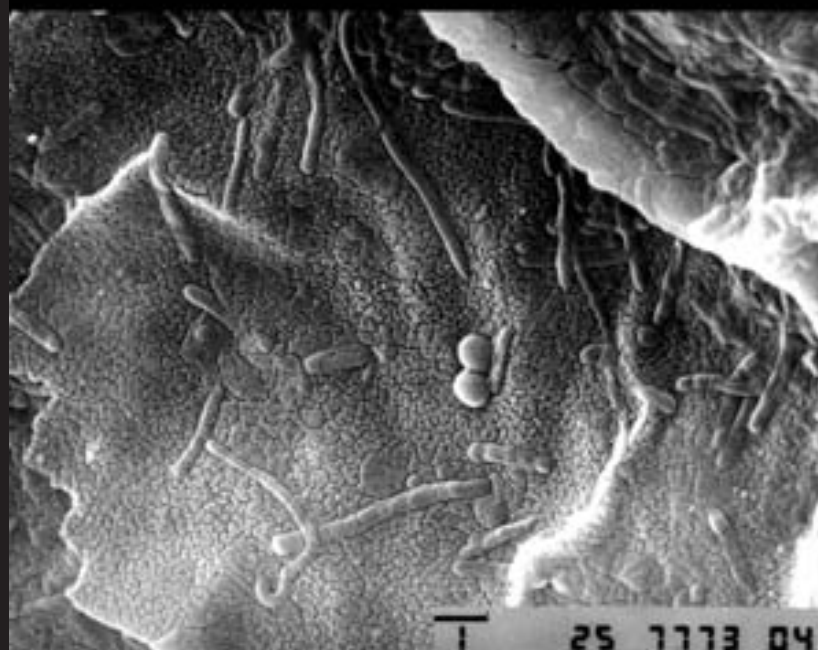
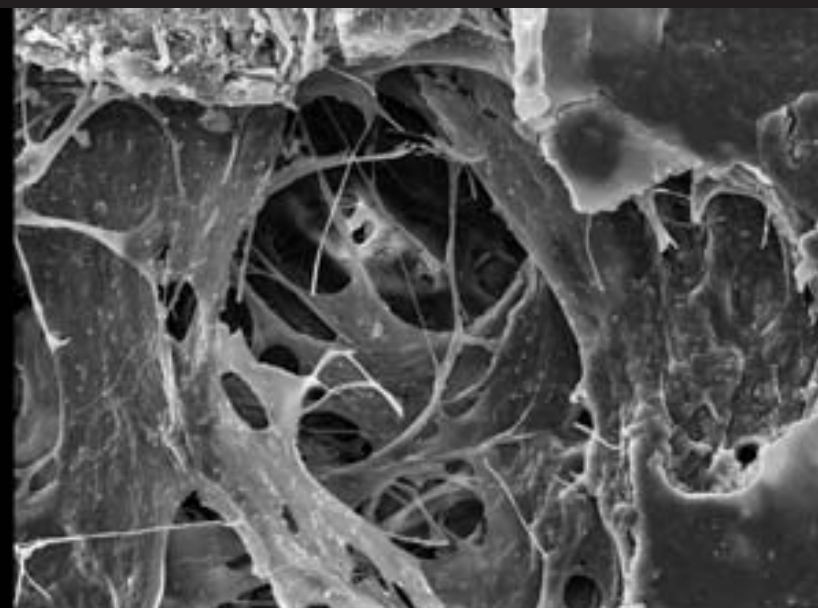
Fig. 1. The trichomes of the cyanobacterium *Phormidium laminosum* (arrow 1) and the photosynthetic bacterium *Chloroflexus aurantiacus* (arrow 2), dominating in the hot spring mat in the Uzon caldera (Kamchatka).

Fig. 2. Drying laboratory mat; with glycocalyx formed by trichomes of cyanobacteria.

Fig. 3. On the dried biofilm there are different bacteria: trichomes, bacilli, and in the center – fission of a coccoidal bacterium.

Fig. 4. Laboratory culture of *Microcoleus chthonoplastes* (arrow 1) with attendant aerobic bacteria (arrow 2).





## Таблица II

Представители современного бактериального сообщества,  
развивающегося при разложении древесины грибами, рН=4.3  
(выделены Л.В. Васильевой, ИНМИ РАН).

Фиг. 1. *Hyphomicrobium* sp.

Фиг. 2. *Ancylobacter abiegnus* Vasiljeva.

Фиг. 3. *Planctomicca* sp.

Фиг. 4. *Spirosoma* sp.

## Plate II

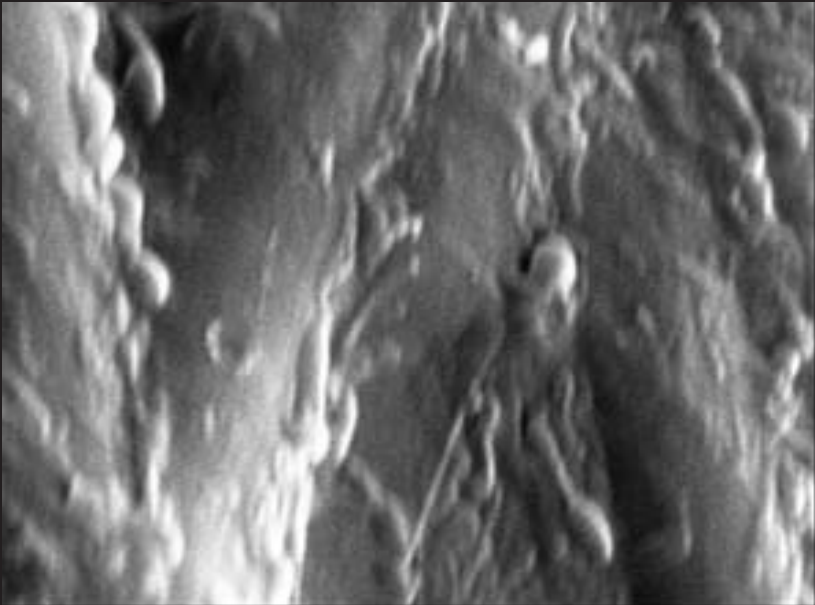
The representatives of recent bacterial community developing  
under the decomposition of wood by fungi; pH=4.3  
(selected by L.V. Vasilieva, INMI RAS).

Fig. 1. *Hyphomicrobium* sp.

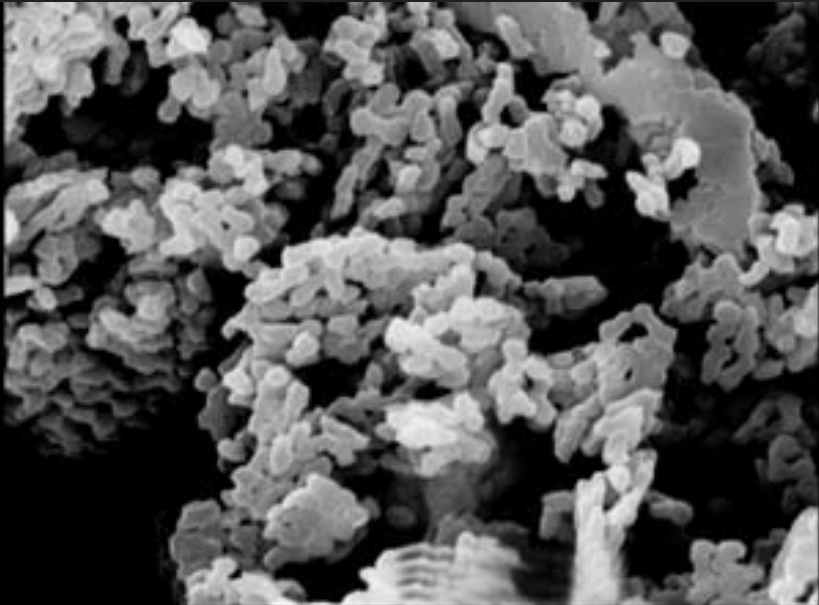
Fig. 2. *Ancylobacter abiegnus* Vasiljeva.

Fig. 3. *Planctomicca* sp.

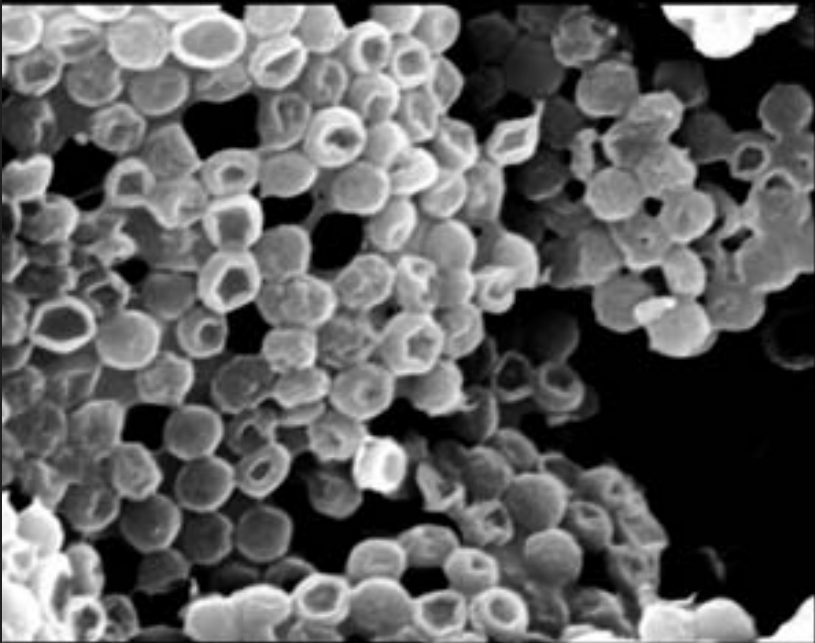
Fig. 4. *Spirosoma* sp.



1



2



3



4

### Таблица III

Микроорганизмы из разных слоев циано-бактериального мата.

Фиг. 1. Бактерии удлинено-овальной формы, развившиеся при разложении галофильного циано-бактериального мата; некоторые бактерии находятся в состоянии деления.

Фиг. 2. Гифомикробы в галофильном мате.

Фиг. 3. Зеленые водоросли *Chlorella* (более крупные кокки) и одиночные цианобактерии *Synechococcus* (более мелкие кокки)

Фиг. 4. Кокки – представители пурпурных бактерий, развивающихся в циано-бактериальном мате в оз. Сиваш (Крым).

### Plate III

Microorganisms from different layers of a cyano-bacterial mat.

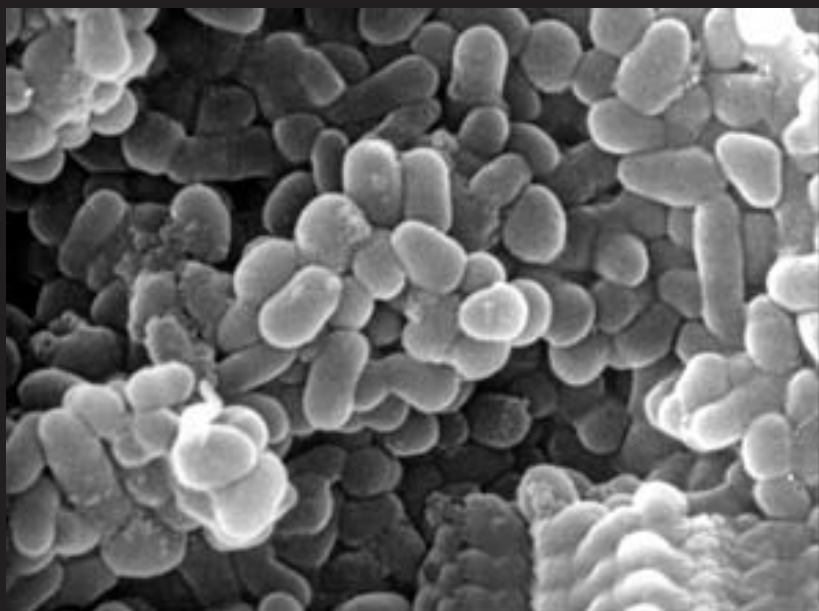
Fig. 1. Elongated bacteria oval form, developing under decomposition of halophilic cyano-bacterial mat; some bacteria are in a state of fission.

Fig. 2. Hyphomicrobes in the halophilic mat.

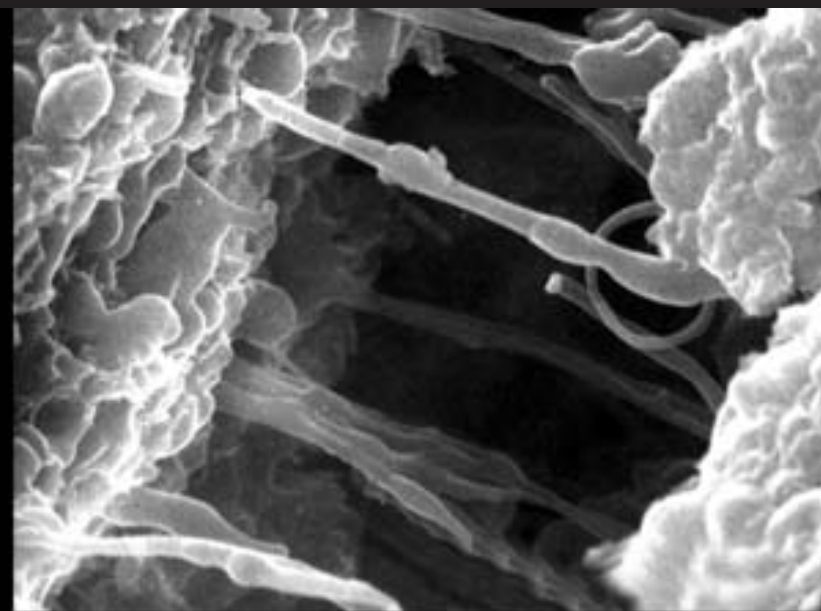
Fig. 3. Green algae *Chlorella* (larger cocci) and unicellular cyanobacteria *Synechococcus* (small cocci).

Fig. 4. Cocci – the representatives of purple bacteria, developing in the cyano-bacterial mat at Lake Sivash (Crimea).

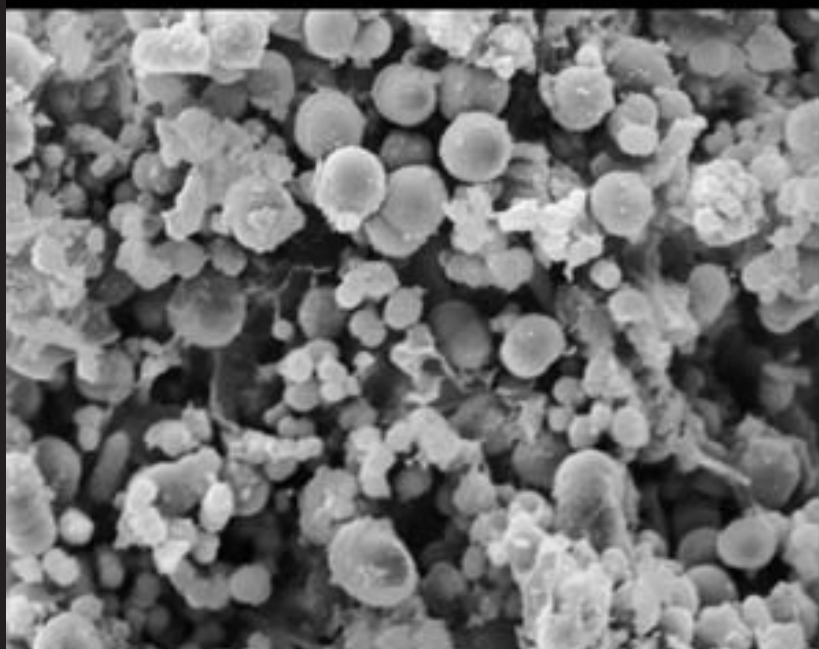




1



2



3



4

#### Таблица IV

Разнообразие морфологических форм аэробных и анаэробных микроорганизмов.

Фиг. 1. Минерализованные нитчатые трихомные бактерии-деструкторы из аэробного слоя современного галофильного мата (оз. Сиваш, Крым).

Фиг. 2. Анаэробные сульфатредукторы из песчаника нефтяного месторождения Даган (КНР), взято с глубины 1.2–1.4 м ниже уровня моря (культура выделена Т.Н. Назиной, ИНМИ РАН).

Фиг. 3. Диатомовые водоросли *Amphora coffeaeformis* Ag. из галофильного мата (оз. Сиваш, Крым).

Фиг. 4. Цисты зеленой эвкариотной водоросли *Dunaliella salina* из галофильного мата (оз. Сиваш, Крым).

#### Plate IV

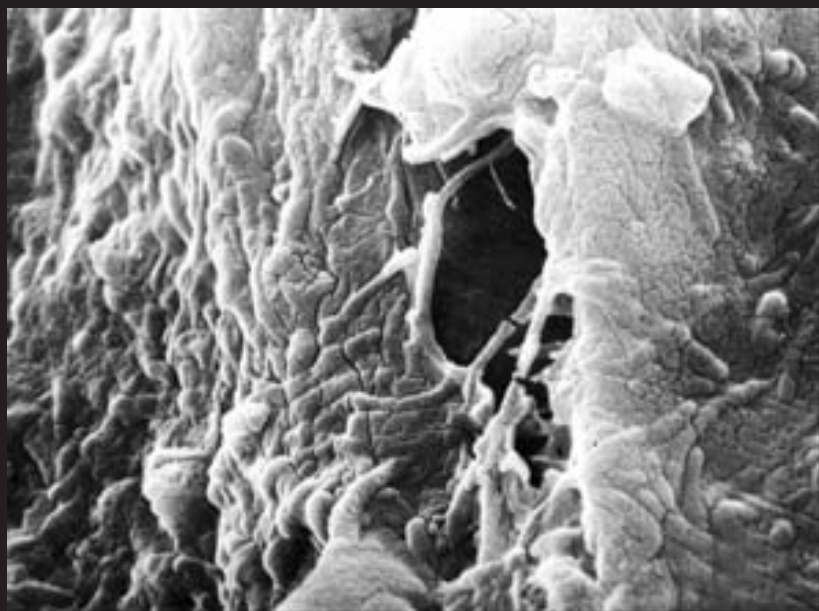
Diversity of morphology of aerobic and anaerobic microorganisms (prokariotic and eukaryotic).

Fig. 1. Mineralized trichomes of bacteria-destructures from aerobic layer of recent halophilic mat (Lake Sivash, Crimea).

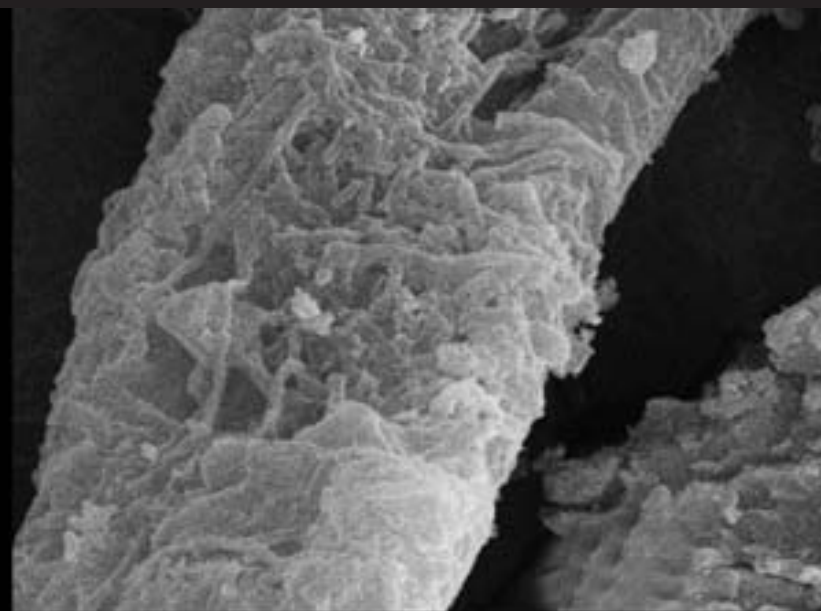
Fig. 2. Anaerobic sulfate reducers from the petroleum sandstone (locality Dagan, China), the depth 1.2–1.4 m below sea level (culture was selected by T.N. Nazina, INMI RAS).

Fig. 3. Diatom algae *Amphora coffeaeformis* Ag. from halophilic mat (Lake Sivash, Crimea).

Fig. 4. Cysts of the green eucaryotic algae *Dunaliella salina* from halophilic mat (Lake Sivash, Crimea).



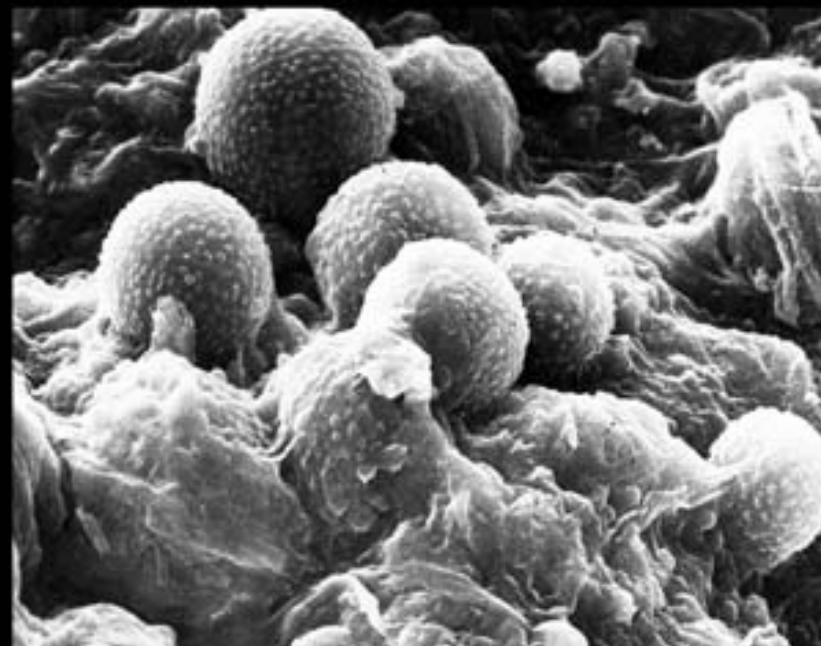
1  $\mu\text{m}$  —



2  $\mu\text{m}$  —



3  $10 \mu\text{m}$  —



4  $10 \mu\text{m}$  —

**Таблица V**

Переизученные верхнеархейские ископаемые микроорганизмы  
из коллекции Б.В. Тимофеева (1982).

Фиг. 1. Округлая форма с неровной шероховатой поверхностью диаметром около 30  $\mu\text{m}$ . Верхний архей (лопий), Карелия.

Фиг. 2. Овальная форма с неровной шероховатой поверхностью диаметром более 60  $\mu\text{m}$ . Верхний архей (лопий), Карелия.

Фиг. 3. Уплющенная чечевицевидная форма с шероховатой поверхностью (вид сбоку), размеры: 25×35  $\mu\text{m}$ . Верхний архей (лопий), Карелия.

Фиг. 4. Перекрученная нитчатая форма, диаметр около 15  $\mu\text{m}$ , длина существенно превышает 80  $\mu\text{m}$ . Нижний протерозой, северное Приладожье, Карелия.

**Plate V**

Restudy of Upper Archaeoan fossil microorganisms  
from the collection of B.V. Timofeev (1982).

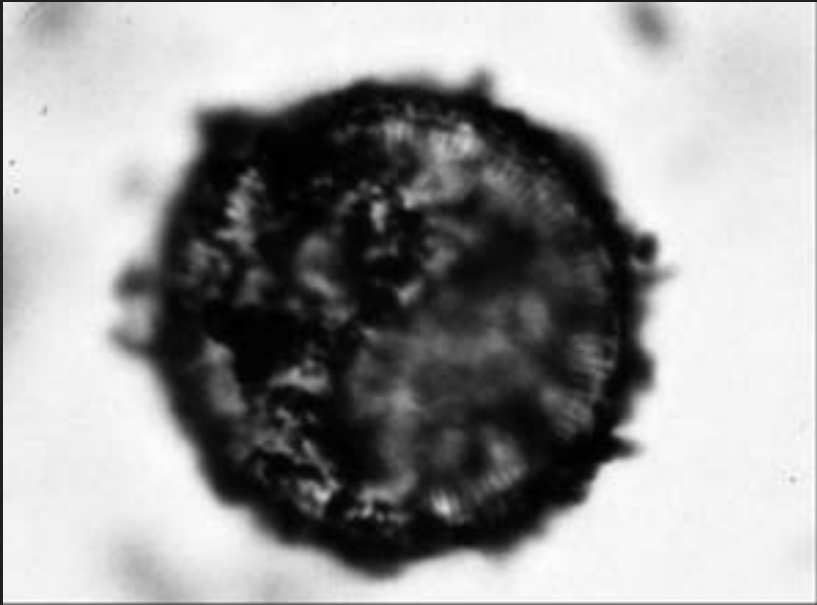
Fig. 1. Rounded form with uneven rough surface, diameter about 30  $\mu\text{m}$ . Upper Archaeoan (Lopian), Karelia.

Fig. 2. Oval form with uneven rough surface, diameter >60  $\mu\text{m}$ . Upper Archaeoan (Lopian), Karelia.

Fig. 3. Flattened lentil-like form with rough surface (side view), sizes 25×35  $\mu\text{m}$ . Upper Archaeoan (Lopian), Karelia.

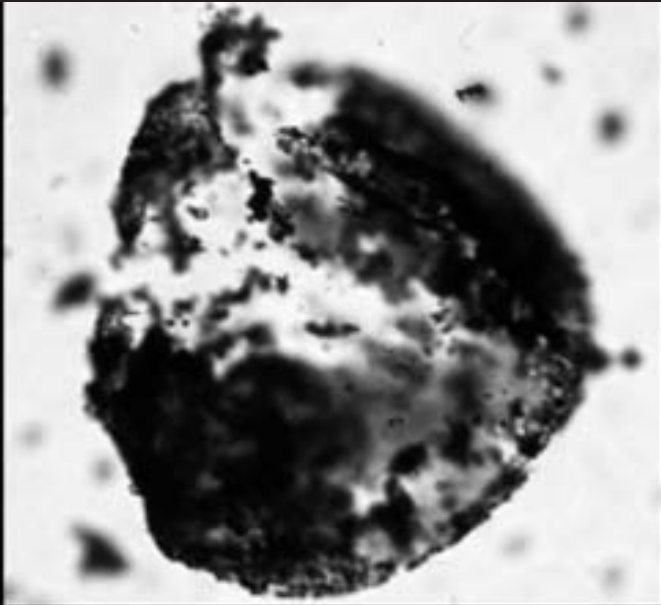
Fig. 4. Kinked filament form, diameter about 15  $\mu\text{m}$ , length significantly greater than 80  $\mu\text{m}$ . Lower Proterozoic, Northern Ladoga, Karelia.





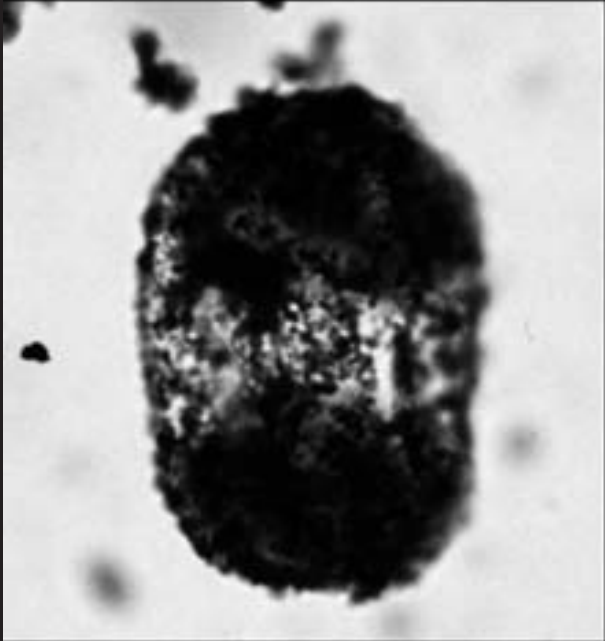
1

10 μm



2

10 μm



3



4

## Таблица VI

Верхнеархейские (лопийские, возраст около 2.8 млрд. л.) ископаемые микроорганизмы, встреченные в углеродистых сланцах. Северная часть Хизоваарской зеленокаменной структуры, Северная Карелия.

Фиг. 1. Многочисленные переплетающиеся нити диаметром 3–5  $\mu\text{m}$  и длиной до 100 и более миллимикрон, возможно, цианобактерий. Хорошо видны чехлы нитей, покрытые изнутри маленькими (диаметр <0.5  $\mu\text{m}$ ) округлыми гранулами (вероятно опаловыми). Образование подобных гранул опала характерно для начала процесса силицификации микроорганизмов.

Фиг. 2. Нить диаметром около 3  $\mu\text{m}$  и длиной более 50  $\mu\text{m}$ . Чехол нити покрыт изнутри округлыми, скорее всего, опаловыми гранулами.

Фиг. 3. Нитевидные переплетающиеся формы.

Фиг. 4. Нитевидные переплетающиеся формы, разорванные в центральной части изображения. Такой разрыв говорит о том, что трещина в породе образовалась уже после фоссиллизации нитей.

## Plate VI

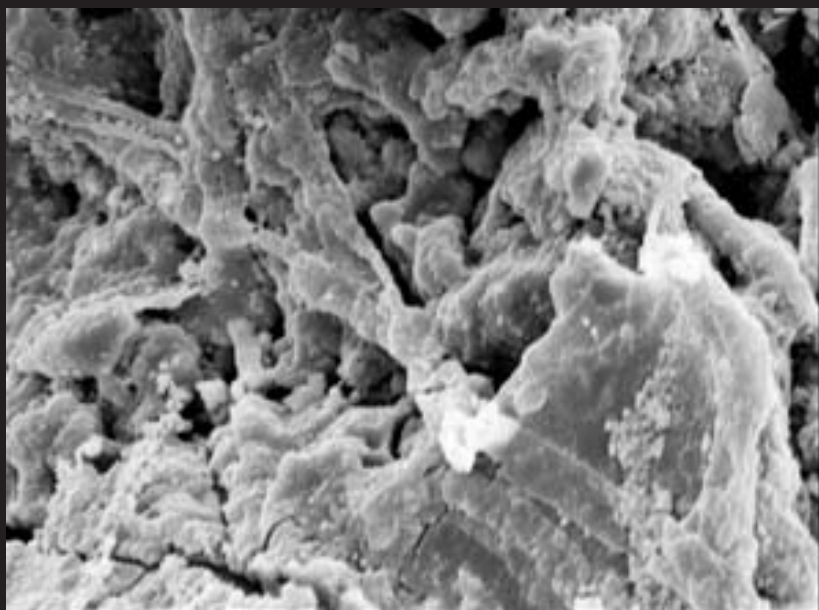
Upper Archaean (Lopian, age about 2.8 Ga) fossil microorganisms, found in carbonaceous shales in Northern part of Khizovaar green-stone structure, Northern Karelia.

Fig. 1. Numerous interlacing filaments, diameter 3–5  $\mu\text{m}$ , length up to 100  $\mu\text{m}$  and more, perhaps cyanobacteria. Filament sheaths, covered inside by small (diameter <0.5  $\mu\text{m}$ ) possibly opal, rounded granules. Formation of such opal granules is typical for the beginning of process of silicification of microorganisms.

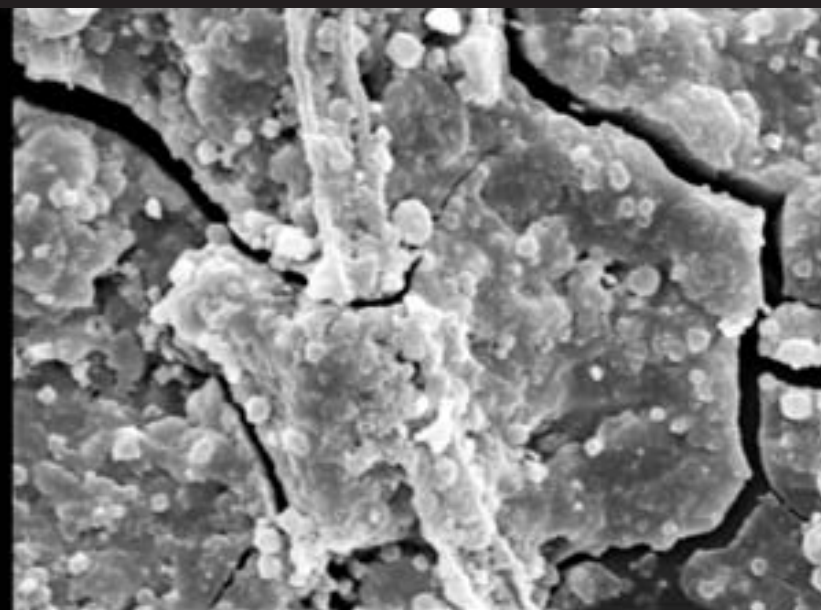
Fig. 2. Filament, diameter about 3  $\mu\text{m}$ , length about 50  $\mu\text{m}$ . Filament sheath is covered inside by rounded (possibly opal) granules.

Fig. 3. Thread-like interlacing forms.

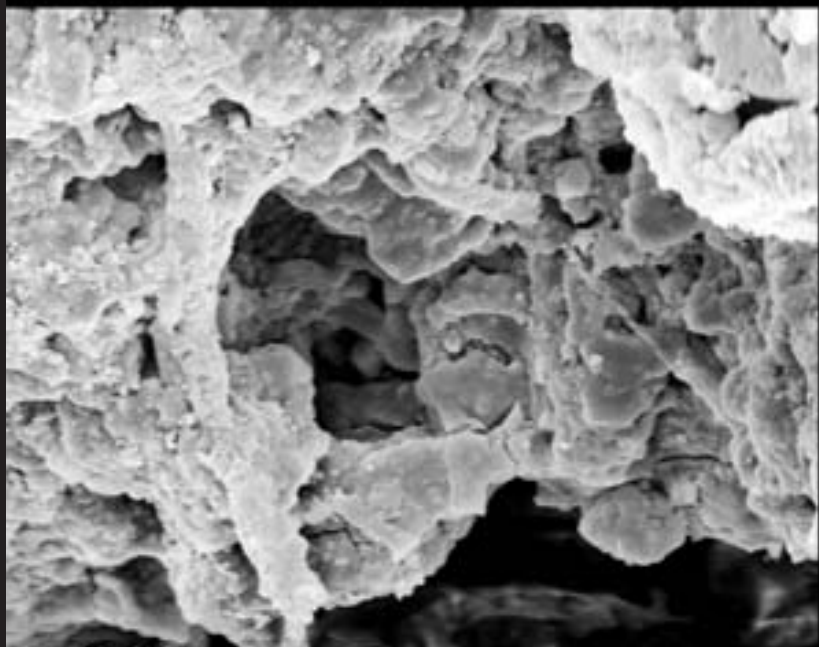
Fig. 4. Thread-like interlacing forms, torn in central part of picture.



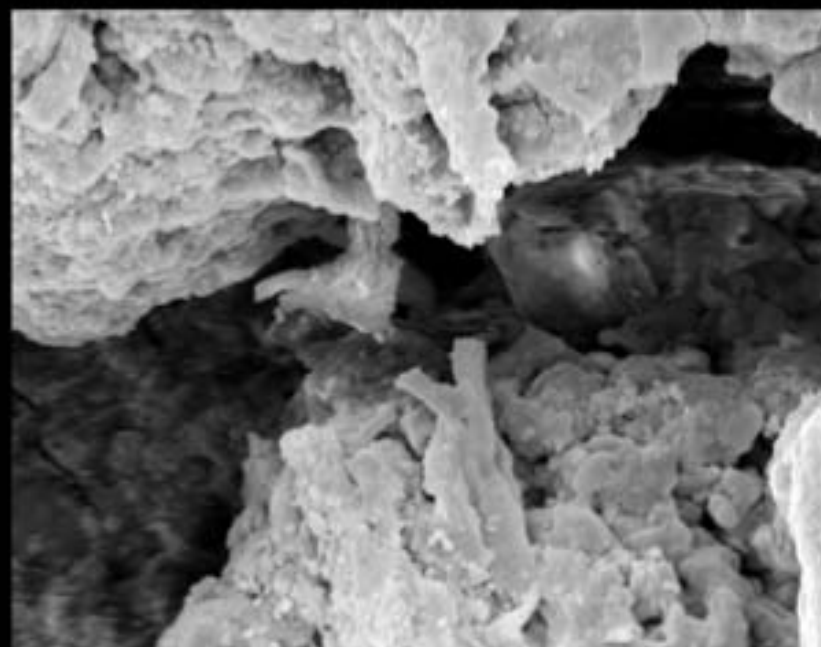
1



2



3



4

10 μm

3 μm

10 μm

10 μm

### Таблица VII

Верхнеархейские (лопийские, возраст около 2.8 млрд. л.) ископаемые микроорганизмы из туфогенно-осадочных пород (фиг. 1, 2, 4) и углеродистых сланцев (фиг. 3). Северная часть Хизоваарской зеленокаменной структуры, Сев. Карелия.

Фиг. 1. Коккоидные формы, диаметр кокков около 3  $\mu\text{m}$ . Поверхность покрыта мелкобугорчатой, довольно плотной оболочкой, облегающей каждый кокк в отдельности. На некоторых экземплярах в покрове наблюдаются трещины.

Фиг. 2. То же, увеличено.

Фиг. 3. Фрагмент целиком состоящий из плотно упакованных кокков.

Фиг. 4. Коккоидные формы, диаметр кокков около 3  $\mu\text{m}$ , поверхность неровная, шероховатая.

### Plate VII

Upper Archaean (Lopian, age about 2.8 Ga) fossil microorganisms from *tufagenic* – sedimentary rocks (figs. 1, 2, 4) and carbonaceous shales (fig. 3), found in Northern part of Khizovaar greenstone structure, Northern Karelia.

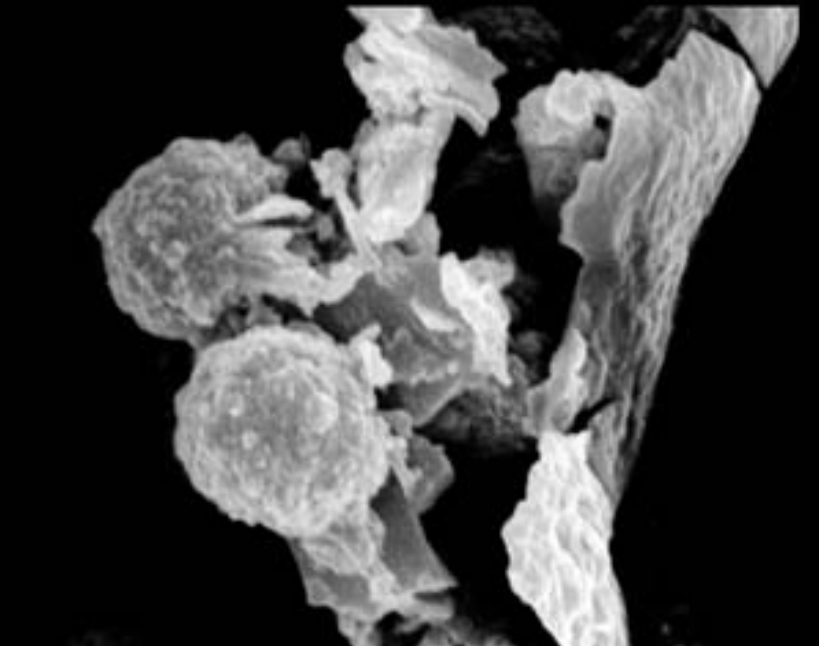
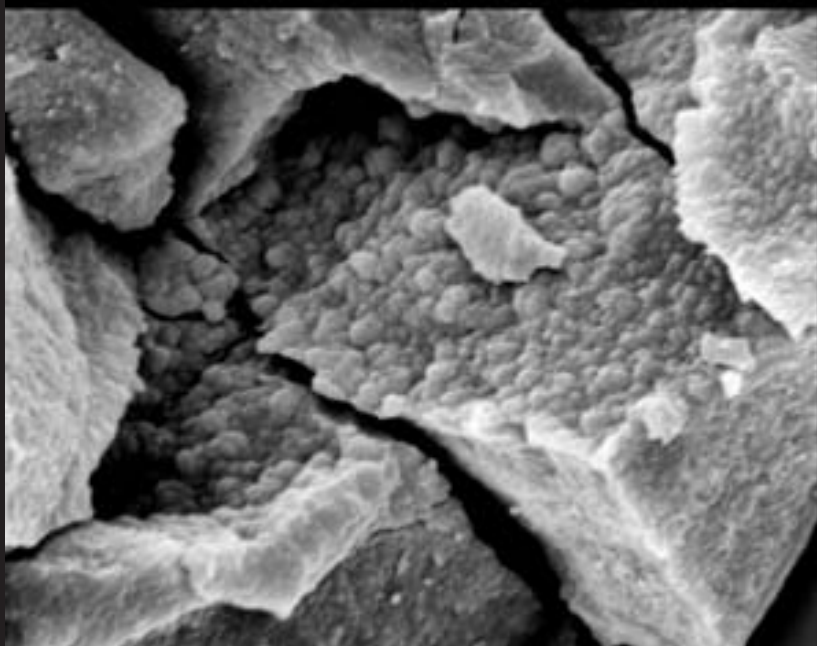
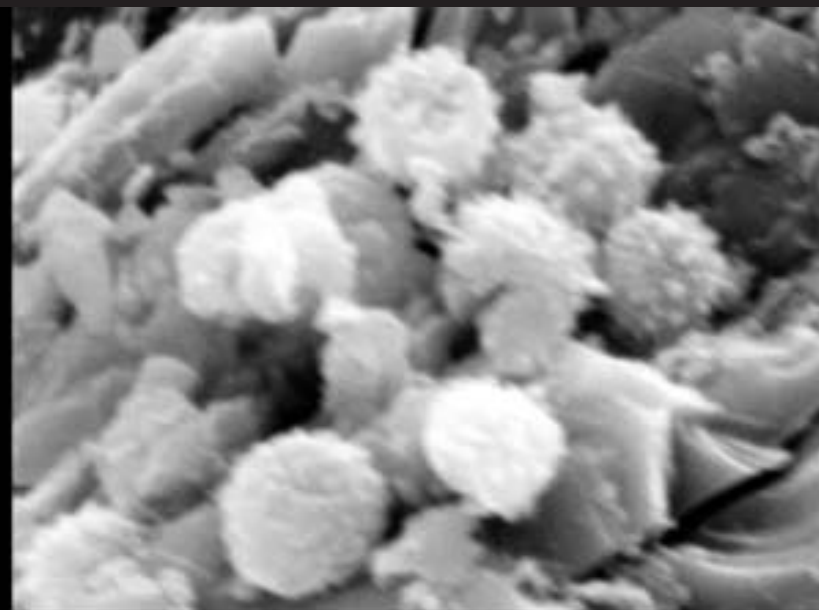
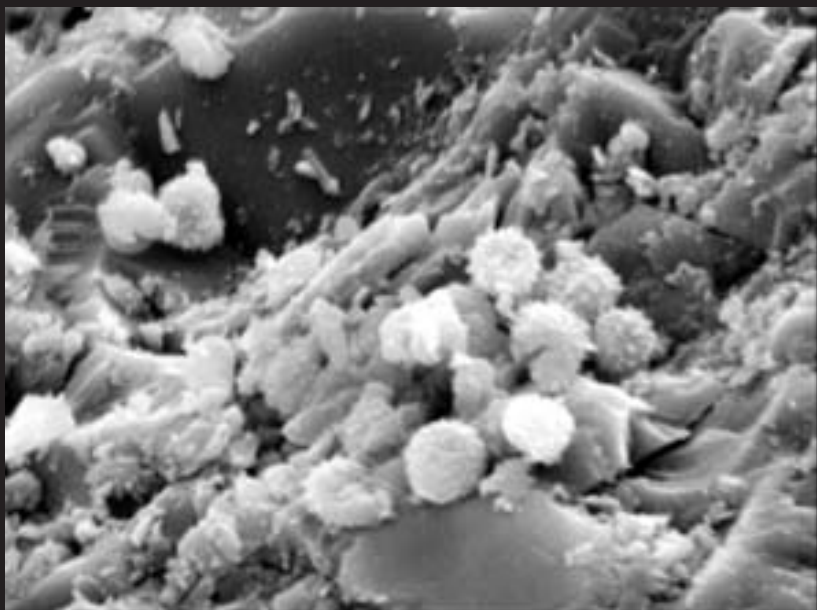
Fig. 1. Coccoidal forms, cocci (diameter  $\sim 3 \mu\text{m}$ ). The surface of each coccus is covered a rather dense complex sheath with cracks in sheaths of some of the cocci.

Fig. 2. The same, enlarged.

Fig. 3. Carbonaceous shale fragment entirely consisting from densely packed cocci.

Fig. 4. Coccoidal forms, cocci diameter about 3  $\mu\text{m}$ , with uneven and rough surface.





### Таблица VIII

Верхнеархейские (лопийские, возраст около 2.8 млрд. л.) ископаемые микроорганизмы из туфогенно-осадочных пород (фиг. 1–3) и углеродистых сланцев (фиг. 4). Северная часть Хизоваарской зеленокаменной структуры, Сев. Карелия.

Фиг. 1. Крупные сферические кокки с диаметром до 10  $\mu\text{m}$ , покрытые тонкой оболочкой с бугорчатой поверхностью. Не исключено, что это эвкариоты.

Фиг. 2. Увеличенный фрагмент правой части фиг. 1. Сферическая форма, возможно, колониальная с диаметром до 10  $\mu\text{m}$  с бугорчатой поверхностью. Видны внутренние перегородки.

Фиг. 3. Сферические формы с диаметром до 10  $\mu\text{m}$  с бугорчатой поверхностью. Справа у обеих форм видны выросты (стрелки).

Фиг. 4. Фрагмент, полностью состоящий из переплетающихся нитей с диаметром около 3  $\mu\text{m}$ , возможно, цианобактерий. Вокруг видны мелкие коккоидные формы до 1  $\mu\text{m}$  в диаметре.

### Plate VIII

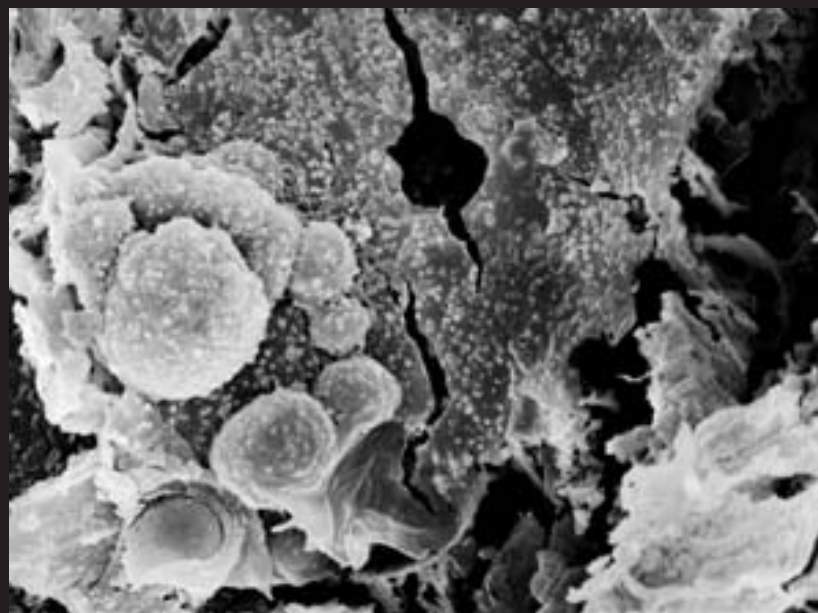
Upper Archaean (Lopian, age about 2.8 Ga) fossil microorganisms from *tufagenic* – sedimentary rocks (figs. 1–3) and carbonaceous shales (fig. 4), found in Northern part of Khizovaar greenstone structure, Northern Karelia.

Fig. 1. Large spherical cocci, diameter up to 10  $\mu\text{m}$ , covered by thin envelope with uneven surface.

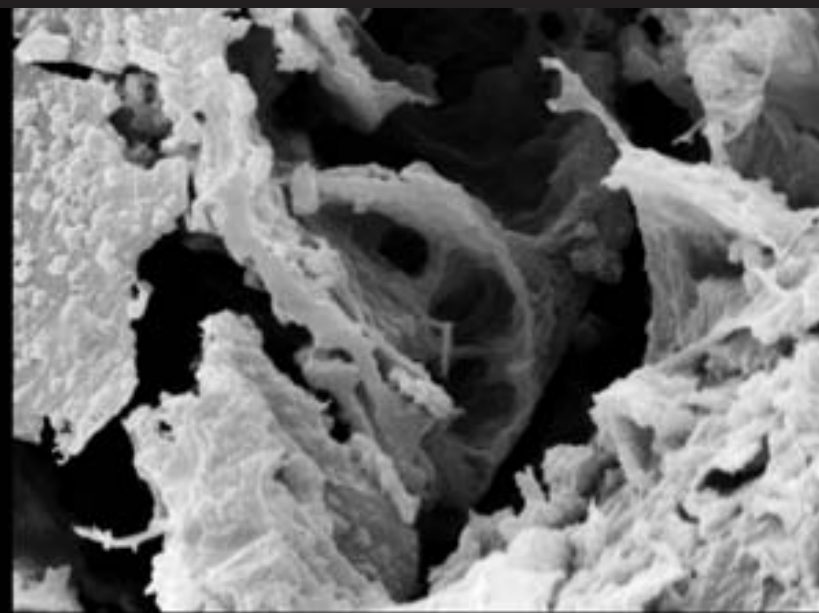
Fig. 2. Enlarged fragment of right part of fig. 1. Spherical form, perhaps, colonial, diameter up to 10  $\mu\text{m}$ , with uneven surface and showing internal septa.

Fig. 3. Spherical forms, diameter up to 10  $\mu\text{m}$ , with uneven surface. Excrescences are seen on right of both forms (arrows).

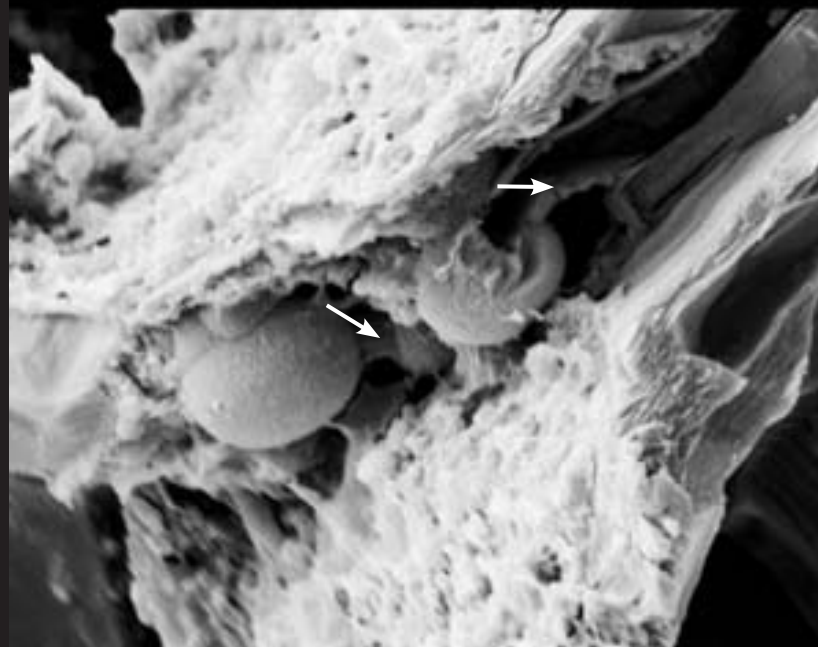
Fig. 4. Fragment of carbonaceous shales, consisting entirely of interlacing threads with diameter about 3  $\mu\text{m}$ , perhaps, cyanobacterial. Small coccoidal forms (up to 1  $\mu\text{m}$  in diameter) are scattered around.



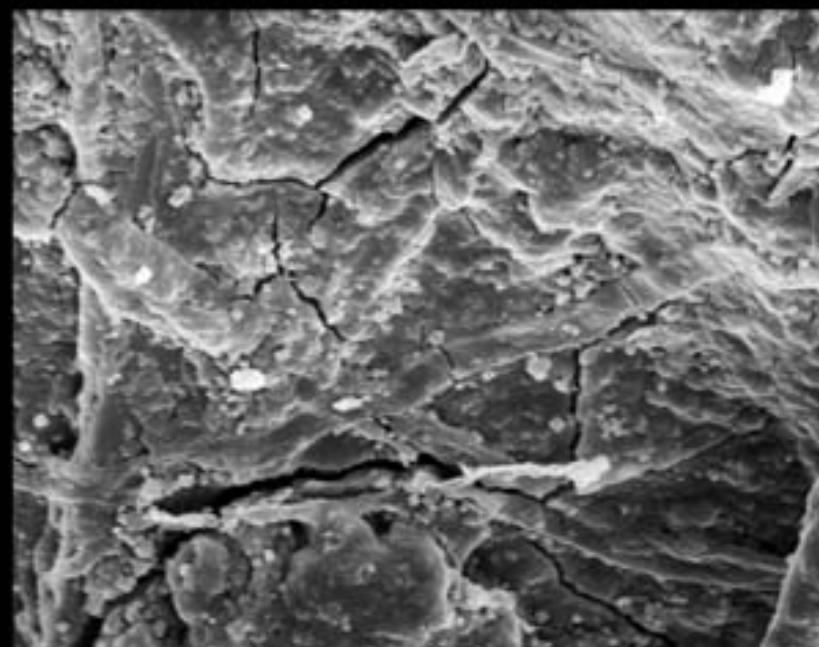
1



2



3



4

**Таблица IX**

Фиг. 1. Фрагмент нитевидной формы диаметром до 5  $\mu\text{m}$ , напоминающий смятый чехол цианобактерий; нижний протерозой, кора выветривания; оз. Паанаярви, Сев. Карелия (~2.4 млрд. л.).

Фиг. 2. Длинная нитевидная форма с диаметром 1–2  $\mu\text{m}$ ; в левой части снимка нить сливается с породой, в которой можно проследить многочисленные нитевидные формы; нижний протерозой, кора выветривания по кислым метавулканитам; оз. Паанаярви, Сев. Карелия (~2.4 млрд. л.).

Фиг. 3. Скопление переплетенных нитевидных форм, часто обломанных; предъятулийская кора выветривания по архейским гранито-гнейсам; Северное Приладожье, Карелия (~2.3 млрд. л.).

Фиг. 4. Фрагменты нитевидных форм, похожих на цианобактерии, с диаметром около 2  $\mu\text{m}$  (стрелка) в породе, состоящей из коккоидных форм; архейская (лопийская) кора выветривания; оз. Воронье, Лехтинская структура, Карелия (~2.8 млрд. л.).

**Plate IX**

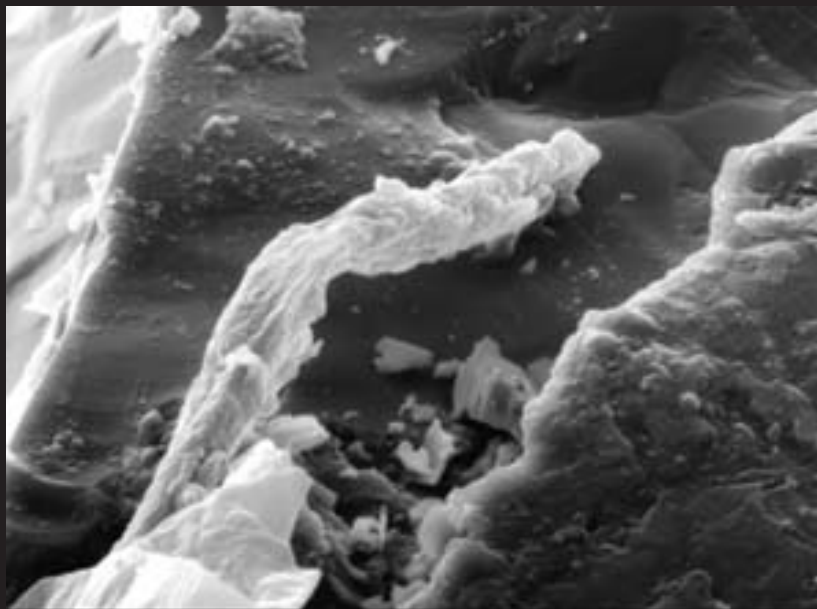
Fig. 1. Fragment of thread-like form, diameter up to 5  $\mu\text{m}$ , looking like crumpled cyanobacterial sheath. Lower Proterozoic (~2.4 Ga), weathering crust by acid metavolcanites, Paanayarvi Lake, Northern Karelia.

Fig. 2. Long filament form, diameter 1–2  $\mu\text{m}$ . In the left part of picture the filament enters the rock matrix, in which it is possible to trace numerous embedded filaments. Lower Proterozoic (~2.4 Ga), weathering crust etched by acid metavolcanites, Paanayarvi Lake, Northern Karelia.

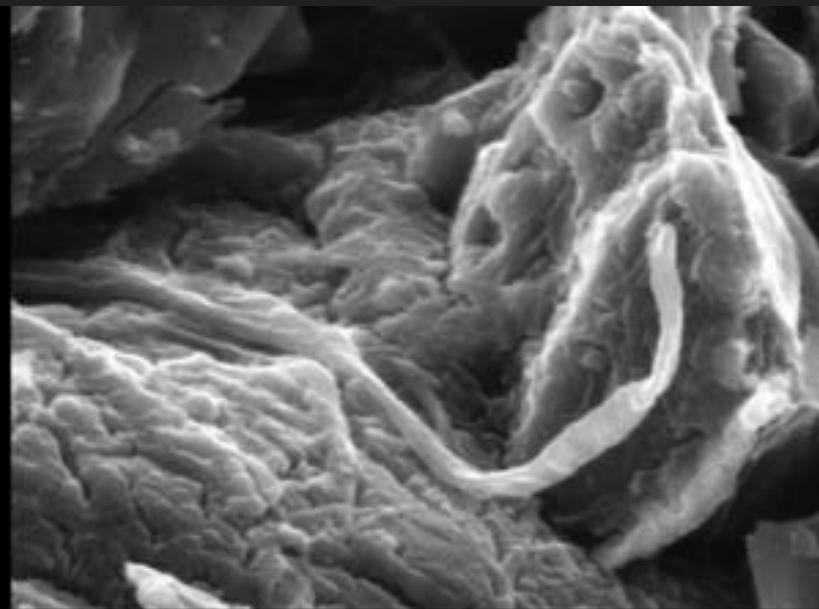
Fig. 3. Accumulation of twisted filaments forms, often chippy (torn). Praejatulian weathering crust (~2.3 Ga) by Archaean granite-gneisses, Northern Ladoga, Karelia.

Fig. 4. Long filamentous form, diameter 1–2  $\mu\text{m}$ , torn in the middle. Host rock is represented probably by pseudomorphs by densely packed small cocci, diameter <1  $\mu\text{m}$ . Archaean (Lopian) weathering crust (~2.8 Ga), Voronye Lake, Lekhta, structure, Karelia.

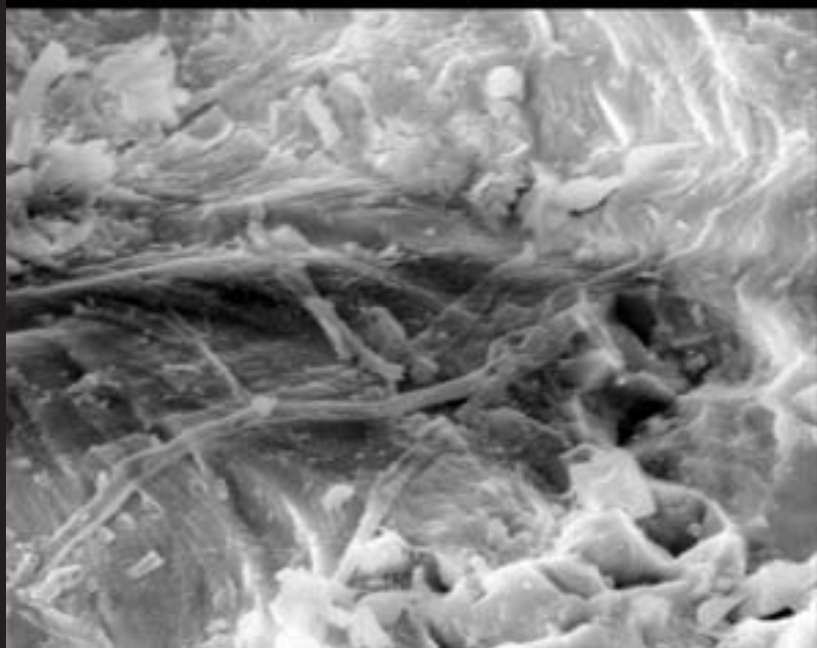




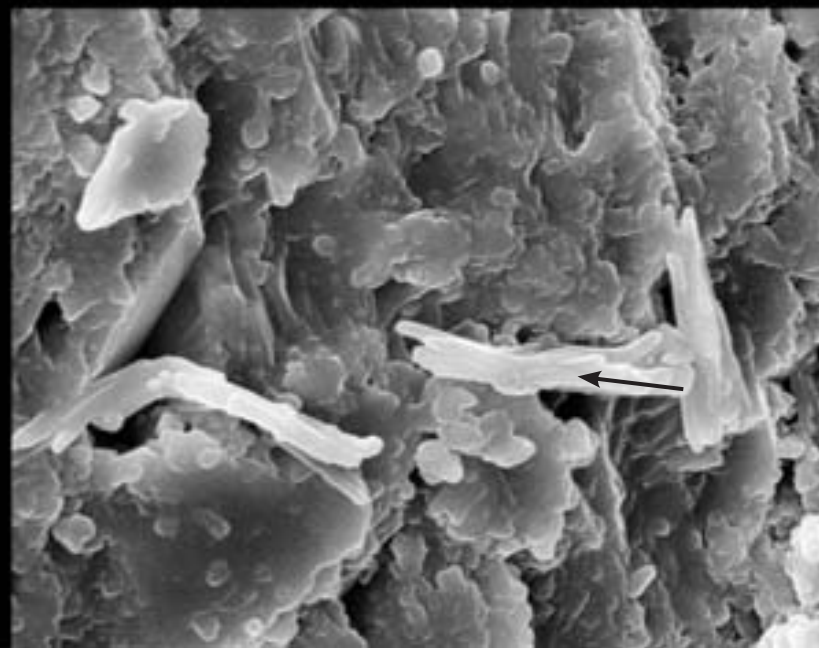
1



2



3



4

## Таблица X

Фиг. 1. Коккоидные формы, иногда полуразрушенные, и их отпечатки; нижний протерозой, кора выветривания по кислым метавулканитам; оз. Паанаярви, Сев. Карелия (~2.4 млрд. л.).

Фиг. 2. Многочисленные кокки в минерализованном гликокаликсе; архейская (лопийская) кора выветривания; оз. Воронье, Лехтинская структура, Карелия (~2.8 млрд. л.).

Фиг. 3. Крупная шаровидная форма диаметром до 20  $\mu\text{m}$  с неровной бугорчатой поверхностью; форма полуразрушена, однако видно, что она была неоднородной. Это могли быть колонии мелких коккоидных бактерий, объединенных единым чехлом, но не исключено, что это фоссилизированный эвкариотный организм; нижний протерозой, предьятулийская кора выветривания по архейским гранито-гнейсам; Сев. Приладожье (~2.3 млрд. л.).

Фиг. 4. Крупные округлые формы диаметром около 15  $\mu\text{m}$  с неровной выветривания по архейским гранито-гнейсам; Сев. Приладожье (~2.3 млрд. л.). бугорчатой поверхностью. Как и на фиг. 3, возможно, изображенные формы принадлежат фоссилизированному эвкариотному организму. Нижний протерозой, кора выветривания по кислым метавулканитам, оз. Паанаярви, Сев. Карелия (~2.4 млрд. л.).

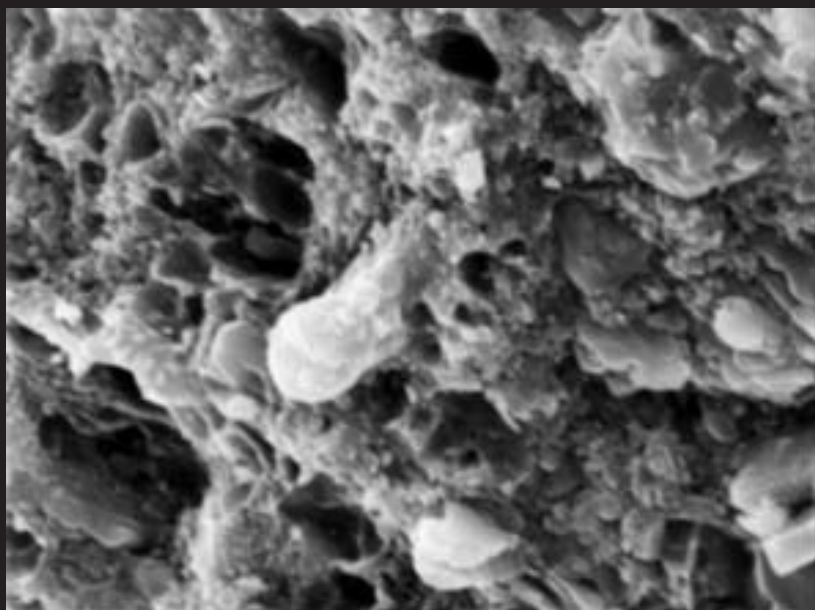
## Plate X

Fig. 1. Coccoidal forms, sometimes semi-destroyed, and their imprints. Lower Proterozoic (~2.4 Ga), weathering crust etched by acid metavolcanites, Paanayarvi Lake, Northern Karelia.

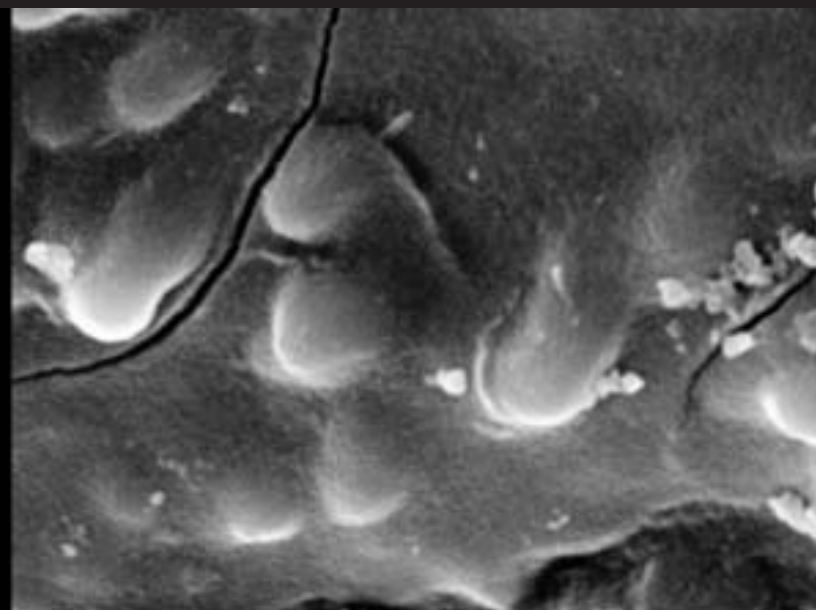
Fig. 2. Numerous cocci in glycocalyx. Archaean (Lopian) weathering crust (~2.8 Ga), Voronye Lake, Lekhta structure, Karelia.

Fig. 3. Large globe-shaped form, diameter 20  $\mu\text{m}$ , with uneven bumpy rough surface. The form is semi-destroyed, but it is seen, that it was heterogeneous. It could be colony of small coccoidal bacteria, encased within a single sheath, but it can not be excluded that this is fossil eukaryotic organism. Lower Proterozoic (Prajatolian) weathering crust (~2.3 Ga) by Archaean granite-gneisses, Northern Ladoga, Karelia.

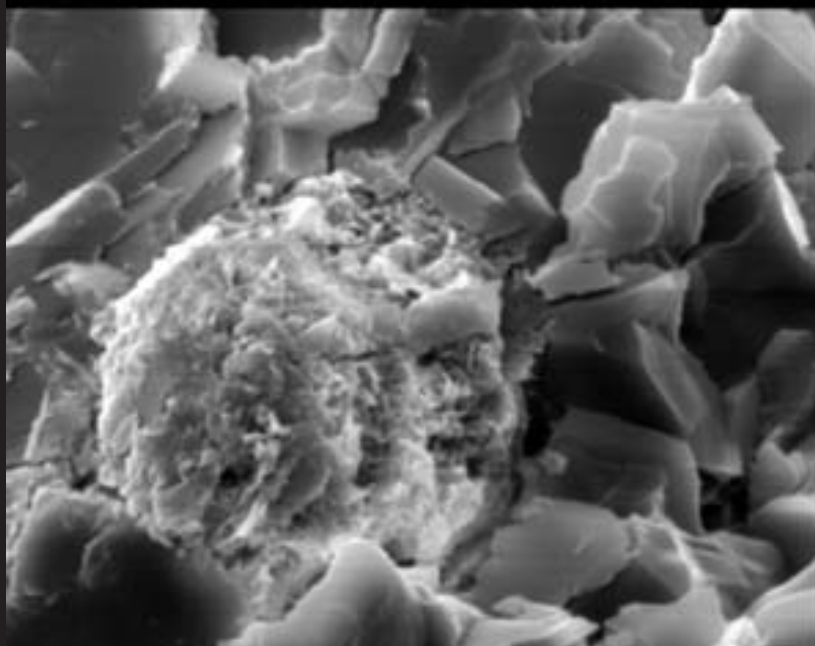
Fig. 4. Large rounded form, diameter about 15  $\mu\text{m}$ , with uneven bumpy rough surface. As in the case of fig.3, the pictured forms perhaps belong to a fossil eukaryotic organism. Lower Proterozoic (~2.4 Ga), weathering crust by acid metavolcanites, Paanayarvi Lake, Northern Karelia.



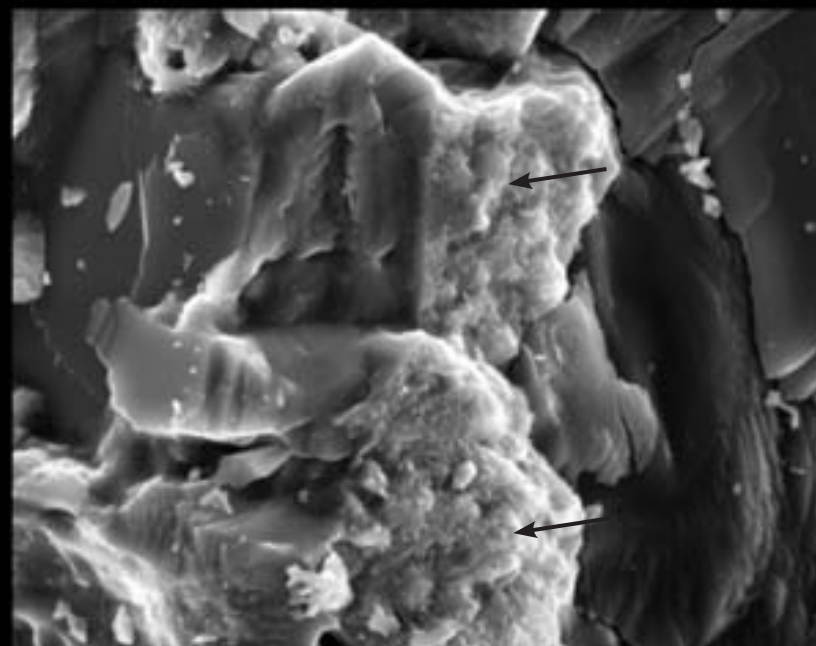
1



2



3



4

3 μm

3 μm

10 μm

10 μm

## Таблица XI

Фиг. 1. Структура, которая может быть интерпретирована как биопленка, покрывает часть глинистой частицы, в центральной части биопленка завернута; нижний протерозой, коры выветривания, о. Чапаншари, оз. Сегозеро, Центр. Карелия (~2.1 млрд. л.).

Фиг. 2. Фрагмент породы, состоящий из разрушенных кокков, оставшихся от них пустот и фоссилизованного гликокаликса; нижний протерозой, кора выветривания по кислым метавулканитам; оз. Паанаярви, Сев. Карелия (~2.4 млрд. л.).

Фиг. 3. Фрагмент породы, состоящий из фоссилизированной биопленки с нитевидными и коккоидными формами; архейская (лопийская) кора выветривания, оз. Воронье, Лехтинская структура, Карелия (~2.8 млрд. л.).

Фиг. 4. Каплевидная форма (длина 10–12  $\mu\text{m}$ , ширина 6–7  $\mu\text{m}$ ), зауженный конец которой переходит в узкую трубочку (диаметр 1–2  $\mu\text{m}$ ), поверхность формы гладкая, нить погружается в породу, сливаясь с ней; нижний протерозой, кора выветривания по кислым метавулканитам, оз. Паанаярви, Сев. Карелия (~2.4 млрд. л.).

## Plate XI

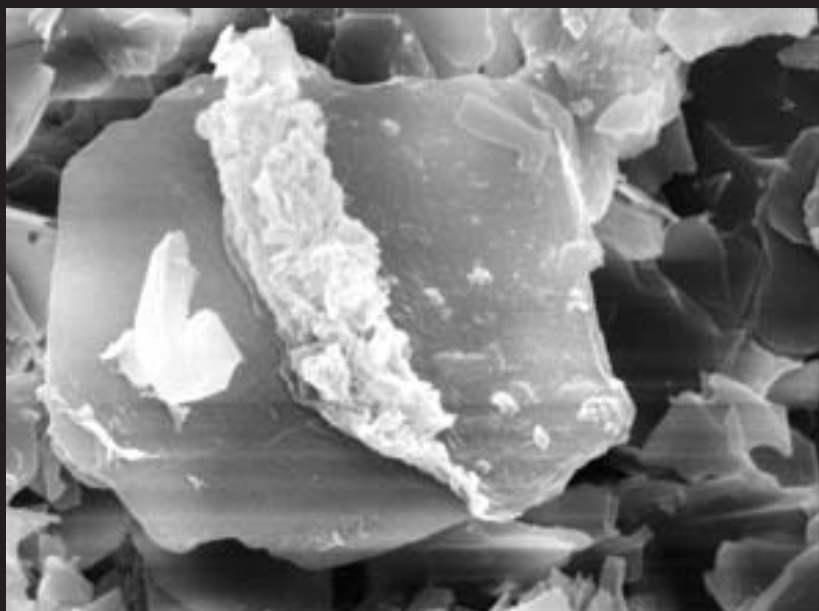
Fig. 1. Structure that could be interpreted as biofilm covers part of argillaceous particle, biofilm is deflected in the central part. Lower Proterozoic (~2.1 Ga), weathering crust, island of Chapanshari, Segosero Lake, Karelia.

Fig. 2. Rock fragment consisted from destroyed cocci and fossilized glycocalyx. Lower Proterozoic (~2.4 Ga), weathering crust by acid metavolcanites, Paanayarvi Lake, Northern Karelia.

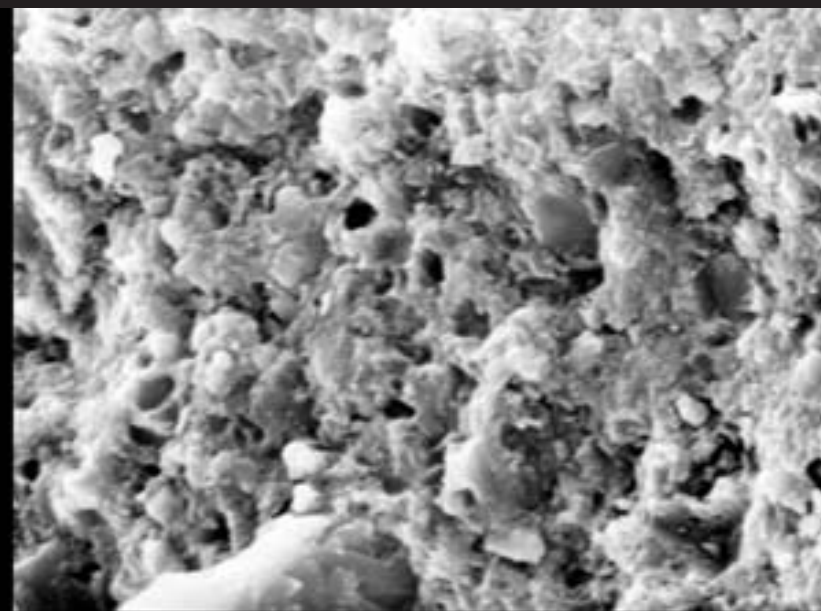
Fig. 3. Rock fragment consisted from fossilized biofilm with filamentous and coccoidal forms. Archaean (Lopian) weathering crust (~2.8 Ga), Voronye Lake, Lekhta, structure, Karelia.

Fig. 4. Tear-shaped form (length 10–12  $\mu\text{m}$ , width 6–7  $\mu\text{m}$ ), narrowed end of which passes into narrow tubule; form surface is smooth; filament submerges into the rock joining with it. Lower Proterozoic (~2.4 Ga), weathering crust by acid metavolcanites, Paanayarvi Lake, Northern Karelia.

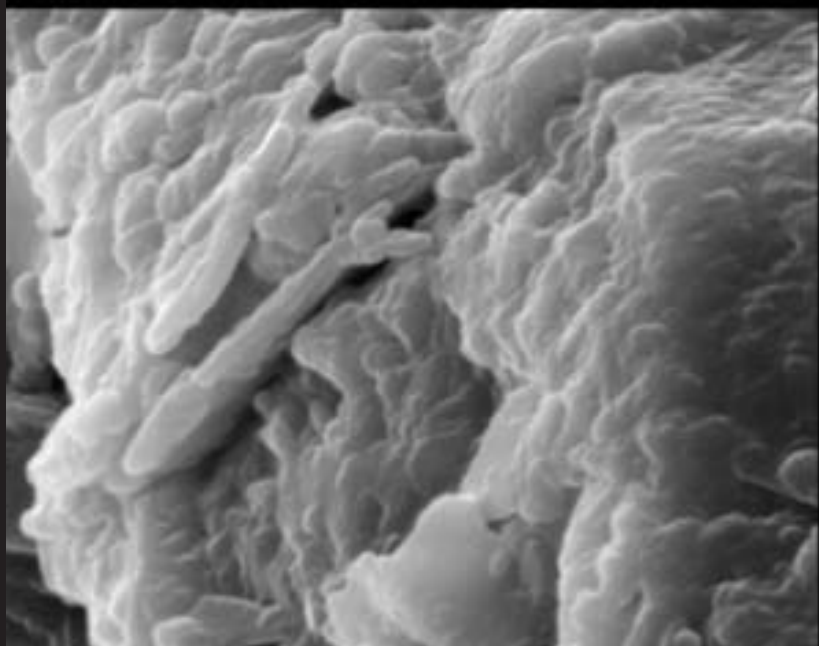




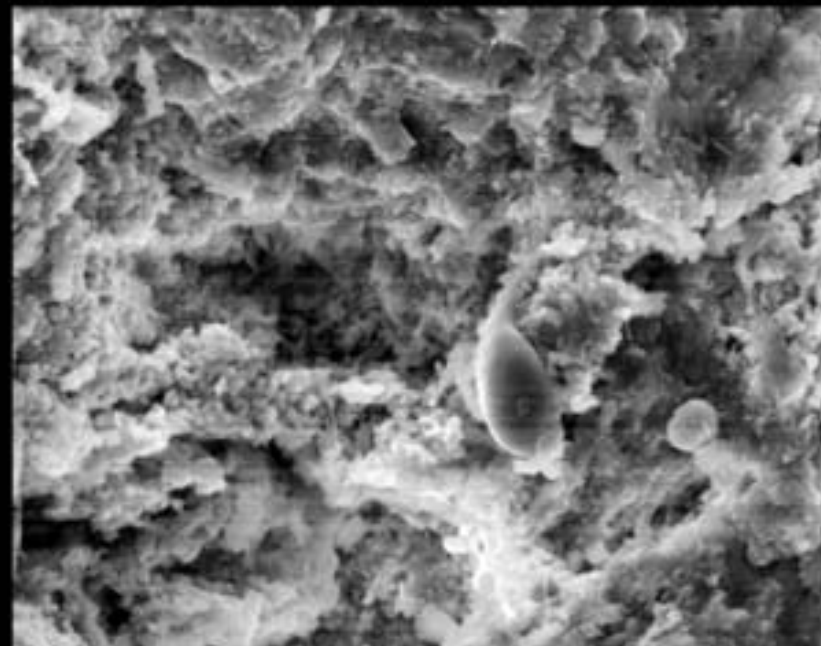
1



2



3



4

## Таблица XII

Фиг. 1. Изогнутая бутылковидная форма; нижний протерозой, кора выветривания по кислым метавулканитам, оз. Паанаярви, Сев. Карелия (~2.4 млрд. л.).

Фиг. 2. Изогнутые бутылковидные формы, возможно, принадлежавшие эвкариотам; архейская (лопийская) кора выветривания; оз. Воронье, Лехтинская структура, Карелия (~2.8 млрд. л.).

Фиг. 3. Участок породы с микропустотами, напоминающими следы, оставшиеся от кокков или, срезы пустых чехлов бактерий; нижний протерозой, праятулийская кора выветривания по архейским гранито-гнейсам; Северное Приладожье, Карелия (~2.3 млрд. л.).

Фиг. 4. То же самое, другой фрагмент породы.

## Plate XII

Fig. 1. Curved bottle-shaped form. Lower Proterozoic (~2.4 Ga), weathering crust by acid metavolcanites, Paanayarvi Lake, Northern Karelia.

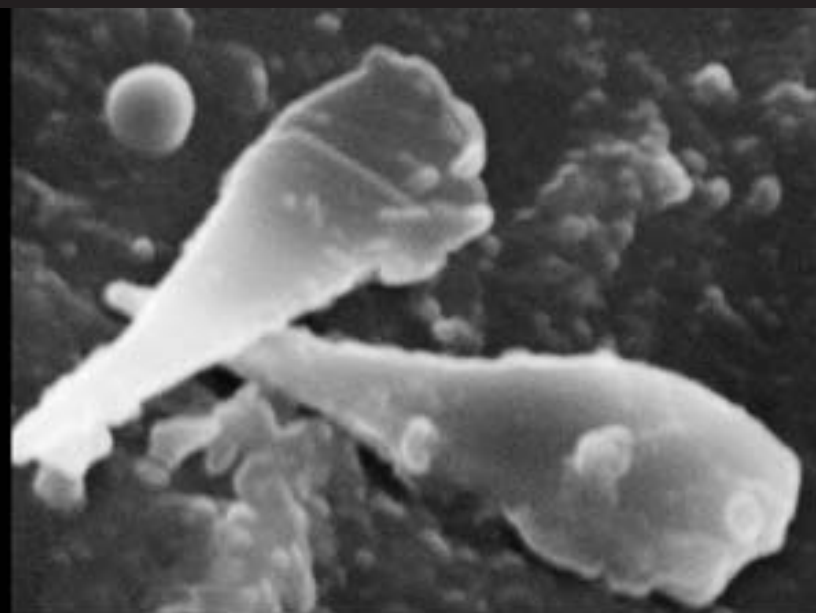
Fig. 2. Curved bottle-shaped forms, may be, eucaryotes. Archaean (Lopian) weathering crust (~2.8 GA), Voronye Lake, Lekhta structure, Karelia.

Fig. 3. Rock fragment with micro-emptinesses, looking like imprints of cocci or cross-sections of empty bacterial envelopes. Lower Proterozoic (Prajatolian) weathering crust (~2.3 Ga) by Archaean granite-gneisses, Northern Ladoga, Karelia.

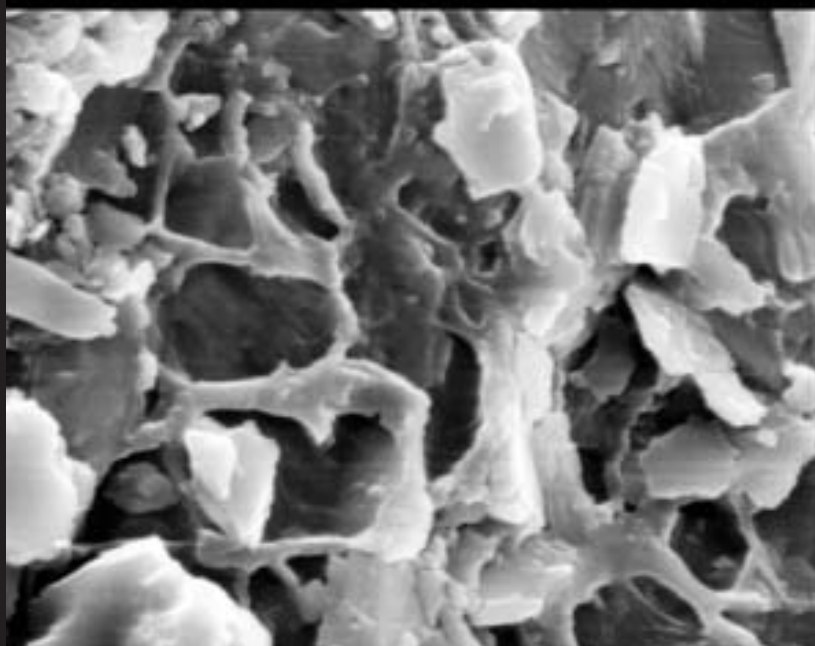
Fig. 4. The same, but another rock fragment.



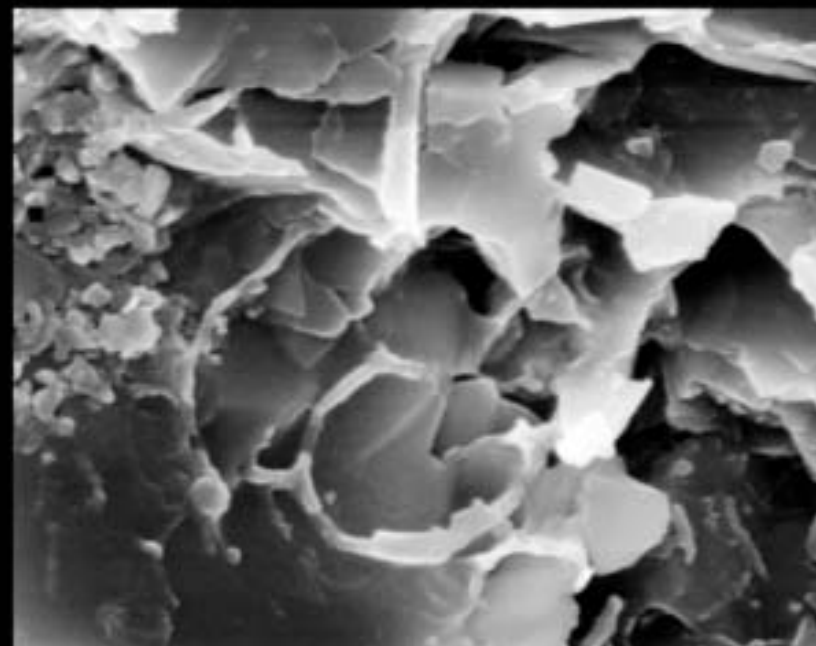
1



2



3



4

### Таблица XIII

Фиг. 1. Удлиненно-овальная форма, длина которой превышает 50  $\mu\text{m}$ , ширина больше 15  $\mu\text{m}$ ; вероятно, имеется минерализованная оболочка толщиной 2–3  $\mu\text{m}$ , которая частично разрушена. Не исключено, что она может относиться к эвкариотам; архейская (лопийская) кора выветривания; оз. Воронье, Лехтинская структура, Карелия (~2.8 млрд. л.).

Фиг. 2. Фрагмент породы, состоящий из разрушенных кокков и гантелевидных бактериоморфных форм; архейская (лопийская) кора выветривания; оз. Воронье, Лехтинская структура, Карелия (~2.8 млрд. л.).

Фиг. 3. Фрагмент породы, состоящий из разрушенных кокков, гантелевидных бактериоморфных форм и обрывков нитей, вероятно, покрытый биопленкой; нижний протерозой, кора выветривания по кислым метавулканитам, оз. Паанаярви, Сев. Карелия (~2.4 млрд. л.).

Фиг. 4. Фрагмент породы, состоящий из разрушенных кокков, гантелевидных форм и обрывков нитей, покрытый биопленкой; архейская (лопийская) кора выветривания; оз. Воронье, Лехтинская структура, Карелия (~2.8 млрд. л.).

### Plate XIII

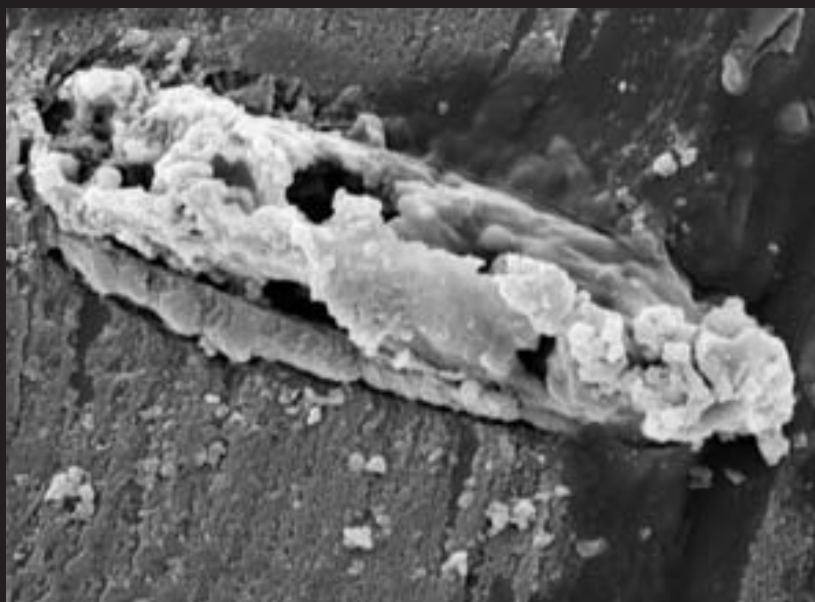
Fig. 1. Oval-elongated form, length more than 50  $\mu\text{m}$ , width more than 15  $\mu\text{m}$ . The form probably has mineralized envelope (width 2–3  $\mu\text{m}$ ) partially destroyed. It can not be excluded, that it could refer to eucaryotes. Archaean (Lopian) weathering crust (~2.8 Ga), Voronye Lake, Lekhta structure, Karelia.

Fig. 2. Rock fragment consisting of destroyed cocci and dumbbell-like bacteriomorphic forms. Archaean (Lopian) weathering crust (~2.8 Ga), Voronye Lake, Lekhta structure, Karelia.

Fig. 3. Rock fragment consisting of destroyed cocci, dumbbell-like bacteriomorphic forms and filament shreds, probably covered by biofilm. Lower Proterozoic (~2.4 Ga), weathering crust by acid metavolcanites, Paanayarvi Lake, Northern Karelia.

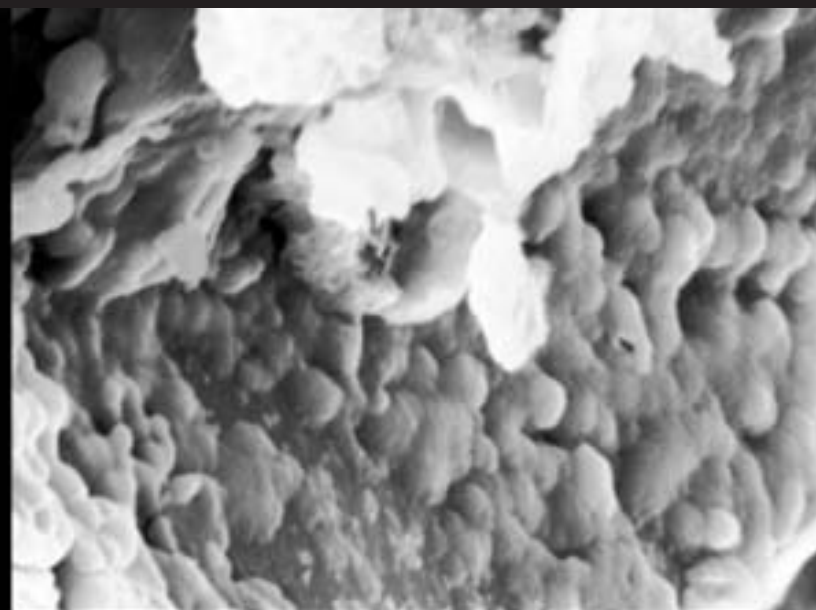
Fig. 4. Rock fragment consisted from destroyed cocci, dumbbell-like bacteriomorphic forms and filament shreds, covered by biofilm. Archaean (Lopian) weathering crust (~2.8 Ga), Voronye Lake, Lekhta structure, Karelia.





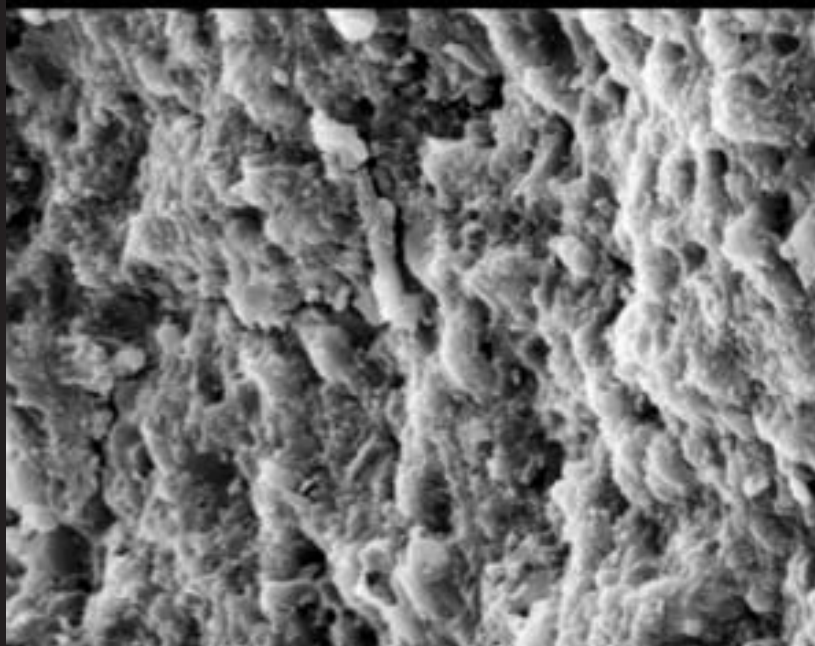
10  $\mu\text{m}$  

1



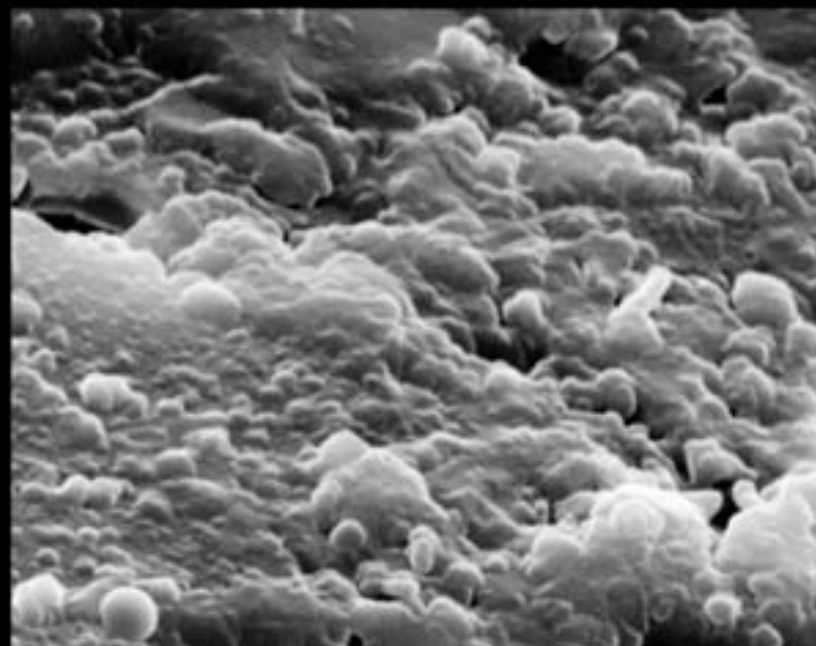
10  $\mu\text{m}$  

2



10  $\mu\text{m}$  

3



3  $\mu\text{m}$  

4

**Таблица XIV**

Современные минерализованные микроорганизмы и следы от них в зоне выветривания, развившейся на позднечетвертичных базальтовых гиалокластитах в Исландии (Гептнер, 2001). Фотографии приведены для сравнения современных и древних микроорганизмов, распространенных среди базальтовых лав.

Фиг. 1. Коккоидные минерализованные микроорганизмы и следы от них, проникающие внутрь обломка породы (вулканического стекла) на глубину 0.5–1 мм.

Фиг. 2. Многочисленные остатки минерализованных нитчатых и ветвящихся форм микробиоты на поверхности гидратированного базальтового стекла.

Фиг. 3. Коккоидные и нитчатые минерализованные микроорганизмы на поверхности гидратированного базальтового стекла.

Фиг. 4. Скопление коккоидных минерализованных микроорганизмов на поверхности базальтового стекла.

**Table XIV**

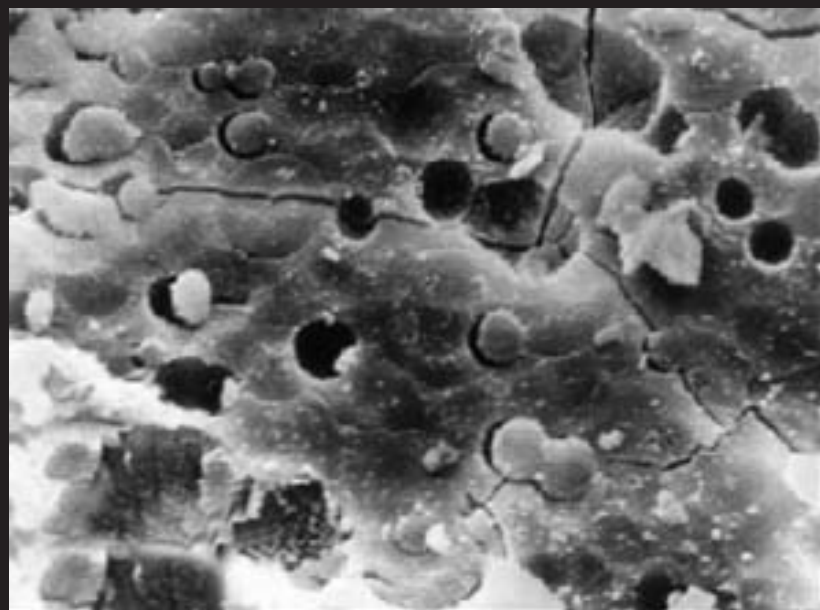
Recent microorganisms and traces of their activity in the late Quaternary basaltic hyaloclastites, zone of weathering, Iceland (Geptner, 2001). The photos compare the recent and ancient activity of microorganisms in basaltic rocks.

Fig. 1. Coccoidal mineralized microorganisms and traces of their activity in basaltic volcanic glass at a depth of 0.5–1 mm.

Fig. 2. Numerous mineralized filamentous and branched remnants of microbiota on the surface of hydrated basaltic glass

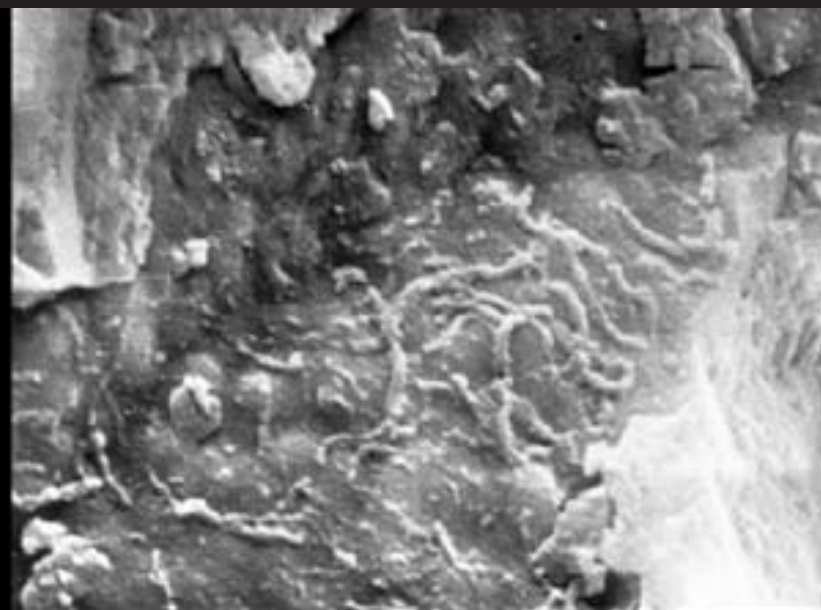
Fig. 3. Coccoidal and filamentous mineralized microorganisms on the surface of hydrated basaltic glass.

Fig. 4. Cluster of coccoidal mineralized microorganisms on the surface of basaltic glass.



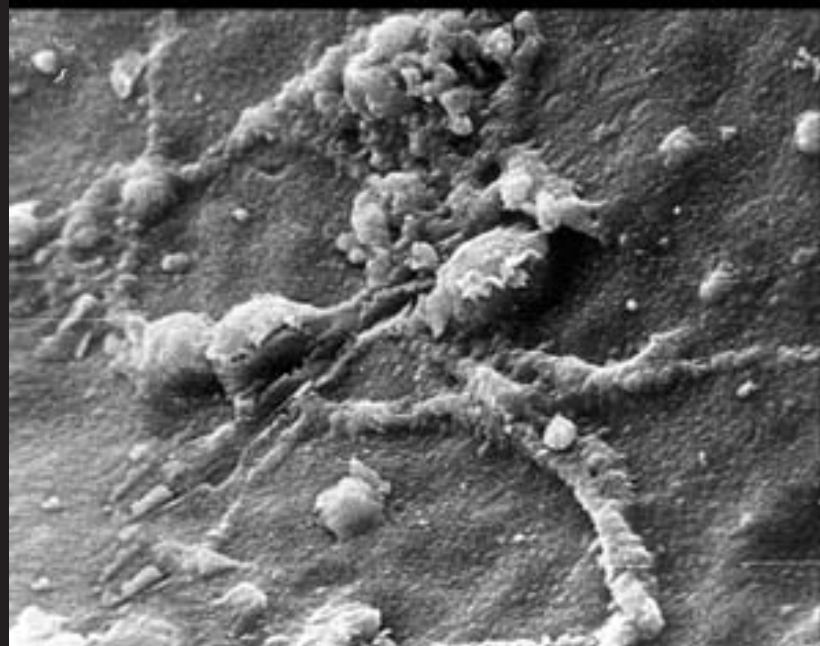
1

4  $\mu\text{m}$  —————



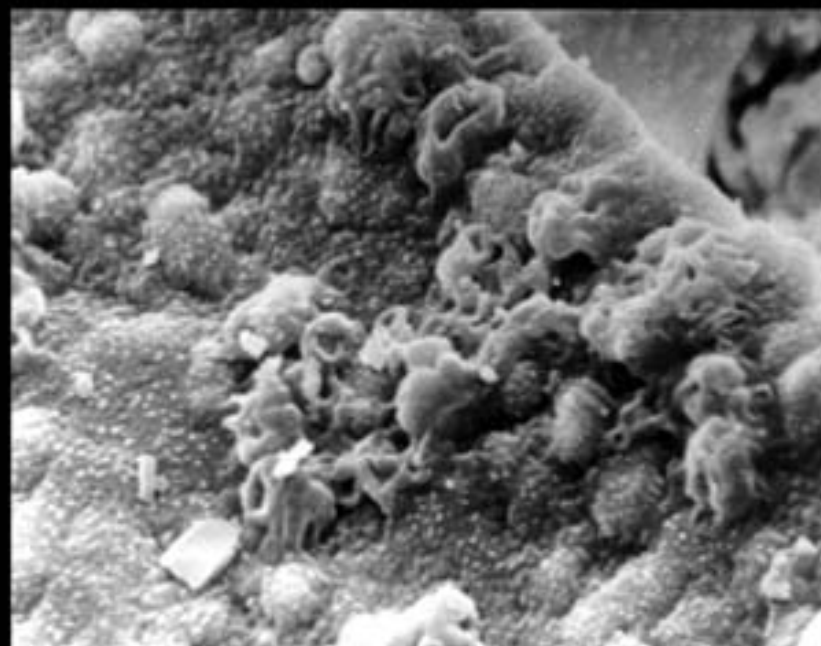
2

10  $\mu\text{m}$  —————



3

4  $\mu\text{m}$  —————



4

4  $\mu\text{m}$  —————

### Таблица XV

Микрофоссилии из вулканического стекла базальтовых пиллоу-лав нижнепротерозойской свиты Ветреного пояса Карелии (~2.41 млрд. л.).

Фиг. 1. Длинные нитевидные формы (длина превышает 50  $\mu\text{m}$ ) с диаметром около 3  $\mu\text{m}$ , сливающиеся с породой.

Фиг. 2. Расплющенный чехол от бактериальной нити.

Фиг. 3. Обрывок нити (или чехла от нити) с диаметром несколько около 3  $\mu\text{m}$ .

Фиг. 4. Фрагмент вулканического стекла, полностью сложенный нитевидными формами.

### Plate XV

Microfossils from volcanic glass of basaltic pillow-lavas from Lower Paleoproterozoic (~2.41 Ga) glassy basalts of the Vetreny Belt Formation (Baltic Shield, Karelia).

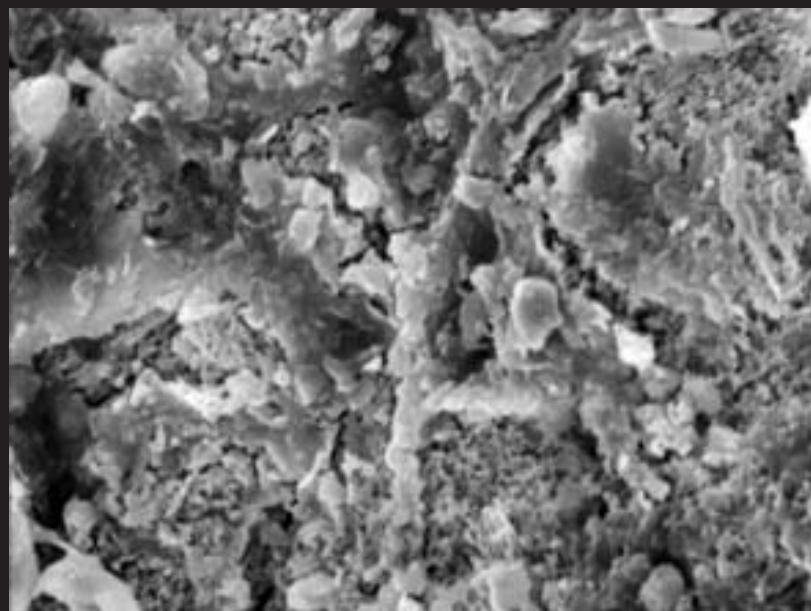
Fig. 1. Long thread-like forms (length more than 50  $\mu\text{m}$ , diameter about 3  $\mu\text{m}$ ) confluent with rock matrix.

Fig. 2. Flattened bacterial filament sheath.

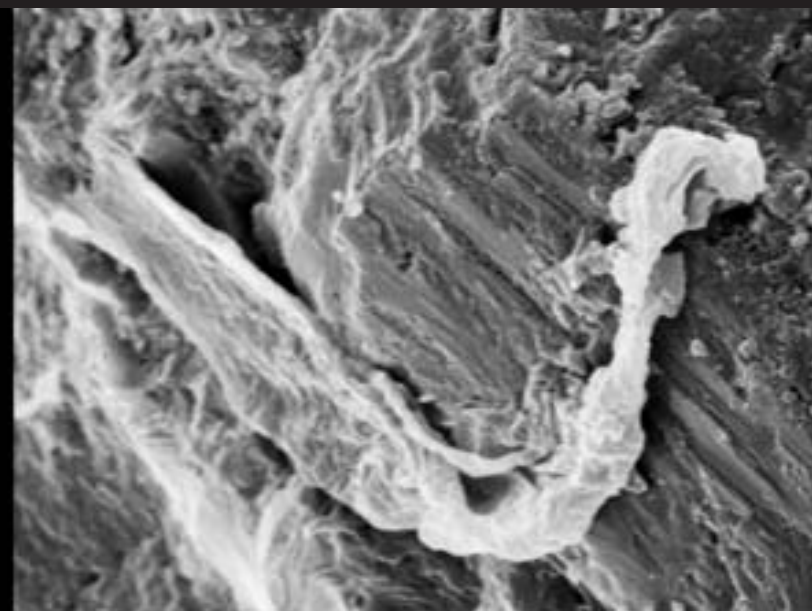
Fig. 3. Filament (or shred of sheath of filament), diameter about 3  $\mu\text{m}$ .

Fig. 4. Volcanic glass fragment, entirely consisting entirely of filaments.

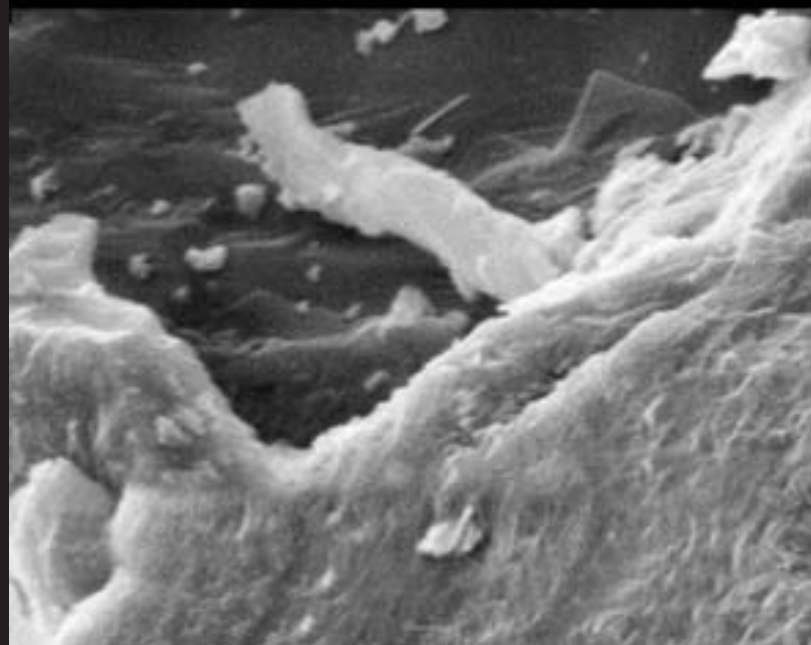




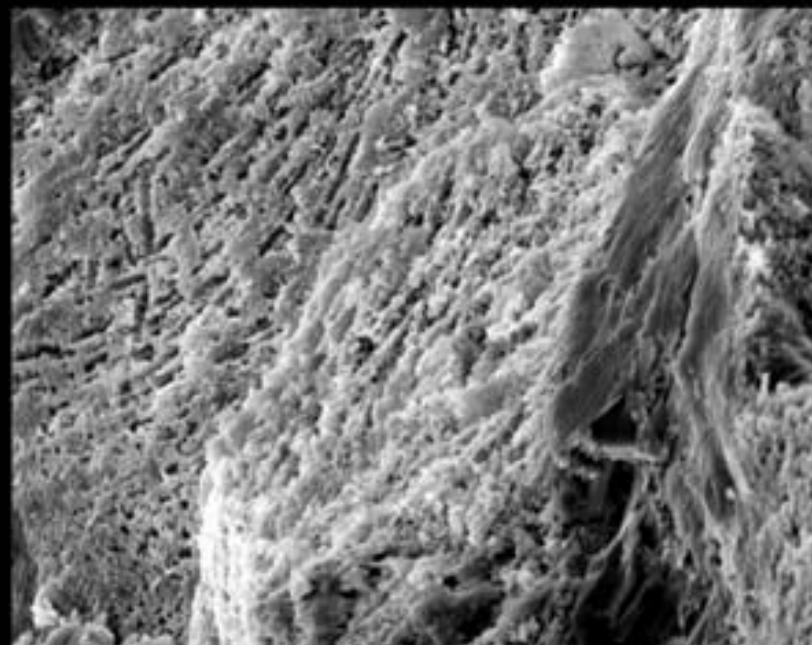
1



2



3



4

10 μm

10 μm

### Таблица XVI

Микрофоссилии из вулканического стекла базальтовых пиллоу-лав нижнепротерозойской свиты Ветреного пояса Карелии (2.41 млрд. л.) (фиг. 1, 2) и микрофоссилии из пиллоу-лав Онгелюк; нижний протерозой, Южная Африка (~2.2 млрд. л.) (фиг. 3, 4).

Фиг. 1. В левом верхнем углу снимка фрагмент короткой нити, длиной до 10  $\mu\text{m}$ , диаметром около 3  $\mu\text{m}$ , верхний ее конец погружен в породу, в центре – фрагмент короткой, длиной около 10  $\mu\text{m}$ , широкой, диаметром 5–7  $\mu\text{m}$ , нити, конец которой также погружен в породу.

Фиг. 2. В центре короткая нить (длина до 10  $\mu\text{m}$ ), с диаметром 3–6  $\mu\text{m}$ , один конец погружен в породу.

Фиг. 3. Формы, напоминающие мешки, диаметром около 15  $\mu\text{m}$ , вероятно, были покрыты тонкой пленкой. В тех местах, где эта пленка разрушена, видно, что внутри мешковидные формы сложены многочисленными кокками диаметром около 3  $\mu\text{m}$ . По всей видимости, это колониальные формы бактериальной природы.

Фиг. 4. То же, из другого фрагмента.

### Plate XVI

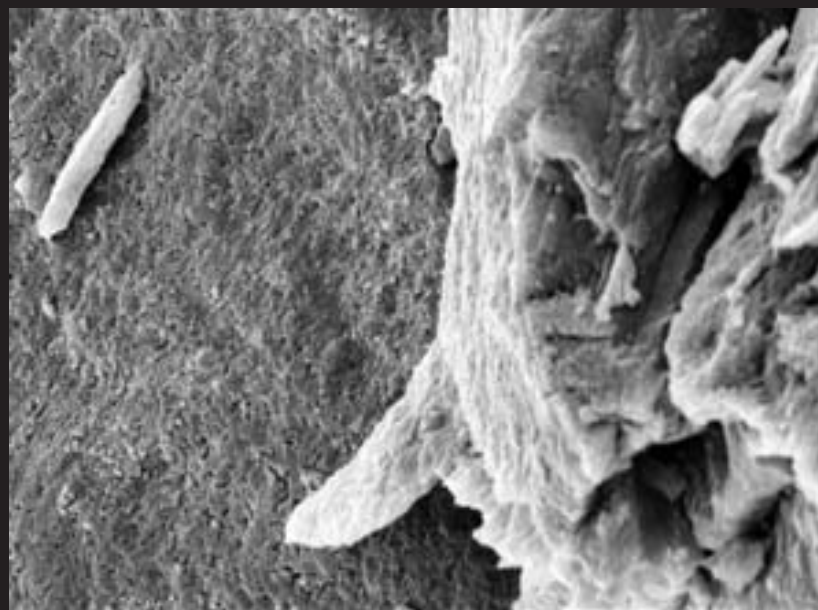
Fig. 1, 2. Microfossils from volcanic glass from Lower Proterozoic (~2.41 Ga) glassy basalts of the Vetreny Belt Formation (Baltic Shield, Karelia).  
Fig. 3, 4. Microfossils from pillow-lavas Ongeluk; Lower Proterozoic (~2.2 Ga), South Africa.

Fig. 1. In the left upper corner of image there is fragment of short filament, length up to 10  $\mu\text{m}$ , diameter ~3  $\mu\text{m}$ , its upper end embedded in the rock; in the center – fragment of short filament, length ~10  $\mu\text{m}$ , wide, diameter 5–7  $\mu\text{m}$ ; the end of which is also embedded in the rock.

Fig. 2. Fragment of short filament, length up to 10  $\mu\text{m}$ , diameter 3–6  $\mu\text{m}$ ; one end is embedded in the rock.

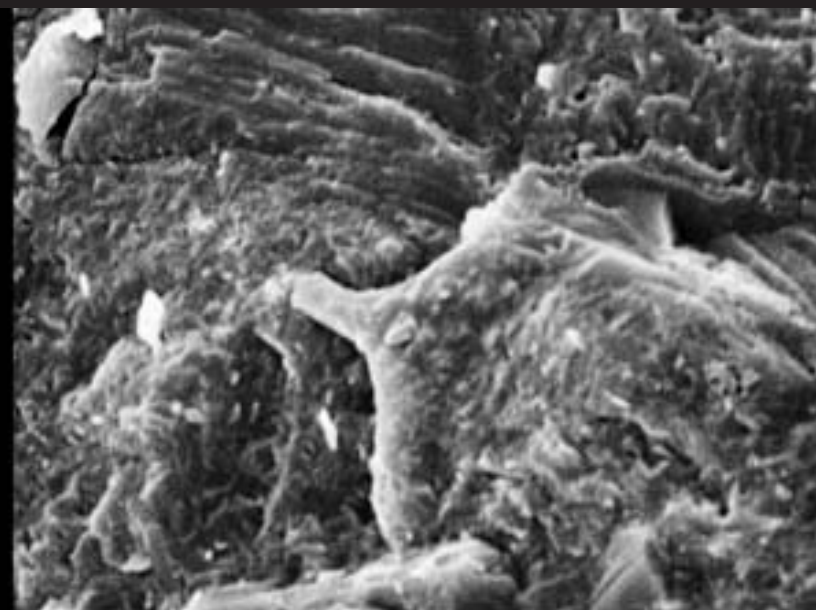
Fig. 3. Sack-liked forms, diameter ~15  $\mu\text{m}$ , partially covered by a thin film. In places, where this film is destroyed, the interior of these sack-liked forms is comprised of numerous cocci, with diameters ~3  $\mu\text{m}$ . Most likely, these forms are colonial bacteria.

Fig. 4. The same, from another pillow-lavas fragment.



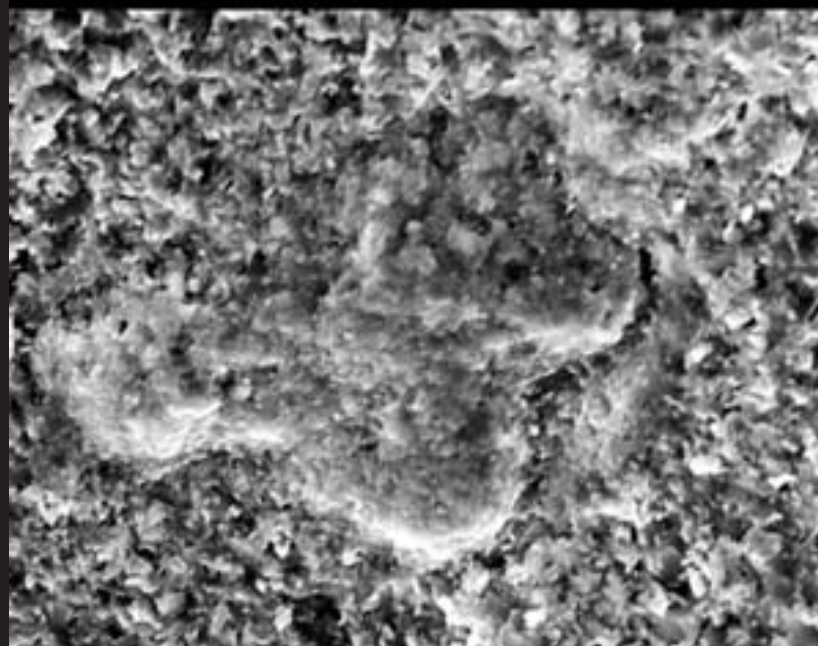
1

10 μm



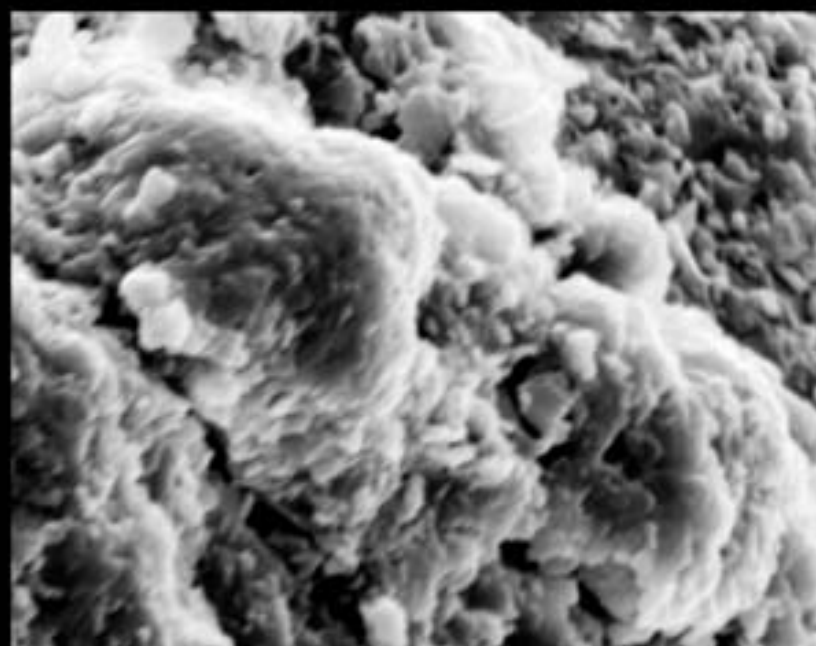
2

3 μm



3

10 μm



4

3 μm

### Таблица XVII

Микрофоссилии из вулканического стекла базальтовых пиллоу-лав; нижний протерозой, свита Ветреного пояса; Карелия (~2.41 млрд. л.) (фиг. 1–3) и из пиллоу лав Южной Африки (~2.2 млрд. л.) (фиг. 4).

Фиг. 1. Кокк с диаметром около 7  $\mu\text{m}$  и овальной формы микрофоссилия размером 15 $\times$ 12  $\mu\text{m}$ .

Фиг. 2. Остатки овальной микрофоссилии размером 15 $\times$ 12  $\mu\text{m}$ .

Фиг. 3. Овальные микрофоссилии размером 7 $\times$ 4  $\mu\text{m}$ .

Фиг. 4. Фрамбонд диаметром около 10  $\mu\text{m}$ , окруженный псевдоморфозами по бактериям, скорее всего, пурпурным.

### Plate XVII

Fig. 1–3. Microfossils from volcanic glass of basal pillow-lavas. Lower Proterozoic (~2.41 Ga) glassy basalts of the Vetreny Belt Formation (Karelia).

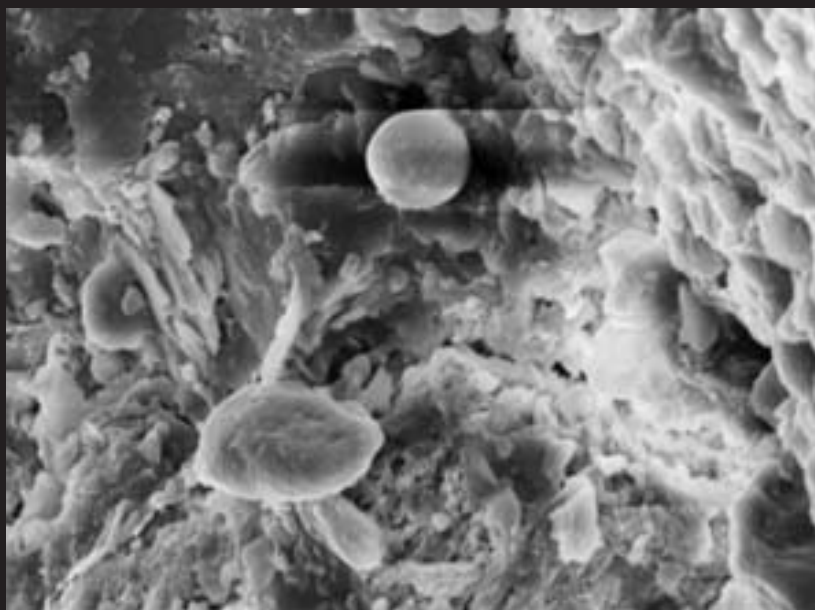
Fig. 1. Coccus, diameter about 7  $\mu\text{m}$ ; and oval microfossil, sizes 15 $\times$ 12  $\mu\text{m}$ .

Fig. 2. Oval microfossil remnants, sizes 15 $\times$ 12  $\mu\text{m}$ .

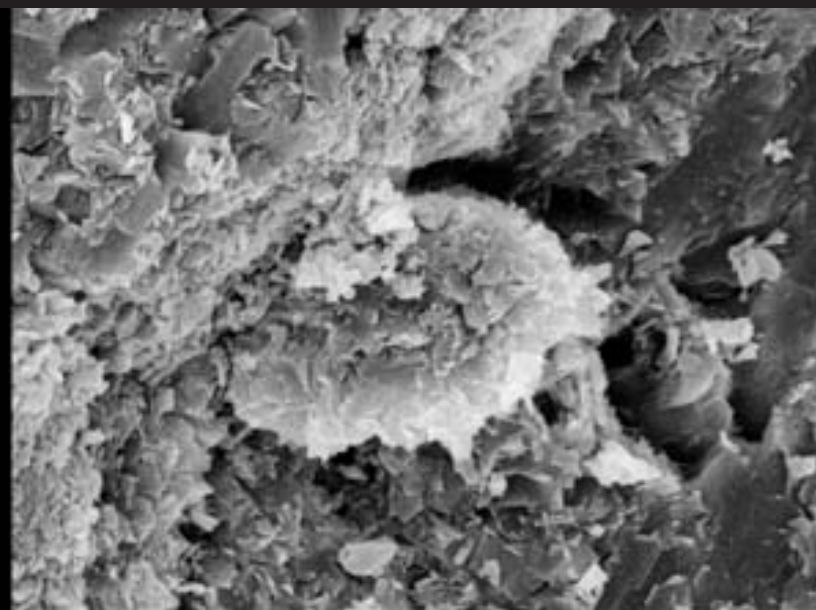
Fig. 3. Oval microfossils, sizes 7 $\times$ 4  $\mu\text{m}$ .

Fig. 4. Framboid, diameter about 10  $\mu\text{m}$ , surrounded by pseudomorphs of possible purple bacteria. Pillow-lavas Ongeluk; Lower Proterozoic (~2.2 Ga), South Africa.

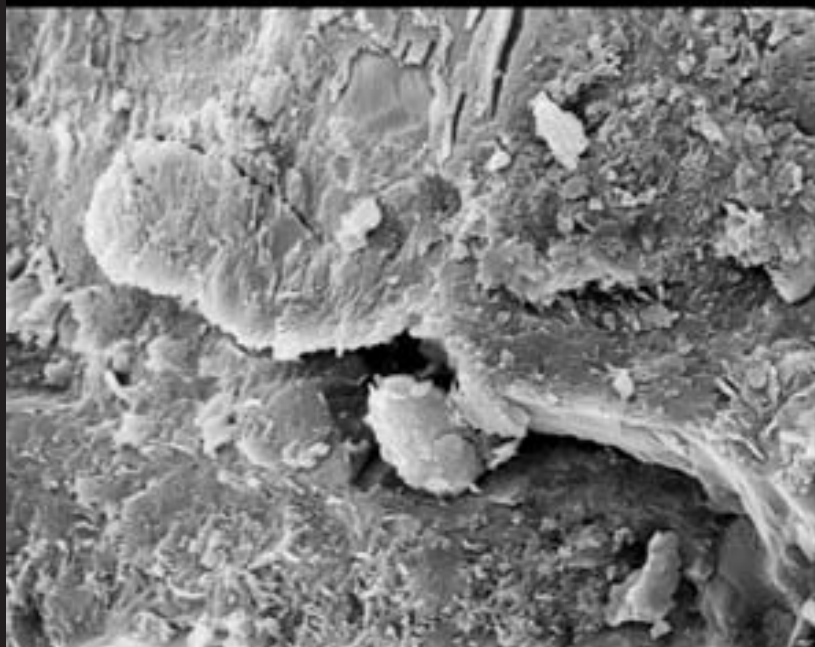




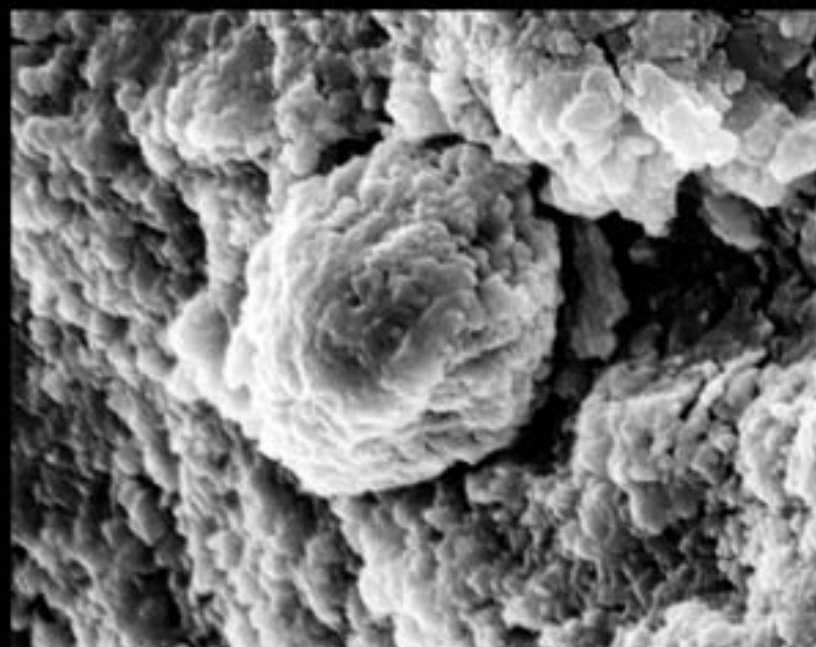
1



2



3



4

10 μm

3 μm

10 μm

3 μm

### Таблица XVIII

Микрофоссилии из пиллоу-лав; нижний протерозой, Онгелюк; Южная Африка (~2.2 млрд. л.).

Фиг. 1. Ископаемый чехол бактерии (?цианобактерии) с диаметром около 10  $\mu\text{m}$ , в середине между двумя участками чехла, возможно, виден фрагмент нити цианобактерии (стрелка).

Фиг. 2. Скопление вытянутых в одном направлении нитей с диаметром около 5  $\mu\text{m}$ , возможно, принадлежащих фоссилизованным цианобактериям.

Фиг. 3. Скопление чехлов, возможно, заключавших трихомы цианобактерий.

Фиг. 4. Одиночные коккоидные формы диаметром около 3  $\mu\text{m}$ , с грубой шероховатой поверхностью, погруженные в породу. Эти кокки сходны с кокками, встреченными в архее Карелии (см. табл. VII, фиг. 4)

### Plate XVIII

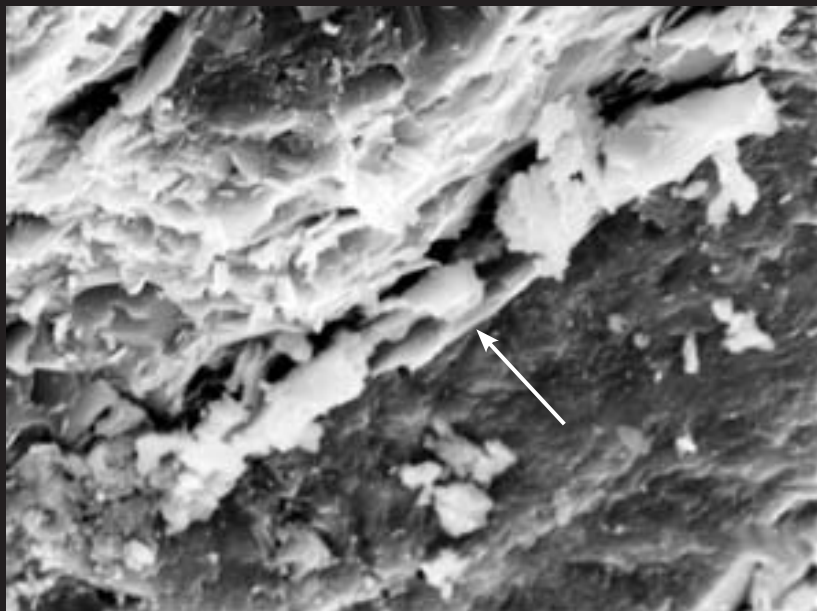
Microfossils from pillow-lavas Ongeluk, Lower Proterozoic (~2.2 Ga), South Africa.

Fig. 1. Fossil bacterial (?cyanobacterial) sheath, diameter about 10  $\mu\text{m}$ , probable cyanobacterial filament fragment lays between two sheath fragments (arrow).

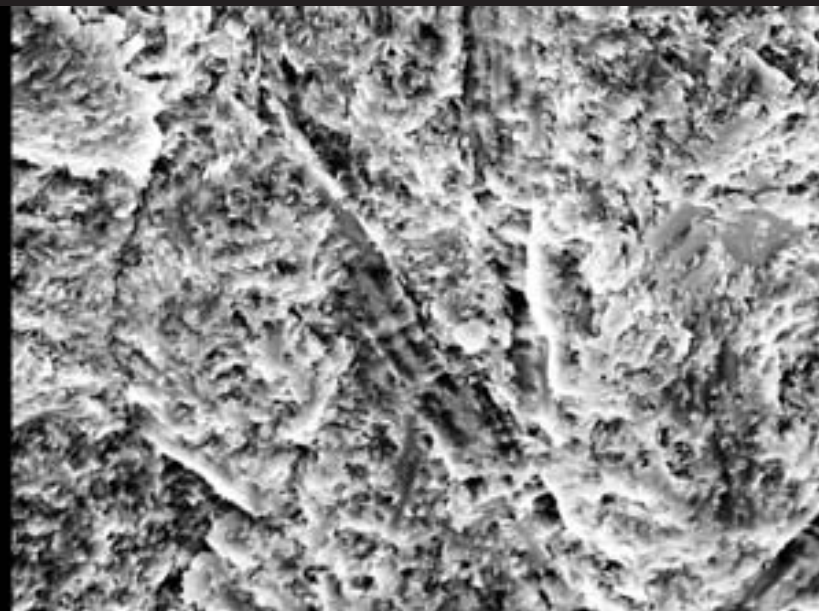
Fig. 2. Accumulation of elongate in one direction filaments, diameter ~5  $\mu\text{m}$ , belonging, perhaps, to fossil cyanobacteria.

Fig. 3. Accumulation of sheaths, perhaps encasing cyanobacterial trichomes.

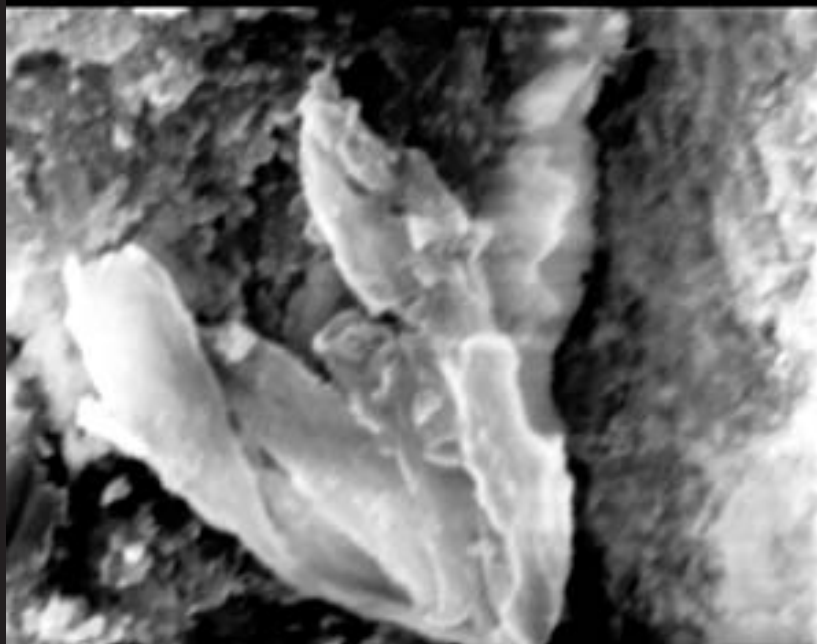
Fig. 4. Single coccoidal forms, diameter about 3  $\mu\text{m}$ , with rough uneven surface, embedded in the rock. These cocci are similar to cocci encountered in the Archaean of Karelia (see plate VII, fig. 4).



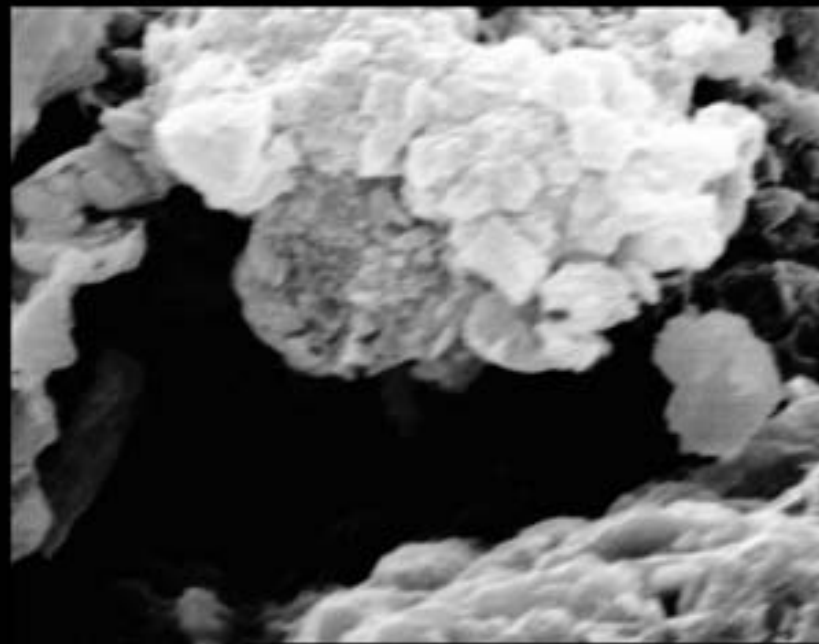
1



2



3



4

3 μm

10 μm

3 μm

3 μm

### Таблица XIX

Микрофоссилии из нижнепротерозойских пиллоу-лав Онгелюк Южной Африки (~2.2 млрд. л.) (фиг. 1, 2) и из вулканогенно-осадочных пород, заключенных между базальтовыми покровами в раннепротерозойских вулканитах Сортавальского поднятия, Сев. Приладожье (~2.0 млрд. л.) (фиг. 3, 4).

Фиг. 1. Расплющенная форма длиной около 20  $\mu\text{m}$ , шириной около 2  $\mu\text{m}$ . Возможно, что это пустой чехол, покрывавший пучок нитей цианобактерий.

Фиг. 2. Расплющенная форма длиной около 25  $\mu\text{m}$ , шириной 6–12  $\mu\text{m}$ , по всей видимости, эта форма аналогична изображенной на фиг. 1.

Фиг. 3. Крупные (диаметр >30–40  $\mu\text{m}$ ) сферические формы. Внешне они близки акритархам, описанным Б.В. Тимофеевым (1982) (см. табл. V настоящей работы).

Фиг. 4. То же, увеличено.

### Plate XIX

Microfossils from pillow-lavas Ongeluk, Lower Proterozoic (~2.2 Ga), South Africa (figs. 1, 2) and microfossils from volcanogenic-sedimentary rocks between basalt covers in the Early Proterozoic (~2.0 Ga) volcanites of Sortavala elevation, Northern Ladoga (figs. 3, 4).

Fig. 1. Flattened form, length ~20  $\mu\text{m}$ , width ~10  $\mu\text{m}$ . Perhaps an empty sheath that previously contained multiple cyanobacterial trichomes.

Fig. 2. Flattened form, length ~25  $\mu\text{m}$ , width ~6–12  $\mu\text{m}$ , possibly similar to the form shown in fig. 1.

Fig. 3. Large, diameter >30–40  $\mu\text{m}$ , spherical forms. In outward appearance they are similar to acritarchs, described by B.V. Timofeev (1982) – (pl. V of this edition).

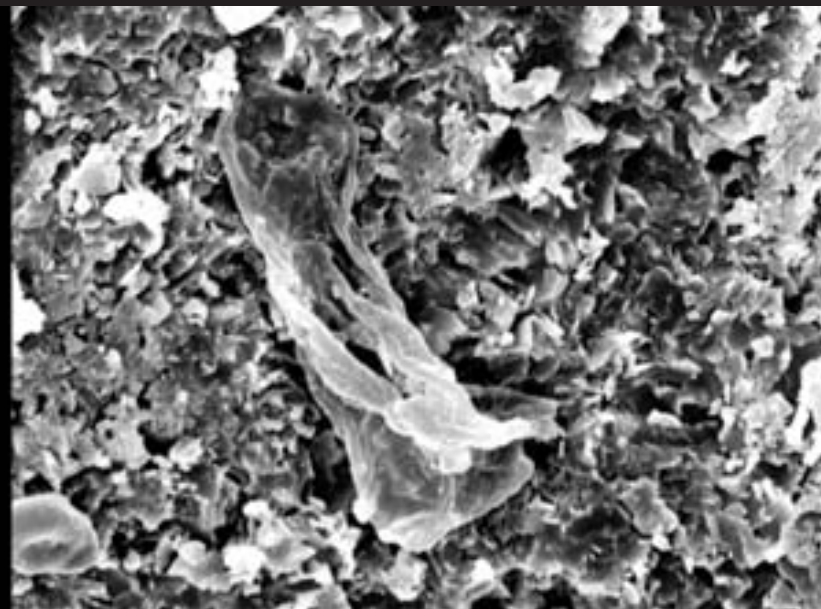
Fig. 4. The same enlarged.





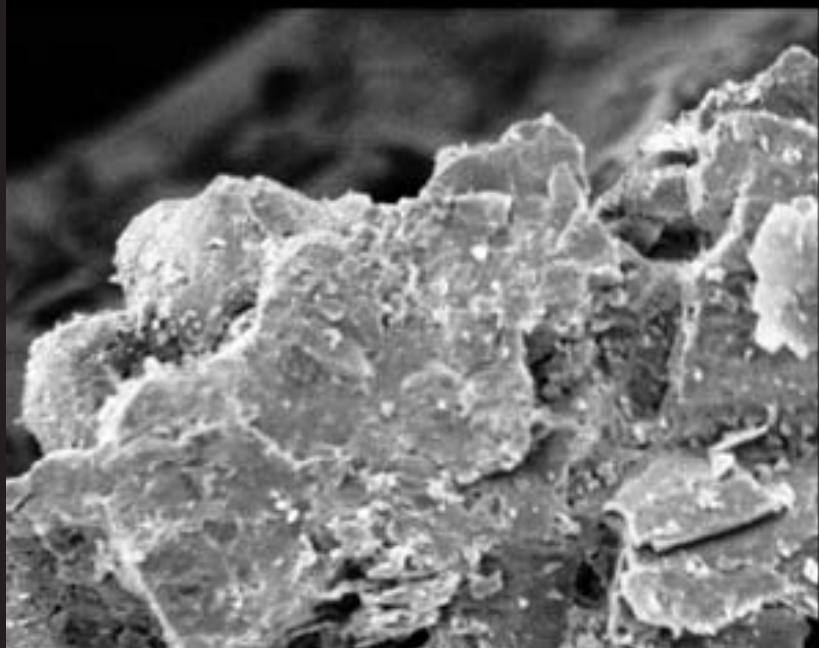
1

10 μm



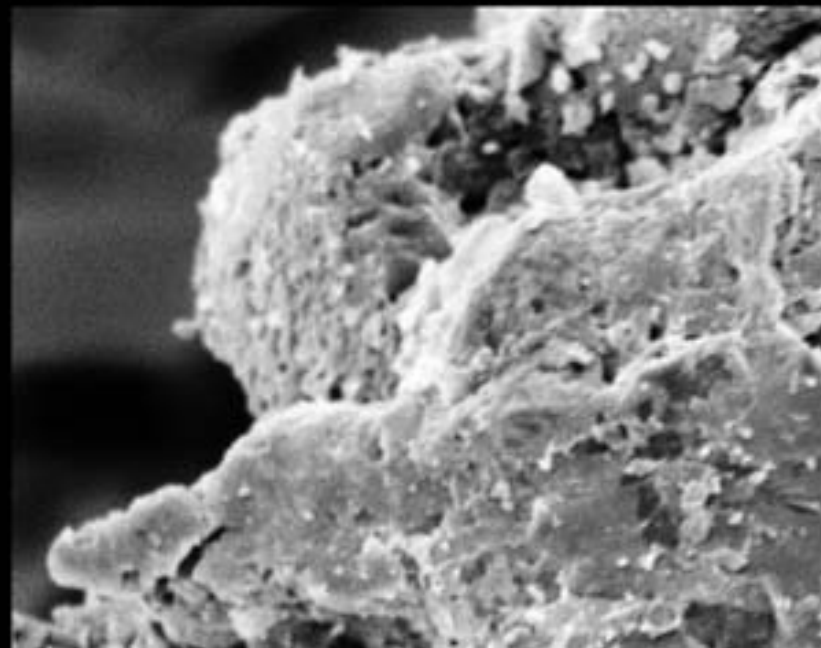
2

3 μm



3

30 μm



4

10 μm

### Таблица XX

Микрофоссилии из вулканогенно-осадочных пород, заключенных между базальтовыми покровами в раннепротерозойских вулканитах Сортавальского поднятия, Сев. Приладожье (~2.0 млрд. л.).

Фиг. 1 Многочисленные нитевидные формы. Видны фрагменты нитей длиной около 10  $\mu\text{m}$  и диаметром 2–3  $\mu\text{m}$ .

Фиг. 2. Длинные нитевидные формы (длина около 40  $\mu\text{m}$ , диаметр порядка 2  $\mu\text{m}$ ), слагающие практически весь фрагмент породы.

Фиг. 3. Овальная форма размером около 10  $\mu\text{m}$ , на правой ее части виден фрагмент покрывавшего ее гликокаликса.

Фиг. 4. Нитевидные формы, вокруг которых иногда видны мелкие кокки.

### Plate XX

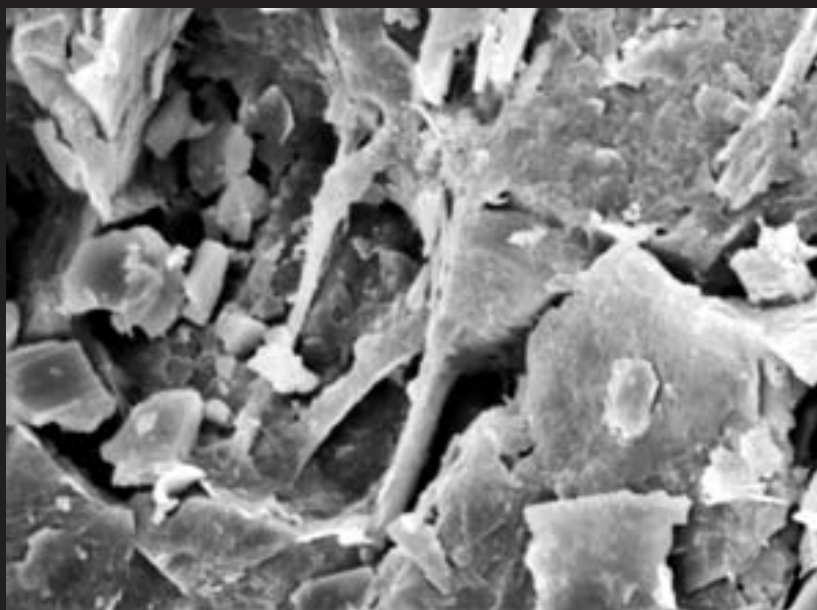
Microfossils from volcanogenic-sedimentary rocks between basalt covers in the Early Proterozoic (~2.0 Ga) volcanites of Sortavala elevation, Northern Ladoga.

Fig. 1. Numerous filament forms. Thread fragments, length ~10  $\mu\text{m}$  and diameter 2–3  $\mu\text{m}$ .

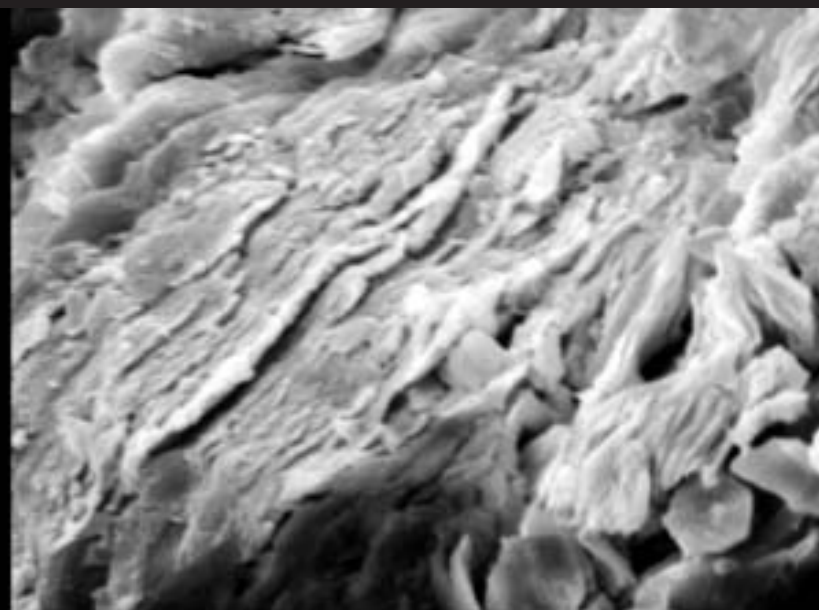
Fig. 2. Long filaments, length ~40  $\mu\text{m}$  and diameter about 2  $\mu\text{m}$ . Filaments comprise almost the whole rock fragment.

Fig. 3. Oval form, sizes ~10  $\mu\text{m}$  with a fragment of glycoalyx or sheath seen on the right.

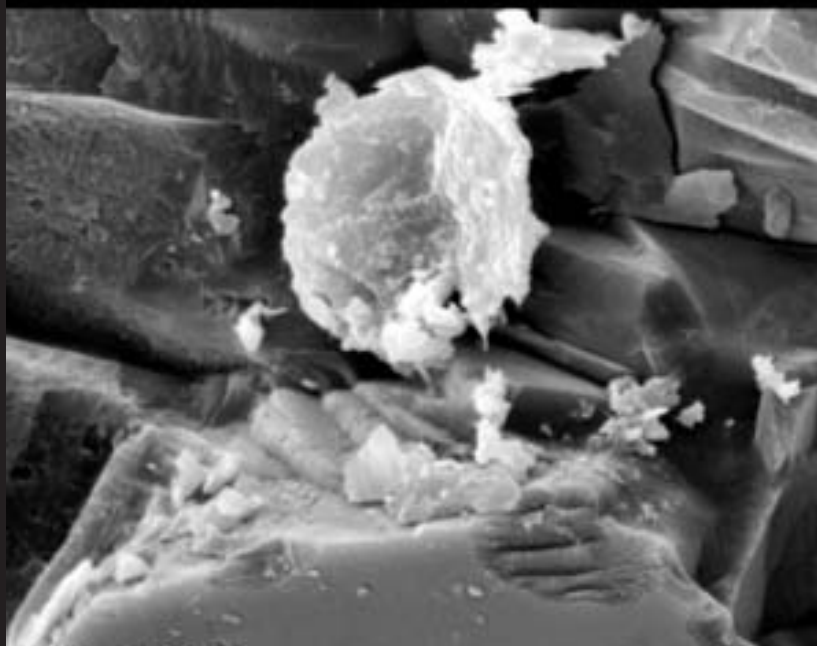
Fig. 4. Thread-like forms. Sometimes small cocci are seen around.



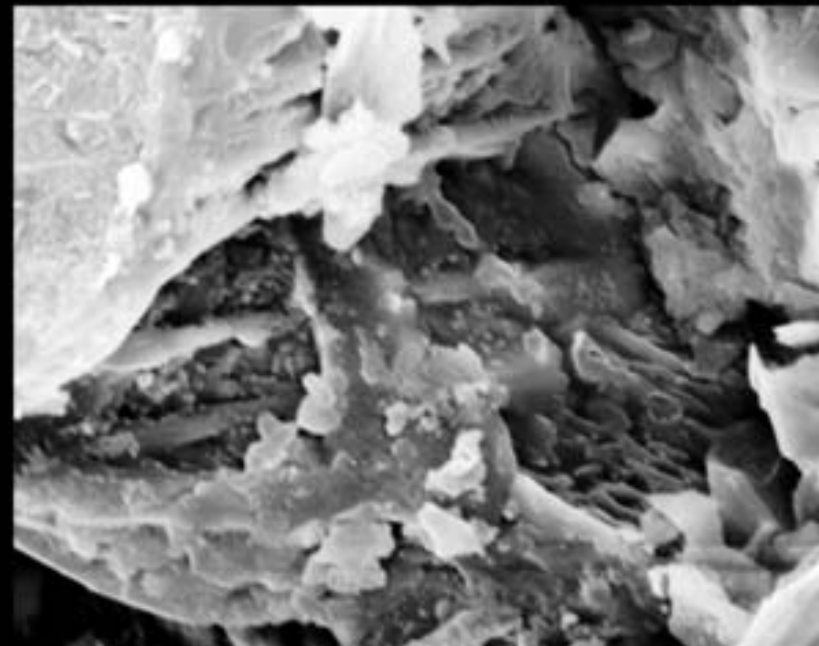
1



2



3



4

10 μm

10 μm

10 μm

10 μm

**Таблица XXI**

Строматолиты Австралии. Группа Макартур, формация Ялко, возраст 1.5–1.6 млрд. л. (коллекция И.Н. Крылова).

Фиг. 1. Трихомы цианобактерий с различным диаметром, заключены в строматолите между более плотными слоями известняка.

Фиг. 2. Минерализованные коккоидные бактерии в минерализованной слизи в строматолите между слоями известняка.

Фиг. 3. Минерализованные коккоидные бактерии в строматолите.

Фиг. 4. Минерализованные отдельные нити цианобактерий и коккоидные бактерии в строматолите между более плотными слоями известняка.

**Plate XXI**

Stromatolites from Australia. Group Makartur, Jalko Formation, age 1.5–1.6 Ga (collection of I.N. Krylov).

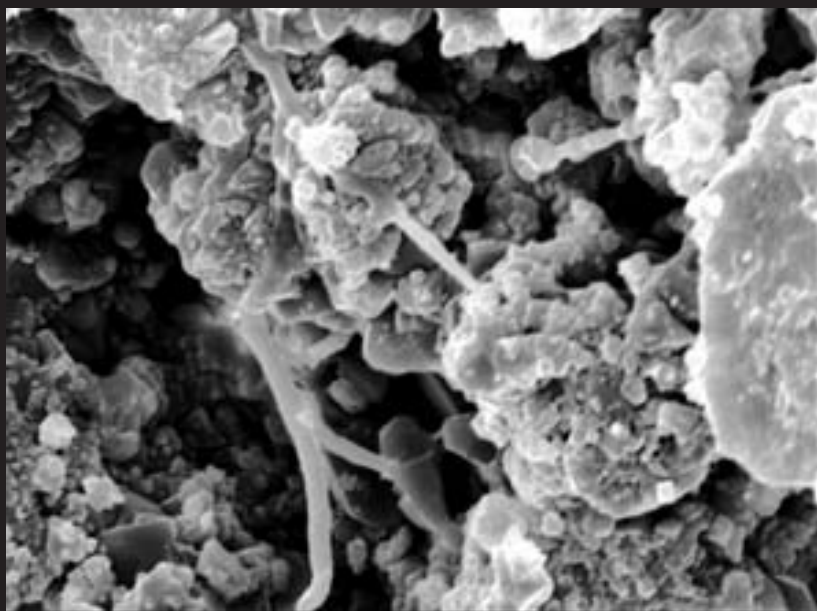
Fig. 1. Trichomes of cyanobacteria with different diameters included in the stromatolite between more compact layers of limestone.

Fig. 2. Mineralized coccoidal bacteria in the mineralized slime (mucus) in the stromatolite between the layers of limestones.

Fig. 3. Mineralized coccoid bacteria in the stromatolite

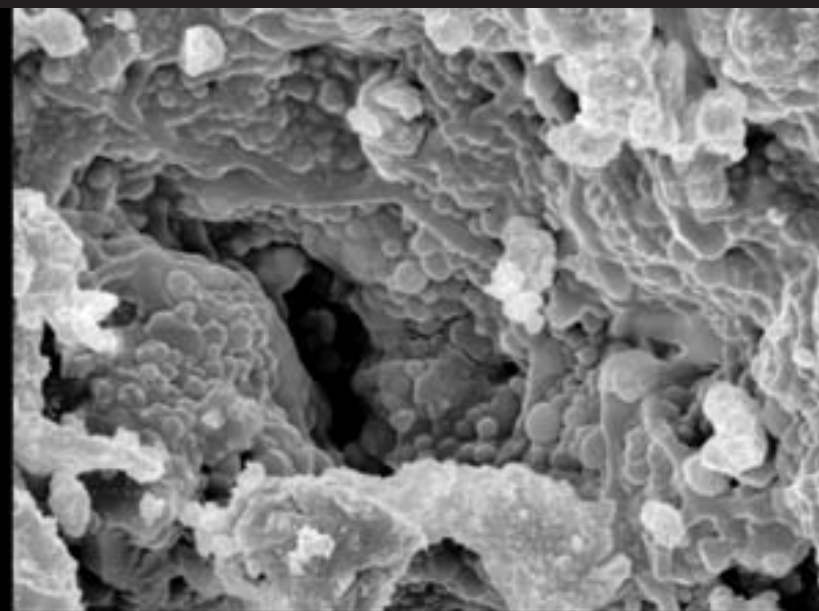
Fig. 4. Mineralized trichomes of cyanobacteria and coccoidal bacteria between more compact layers of stromatolite.





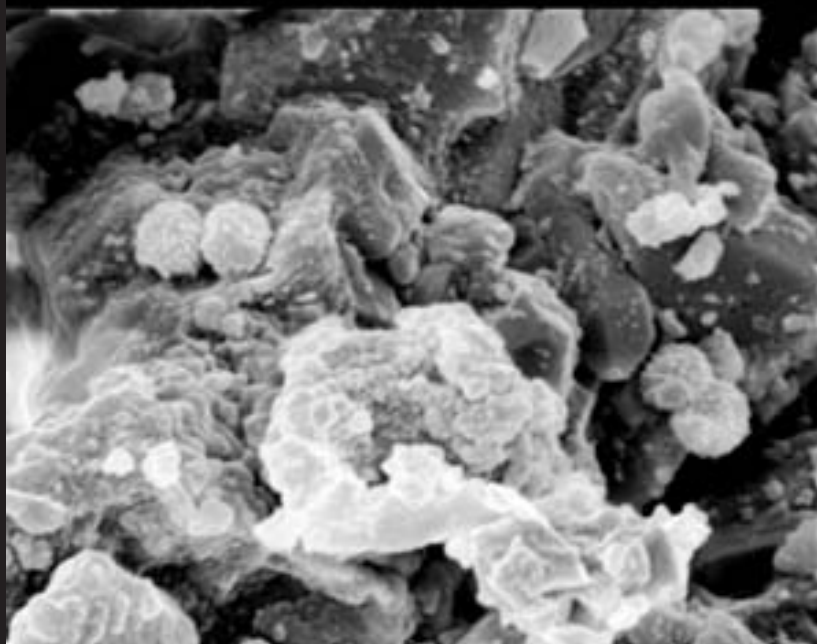
10  $\mu\text{m}$  

1



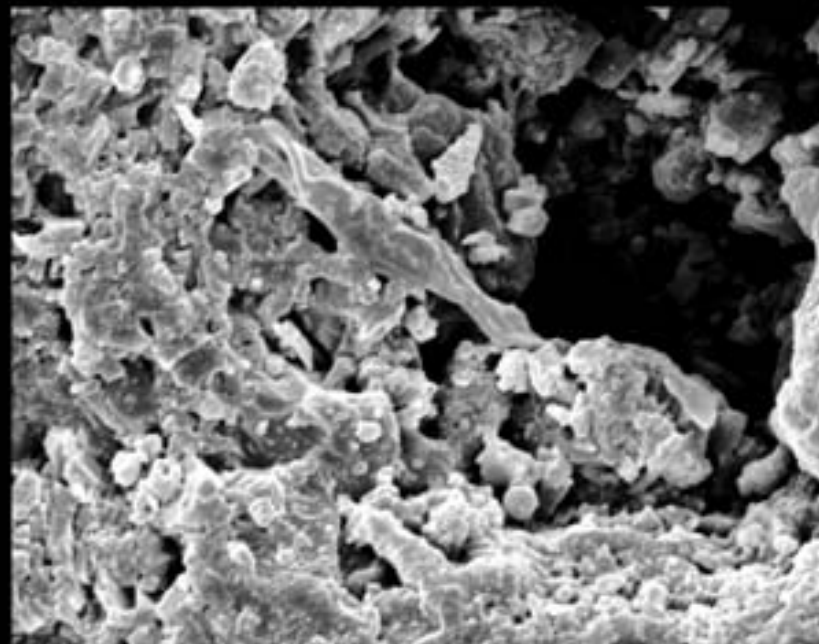
10  $\mu\text{m}$  

2



3  $\mu\text{m}$  

3



10  $\mu\text{m}$  

4

## Таблица XXII

Строматолиты и оолиты из карьера Хезеберг; нижний триас, Нижняя Саксония, Германия (фиг. 1–3) и цианобактерии из сарматских известняков п-ва Тамань (образец Ю.В. Ростовцевой, МГУ) (фиг. 4).

Фиг. 1. Участок стенки в карьере Хезеберг с выходами строматолитов с линзами и прослоями оолитов, «строматолиты и оолиты Е. Кальковского». Уменьшено в 8 раз.

Фиг. 2. Образец с оолитами из этого местонахождения.

Фиг. 3. Тот же образец. Между отдельными оолитами видны обрывки fossilized трихомов цианобактерий (стрелка).

Фиг. 4. Карбонатизированные нити цианобактерий среди сарматских (миоцен) известняков п-ва Тамань.

## Plate XXII

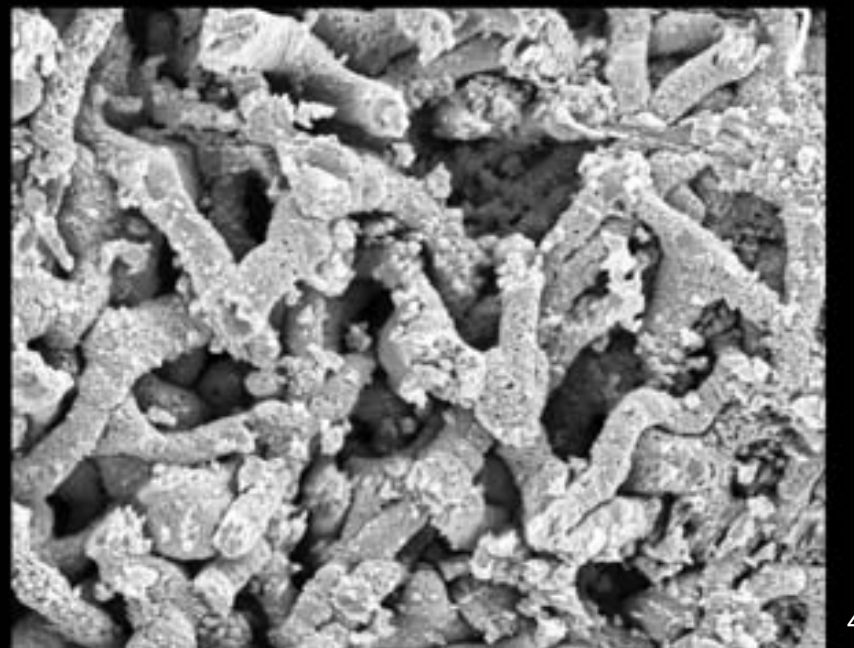
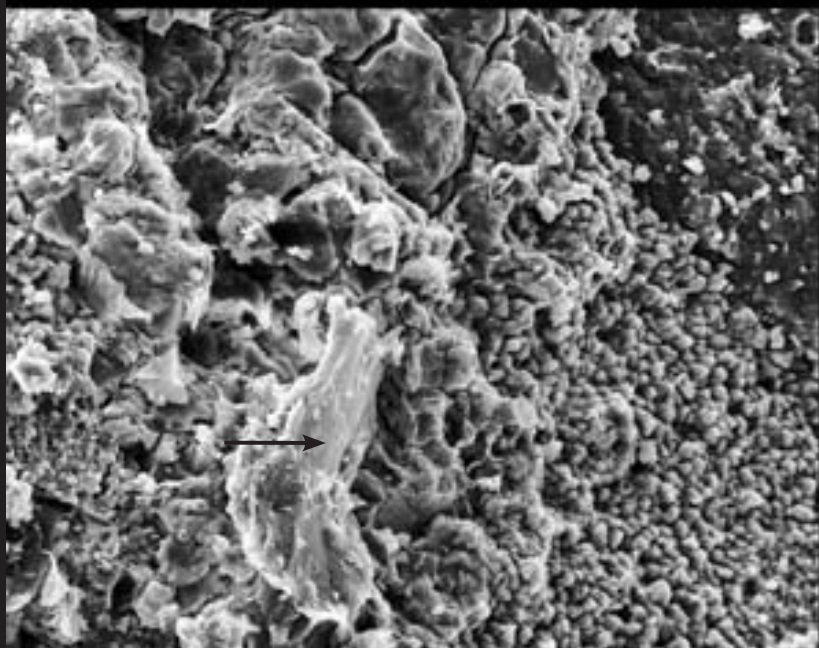
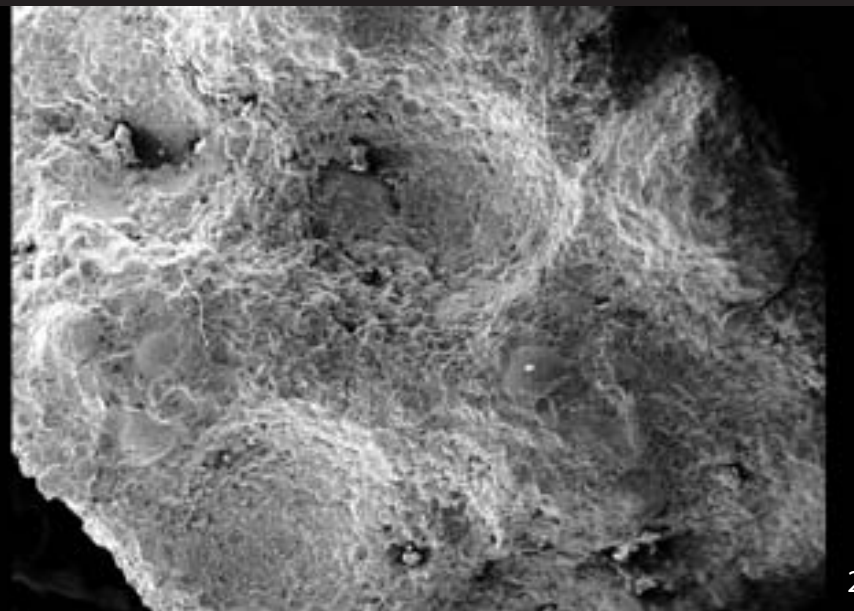
Stromatolites and oolites from Heeseberg Quarry, Lower Triassic, Lower Saxony, Germany (figs. 1-3) and cyanobacteria from Sarmatian limestone, Taman peninsula (Speciment of Yu.V. Rostovtseva, Moscow State University) (fig. 4).

Fig. 1. The wall in the Heeseberg Quarry with stromatolites and oolites – «Outcrop – Kalkowsky stromatolites and oolites». Lower Saxony, Germany, Lower Triassic. Reduced in 8 times.

Fig. 2. Sample with oolites from the same locality.

Fig. 3. Fragments fossilized cyanobacteria trichomes between oolites.

Fig. 4. Carbonized trichomes of cyanobacteria in Sarmatian limestone.



### Таблица XXIII

Юрские фосфатные строматолиты из восточной части Восточно-Европейской платформы (образцы В.В. Силантьева, Казанский государственный университет).

Фиг. 1. Участок слоистого строматолита, можно видеть чередование более плотных и более рыхлых слоев.

Фиг. 2. То же, увеличено.

Фиг. 3. Органо-минеральный слой строматолита со срезами раковин фораминифер, заключенных между слоями.

Фиг. 4. Фосфатизированные бактериальные тела, заключенные в рыхлом слое между более плотными слоями в строматолите.

### Plate XXIII

Jurassic phosphate stromatolites from east part of East-European platform (specimen of V.V. Silantiev, Kazan State University).

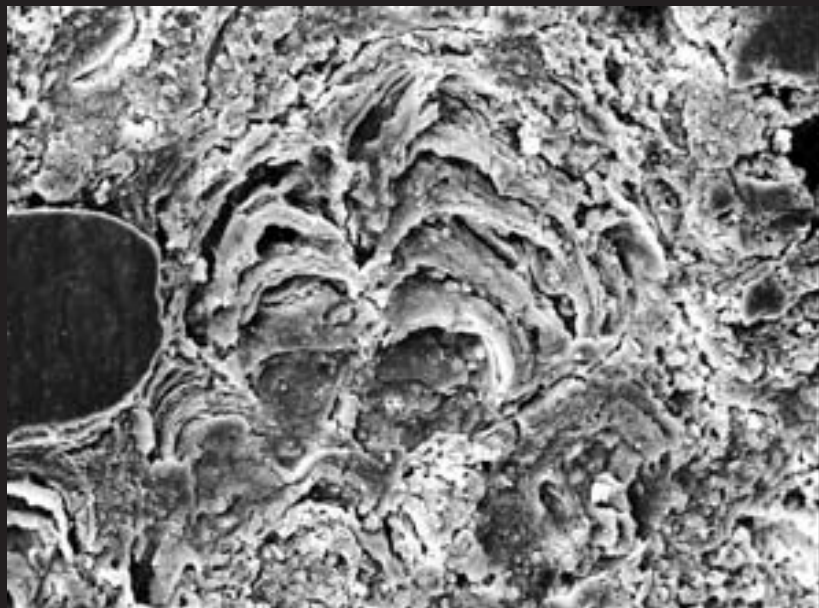
Fig. 1. Alternation of more compact and more friable layers in stromatolite.

Fig. 2. The same, magnified.

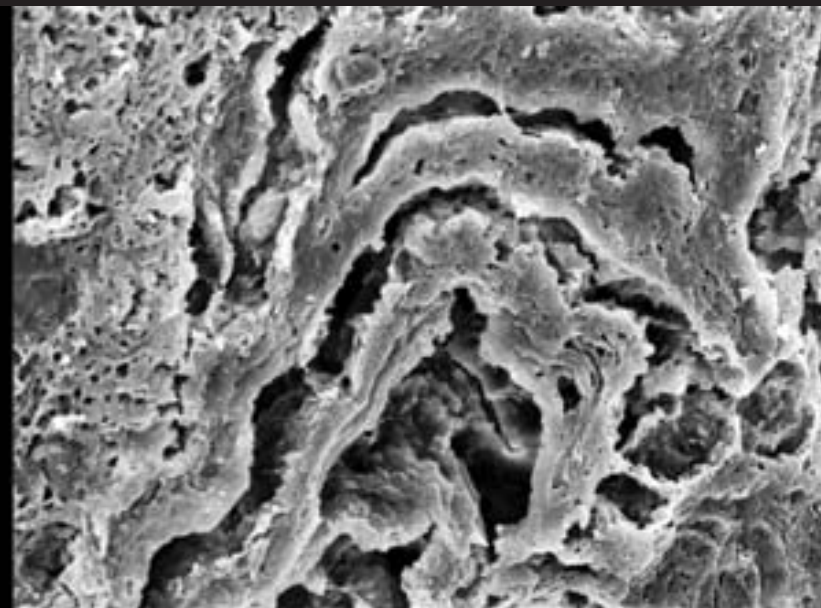
Fig. 3. Organo-mineral layers of stromatolite with sections of foraminifera shells included between layers.

Fig. 4. Phosphatized bacteria bodies in the friable layer disposed between more compact layers.

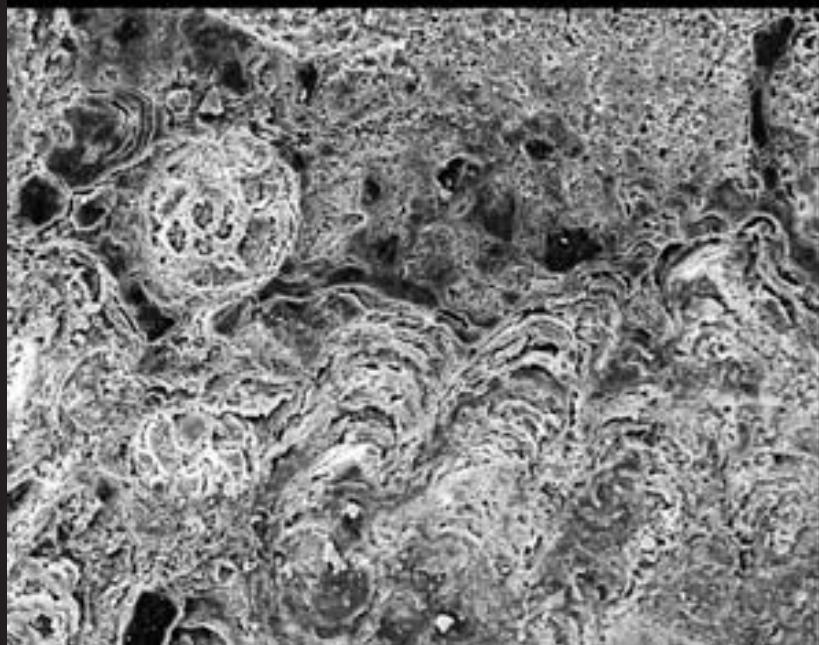




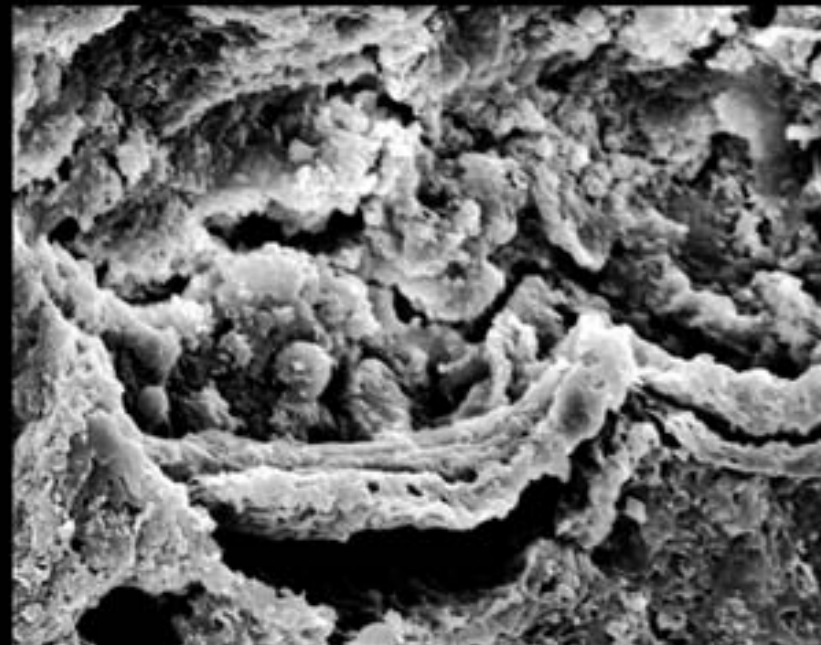
30 μm



10 μm



100 μm



10 μm

### Таблица XXIV

Миоценовые строматолиты в районе оз. Марфовское (Крым, Керченский п-ов),  
слагающие здесь крупные биогермы.

Фиг. 1. Пришлифованный участок образца строматолита, состоящий из чередования светлых плотных карбонатных и гораздо более рыхлых темных Mn-содержащих слоев.

Фиг. 2. Фоссилизированный бактериальный мат, содержащий Mn, из темного более рыхлого слоя строматолита.

Фиг. 3. Содержащие марганец фоссилизированные гликокаликс и бактериальные тела в темном рыхлом слое строматолита.

Фиг. 4. Минерализованные, Mn содержащие скопления остатков, похожих на зеленую водоросль *Pseudendoclonium submarinum* в темном слое строматолита.

### Plate XXIV

Miocene stromatolites near the Lake Marphovskoe (Kerch peninsula, Crimea),  
making large bioherms.

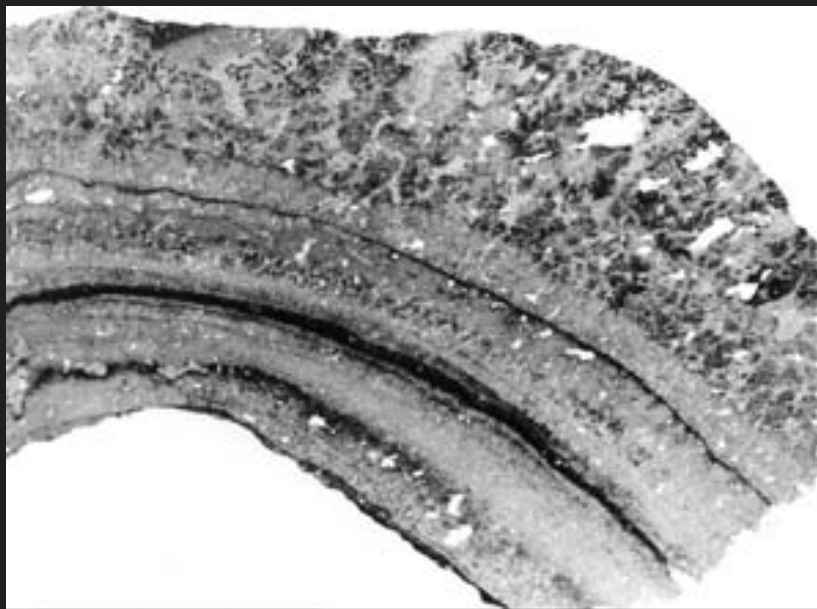
Fig. 1. Polished sample of stromatolite consisting of alternation of more compact carbonate and darker, more friable Mn-containing layers.

Fig. 2. Fossilized bacterial mat containing Manganese from dark friable layer of stromatolite.

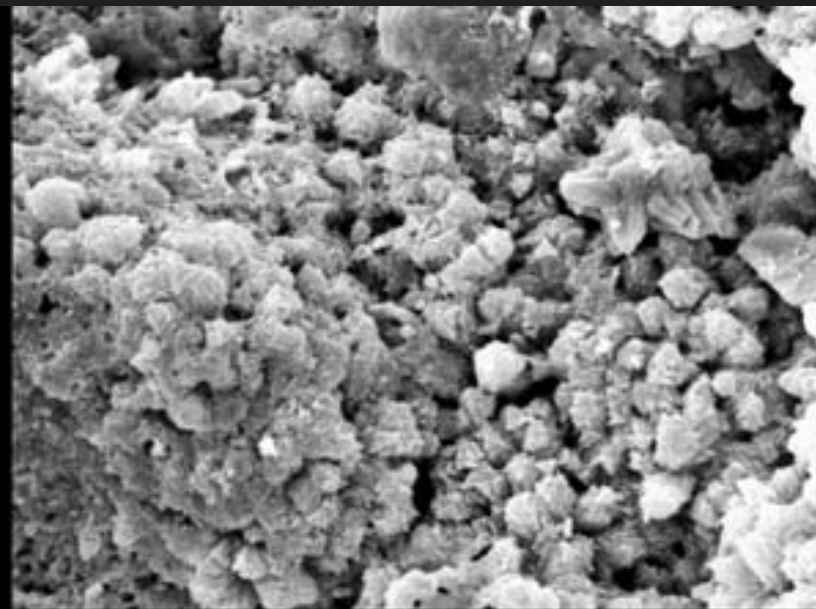
Fig. 3. Fossilized glycoalyx and bacterial bodies containing Mn in the dark friable layer of stromatolite.

Fig. 4. The concentration of remains similar to the green algae *Pseudendoclonium submarinum*, containing Mn from the dark layer of the stromatolite.

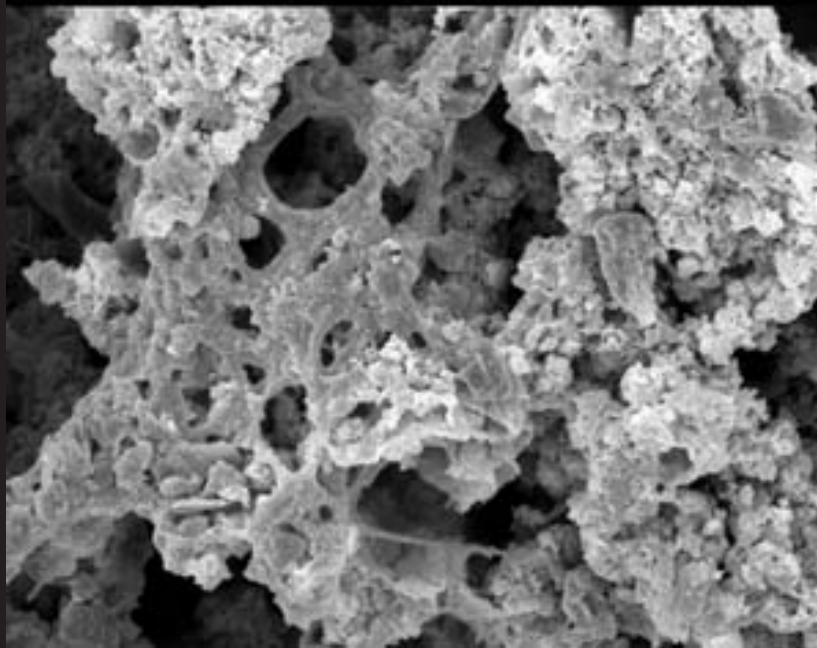




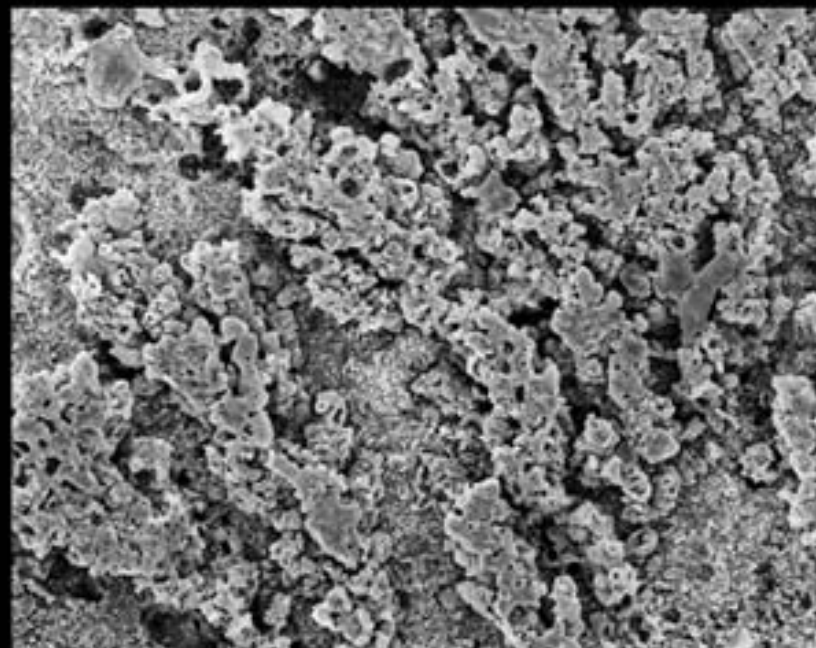
1



2



3



4

1 cm

10 μm

30 μm

100 μm

**Таблица XXV**

Фиг. 1. Участок фосфорита, состоящий из микрожелвачков, погруженных в карбонатный цемент, подтравлено слабой соляной кислотой; поэтому желвачки, сложенные фосфатом кальция, немного выступают.

Фиг. 2. Микрожелвачок из фосфорита с пустотами от отдельных трихомов цианобактерий или от их пучков, содержащих по несколько трихомов; матрикс состоит из псевдоморфоз, возможно, по пурпурным бактериям; вероятно, в начале процесса фосфатизации трихомы цианобактерий покинули уже образовавшиеся чехлы.

Фиг. 3. Желвачок, состоящий из микроонколита; его центральная часть и концентрические слои сложены скоплениями фосфатизированных псевдоморфоз по разного типа бактериям – кокоидным и нитевидным; на периферии между концентрическими слоями видны трихомы цианобактерий; образование онколитов тоже тесно связано с деятельностью цианобактерий.

Фиг. 4. Фрагмент того же микроонколита, увеличено.

**Plate XXV**

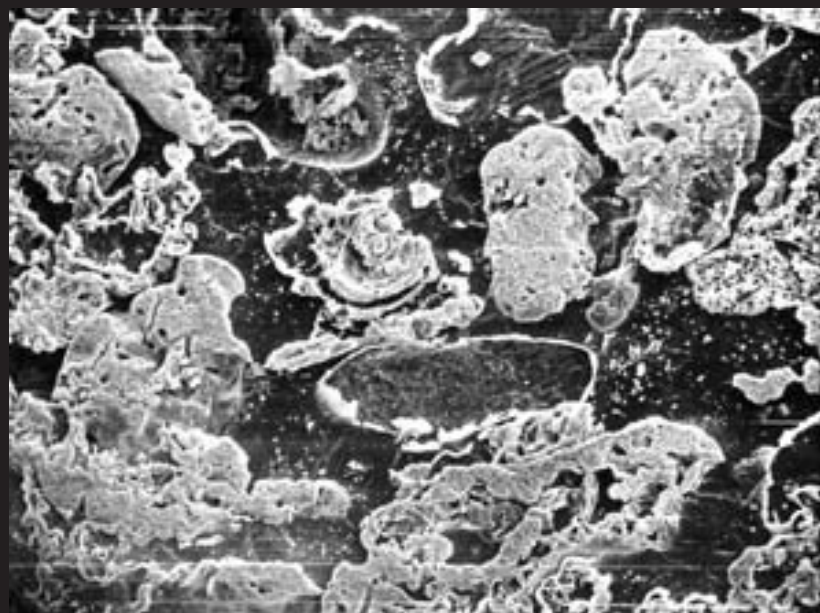
Fig. 1. Fragment of phosphorite consisting of several micronodules, embedded in carbonate; etched by weak hydrochloric acid, to increase visibility of the calcium phosphate nodules.

Fig. 2. Micronodule in phosphorite with cavities from trichomes or sheaths of cyanobacteria; the matrix probably consists of pseudomorphs after purple bacteria. Cyanobacterial trichomes likely left the sheaths in the beginning of the phosphatization process.

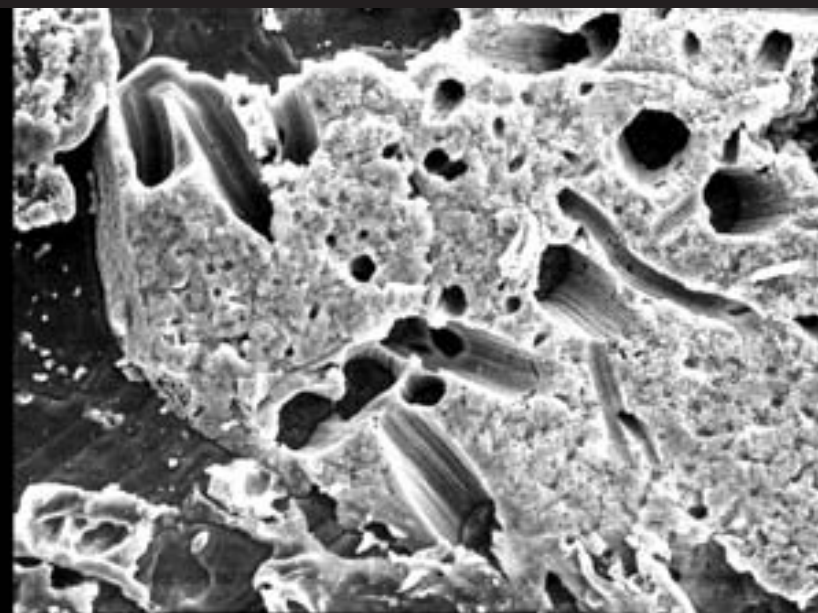
Fig. 3. Micronodule consisting of microonkolite; central part and concentric layers are composed by phosphatized pseudomorphs of different coccoidal and filamentous bacteria. The formation of oncolites is connected with cyanobacterial activity as well.

Fig. 4. Fragment of the same sample, enlarged.

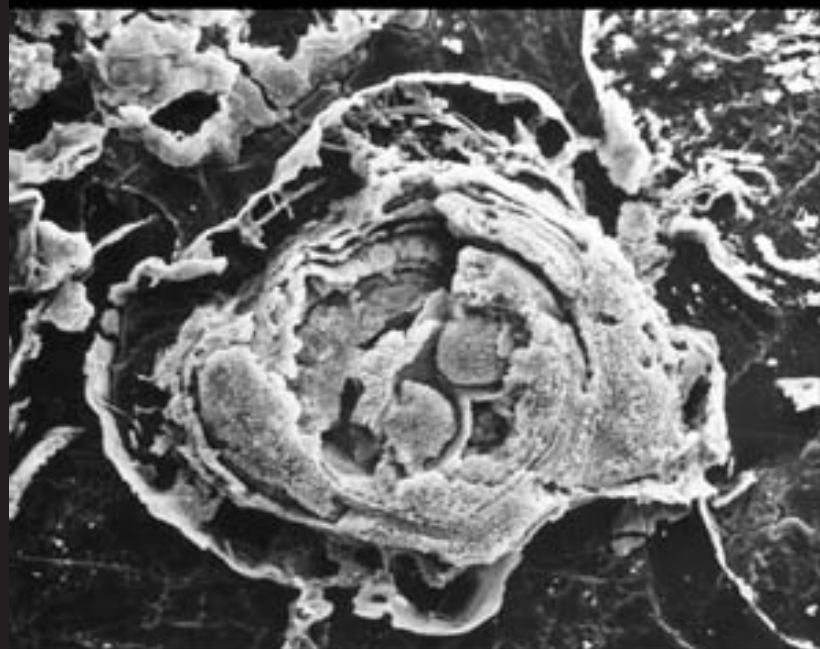




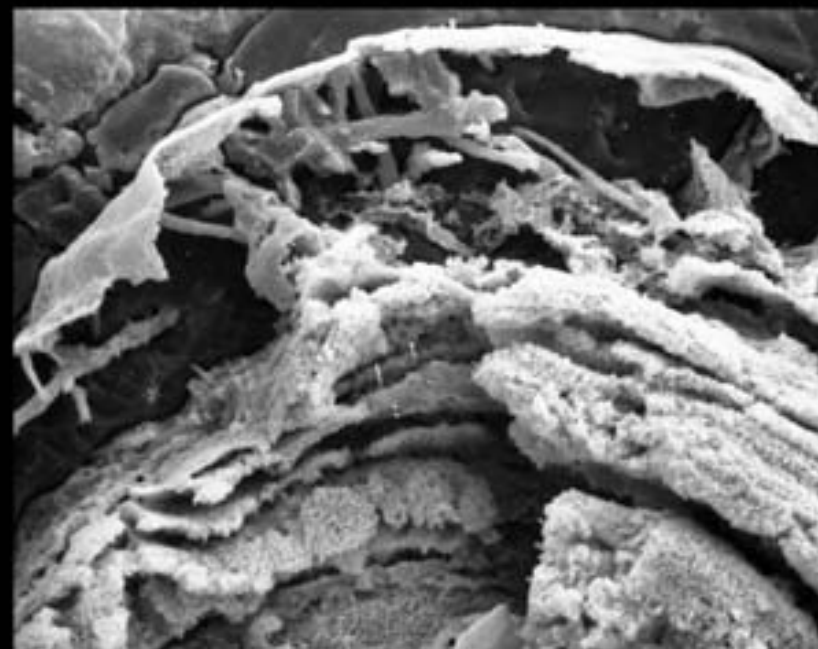
1



2



3



4

100 μm

10 μm

100 μm

30 μm

## Таблица XXVI

Фиг. 1. Фрагмент фосфорита с фосфатизированными трихомами цианобактерий; хорошо видны трихомы с разным диаметром нитей от 3–5 до 0.5–1  $\mu\text{m}$ , вероятно, принадлежащие разным видам.

Фиг. 2. Часть желвачка, состоящего из онколитов. Каждый онколит образован радиально расположенными трихомами цианобактерий; центральная часть, вероятно, была занята зерном карбоната кальция, которое растворилось при подтравливании соляной кислотой.

Фиг. 3. Фрагмент того же онколита.

Фиг. 4. Фрагмент онколита с радиальным строением; видны полости от трихомов цианобактерий, их стенки, возможно, состоящие из псевдоморфоз по пурпурным бактериям, тоже входившим в состав цианобактериального мата.

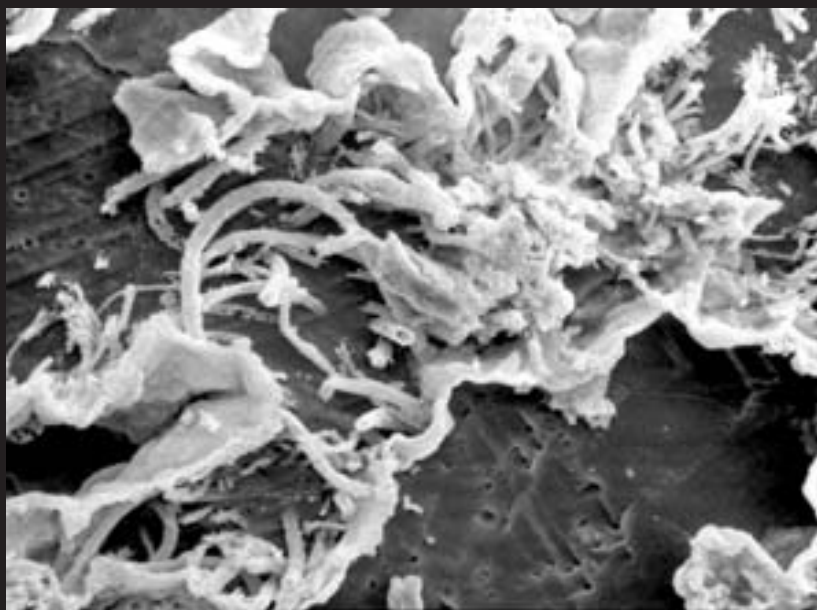
## Plate XXVI

Fig. 1. Fragment of phosphorite with phosphatized trichomes of cyanobacteria; trichomes of different diameters (ranging from 3–5 to 0.5–1  $\mu\text{m}$ ) are visible suggesting they probably belong to different species.

Fig. 2. Fragment of micronodule consisting of oncolites. Every oncolite is formed by radial disposed trichomes of cyanobacteria. The central part was occupied by calcium carbonate what was dissolved by the hydrochloric acid.

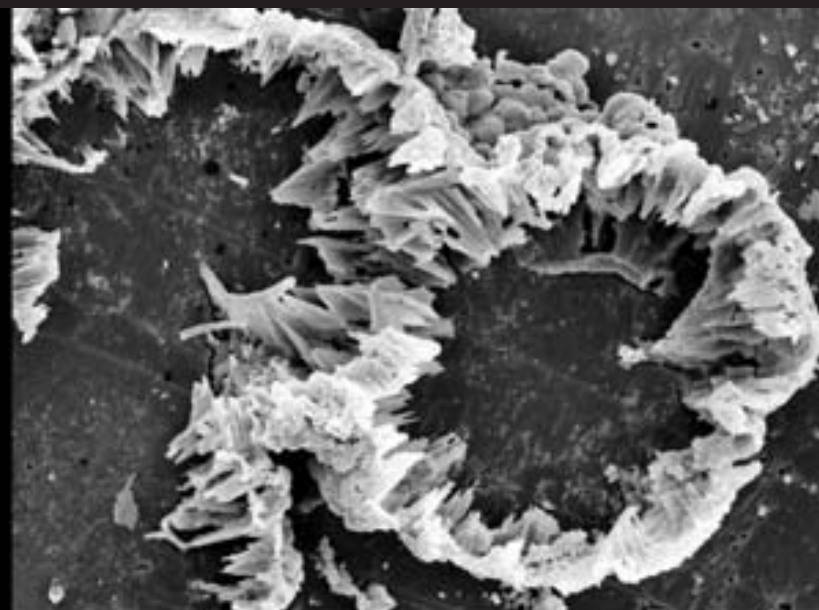
Fig. 3. Fragment of the same oncolite, enlarged

Fig. 4. Fragment of oncolite with radial structure. The cavities from cyanobacteria trichomes are seen; their wall probably consists of pseudomorphs after purple bacteria.



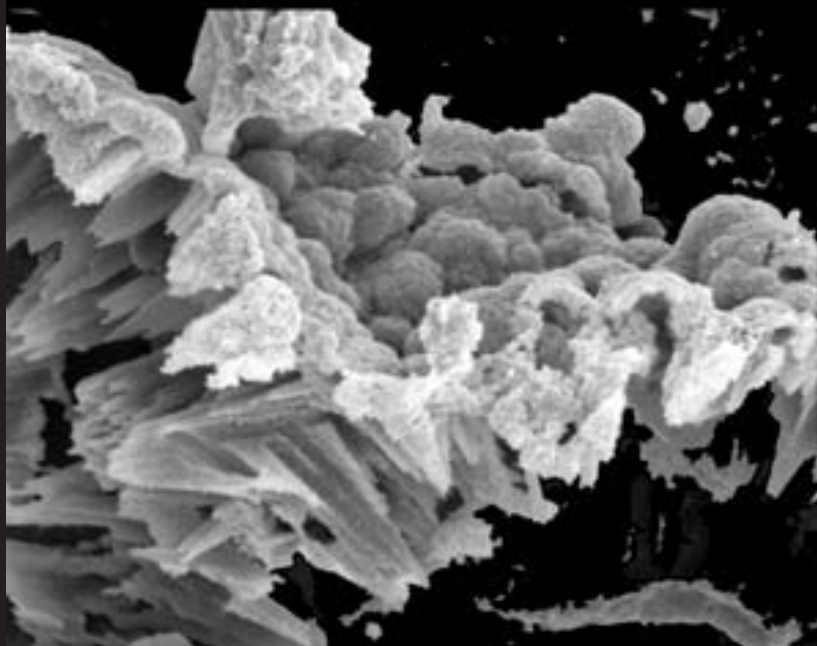
1

30  $\mu\text{m}$



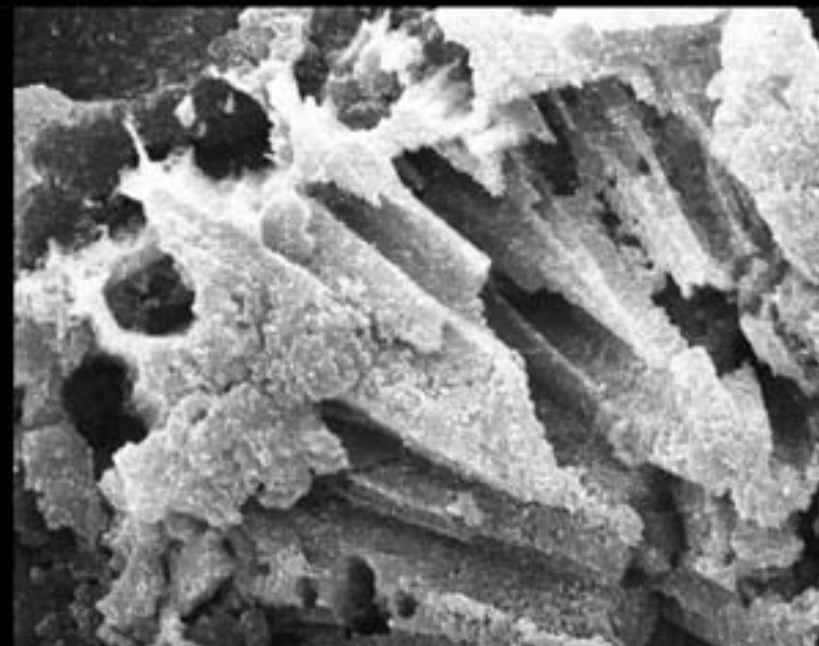
2

30  $\mu\text{m}$



3

10  $\mu\text{m}$



4

10  $\mu\text{m}$



## Таблица XXVII

Фиг. 1. Участок фосфатизированного цианобактериального мата, хорошо различимы нити цианобактерий с разным диаметром, вероятно, принадлежавшие разным видам.

Фиг. 2. Нити цианобактерий, сверху заселенные многочисленными мелкими бактериями, вероятно, одновременно с ними фосфатизированными.

Фиг. 3. Участок фосфатизированного цианобактериального мата, в котором можно различить коккоидные скопления бактерий с диаметром до 6–10  $\mu\text{m}$  и микроорганизмы веретеновидного и гантелевидного габитуса, размеры которых не превышают 1–3  $\mu\text{m}$ ; по видимому, они принадлежат пурпурным бактериям.

Фиг. 4. Трихом цианобактерии, можно видеть его клеточное строение.

## Plate XXVII

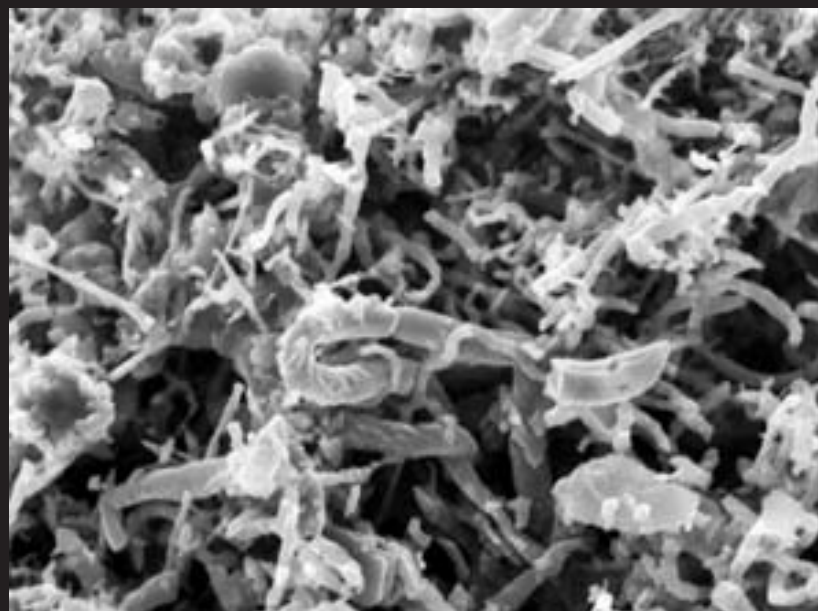
Fig. 1. Fragment of phosphatized cyanobacterial mat; cyanobacterial trichomes with different diameters are seen, probably belonging to different species.

Fig. 2. Trichomes of cyanobacteria on what numerous small bacteria are seen. They were probably phosphatized simultaneously.

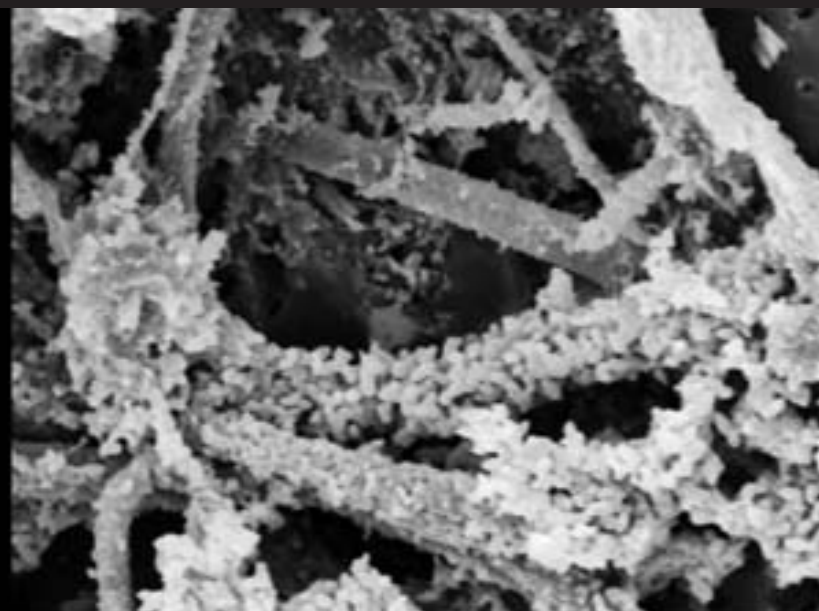
Fig. 3. Fragment of phosphatized cyanobacterial mat; groups of coccoidal bacteria with diameters 6–10  $\mu\text{m}$ , dumb-bell form and spindle form bacteria with diameters 1–3  $\mu\text{m}$  are seen; which probably belong to the purple bacteria.

Fig. 4. Trichome of cyanobacterium showing cell structure.

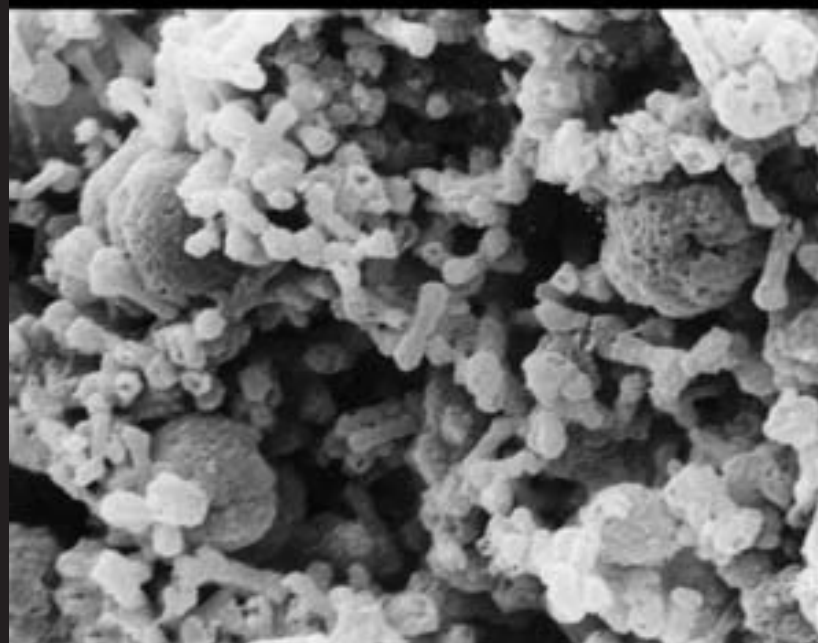




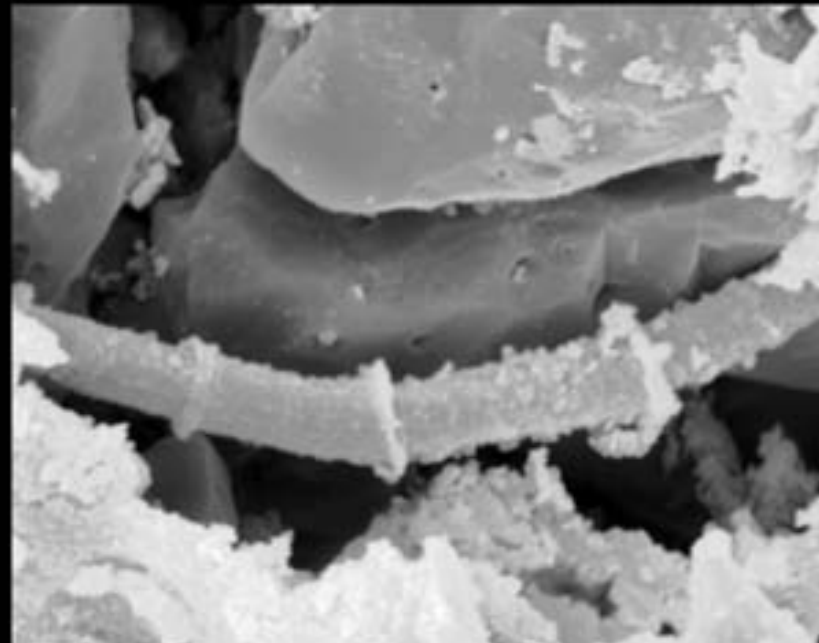
1



2



3



4

### Таблица XXVIII

Остатки фосилизованных микроорганизмов из галек нижнепротеройских фосфоритов (2.04 млрд. л.), заключенных в конгломератах в свите Пилгуяри серии Печенга, Кольский п-ов.

Фиг. 1. Скопление мелких коккоидных и гантелевидных фосфатизированных бактериальных форм (размеры до 0.5  $\mu\text{m}$ ).

Фиг. 2. Переплетение фосфатизированных бактериальных нитей.

Фиг. 3. Скопление коккоидных бактериальных форм (размеры до 4  $\mu\text{m}$ ).

Фиг. 4. Фосфатизированные переплетающиеся нити бактерий в гликокаликсе.

### Plate XXVIII

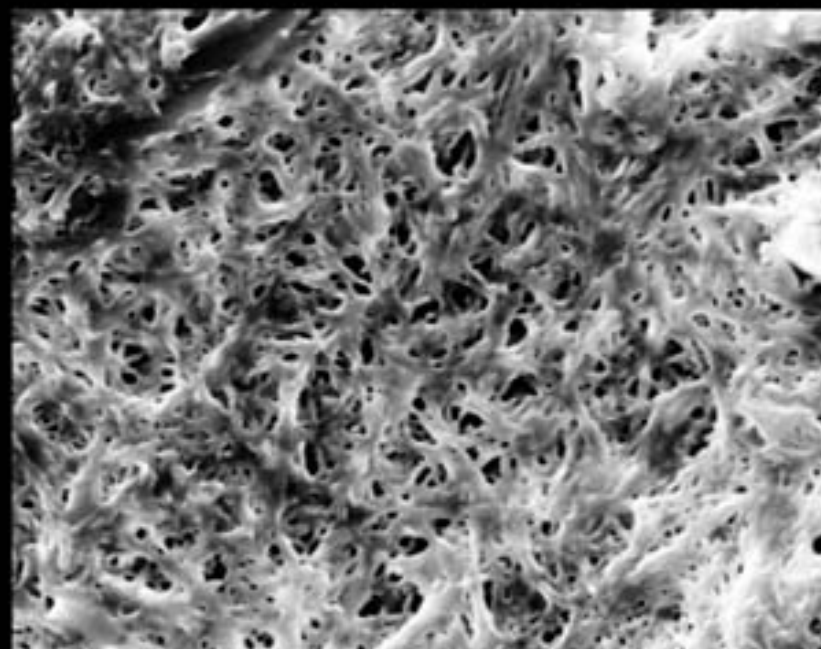
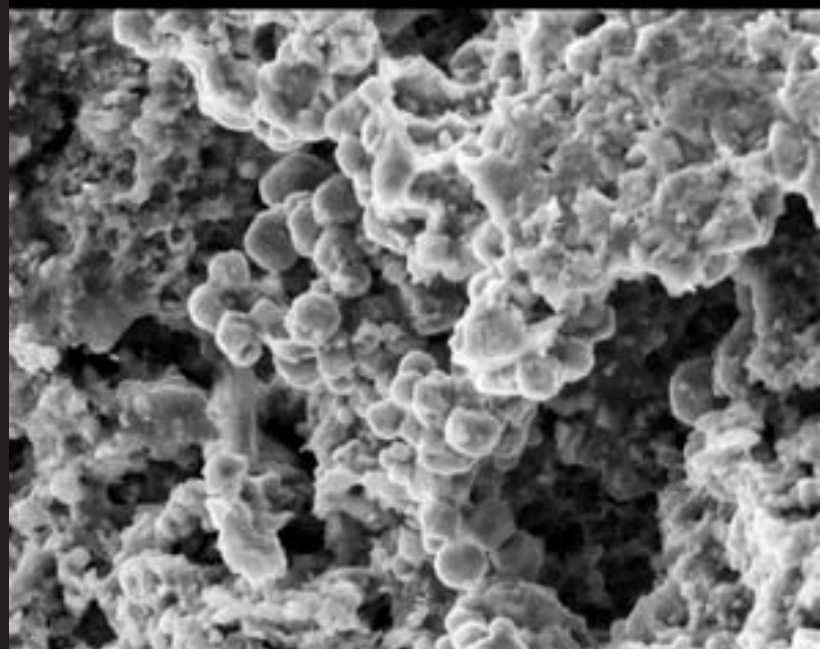
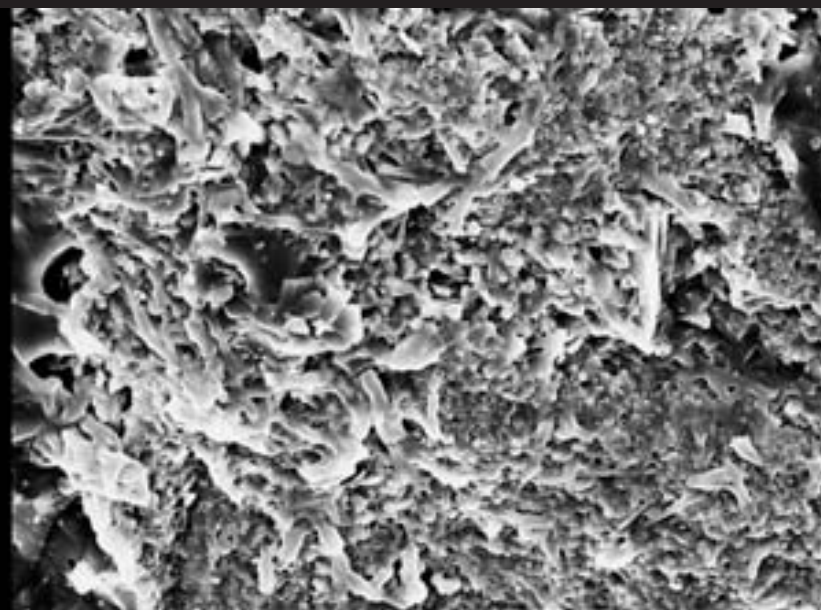
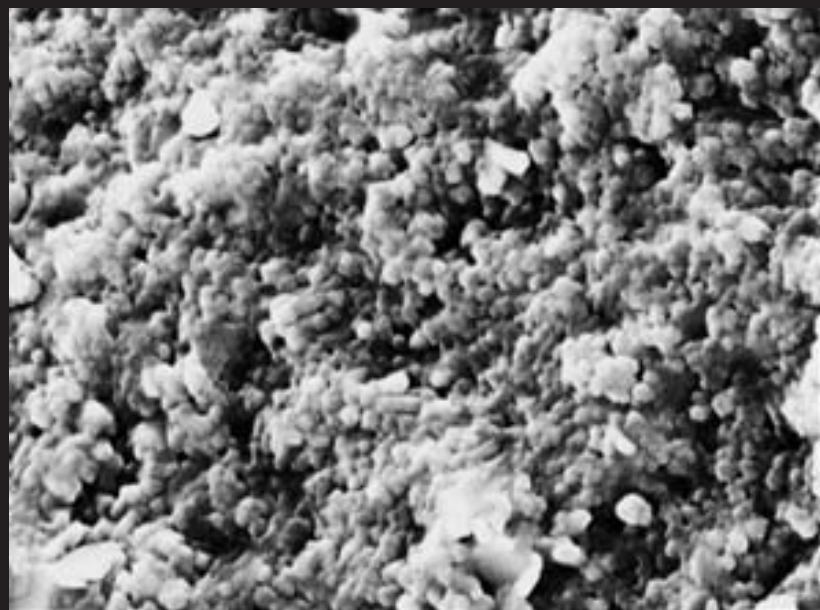
Phosphatized microorganisms from pebbles of old Lower Proterozoic phosphorites (2.04 Ga) contained in conglomerates of Formation Pilagujari, Pechenga series, Kola peninsula.

Fig. 1. Concentration of small coccoidal and dumb-bell forms of phosphatized bacteria (sizes to 0.5  $\mu\text{m}$ ).

Fig. 2. Interweaving of phosphatized bacterial threads.

Fig. 3. Concentration of coccoidal bacteria forms (sizes to 4  $\mu\text{m}$ ).

Fig. 4. Phosphatized interweaving threads of bacteria in glycocalyx.





## Таблица XXIX

Остатки фосфатизированной зеленой водоросли *Pechengia melezhiki* Rozanov and Astafieva, 2008, обнаруженные в гальках фосфорита среди конгломератов свиты Пилгуяри серии Печенга, Кольский п-ов (2.04 млрд. л.).

Фиг. 1. Округлые тела, заключенные в фосфоритовую гальку, принадлежат зеленой водоросли *Pechengia melezhiki* Rozanov and Astafieva, 2008; они характеризуются шаровидной, яйцевидной или мешковидной формой, с размерами от 30 до 130 микрон, с гладкой или слегка волнистой поверхностью, иногда с шипиками и двуслойной оболочкой с перемычками между слоями и с порами.

Фиг. 2. *Pechengia melezhiki* Rozanov and Astafieva, 2008: а – виртуальный микротомографический срез образца, содержащего фоссилизированные остатки *Pechengia melezhiki* Rozanov and Astafieva, 2008, полученные на рентгеновском микротомографе SkyScan-1172 с разрешением 4  $\mu\text{m}$ , 104 kV, 96  $\mu\text{A}$ , с использованием Al-Cu фильтра (указан стрелкой); b, c – фрагменты трехмерной реконструкции (виртуальные срезы) водоросли, выполненные на том же томографе, видны объемные бобовидные формы, состоящие из бесструктурного органического фоссилизированного вещества. Вокруг разбросаны мелкие обломки породы.

Фиг. 3. Фрагмент образца, изображенного на фиг. 1; срез через тело зеленой водоросли *Pechengia melezhiki* Rozanov and Astafieva, 2008.

Фиг. 4. Увеличенный фрагмент двойной стенки фиг. 3, хорошо видна полость между внутренним и наружным слоем фикома, перемычки между слоями, шипик на поверхности наружного слоя, окружающий тело водоросли гликокаликс.

## Plate XXIX

Remains of phosphatized green algae *Pechengia melezhiki* Rozanov and Astafieva, 2008, found in the phosphorite pebbles contained in conglomerates of Formation Pilagujari, Pechenga serie (Lower Proterozoic, 2.04 Ga), Kola peninsula.

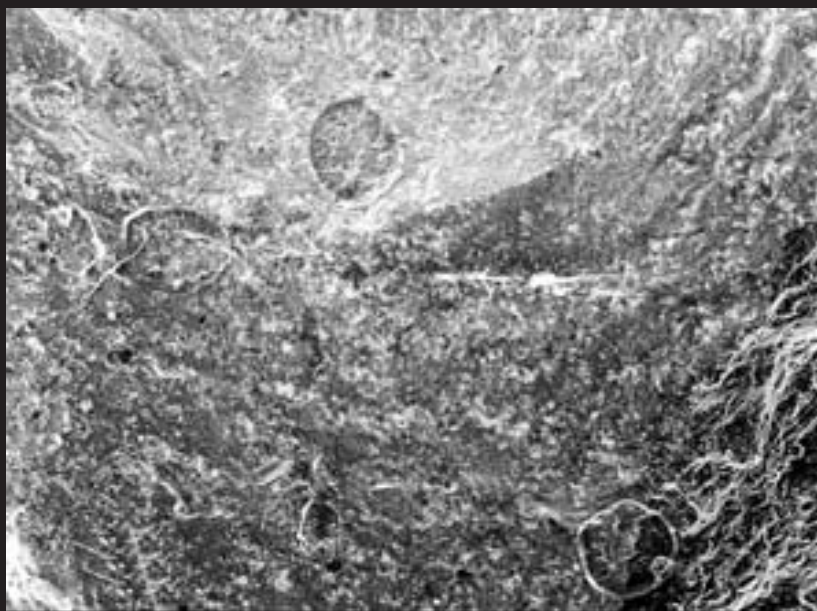
Fig. 1. Round bodies included in phosphorite pebble belong to green algae *Pechengia melezhiki* Rozanov and Astafieva, 2008. They are characterized by globe-shaped, egg-shaped or bag-shaped forms, their sizes are from 30 to 130  $\mu\text{m}$ ; the surface is smooth or weakly rippled; sometimes on the surface there are spines; the envelope is from two layers with the synaptacula between layers.

Fig. 2. Cross section through body of green algae *Pechengia melezhiki* Rozanov and Astafieva, 2008.

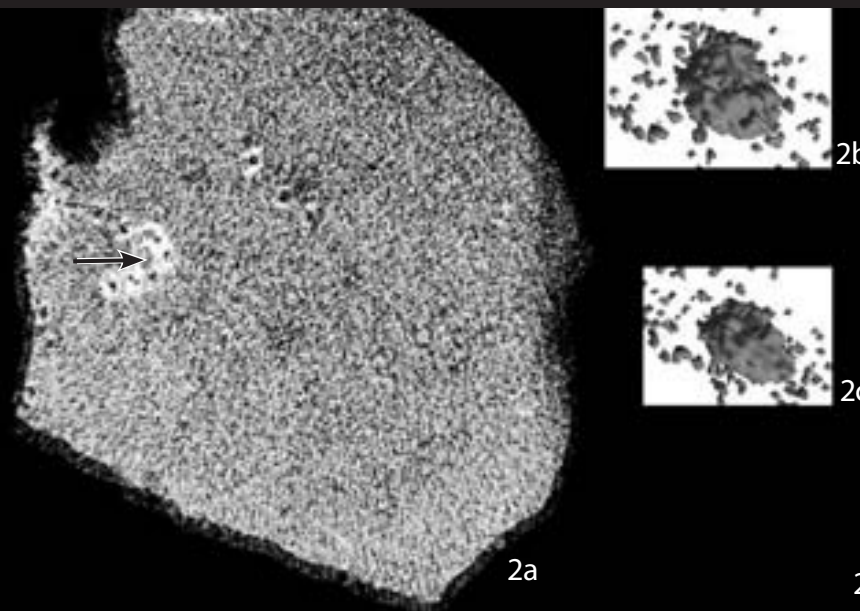
Fig. 3. Another fragment of the same sample. Cross section through body of green algae *Pechengia melezhiki* Rozanov and Astafieva, 2008.

Fig. 4. Enlarged fragment of double wall from fig. 3; the cavity between the inter and outer layers and the synaptacula between them well seen.





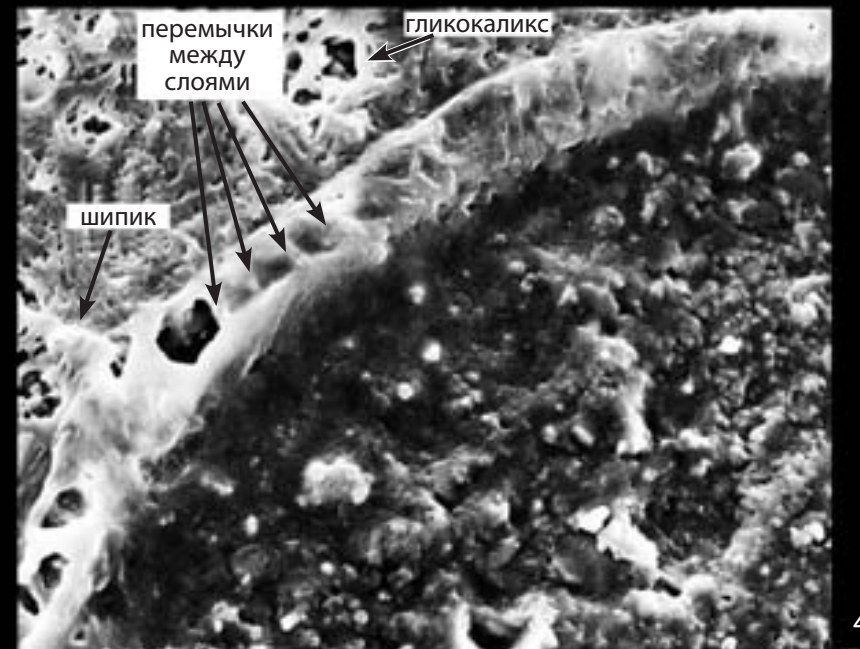
1



2



3



4

Образцы собраны вокруг термальных источников кальдеры Узон (Кроноцкий заповедник, Камчатка). Основными продуцентами Узонских цианобактериальных сообществ являются цианобактерии *Phormidium*, *Lyngbya*, *Mastigocladus*, *Oscillatoria*, одноклеточные *Synechococcus* и зеленые бактерии *Chloroflexus*. Они растут вблизи источников с температурой около 50 °С и ниже и образуют массу слоистых слизистых пленок, которые при соответствующих условиях подвергаются окремнению.

### Таблица XXX

Фиг. 1. Гейзерит – слоистые кремниевые отложения, слагающие постройки вокруг гейзеров; главная их особенность – наличие запечатанных внутри окремненных нитей синезеленых водорослей.

Фиг. 2. Тот же образец, при большем увеличении.

Фиг. 3. Поверхность кремниевого слоя с пустотами от цианобактерий.

Фиг. 4. Слой кремнезема с запечатанными внутри окремненными нитями цианобактерий, состоящими из клеток. Видно глобулярное строение клеточных стенок.

The samples were collected around term springs of caldera Uzon (Kronotz protected, Kamchatka). The filamentous cyanobacteria (*Phormidium*, *Lyngbya*, *Mastigocladus*, *Oscillatoria*), unicellular coccoidal (*Synechococcus*) and the green bacteria *Chloroflexus* are the main producers in the Uzon cyanobacterial communities. They grow near springs with temperature about 50 °C and below and form masses of laminated mucus films what are silicified under suitable conditions.

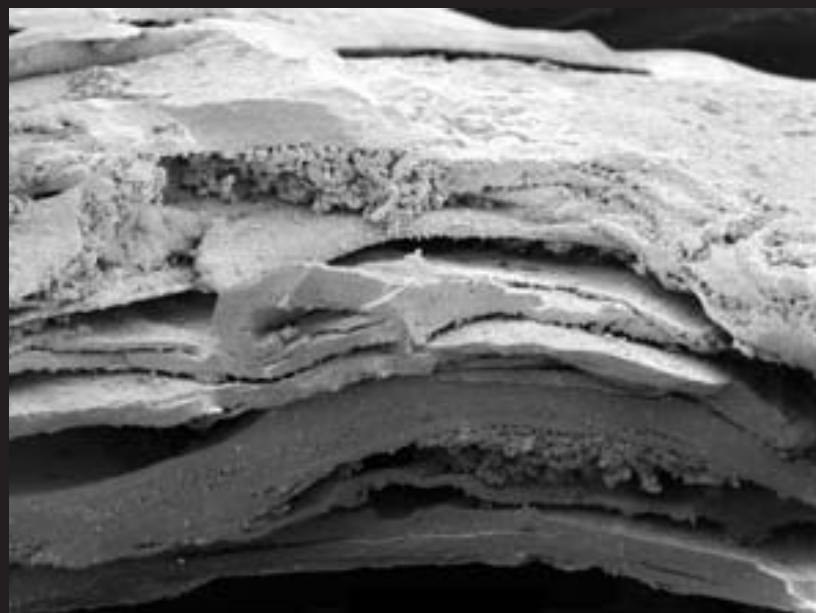
### Plate XXX

Fig. 1. Geyserite – laminated siliceous sediments, composing the construction around geysers; the principal peculiarity is the presence of silicified treads of cyanobacteria, sealed inside.

Fig. 2. The same sample, enlarged.

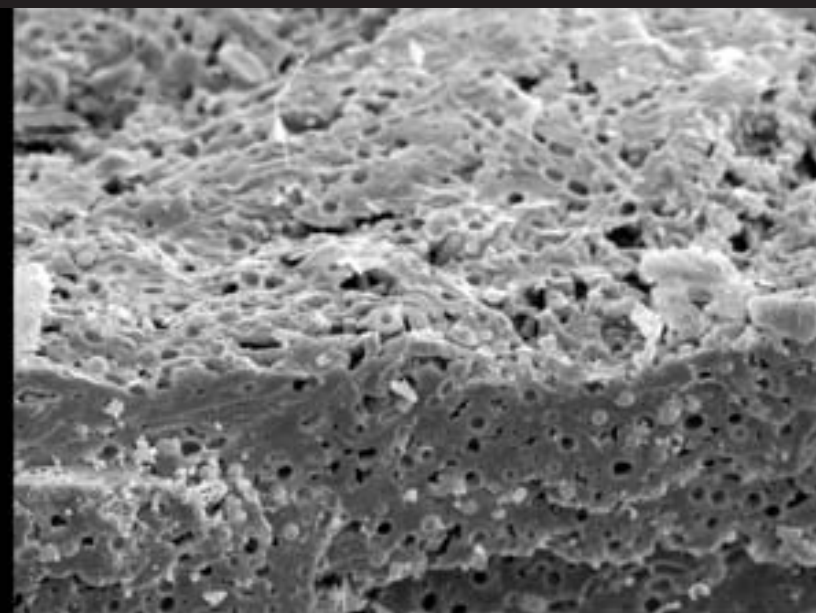
Fig. 3. Surface of the silicified layer with voids from cyanobacteria.

Fig. 4. Layer of silica with sealed silicified treads of cyanobacteria, consisting of cells. The cellular walls have globular structure.



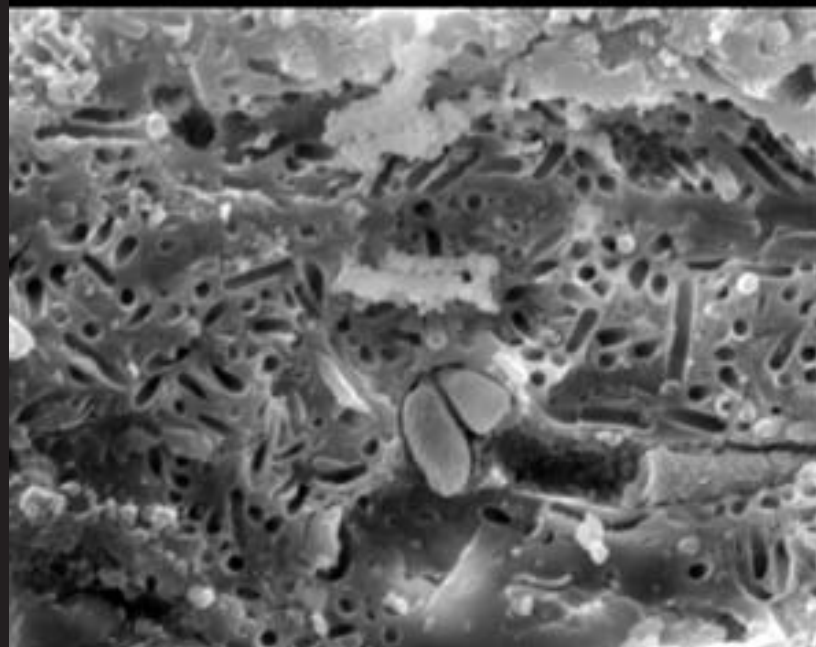
1

1000 μm



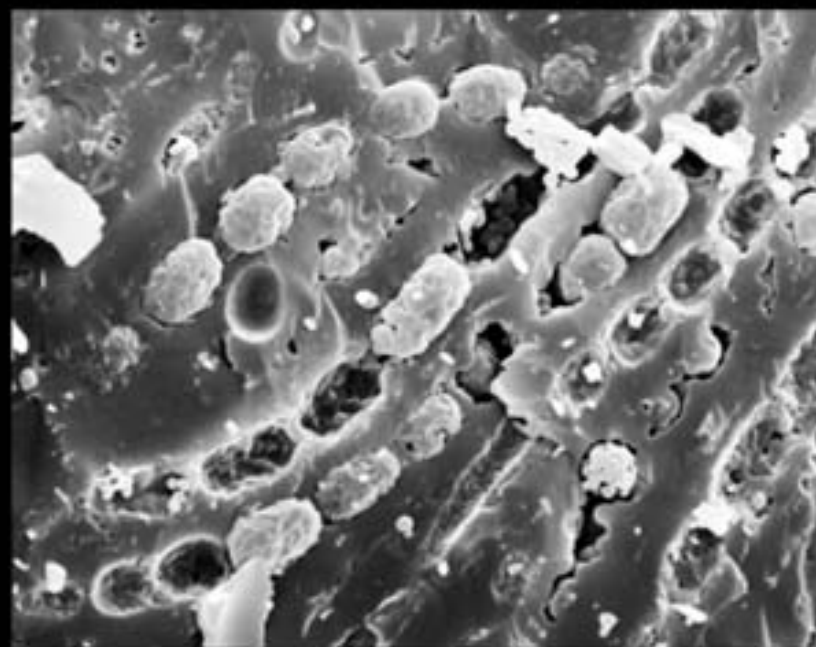
2

30 μm



3

10 μm



4

3 μm



### Таблица XXXI

Фиг. 1. Минерализованные клеточные стенки коккоидных цианобактерий в гейзерите.

Фиг. 2. Окремненные чехлы трихомов цианобактерий.

Фиг. 3. Трихомная цианобактерия с окремненным полуразрушенным содержимым

Фиг. 4. Окремненное внутреннее содержимое трихома цианобактерии внутри окремненного слизистого чехла.

### Plate XXXI

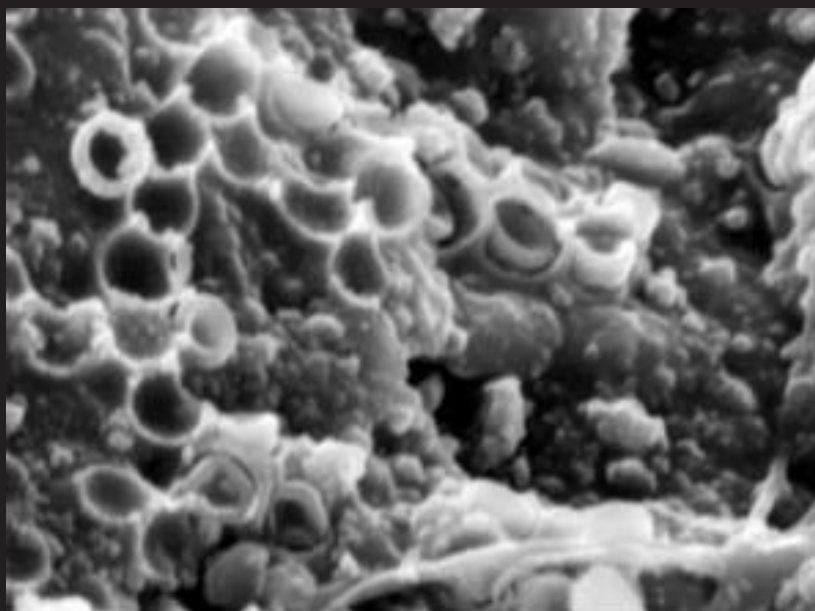
Fig. 1. Mineralized cellular walls of coccoid cyanobacteria in geyserite.

Fig. 2. Silicified sheaths of cyanobacteria trichomes.

Fig. 3. Trichome of cyanobacteria with silicified semi destroyed contents

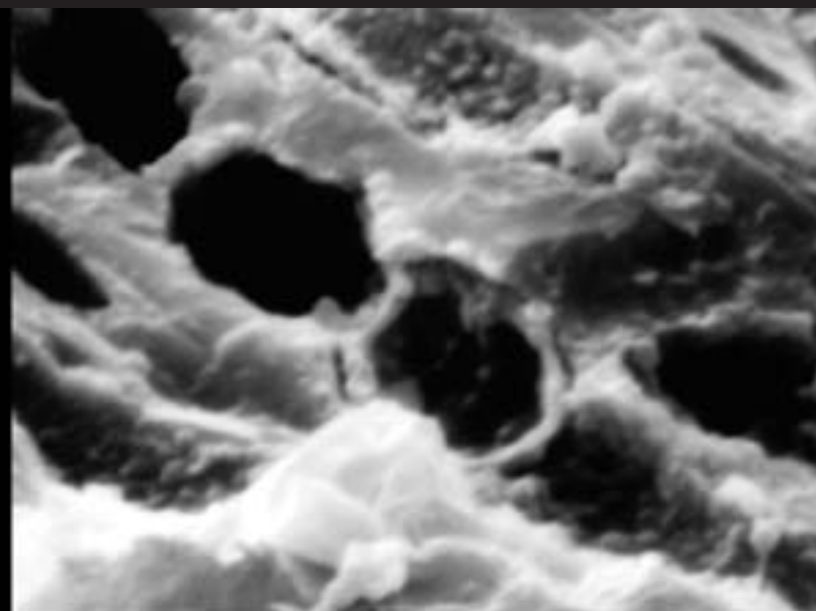
Fig. 4. Silicified inner contents of cyanobacteria trichome inside silicified mucus sheath.





1

3  $\mu\text{m}$



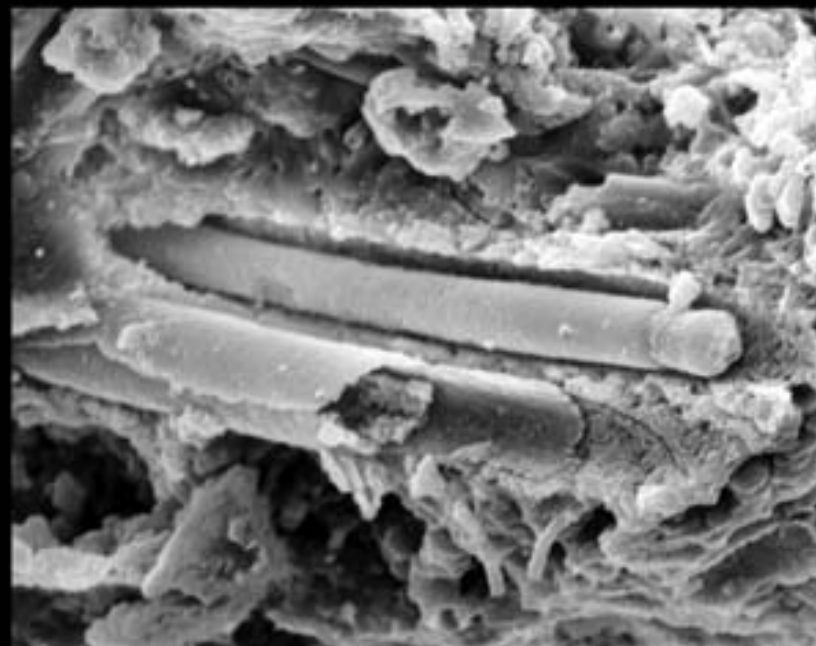
2

3  $\mu\text{m}$



3

10  $\mu\text{m}$



4

10  $\mu\text{m}$

### Таблица XXXII

Фиг. 1. Окремненная спиральная цианобактерия *Spirulina* внутри тоже окремненного слизистого чехла.

Фиг. 2. Глобулы опала на поверхности окремненных трихомов цианобактерий.

Фиг. 3. Распавшиеся на отдельные клетки трихомы цианобактерий, замещенные кремнеземом.

Фиг. 4. Замещенные кремнеземом трихомы цианобактерий.

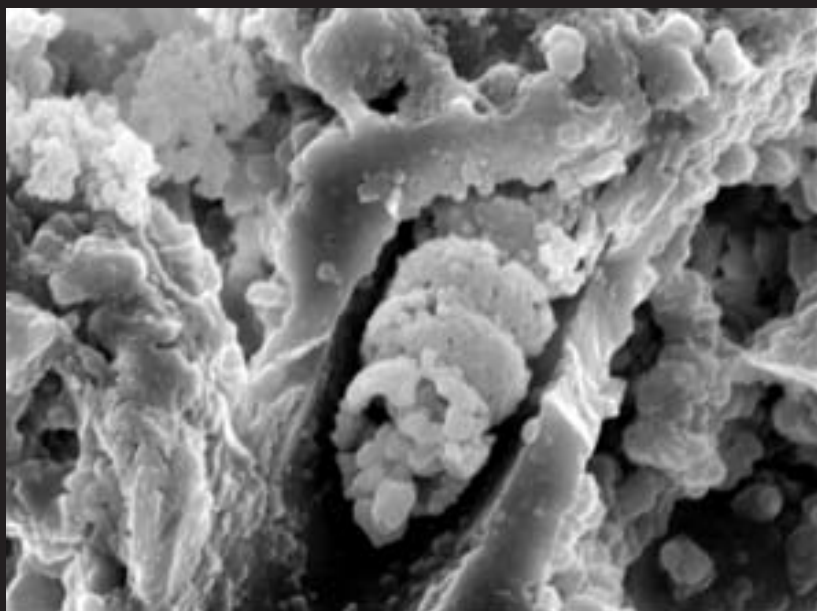
### Plate XXXII

Fig. 1. Silicified spiral cyanobacteria *Spirulina* is inside silicified mucus sheath.

Fig. 2. Globules of opal on the surface of silicified cyanobacteria trichomes.

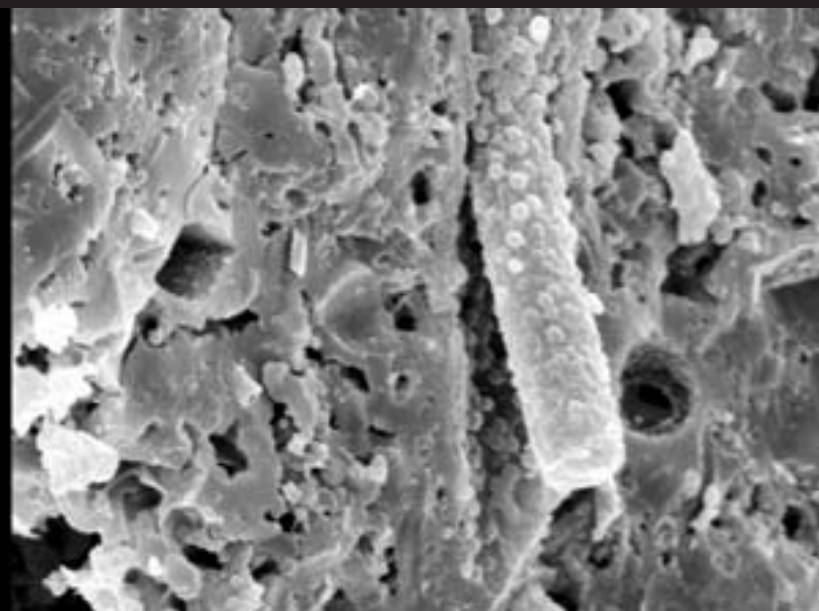
Fig. 3. Cyanobacteria trichomes disintegrated on the separate cells replaced by silica.

Fig. 4. Trichomes of cyanobacteria replaced by silica.



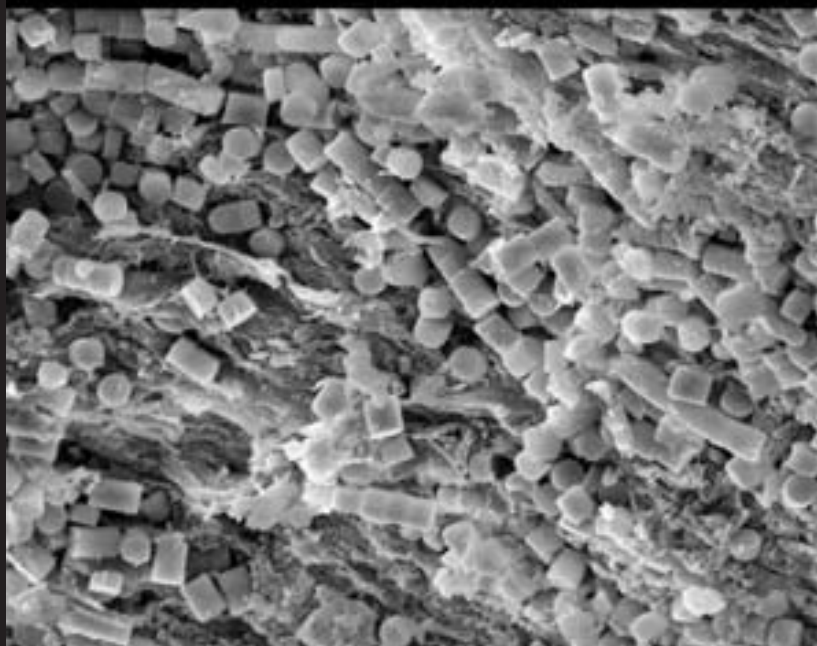
1

3  $\mu\text{m}$



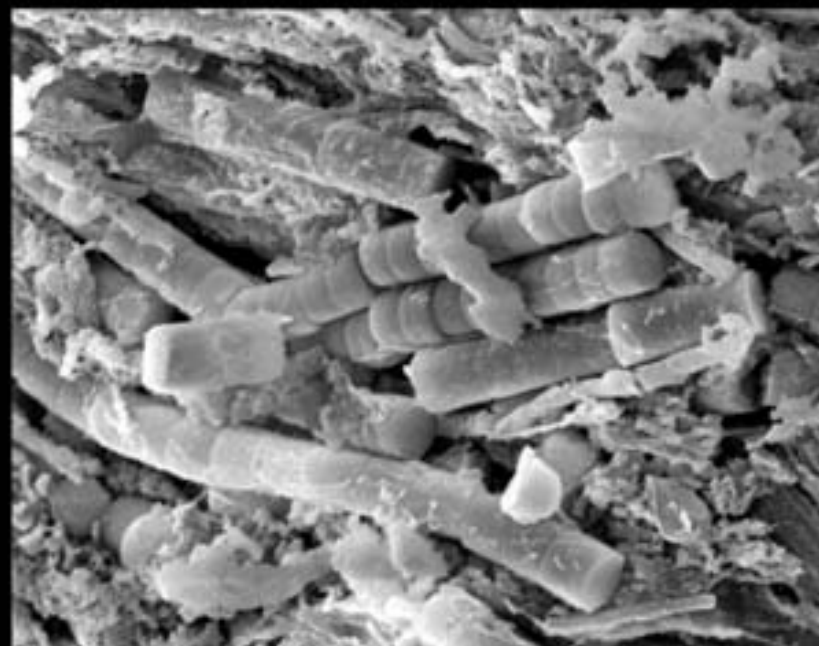
2

10  $\mu\text{m}$



3

10  $\mu\text{m}$



4

10  $\mu\text{m}$

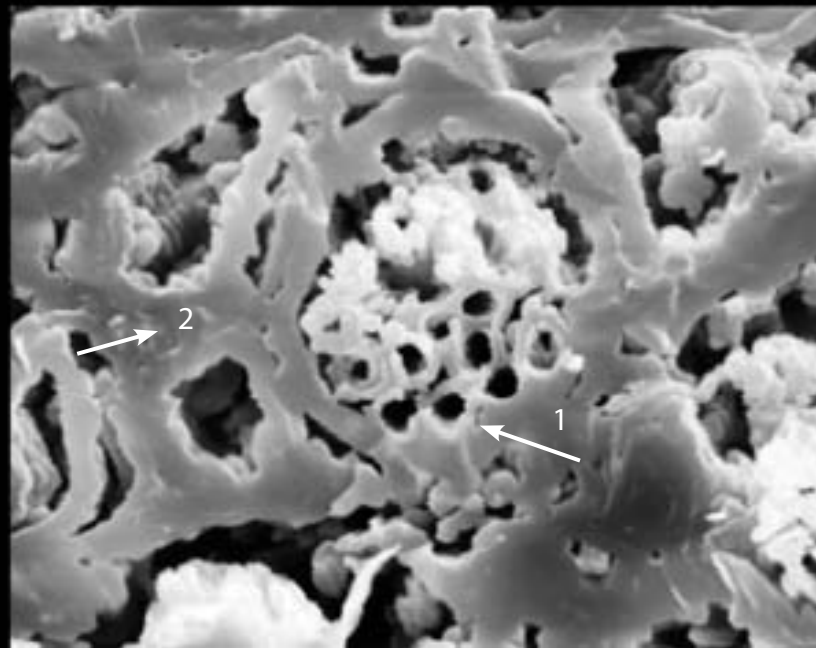
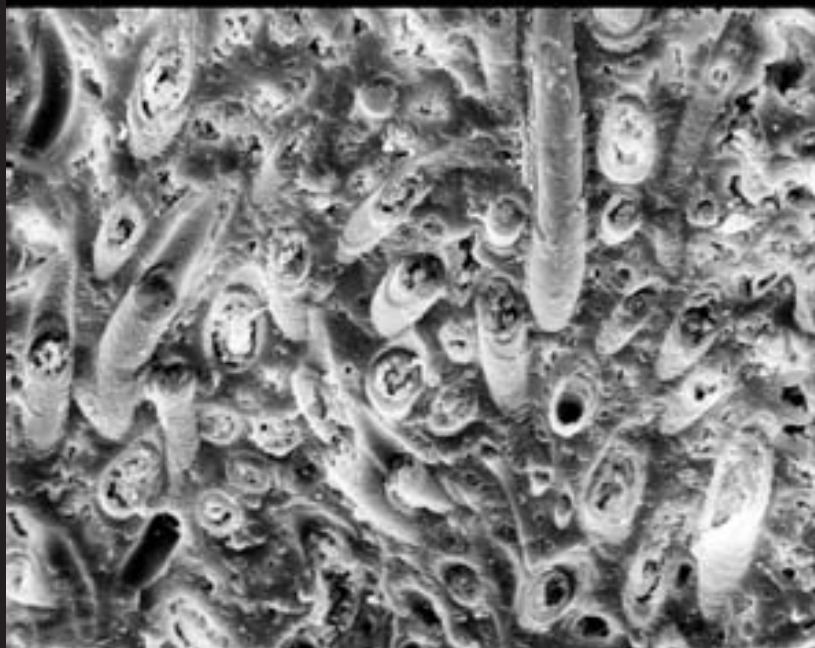
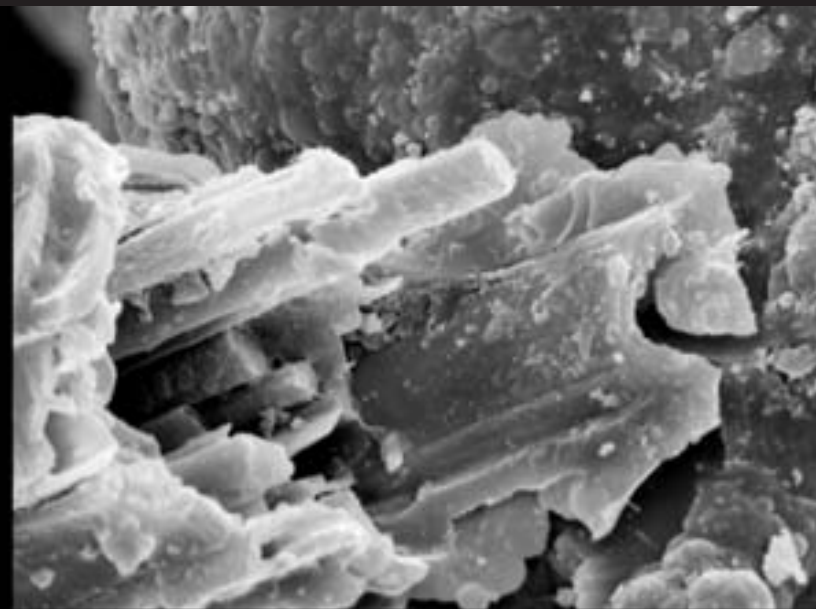
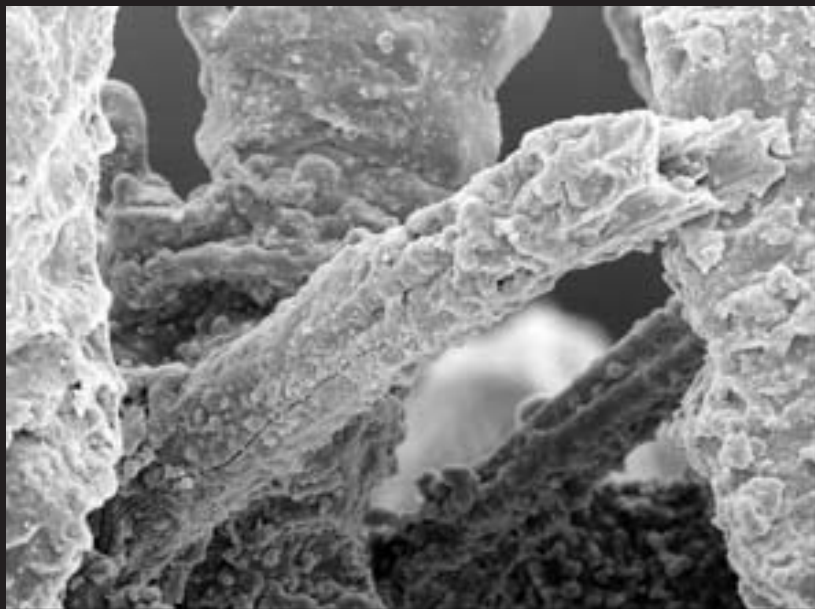
### Таблица XXXIII

- Фиг. 1. Окремненный пучок трихомов цианобактерий в общем окремненном чехле.
- Фиг. 2. То же, его конец, увеличено.
- Фиг. 3. Скол гейзерита с окремненными трихомами цианобактерий.
- Фиг. 4. Поперечный срез через окремненный пучок трихомов цианобактерий, запечатанный в гейзерите: внутри скопление (около 20) трихомов, с окремненных оболочками (стрелка 1) окруженных общим окремненным чехлом (стрелка 2).

### Plate XXXIII

- Fig. 1. Silicified bundle of cyanobacteria trichomes is in the common silicified sheath.
- Fig. 2. The same sample, magnified.
- Fig. 3. Geyserite with silicified trichomes of cyanobacteria
- Fig. 4. Transverse-section across silicified bundle of cyanobacteria trichomes, sealed in geyselite; inside the concentration of trichomes (about 20) with silicified envelopes (arrow 1), surrounded by common sheath (arrow 2).





### Таблица XXXIV

Окремнение в природных условиях. Современные микроорганизмы из минерализованного мата Паужетки (Камчатка).

Фиг. 1. Различные слои мата (поперечный срез). Наверху (1a) более рыхлые слои состоят из переплетенных трихомов окремненных цианобактерий. В середине (1б) трихомы запечатаны в более плотные минеральные слои, видны многочисленные выделившиеся глобулы опала. В нижней части (1в) и трихомы и опал превращены в плотную массу кремнезема. Сохранившаяся прижизненная морфология цианобактерий свидетельствует об очень быстрой минерализации.

Фиг. 2. Окремненные трихомы цианобактерий. Видно глобулярное строение образовавшегося опала на отдельных трихомах, соединенных слизистыми тяжами.

Фиг. 3. Окремненная оболочка коккоидной цианобактерии. На заднем плане – окремненный слизистый чехол трихома цианобактерии (*Phormidium laminosum?*), на котором видны тела бактерий.

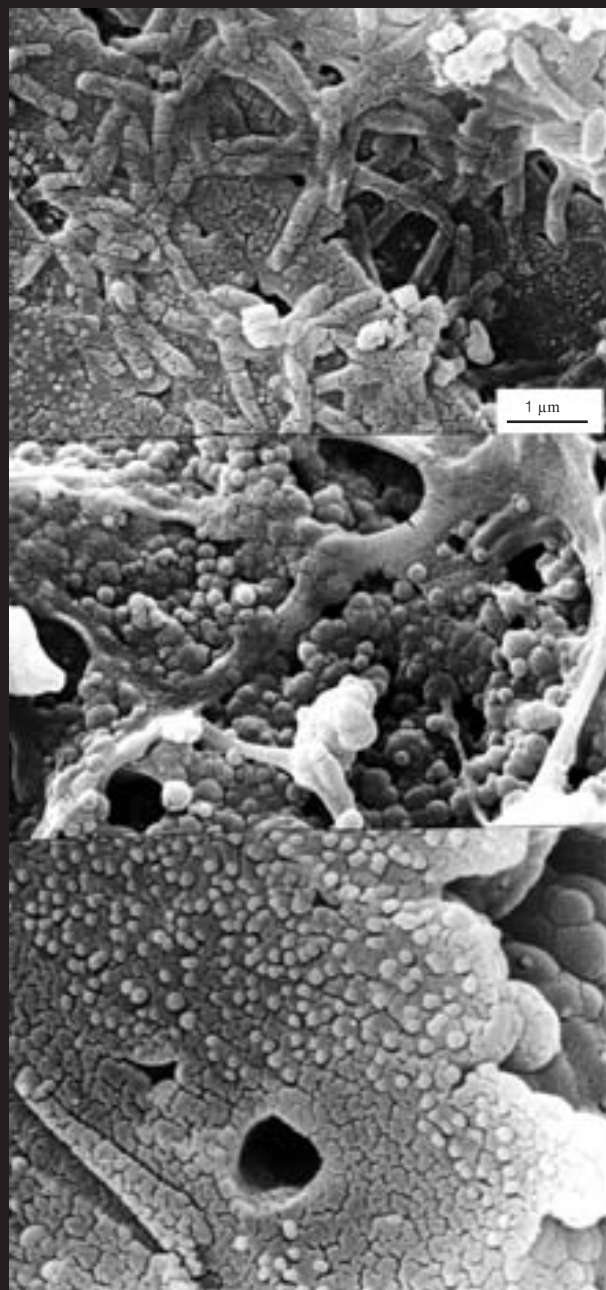
### Plate XXXIV

Silicification in nature. Recent microorganisms from mineralized mat of Pauzhetka (Kamchatka).

Fig. 1. Different layers of mat – cross section. Above (1a) – loose layers consist of interlaced trichomes of silicified cyanobacteria. In the middle (1b) trichomes are sealed in the more compact mineral beds; there are numerous separating globules of opal. In the lower part (1c) trichomes and opal are turned to solid mass of silica. Preserving life time morphology of cyanobacteria establish the very rapid mineralization.

Fig. 2. Silicified trichomes of cyanobacteria. Globular structures of formed opal on some trichomes are connected by silicified mucus strands.

Fig. 3. Silicified envelope of coccoidal cyanobacteria. On the rear surface – silicified sheath of cyanobacteria (possibly *Phormidium laminosum*) with remains of bacteria on the sheath.

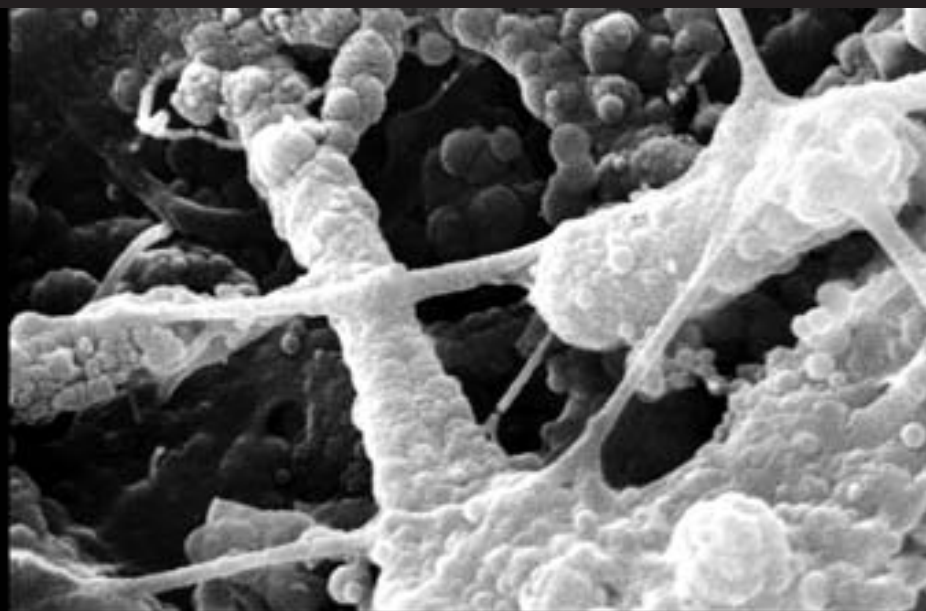


1a

1b

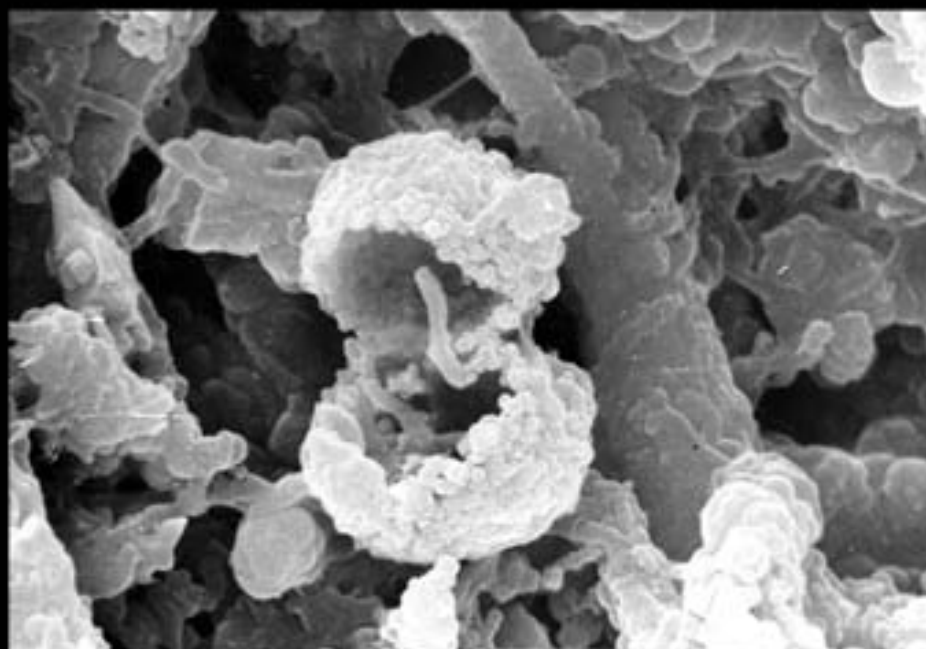
1c

1 μm



2

1 μm



3

10 μm

### Таблица XXXV

Окремнение цианобактерии *Oscillatoria terebriformis* в лабораторных опытах

Фиг. 1. Концентрация  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  – 1 г/л, длительность опыта 7 суток. Образование слоистого мата. Слева – слой с живыми нитями цианобактерий, справа – слой с минерализованным гликокаликсом и остатками мертвых цианобактерий.

Фиг. 2. Та же концентрация, что и на фиг. 1, длительность опыта 2 недели. Полное окремнение нитей цианобактерий.

Фиг. 3. Концентрация  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  – 5 г/л. Длительность опыта 24 часа. Быстрое окремнение цианобактерий с сохранением строения цианобактериальных нитей.

Фиг. 4. Та же концентрация, что и на фиг. 3, длительность опыта 42 суток. Полное окремнение цианобактериального мата и выделенной им слизи, видны деформированные нити цианобактерий, их минерализованные остатки, следы от выхода цианобактерий из минерализованного гликокаликса.

### Plate XXXV

Silicification of cyanobacteria *Oscillatoria terebriformis* in laboratory experiments.

Fig. 1. Concentration  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  – 1 g/l, duration of experiment is 7 days. The formation of layered mat: at the left – the layer with live filaments of cyanobacteria; at the right – the layer with mineralized glycoalyx and remains of dead cyanobacteria.

Fig. 2. The same concentration, as that of fig. 1; duration of experiment is two weeks. Completely silicified filaments of cyanobacteria.

Fig. 3. Concentration  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  – 5 g/l; duration of experiment: 24 hours shows rapid silicification of cyanobacteria with preservation of cyanobacterial filament structures is shown.

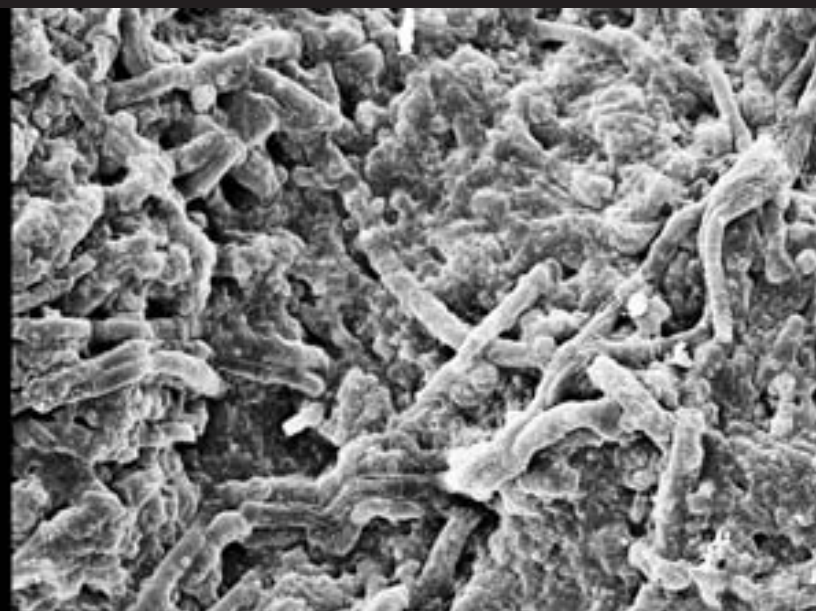
Fig. 4. The same concentration, as that of fig. 3, duration of experiment: 42 days. Total silicification of cyanobacterial mat and excreted exopolysaccharide is seen along with the mineralized remains of deformed cyanobacterial filaments and the tracks left after the trichomes exit the mineralized glycoalyx.





1

30  $\mu\text{m}$  



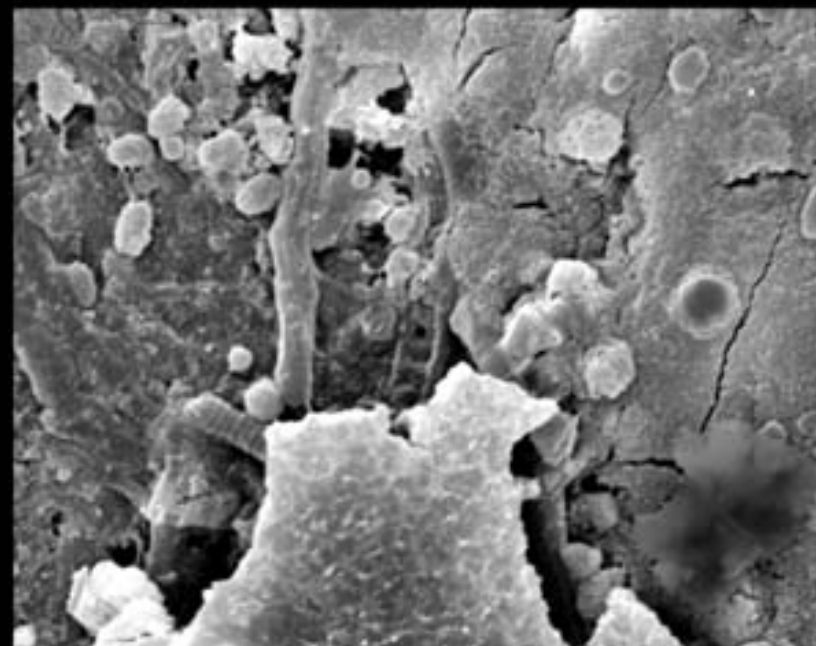
2

30  $\mu\text{m}$  



3

10  $\mu\text{m}$  



4

10  $\mu\text{m}$  

Графиты в сиенитах Ботогольского щелочного массива, Восточные Саяны; нижний девон.

**Таблица XXVI**

Фиг. 1. Общий вид минерализованного циано-бактериального мата. Трихомы часто обломанные, полые, их оболочки замещены графитом.

Фиг. 2. Переплетение нитевидных цианобактерий, слагающих фрагмент породы. Толщина трихомов около 5  $\mu\text{m}$ , иногда намечается деление на клетки.

Фиг. 3. Увеличенный фрагмент фиг. 2, видны трихомы цианобактерий разного диаметра.

Фиг. 4. Отдельные трихомы минерализованных цианобактерий, иногда разделенные на клетки.

Graphites in the syenites of Botogol alkaline massiv; Lower Devonian; East Sayan.

**Plate XXXVI**

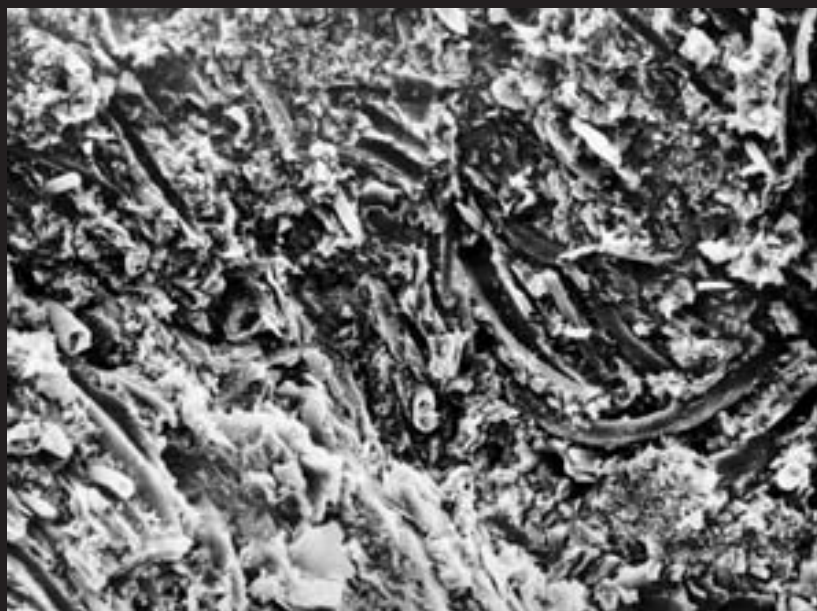
Fig. 1. General view of mineralized cyano-bacterial mat. Trichomes are fragmented, hollow, and their sheaths are replaced by graphite.

Fig. 2. Sample consists of interlacing filamentous cyanobacteria.

Fig. 3. Magnified fragment from fig. 2 showing trichomes with different diameters.

Fig. 4. Separate trichomes of mineralized cyanobacteria, sometimes they exhibit cross-wall constrictions indicating cellular divisions.





1



2



3



4

### Таблица XXXVII

Фиг. 1. Округлые формы от 30 до 60  $\mu\text{m}$  в диаметре, иногда на поверхности наблюдается скульптура, состоящая из правильных дуг. Возможно, это остатки эвкариотных организмов.

Фиг. 2. Фоссилизированный микроорганизм, сходный со спорангием гриба, на заднем плане, возможно, фоссилизированный гликокаликс.

Фиг. 3. Фоссилизированный фрагмент передней части клеща.

Фиг. 4. Тот же фрагмент, увеличено.

### Plate XXXVII

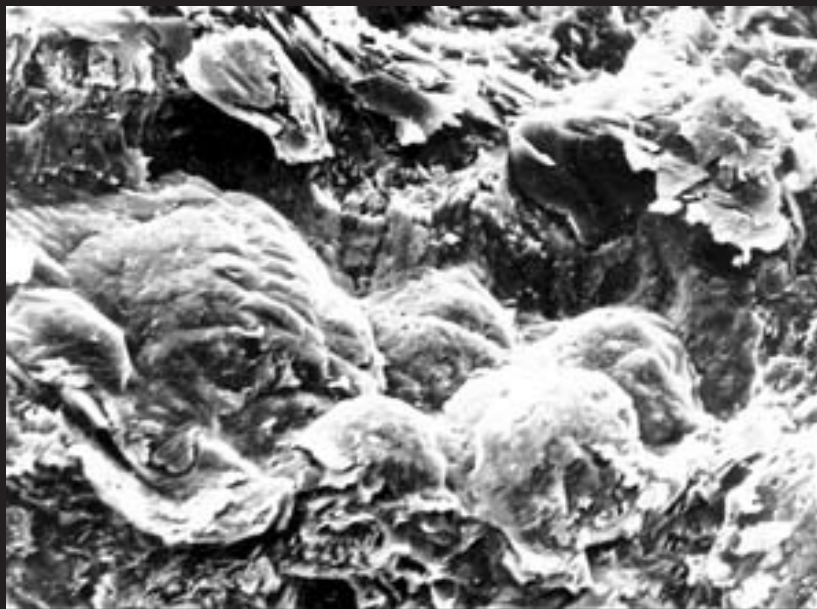
Fig. 1. Round forms from 30 to 60  $\mu\text{m}$  in diameter; sometimes the sculpture consists of true arcs on the surface. Probably they are the remains of eucaryotic organisms.

Fig. 2. Fossilized microorganisms similar to sporangia of fungus. On the back surface there appears to be the fossilized glycocalyx.

Fig. 3. Fossilized fragment of fore-part of a tick.

Fig. 4. The same tick fragment, magnified.

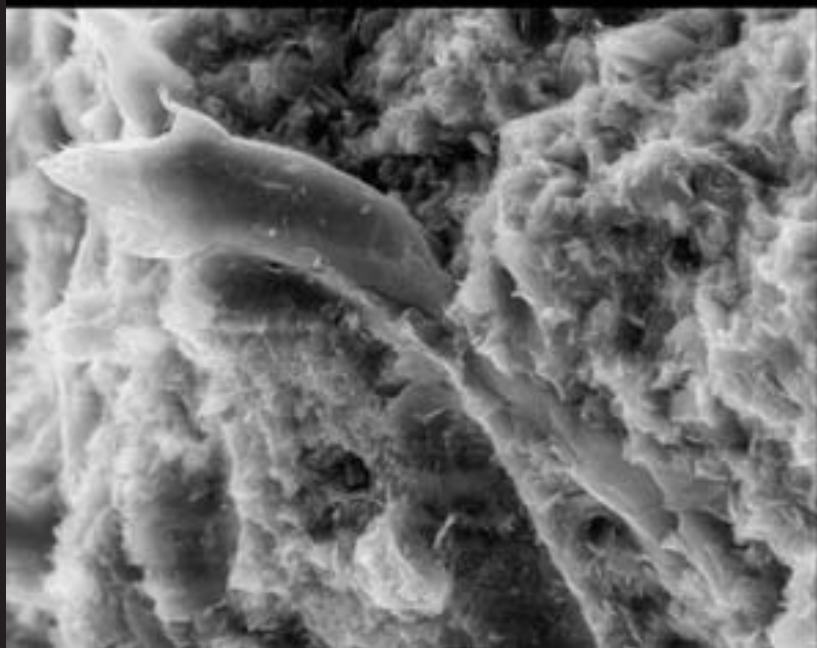




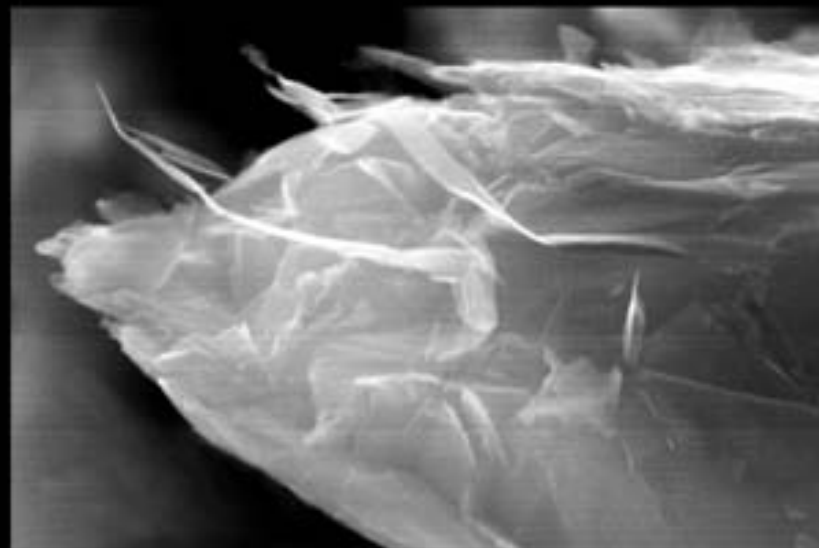
1



2



3



4

30 μm

10 μm

20 μm

2 μm

### Таблица XXXVIII

Шунгиты, местонахождение в Карелии у пос. Шуньга. Ранний протерозой. Углеродистый материал представлен промежуточным продуктом между аморфным углеродом и графитом.

Фиг. 1. Остатки минерализованного гликокаликса в породе с сохранившимися оболочками клеток.

Фиг. 2. В центре – остатки минерализованного гликокаликса. Справа от него – оболочка овальной формы довольно крупного тела, более 10  $\mu\text{m}$  в длину.

Фиг. 3. Нить с диаметром около 3  $\mu\text{m}$ , вероятно, минерализованный чехол от цианобактерии.

Фиг. 4. Литифицированная изогнутая нить с диаметром около 3  $\mu\text{m}$ , вероятно, от цианобактерии; намечается деление на клетки. Рядом справа – много коккоидных форм.

### Plate XXXVIII

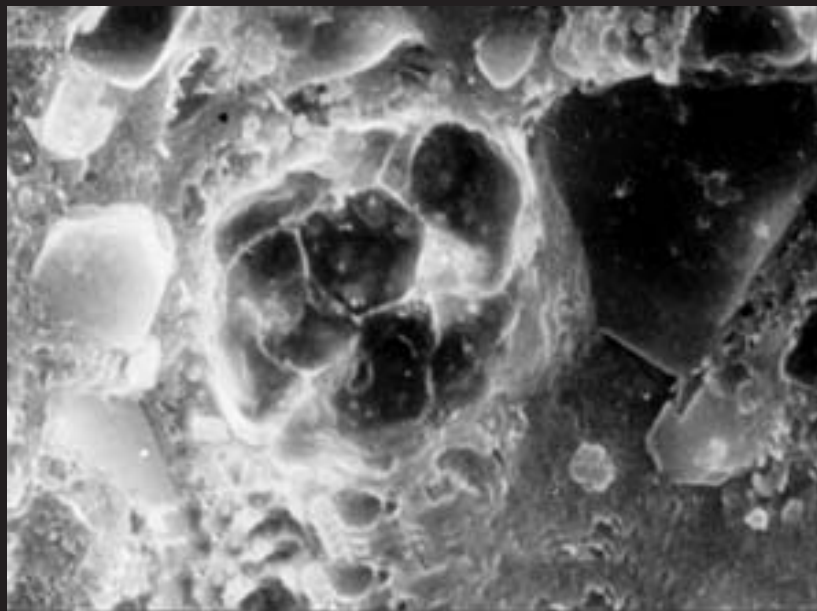
Schungates; Lower Proterozoic; locality Schunga, Karelia. Carboniferous material is the intermediate product between amorphous carbon and graphite.

Fig. 1. Mineralized glycocalyx in the sample with preservation of cell membranes.

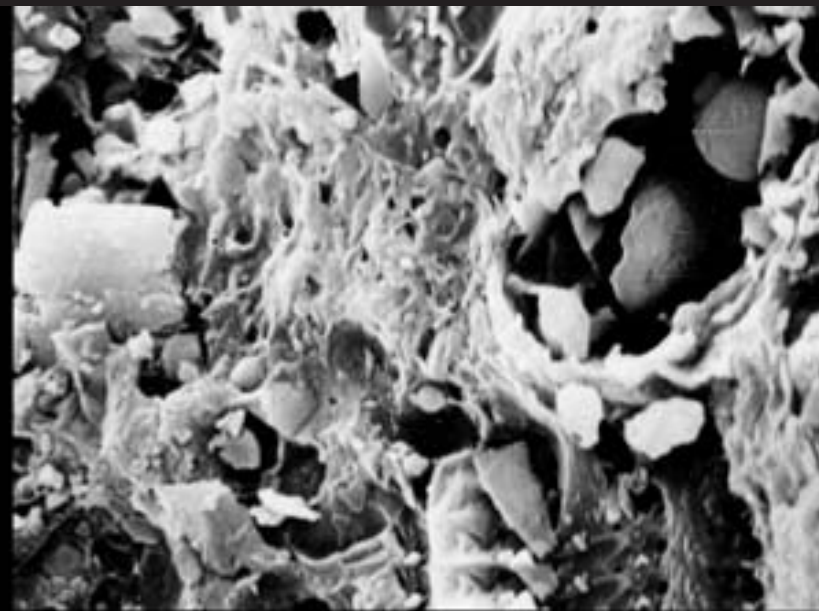
Fig. 2. In the center – mineralized glycocalyx, at the right – the outer envelope of the prominent body with oval form and more than 10  $\mu\text{m}$  in the length.

Fig. 3. Filament with diameter about 3  $\mu\text{m}$ , probably mineralized cyanobacterial sheath.

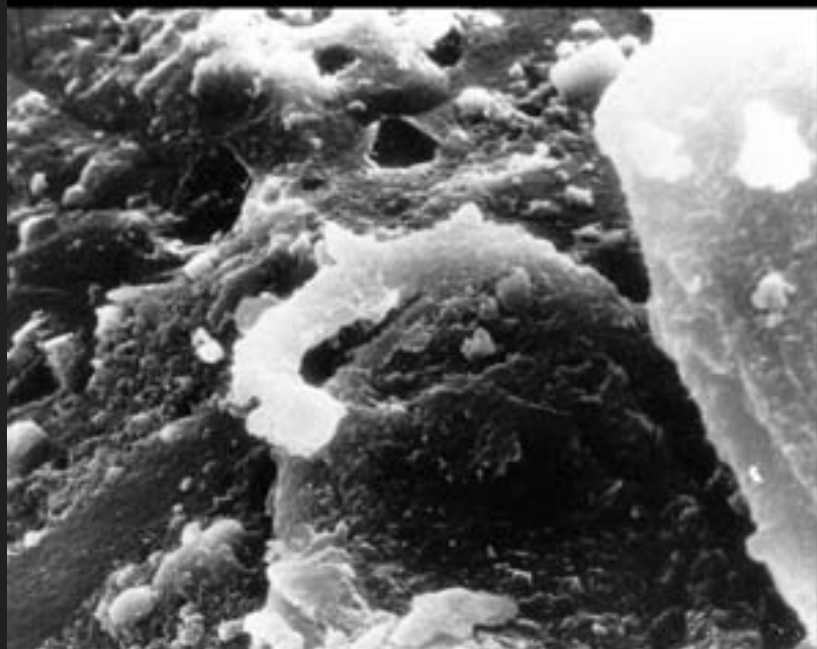
Fig. 4. Lithified curved filament with diameter about 3  $\mu\text{m}$ , probably from cyanobacterium showing cross-wall constrictions outlining the fission on the cells. At the right there are many coccoidal forms.



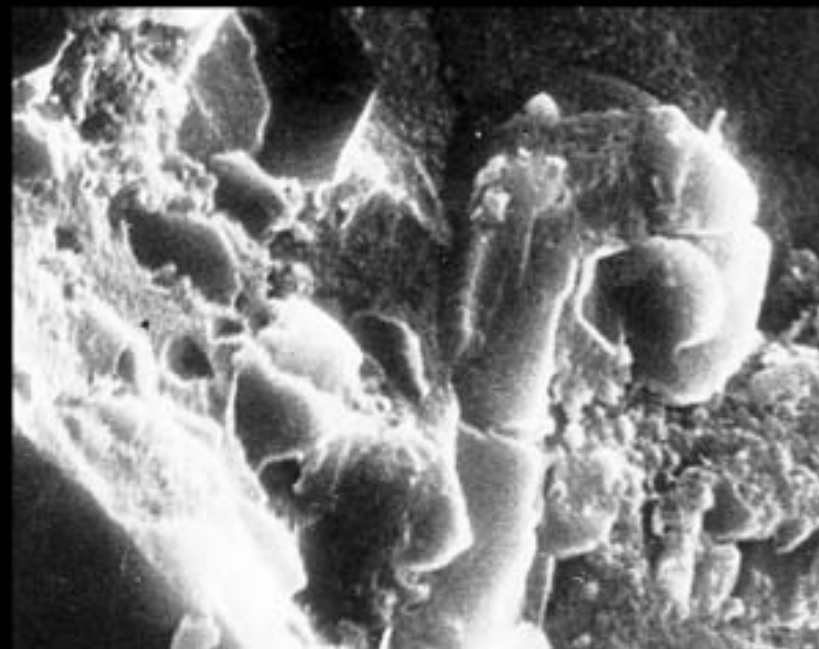
1



2



3



4

Микроорганизмы в черных карбонатных сланцах синской свиты; нижний кембрий, ботомский ярус, нижняя часть; Сибирская платформа (ср. течение р. Лены, р. Синяя).

### Таблица XXXIX

Фиг. 1. Фрагмент породы, состоящей из нитевидных форм и россыпи фрамбонидов пирита.

Фиг. 2. Скопление фрамбонидов пирита и отдельные нити предположительно цианобактерий.

Фиг. 3. Фрагмент породы, состоящий из переплетения нитевидных форм с диаметром 6–8  $\mu\text{m}$ , возможно, это псевдоморфозы по пучкам цианобактерий, так как нити обычно более тонкие. Поверхности нитей усыпаны мельчайшими глобулами. Не исключено, что это засорение породы современными гифами микромицетов с бородавчатыми выростами.

Фиг. 4. То же, другой участок. Фрагмент породы, состоящий из переплетения нитевидных форм. Видно, что нити внутри полые.

Microorganisms in the black carbonate shale; Lower Cambrian, Botomian Stage; Siberian platform (middle stream of river Lena, river Sinaja).

### Plate XXXIX

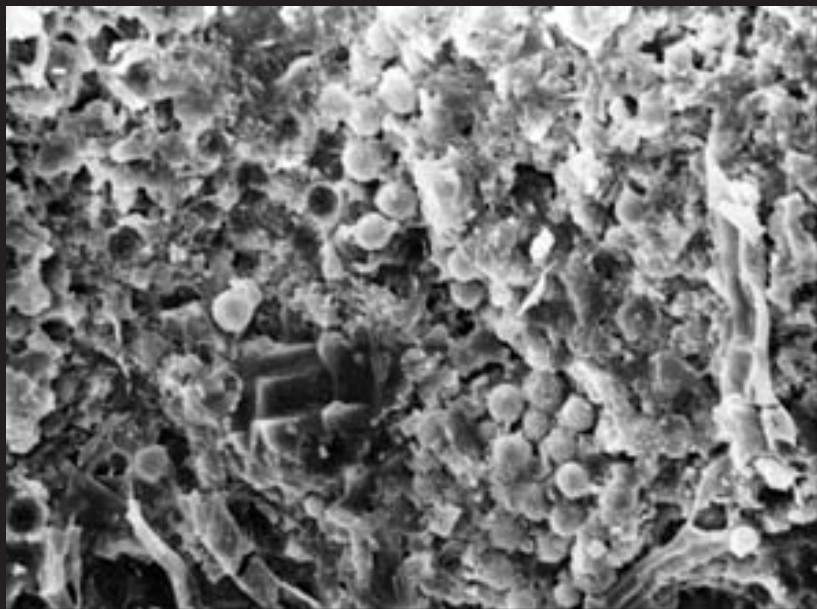
Fig. 1. Fragment of rock consisting of filamentous forms and concentration of framboids of pyrite.

Fig. 2. Concentration of framboids of pyrite and separate filaments, possibly belonging to cyanobacteria.

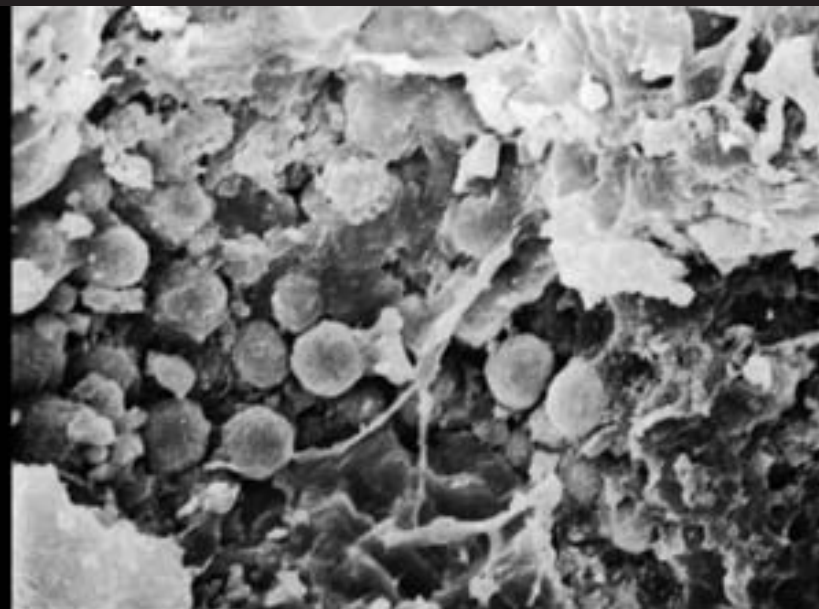
Fig. 3. Rock fragment consisting of interlaced filamentous forms with 6–8  $\mu\text{m}$  in diameter; probably representing pseudomorphs of multiseriate cyanobacterial filaments, as uniseriate cyanobacterial filaments are thinner. But it is possible they are recent threads of micromycetes with warty excrescences.

Fig. 4. The same, another fragment, consisting of interlaced filaments that are hollow inside.

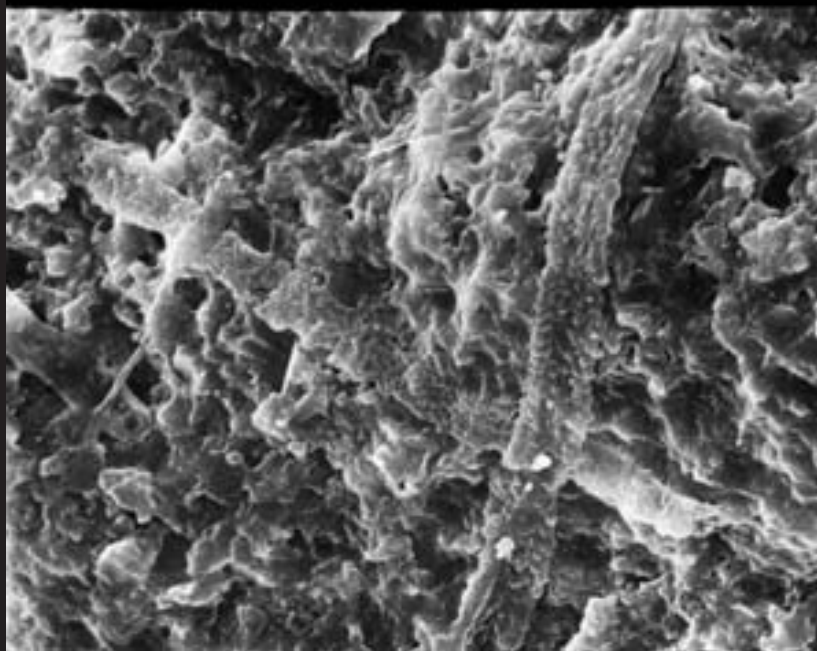




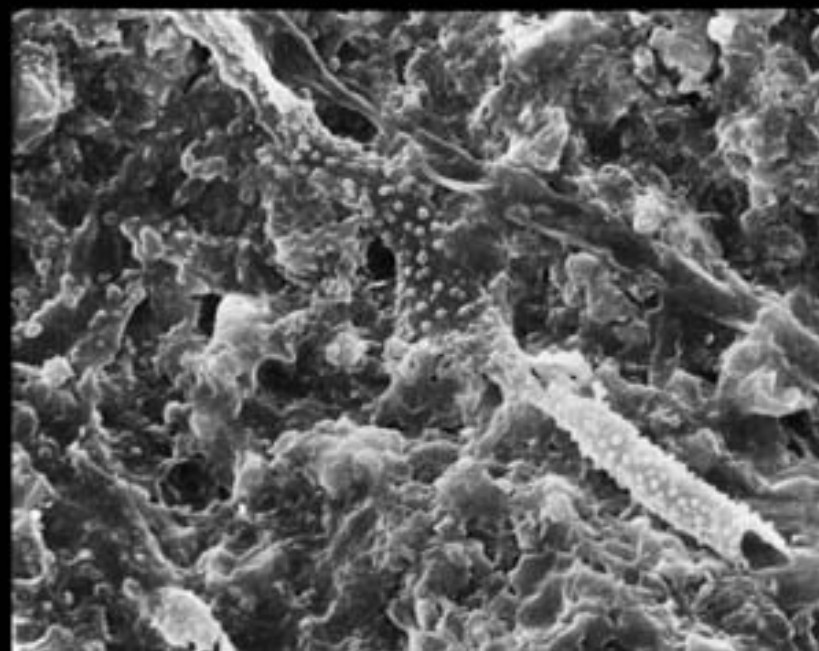
1



2



3



4

## Таблица XL

Фиг. 1. Фрагмент породы, состоящей из фосилизированных остатков коккоидных и нитевидных микроорганизмов.

Фиг. 2. То же, другой участок.

Фиг. 3. Увеличенный фрагмент фиг. 2. Видна частично разрушенная минерализованная оболочка нитевидного микроорганизма, возможно, цианобактерии.

Фиг. 4. Фрамбоид пирита в нижней правой части изображения, в центральной части – россыпь кристаллитов, слагавших фрамбоид. Размер фрамбоидов пирита колеблется в основном от 5 до 6  $\mu\text{m}$ , а размер кристаллитов в россыпи около 0.2–0.3  $\mu\text{m}$ .

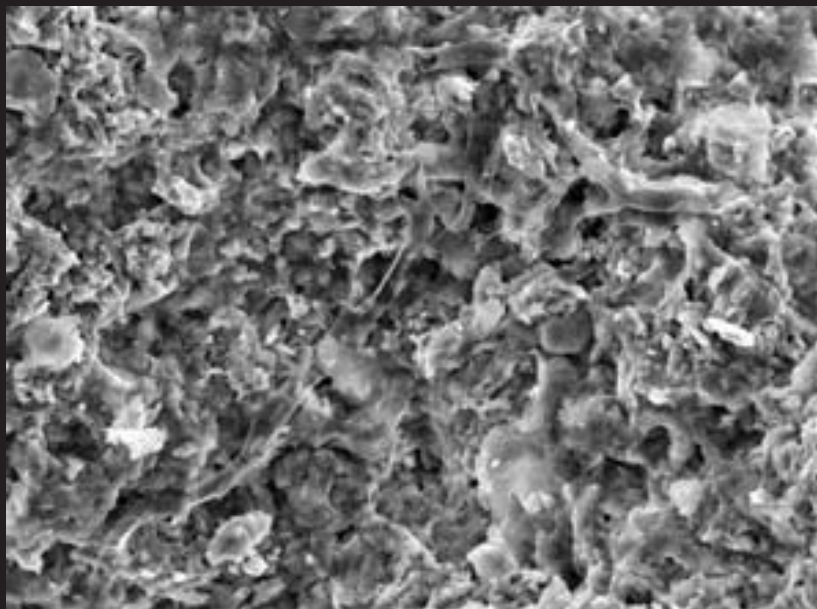
## Plate XL

Fig. 1. Fragment of sample consisting of fossilized remains of coccoidal and filamentous microorganisms.

Fig. 2. The same, another part.

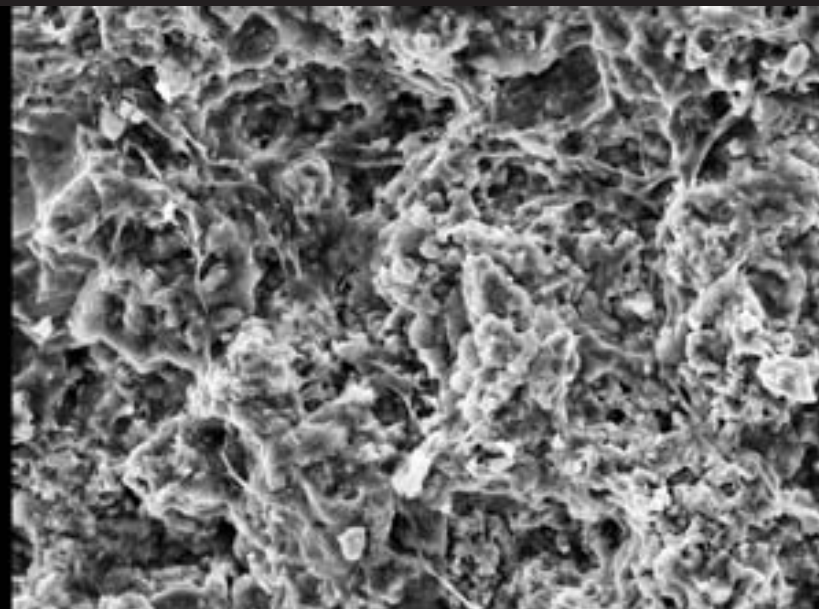
Fig. 3. Magnified fragment from fig. 2. Showing a partly destroyed mineralized sheath of filamentous microorganisms.

Fig. 4. Framboid of pyrite in the lower right; in center – the accumulation of crystallites, comprising a framboid. The sizes of pyrite framboids vary from 5 to 6  $\mu\text{m}$  and the sizes of individual crystallites in the framboid are about 0.2–0.3  $\mu\text{m}$ .



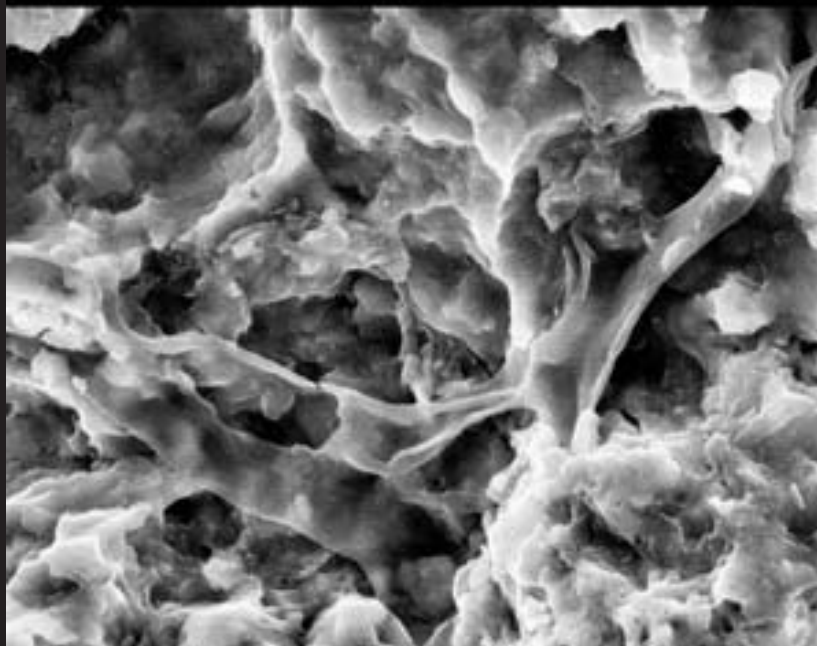
1

40  $\mu\text{m}$



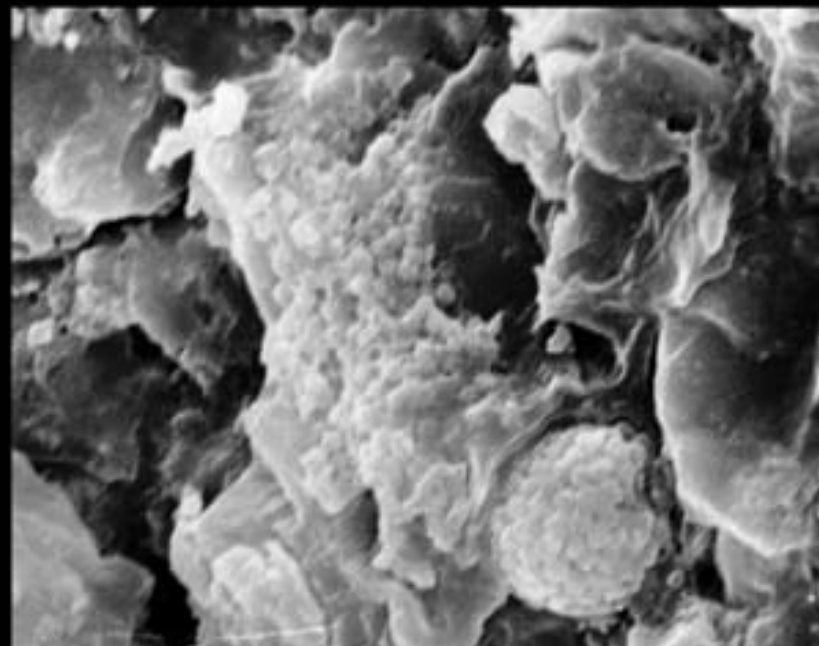
2

40  $\mu\text{m}$



3

10  $\mu\text{m}$



4

3  $\mu\text{m}$

### Таблица XLI

Остатки нитчато-коккоидного циано-бактериального мата в горючих сланцах Болтышской депрессии (Украина). Предполагаемый возраст – палеоцен.

Фиг. 1. Пучок из нескольких тонких цианобактериальных нитей с диаметром не более микрона.

Фиг. 2. Коккоидные бактерии с диаметром около 2  $\mu\text{m}$ , погруженные в гликокаликс.

Фиг. 3. Пучок из трихомов цианобактерии и находящиеся в нем остатки пиритизированных серобактерий. Справа от пучка виден фрамбоид пирита.

Фиг. 4. Фрамбоиды пирита среди горючих сланцев и рядом россыпь мелких кристаллитов пирита.

### Plate XLI

Filamentous-coccoidal cyano-bacterial mat in the combustible shales of the Boltysch depression (Ukraine), (?) Paleocene.

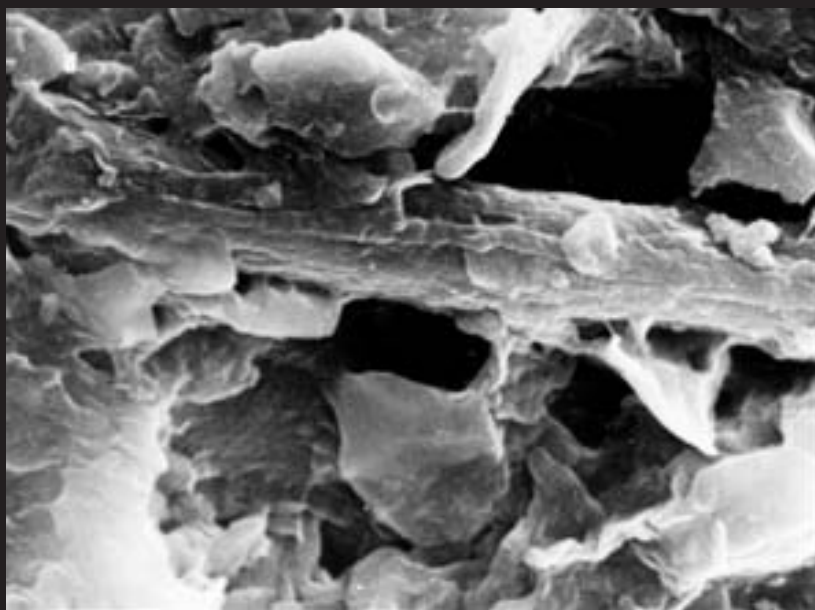
Fig. 1. Bundle from several thin cyanobacterial trichomes with diameter about 1  $\mu\text{m}$ .

Fig. 2. Coccoidal bacteria with diameter about 2  $\mu\text{m}$ , encased within the glycocalyx.

Fig. 3. Bundle of cyanobacterial trichomes together with the remains of pyritized sulfurbacteria. At the right there is a pyrite framboid..

Fig. 4. Framboids of pyrite are in the combustible shale near an accumulation of pyrite crystallites.

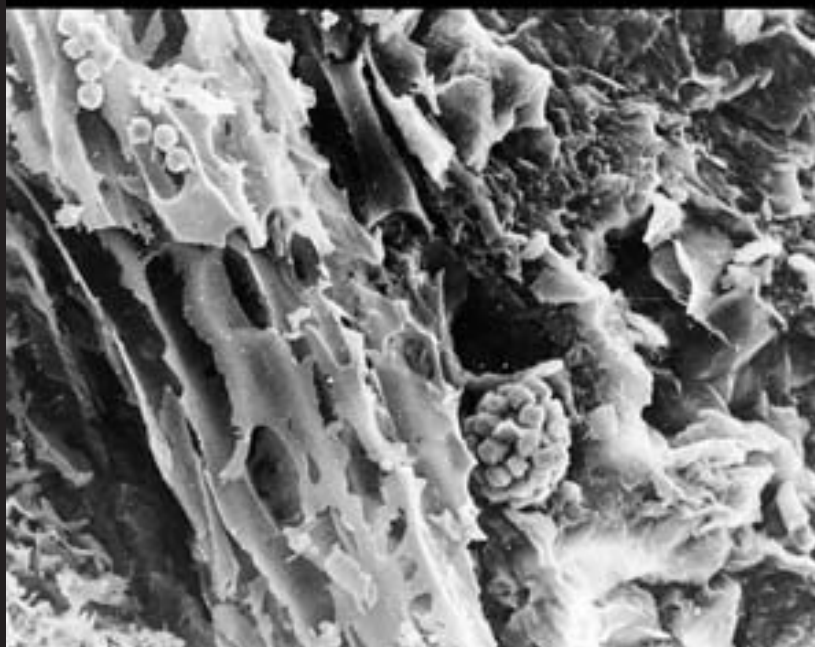




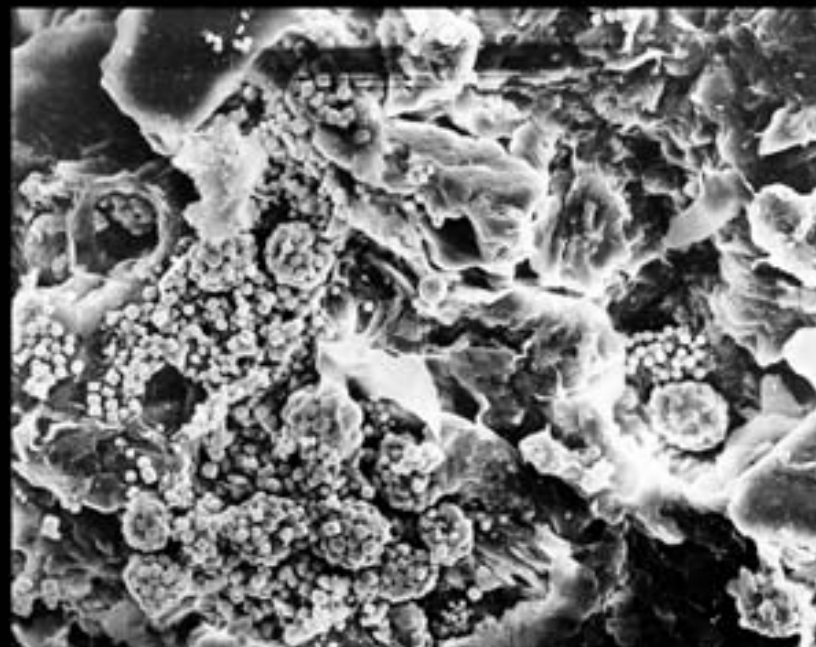
1



2



3



4

### Таблица XLII

Микроорганизмы из горючих сланцев, образовавшихся в миоцене на литорали при участии циано-бактериальных матов в коунской (фиг. 1, 2) и в майкопской (фиг. 3, 4) свитах. Шемахино-Кобыстанский прогиб юго-восточного погружения Большого Кавказа, Азербайджан.

Фиг. 1. Нитчатые цианобактерии с сохранившимся клеточным строением и фрагменты их минерализованных чехлов.

Фиг. 2. Скопление кристаллитов пирита внутри оболочки от пучка цианобактериальных нитей. Вероятно, они образовались в результате деятельности серобактерий.

Фиг. 3. Минерализованный гликокаликс с округлыми пустотами от выпавших бактериальных коккоидов.

Фиг. 4. Минерализованный гликокаликс с погруженными в него остатками коккоидных форм. В центре по диагонали видна длинная нить, возможно, принадлежащая актиномицету.

### Plate XLII

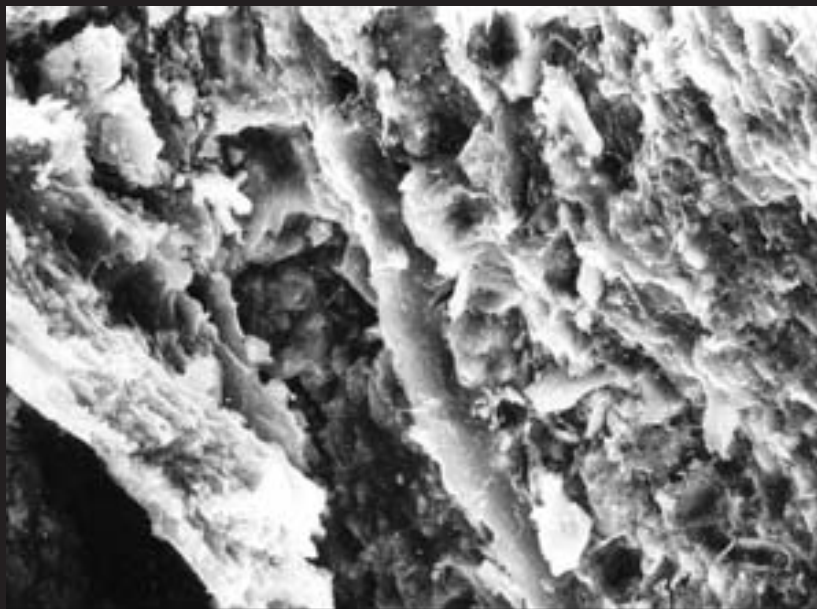
Microorganisms from combustible shale formed in the Miocene on the littoral in participation of cyano-bacterial mats in the Koun (figs. 1, 2) and in the Maikope (figs. 3, 4) formations. Shemahino-Kabistan depression of South-East settling of Big Caucasus.

Fig. 1. Filament of cyanobacteria with preservation of cell structure and fragments of mineralized sheaths.

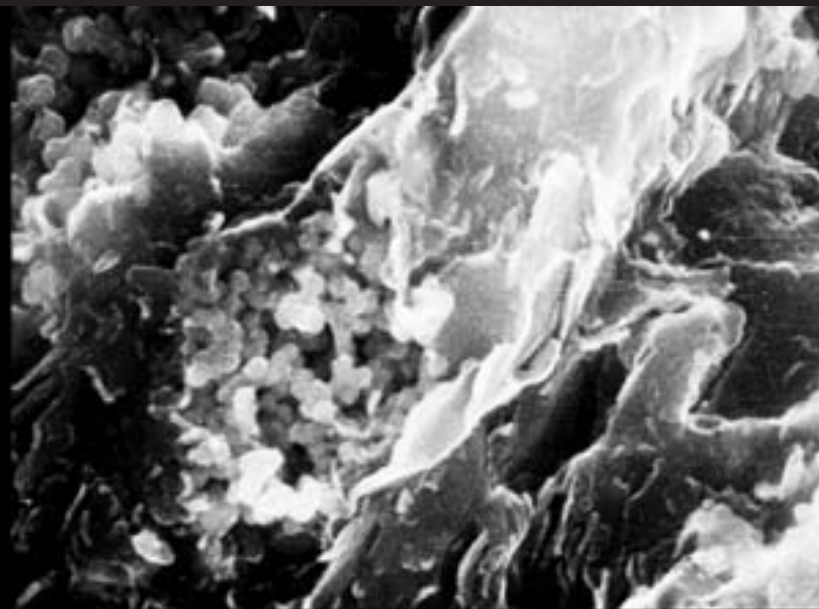
Fig. 2. Accumulation of pyrite crystallites inside sheaths of the bundle of cyanobacterial trichomes. They probably formed by the activity of sulfur bacteria.

Fig. 3. Mineralized glycocalyx with round cavities from coccoidal bacteria.

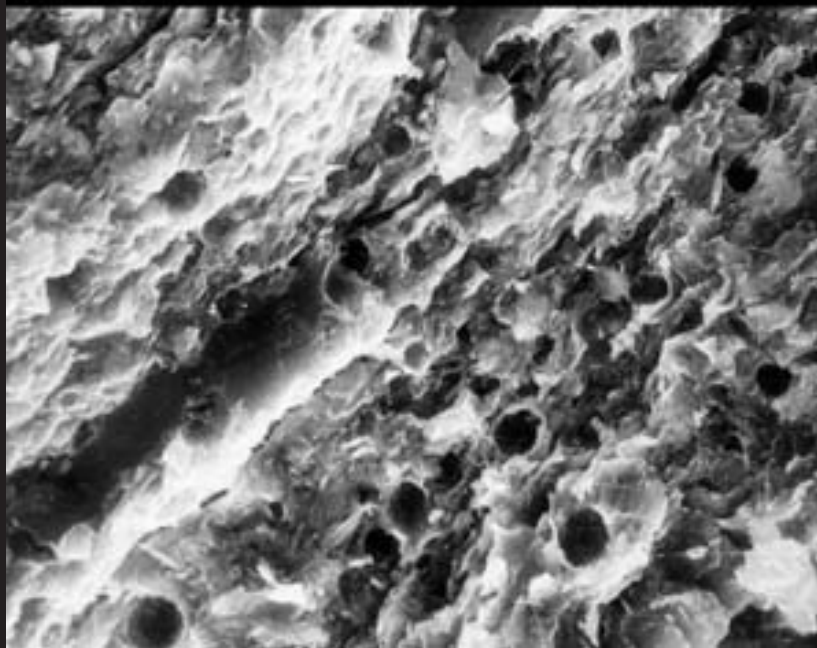
Fig. 4. Mineralized glycocalyx with remains of coccoidal forms. In the centre there is long thread probably from actinomyces.



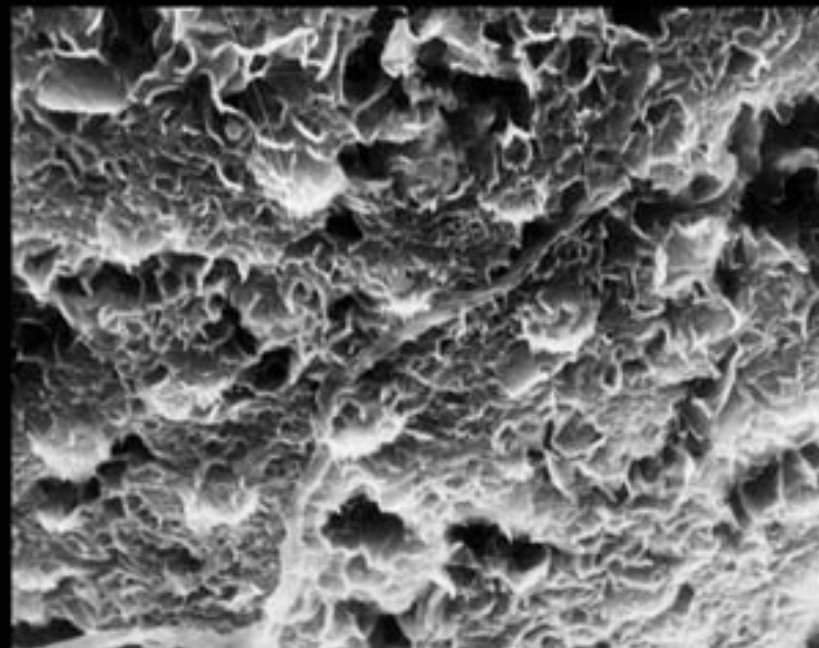
1



2



3



4

10 μm

10 μm

10 μm

10 μm

### Таблица XLIII

Глинистые породы из нижнего протерозоя Карелии и Кольского полуострова  
(возраст 2 млрд. л.).

Фиг. 1. Расплющенная нитевидная форма с диаметром около 3  $\mu\text{m}$  на сколе алевролита; район оз. Янис-Ярви, Сев. Приладожье, Карелия.

Фиг. 2. Нитевидная форма с диаметром около 3  $\mu\text{m}$ , на конце расплющенная. Там же.

Фиг. 3. Скопление коккоидных форм на сколе алевролита, район Имандра-Варзуга, Кольский п-ов, томингская свита (2.0 млрд. л.).

Фиг. 4. Скопление коккоидных и нитевидных форм на сколе алевролита, там же.

### Plate XLIII

Clay rocks (siltstone) from the Lower Proterozoic (2 Ga) of Karelia  
and Kola Peninsula.

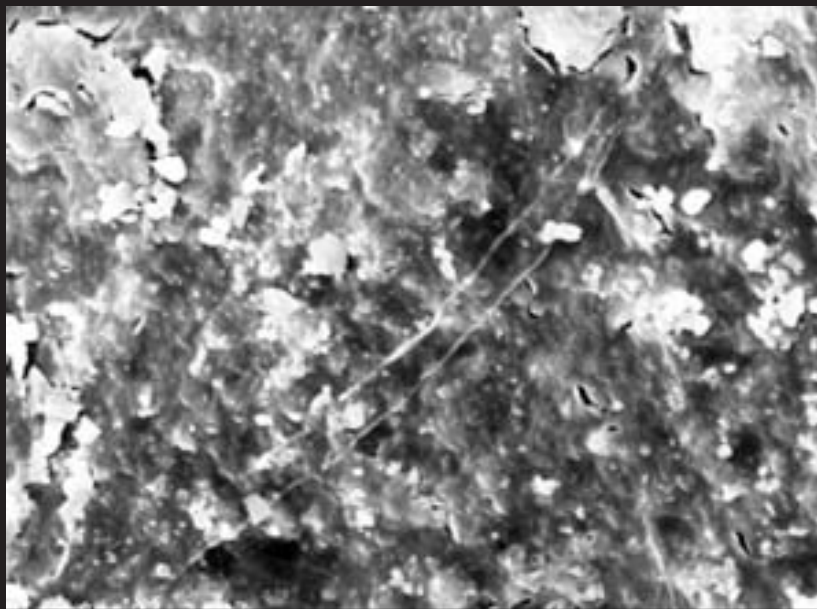
Fig. 1. Flattened thread-like form with diameter about 3  $\mu\text{m}$  in the siltstone from near Lake Janis-Jarve, Ladoga, Karelia.

Fig. 2. Filamentous form with diameter about 3  $\mu\text{m}$  flattened on the end from the same locality.

Fig. 3. The accumulation of coccoidal forms in the siltstone. Imandra-Varzuga, Kola Peninsula; Toming Formation (2 Ga).

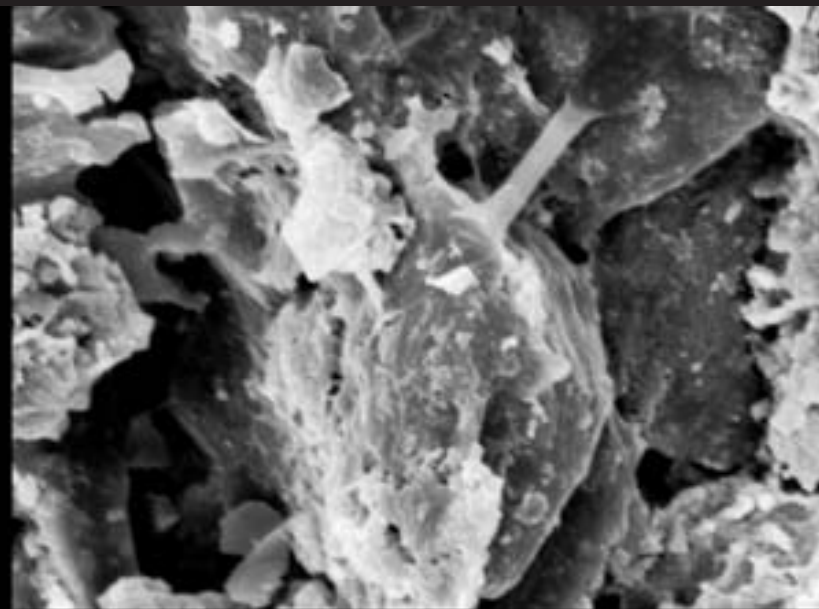
Fig. 4. The accumulation of coccoidal and filamentous forms in the siltstone from the same locality.





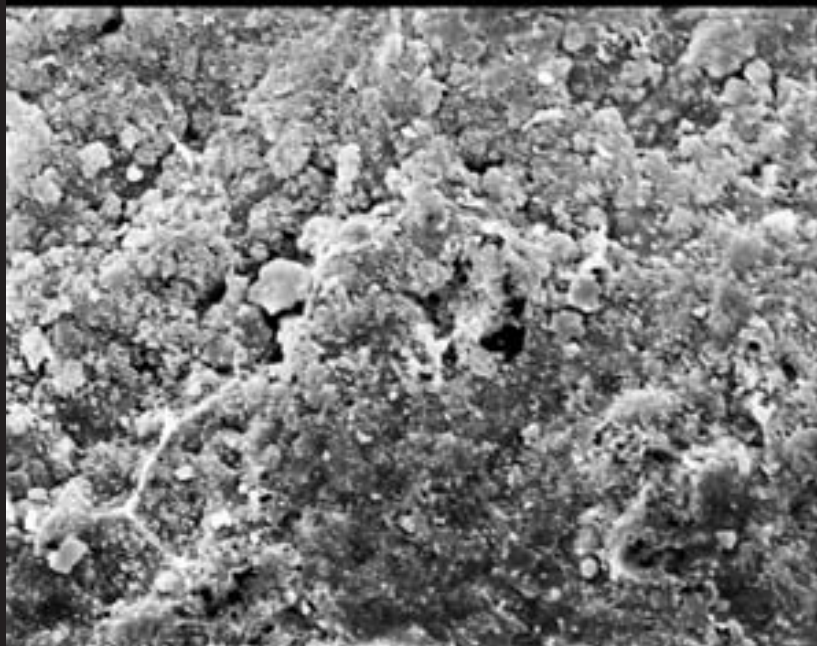
10 μm

1



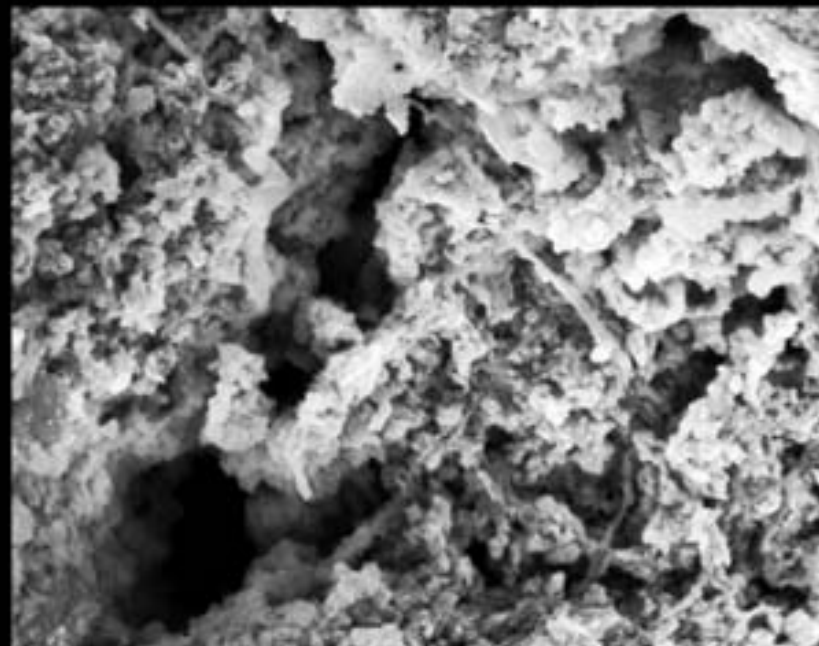
10 μm

2



10 μm

3



10 μm

4

### Таблица XLIV

Глинистые породы с остатками бактерий (фиг. 1, 2), скоплением фрамбоидов (фиг. 3) и кокколитофорид (фиг. 4).

Фиг. 1. Мелкие кокки, возможно, принадлежащие минерализованным бактериям на поверхности алевролита; район Имандра-Варзуга, Кольский п-ов, томингская свита (2.0 млрд. л.)

Фиг. 2. Участок гаверсова канала на срезе ребра парейазавра (рептилия, нижняя пермь, Малая Северная Двина, местонахождение Соколки, Архангельская обл.). Видны остатки замещенных глиной кровеносных сосудов и округлых тел, вероятно, принадлежавших бактериям (стрелки).

Фиг. 3. На известковистой глине в месте прикрепления *Palaeophragmodictya spinosa* Serezhnikova наблюдается скопление фрамбоидов пирита, развившихся при участии микроорганизмов по органике. Верхний венд, верховская свита; Архангельская обл., Онежский п-ов.

Фиг. 4. Золенгофенский литографский сланец, сложенный преимущественно массовым скоплением кокколитофорид и их обломков; верхняя юра; Золенгофен, Германия.

### Plate XLIV

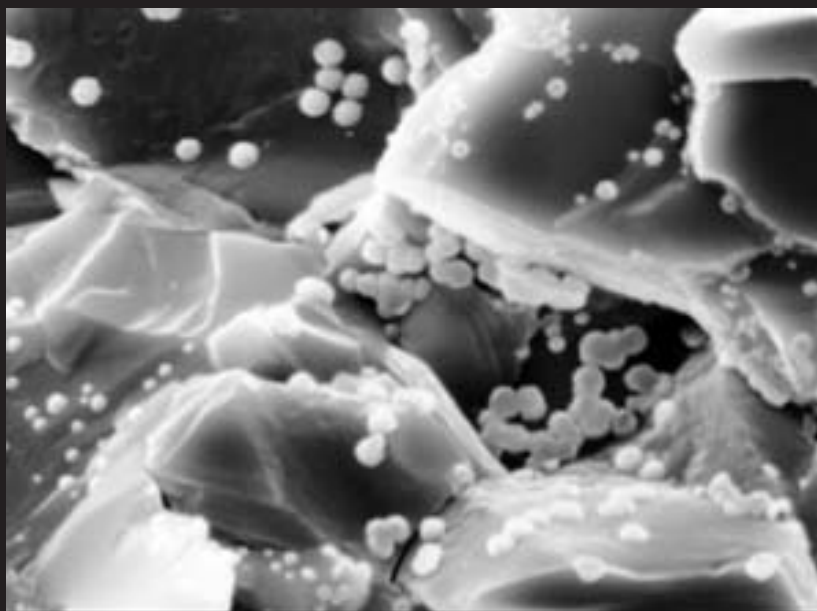
Clay rocks with remains of bacteria (figs. 1, 2), concentration of pyrite framboids (fig. 3) and coccolithophorida (fig. 4).

Fig. 1. Small coccoidal forms on the surface of siltstone; probably they belonging to mineralized bacteria. Imandra-Varzuga, Kola Peninsula; Toming Formation (2 Ga).

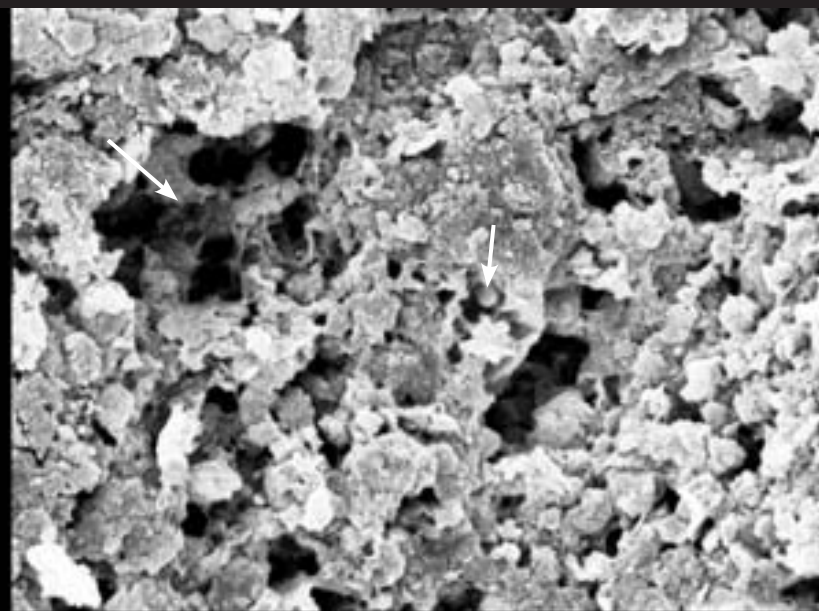
Fig. 2. Part of Gaversov canal on the cross-section of Scutosaurus rib (Reptilia). It is observed the remains of blood-vessels, replaced by clay, and round bodies probably belonging to bacteria (arrows). Upper Permian, river Small North Dvina, locality Sokolki.

Fig. 3. On the carbonate clay shale where *Palaeophragmodictya spinosa* Serezhnikova, 2007 is attached, there is a concentration of pyrite framboids from precipitation by microorganisms.

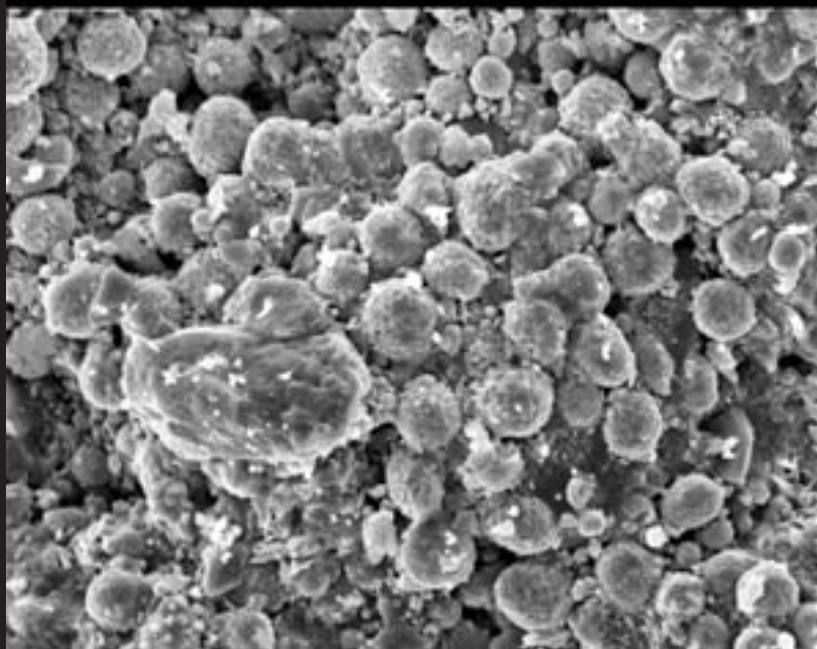
Fig. 4. Solnhofen lithographic limestones are formed mainly by mass concentration of coccolithophorida and their fragments. Upper Jurassic, Solnhofen, Germany.



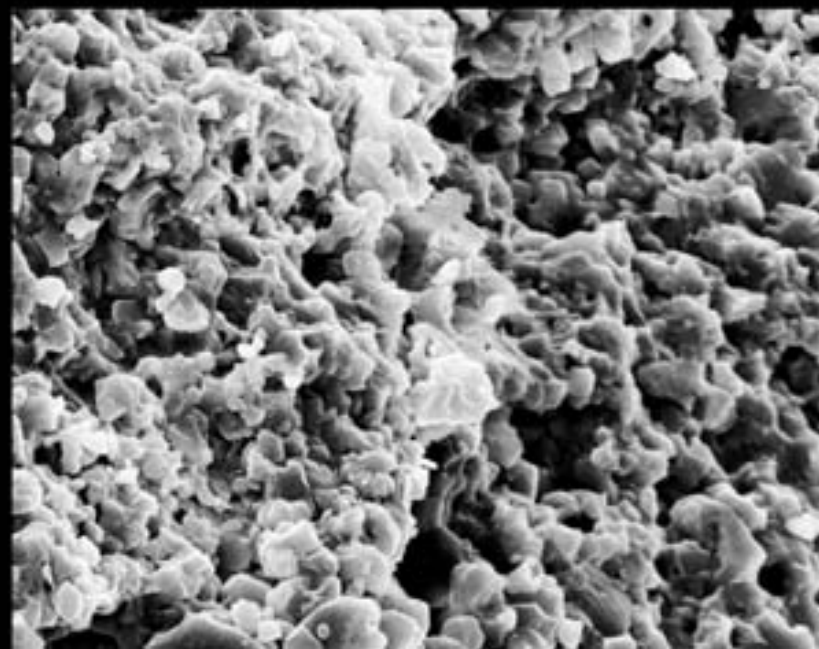
1



2



3



4

3 μm

3 μm

30 μm

10 μm



### Таблица XLV

Каменноугольные глины Московского бассейна.

Фиг. 1. Переплетение нитчатых бактерий (или, возможно, гликокаликс), под которым просвечивают размытые очертания коккоидных бактерий диаметром порядка 6–8  $\mu\text{m}$ ; тончайшие прослой глины среди известняков; средний карбон, московский ярус, подольский горизонт; Московская область, Приокский карьер.

Фиг. 2. То же, другой участок.

Фиг. 3. Коккоидные бактерии с размерами 2–3  $\mu\text{m}$ , покрытые слоем фосфорилированной биопленки; средний карбон, московский ярус, мячковский горизонт; Московская область, карьер Пески.

Фиг. 4. То же, увеличено.

### Plate XLV

Carboniferous clay from Moscow syncline.

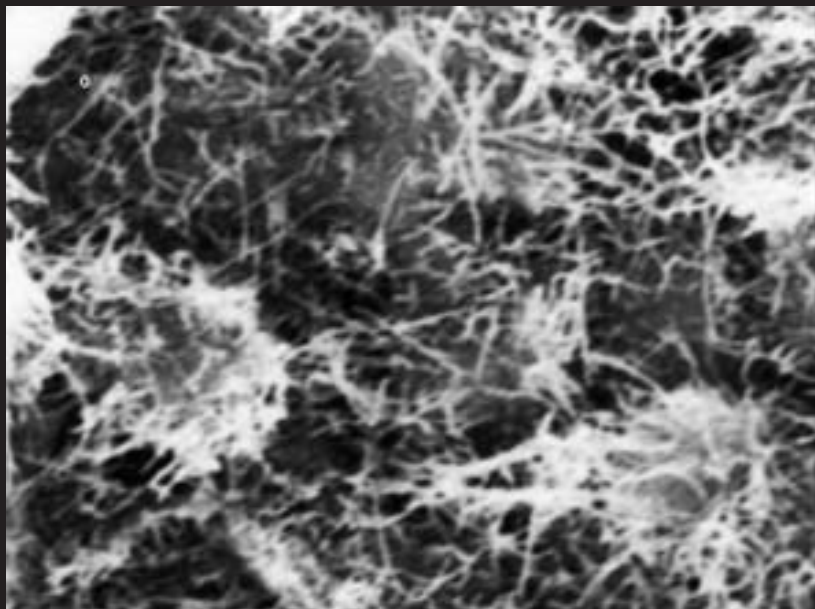
Fig. 1. Interlaced filamentous bacteria (or probably glycoalyx), above eroded contours of coccoidal bacteria with diameters about 6–8  $\mu\text{m}$ . Middle Carboniferous, Moscow Stage; very thin layers of clay in the limestone quarry near river Oka.

Fig. 2. The same, another fragment.

Fig. 3. Coccoidal bacteria, sizes 2–3  $\mu\text{m}$ , coating a fossilized biofilm. Middle Carboniferous, Moscow Stage, Mjachkovo horizon; quarry Peski.

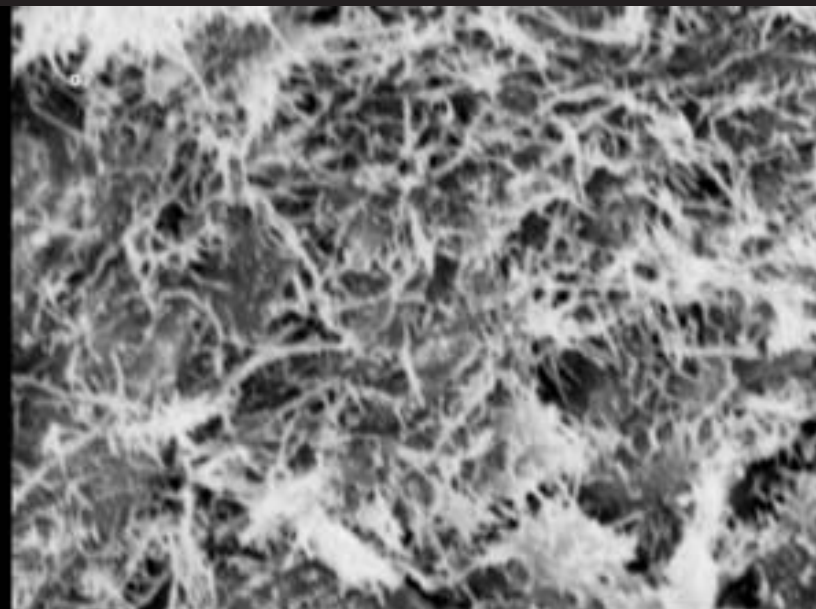
Fig. 4. The same, enlarged.





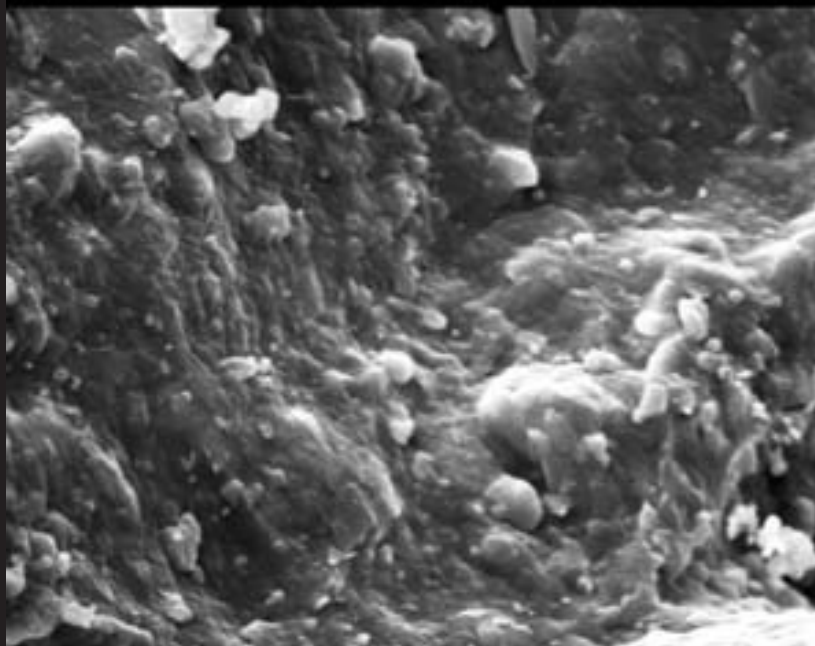
1

3 μm



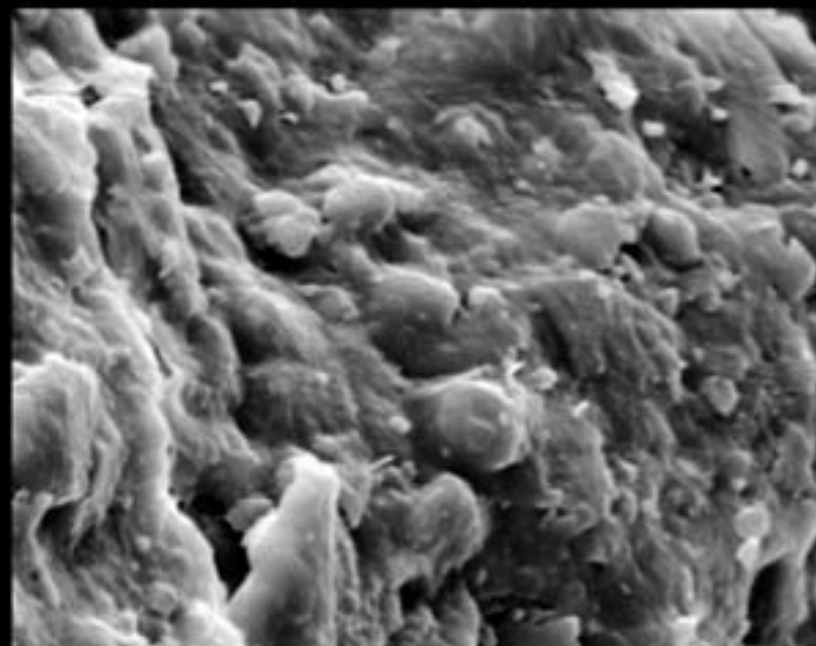
2

3 μm



3

10 μm



4

3 μm

### Таблица XLVI

Образцы из низкотемпературной зоны гидротермально измененных миоценовых базальтов Исландии.

Фиг. 1. Шарообразная бактериальная структура, покрытая листочками слоистого силиката – смектита.

Фиг. 2. Глобулярные бактериальные структуры с намечающейся в средней части перемычками (стрелки), состоящие из гидроксида Fe.

Фиг. 3. Шаровые структуры, располагающиеся на поверхности нити с отчетливо выраженным секционным строением; состав – смектиты, стрелки на крустификационной кайме селадонита.

Фиг. 4. Палочковидные бактериальные структуры среди слоистых силикатов смектит-селадонитового состава.

### Table XLVI

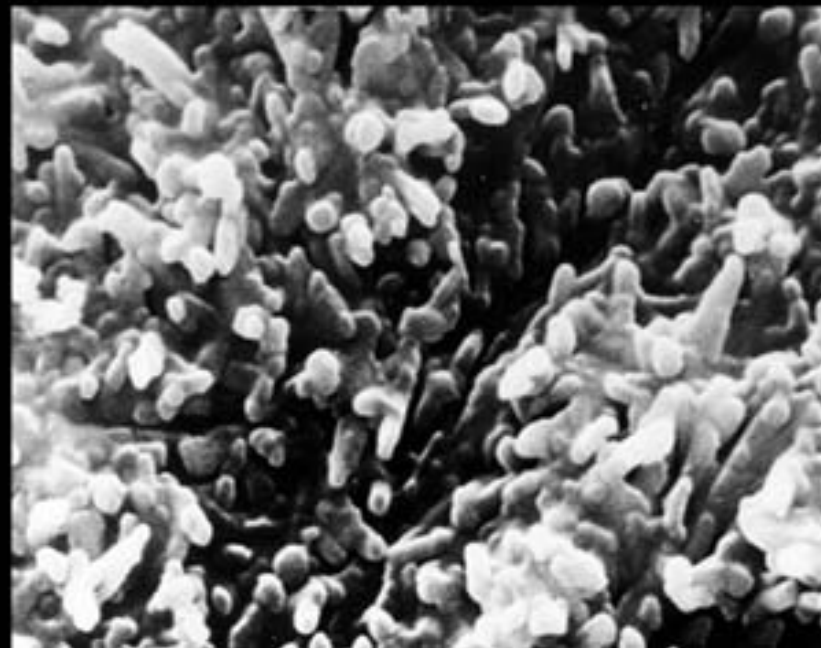
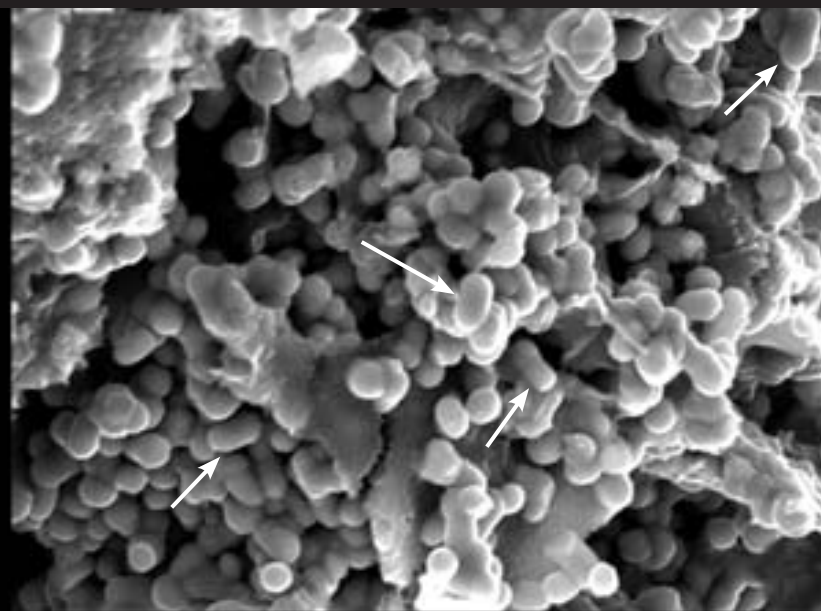
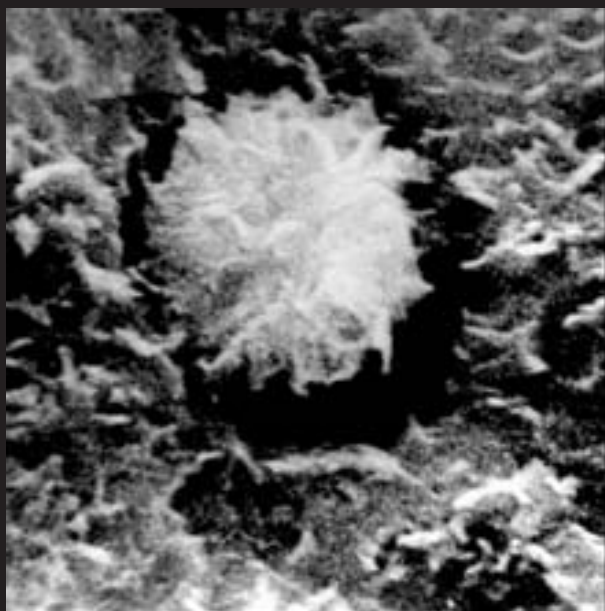
Samples from the Miocene basaltic rocks altered in low-temperature hydrothermal zone, Iceland.

Fig. 1. Globular bacterial structure covered by sheaths of layer silicate – smectite.

Fig. 2. Globular mineralized bacterial structures (iron hydroxides) are outlined by bridges in their middle portion (arrows).

Fig. 3. Globular structures on the surface of a filament displaying cell-type pattern consisting of smectites with celadonite margin (arrows).

Fig. 4. Mineralized bacterial rods in smectite-celadonite accumulation.



Фотографии микроорганизмов из бокситов из разных регионов.

### Таблица XLVII

Фиг. 1. Скопления мелких коккоидных бактериальных форм размером 1–2  $\mu\text{m}$ . Кора выветривания, содержащая массивные бокситы, развиты по базальтам (деканские траппы); миоцен, Амаркантакская группа, штат Мадхья, у истоков р. Нармада, Индия.

Фиг. 2, 3. Хаотическое сплетение гифов грибов с толщиной 2–4  $\mu\text{m}$ , иногда сплетенных в пучки до 30–40  $\mu\text{m}$  толщиной, которые располагаются на поверхности образца и по трещинам уходят вглубь породы. Анализ показал присутствие алюминия и железа. Кора выветривания по гнейсам, пегматитам, гранитам; плато Подувар, Индия.

Фиг. 4. Скопления мелких коккоидных форм (менее 1  $\mu\text{m}$ ), среди которых имеются участки со своеобразными, свернувшимися в кольца минерализованными бактериальными телами диаметром 2–3  $\mu\text{m}$  при толщине 0.5–1.0  $\mu\text{m}$ . Они отнесены к роду *Romeria* из группы гормогониевых цианобактерий, близких *Spirulina*. Там же.

Microorganisms from bauxites from different regions.

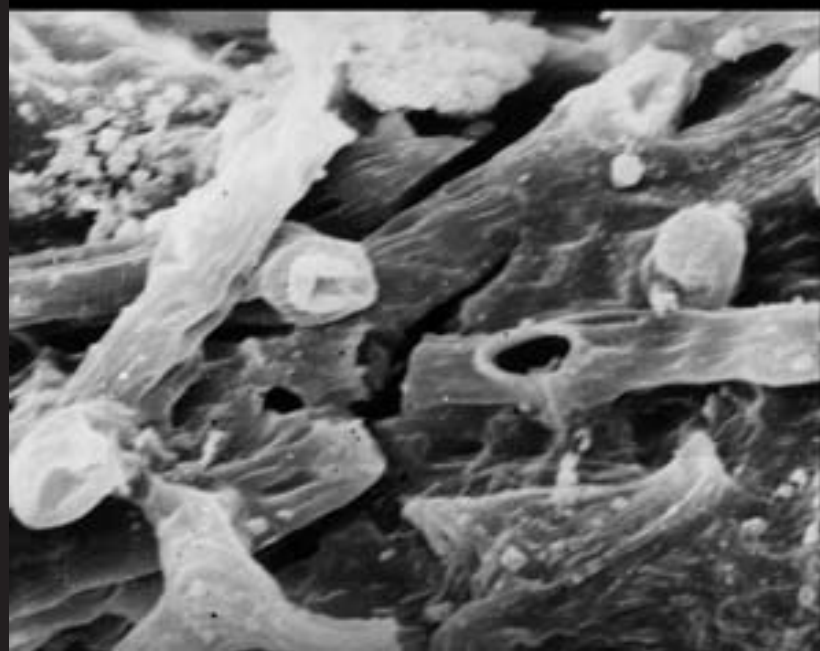
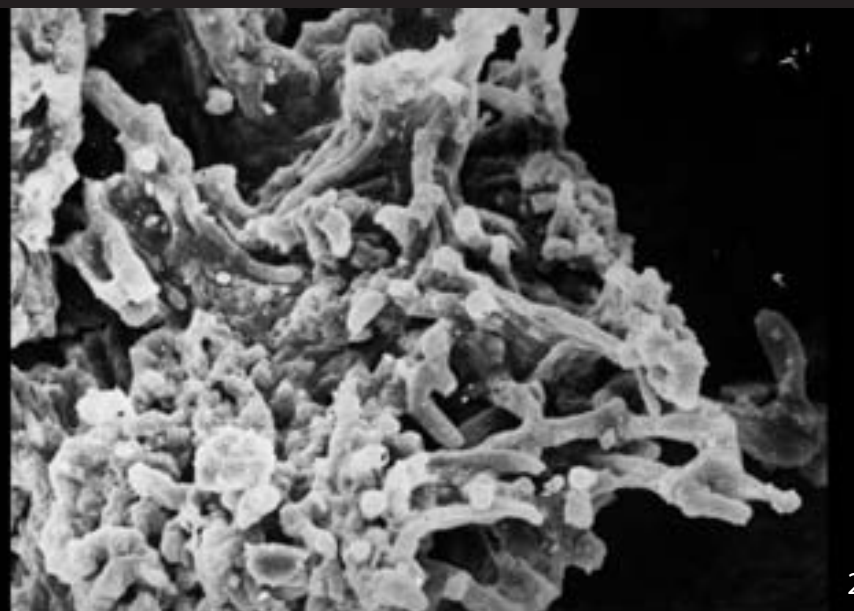
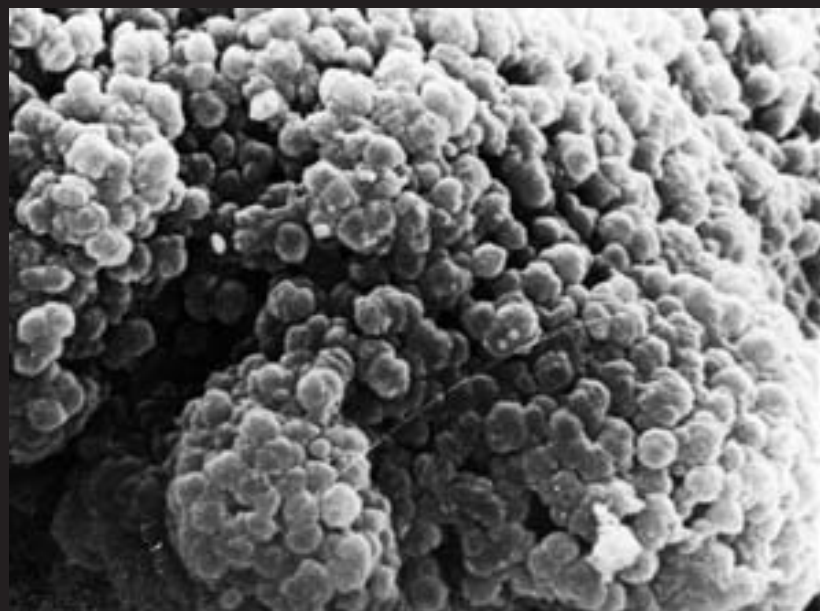
### Plate XLVII

Fig. 1. Concentration of small coccoidal bacterial forms with size 1–2  $\mu\text{m}$ . Weathering crust containing massive bauxites developed on basalts (Deccan Trapps); Amarkantak group, state Madhya, near river Narmada, India.

Fig. 2, 3. The chaotic plexus of fungus filaments with 2–4  $\mu\text{m}$  of thickness, sometimes they were interlaced in bundles of 30–40  $\mu\text{m}$  in thickness; the bundles are disposed on the surface of samples and penetrated deeply into the rocks. LINK spectral analysis shows the presence of Al and Fe. Bauxites from the crust of weathering on gneiss, pegmatites, granites; plateau Poduvar, India.

Fig. 4. Concentration of small coccoidal forms (less than 1  $\mu\text{m}$ ); among them there are the parts with peculiar, balls of mineralized bacterial bodies with 2–3  $\mu\text{m}$  in diameter and 0.5–1  $\mu\text{m}$  in thickness. They were related to hormogonia of cyanobacteria of the genus *Romeria*. The same locality.





### Таблица XLVIII

Фиг. 1. Бокситы, сложенные бобовинами, являющимися псевдоморфами по бактериальным формам, между бобовинами располагаются рыхлые скопления трихомов цианобактерий толщиной 2–3  $\mu\text{m}$  и длиной до 100–150  $\mu\text{m}$ . Эоценовые латеритные бокситы Австралии; кора выветривания континентальной формации Булимба мел-палеогенового возраста, месторождение Вейпа, п-ов Кейп-Йорк.

Фиг. 2. Скопление коккоидных форм около 1  $\mu\text{m}$  в диаметре, на отдельных участках имеются остатки гликокаликса в виде тонких минерализованных пленок. Эоценовые латеритные бокситы Гвинеи, развитые по коре выветривания осадочных отложений ордовика; рудопроявление «135 км».

Фиг. 3. Скопления минерализованных нитей разной толщины и протяженности, возможно, принадлежащие гифам почвенных грибов. Плиоцен-четвертичные латеритные бокситы Вьетнама, развитые по коре выветривания базальтов.

Фиг. 4. Биоморфозы по *Synechococcus* с диаметром до 3  $\mu\text{m}$ , заполнявшие пустоты в породе. Плиоцен-четвертичные латеритные бокситы Бразилии, месторождение Тромбетас.

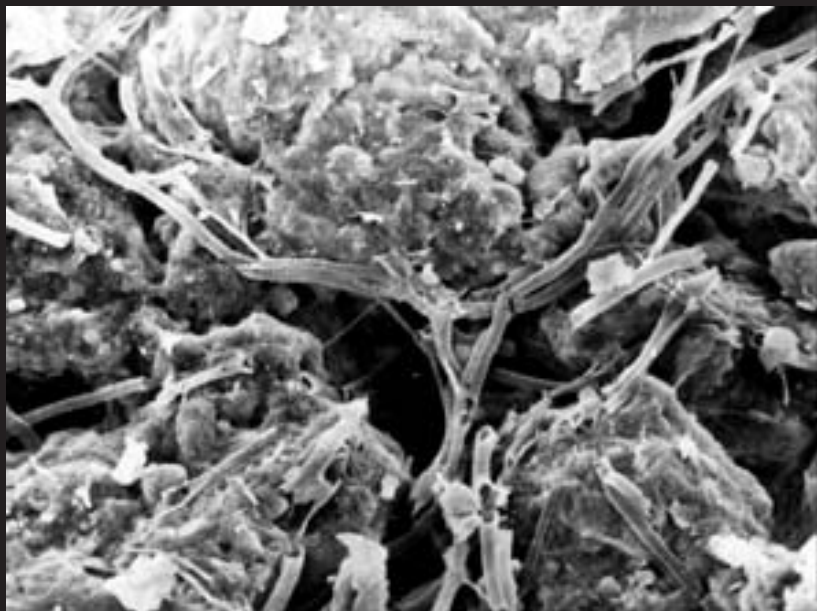
### Plate XLVIII

Fig. 1. Bean-like forms from bauxites are pseudomorphs on bacterial bodies; the loose concentrations of cyanobacterial trichomes (2–3  $\mu\text{m}$  in thickness and 100–150  $\mu\text{m}$  in length) are disposed between the bean-like forms. Eocene laterite bauxites from Australia; the crust of weathering of continental Formation Bulimba (Cretaceous – Paleogene), locality Veipa, Peninsula Keip-York.

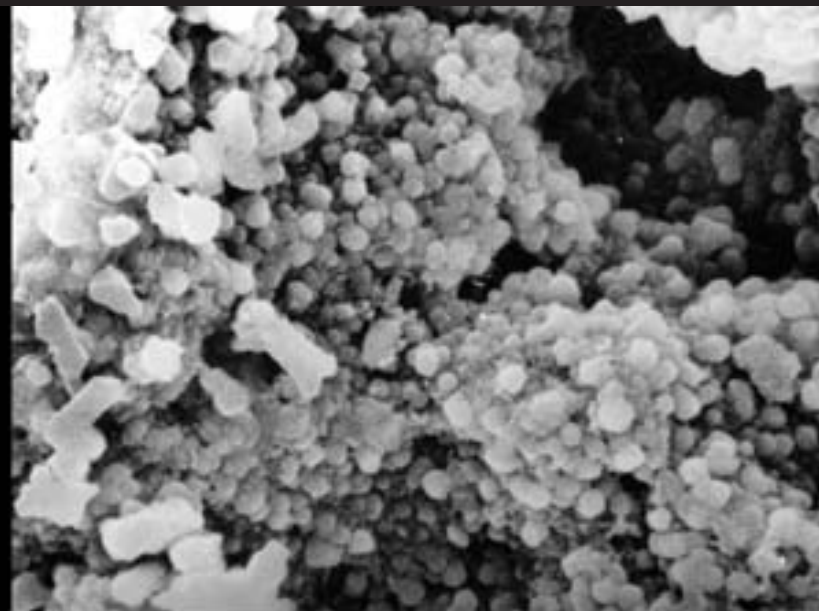
Fig. 2. Concentration of coccoidal forms about 1  $\mu\text{m}$  in diameter; on the some parts there are particles of glycolyx as thin mineralized slimes. Eocene laterite bauxites of Guinea, developed on the crust of weathering on Ordovician sediments, locality “135 km”.

Fig. 3. The concentration of mineralized filaments with different thicknesses and lengths; probably filamentous fungus. Pliocene-Quaternary laterite bauxites from Viet-Nam, developed on the weathering crust on basalts.

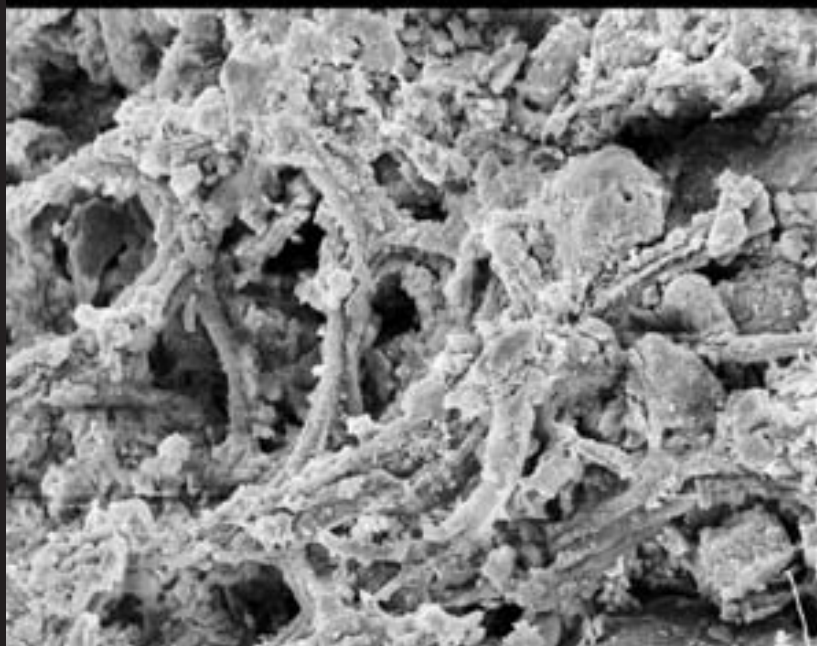
Fig. 4. Biomorphs on *Synechococcus* about 3  $\mu\text{m}$  in diameter, filled voids in the rocks. Pliocene – Quaternary bauxites from Brasilia, locality Trombetas.



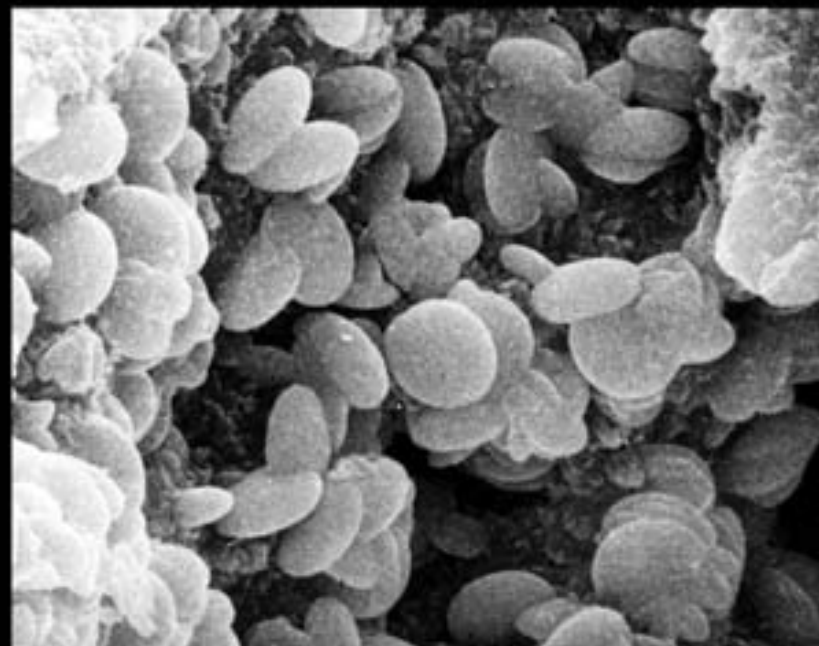
1



2



3



4

30 μm

3 μm

30 μm

3 μm



### Таблица XLIX

Меловые седиментационные бокситы Среднего Урала, месторождение Соколовское. Кора выветривания по палеозойским вулканитам.

Фиг. 1. Комбинация овальных, палочковидных и коккоидных форм, замещенных окислами железа.

Фиг. 2. На фоне скопления мелких железистых коккоидных форм видны шарики пиролюзита, который, возможно, частично является фоссилизированным гликокаликсом. Не исключено, что данные шарики представляют собою симбиоз грибов и бактерий.

Фиг. 3. Фрагмент фиг. 2; ячеистая поверхность является фоссилизированным гликокаликсом, содержащим Mn, а мелкие кокки преимущественно сложены окислами железа.

Фиг. 4. Кристаллы гиббсита  $[Al(OH)_3]$  или бёмита  $[AlO(OH)]$  среди палочковидных фоссилизированных бактерий.

### Plate XLIX

Cretaceous sedimentary bauxites from Middle Ural, the deposit Sokolovskoe, weathering-crust on Paleozoic volcanites.

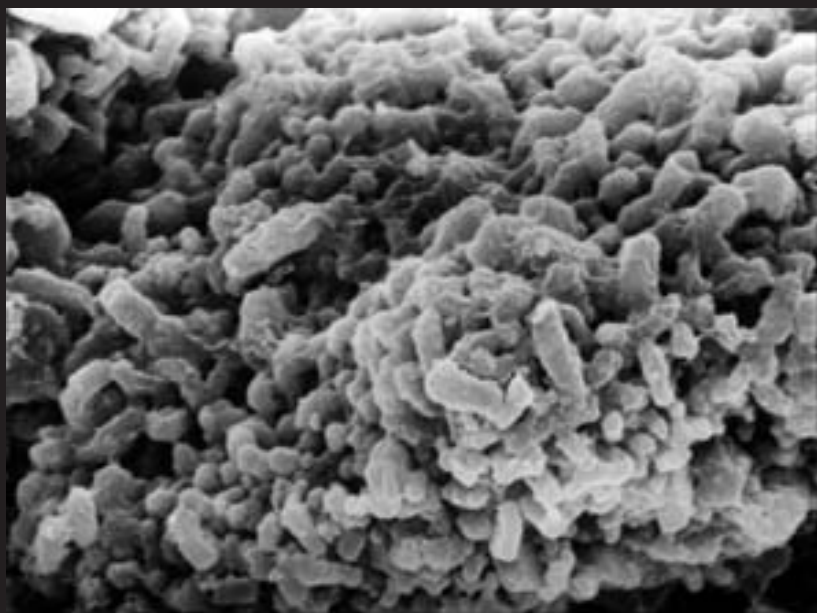
Fig. 1. Combination of oval, rod-like and coccoidal forms, replaced by iron oxides.

Fig. 2. On the surface of the accumulation of small ferriferous coccoidal forms are globules of pyrolusite; probably consisting partly of mineralized glycocalyx. These globules may have formed by symbiosis of fungi and bacteria.

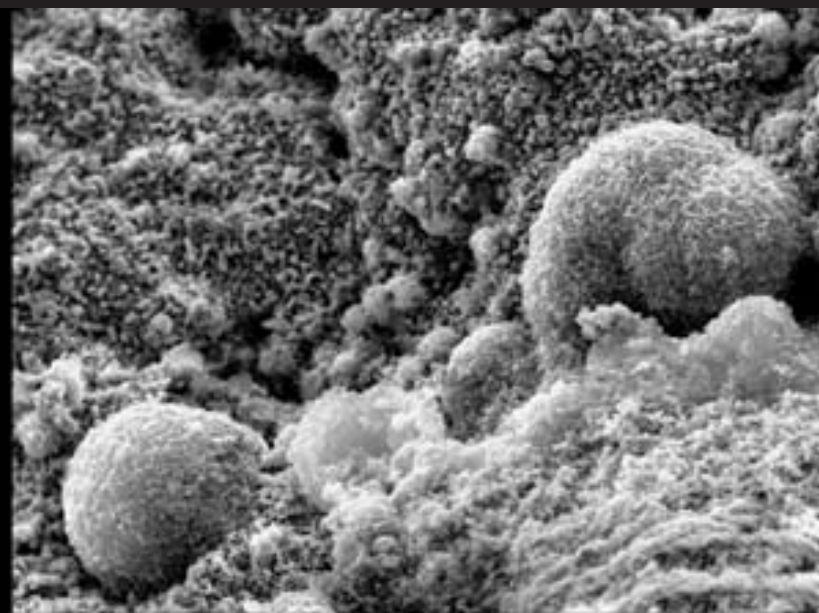
Fig. 3. Fragment of fig. 2. The alveolate surface is fossilized glycocalyx, containing Mn; small cocci consisting predominantly of iron oxides.

Fig. 4. Crystals of Gibbsite  $[Al(OH)_3]$  or Böhmite  $[AlO(OH)]$  among rod-like fossilized bacteria.

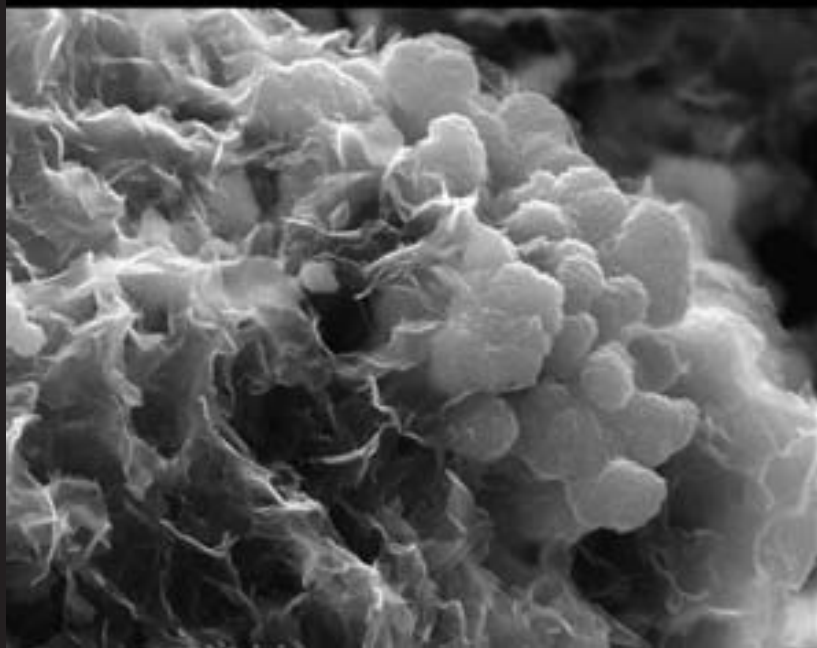




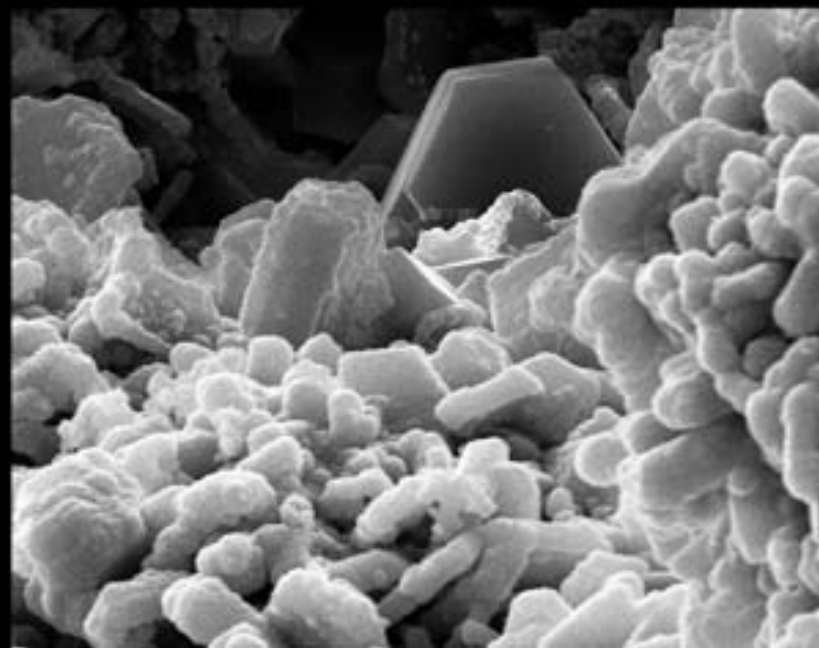
1



2



3



4

Микроорганизмы из отложений континентальных озер.

**Таблица L**

Фиг. 1, 2. Окремненные, коккоидные тела бактерий диаметром около 3  $\mu\text{m}$ , погруженные в замещенный кремнеземом гликокаликс; девон, обогащенные углеродом аргиллиты, местонахождения Малдыбулак, Казахстан.

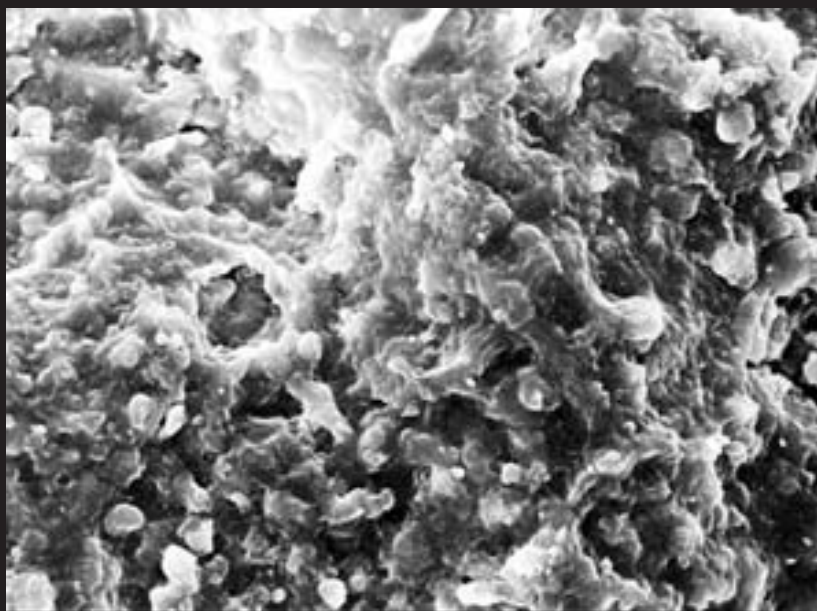
Фиг. 3, 4. Коккоидных (3) и нитчатые (4) бактериальные тела; верхняя пермь, аргиллиты; местонахождение Караунгир, Казахстан.

Microorganisms from deposits of continental lakes.

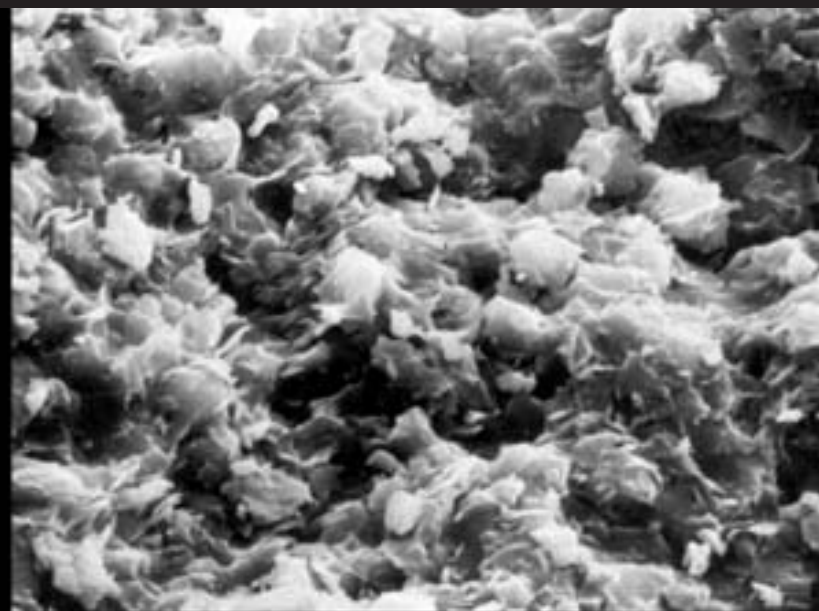
**Plate L**

Figs. 1, 2. Silicified coccoidal bacterial bodies with diameter about 3  $\mu\text{m}$ , immersed in glycocalyx replaced by silicon. Devon, argillites enriched by carbon; Kazakhstan, locality Maldybulak.

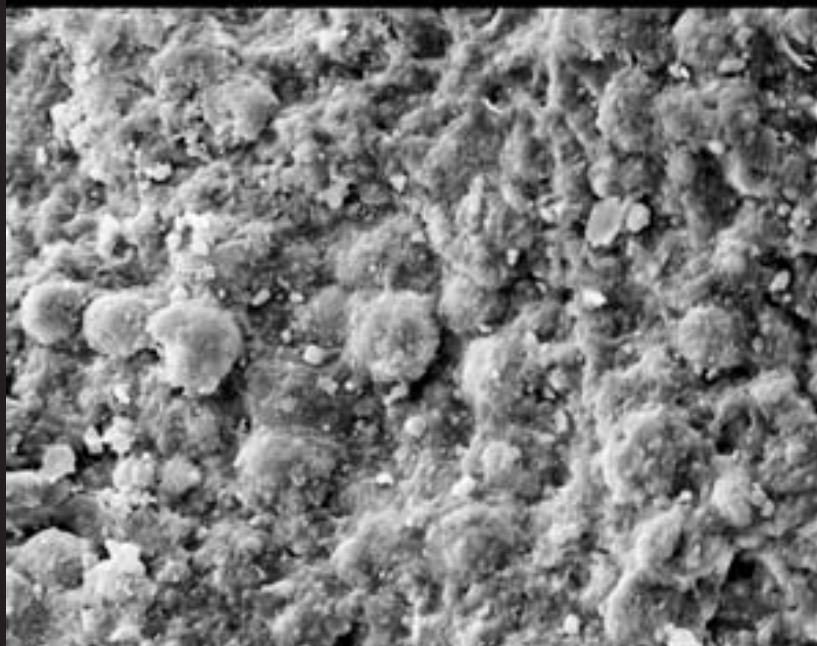
Figs. 3, 4. Coccoidal (fig. 3) and filamentous (fig. 4) bacterial bodies. Upper Permian, argillites. Kazakhstan, locality Karaungir.



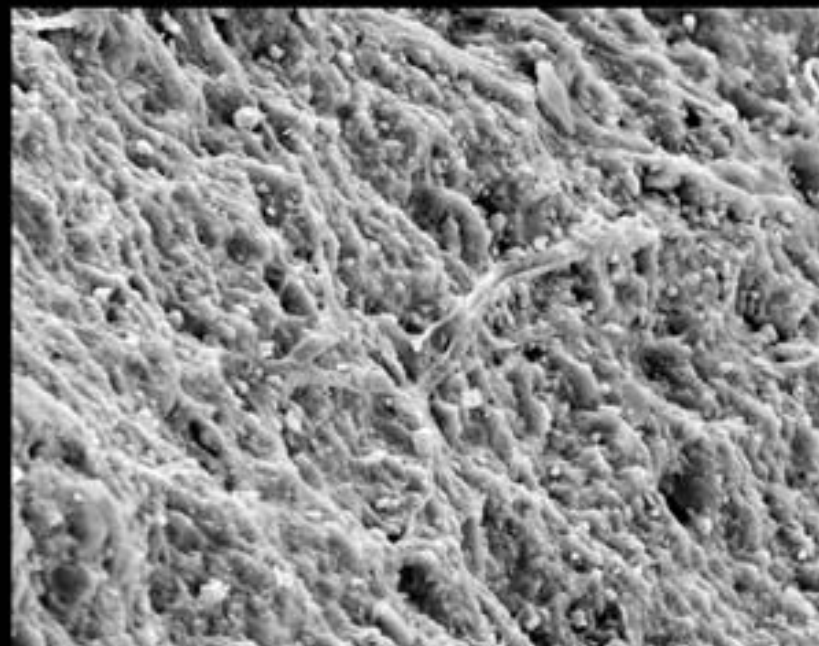
1



2



3



4

### Таблица LI

Фиг. 1, 2. Коккоидные бактериальные тела и следы, оставшиеся от коккоидных форм; юра, тонкослойчатые туфо-аргиллиты; местонахождение Новоспасское, Забайкалье, Бурятия.

Фиг. 3. Фосфатизированные трихомы цианобактерий с диаметром нитей около 3  $\mu\text{m}$ , они почти целиком составляют фосфорит; нижний мел, вельд фосфориты; Англия.

Фиг. 4. Замещенные карбонатом короткие нити и коккоиды; нижний мел, тонкослойчатые мергели местонахождения Бон-Цаган, Монголия.

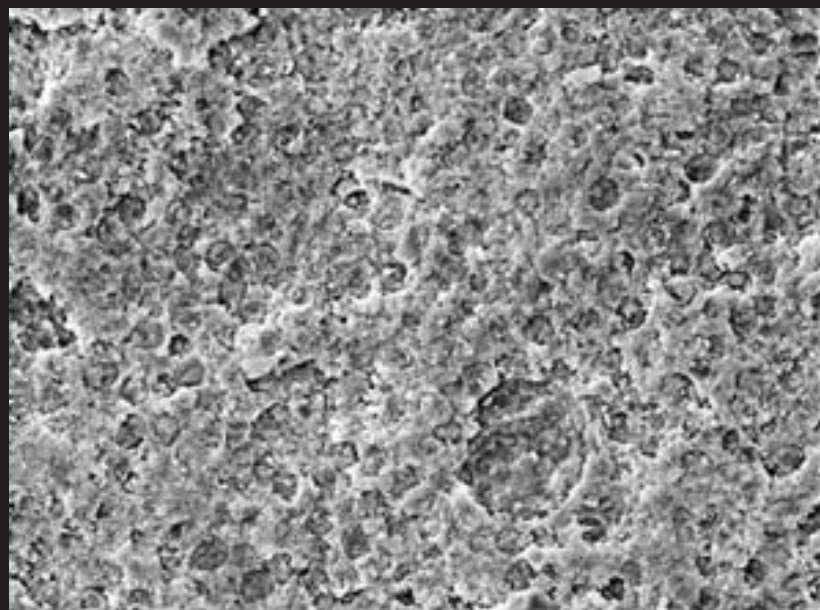
### Plate LI

Figs. 1, 2. Coccoidal bacterial bodies and tracks from coccoidal forms. Jurassic; thin bedding tuffo-argillites; Burjatia, locality Novospasskoe.

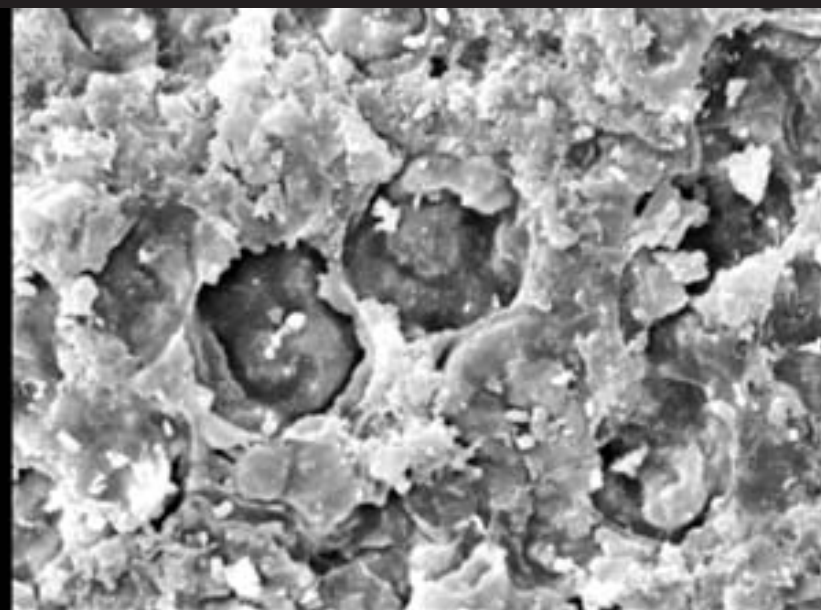
Fig. 3. Phosphatized trichomes of cyanobacteria with diameter of 3  $\mu\text{m}$  almost completely forming the Lower Cretaceous phosphorites of Veld; England.

Fig. 4. Short threads and coccoid replaced by carbonate. Lower Cretaceous, thin bedding marls. Lower Cretaceous, Mongolia, locality Bon-Tzagan.

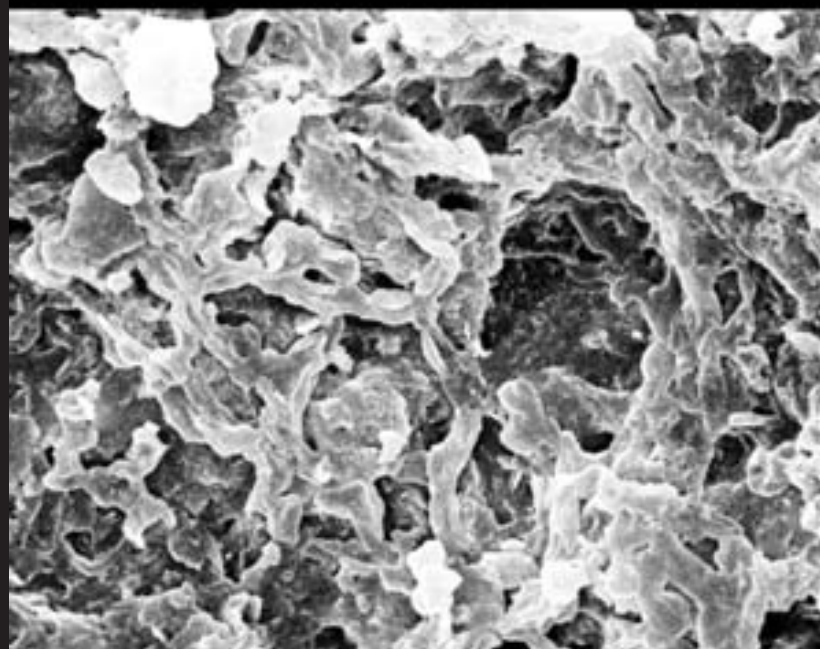




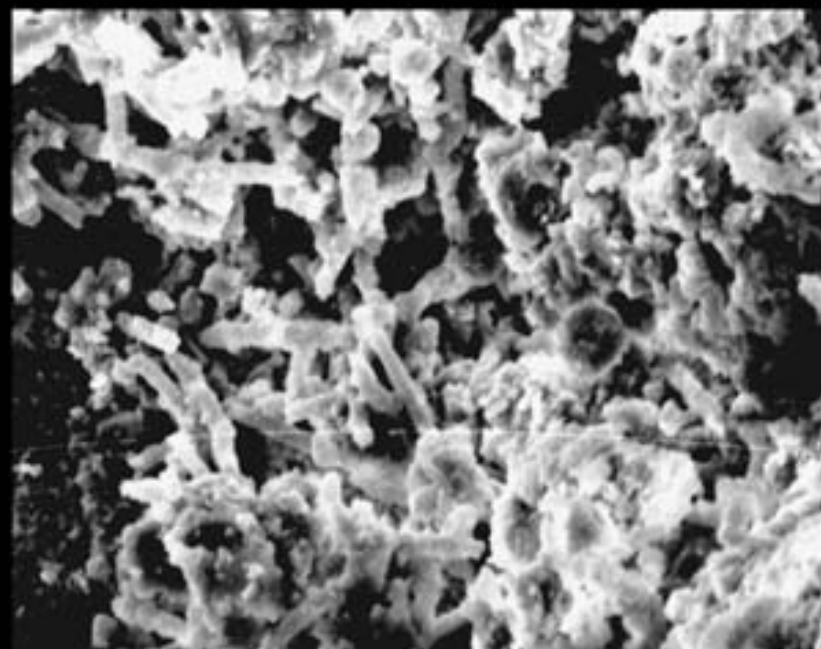
1



2



3



4

### Таблица LII

Фиг. 1. Погруженные в гликокаликс коккоиды из тонкослойчатых мергелей; нижний мел; местонахождение Бон-Цаган, Монголия.

Фиг. 2. Поперечное сечение слоистого мергеля, видно послойное расположение замещенных карбонатом коккоидов и чехлов цианобактерий; карбонат мергелей, возможно, водорослевого происхождения; нижний мел, местонахождение Байса, Забайкалье.

Фиг. 3. Замещенная карбонатом пленка сплошных коккоидных структур; нижний мел; местонахождение Байса, Забайкалье.

Фиг. 4. То же, при большем увеличении.

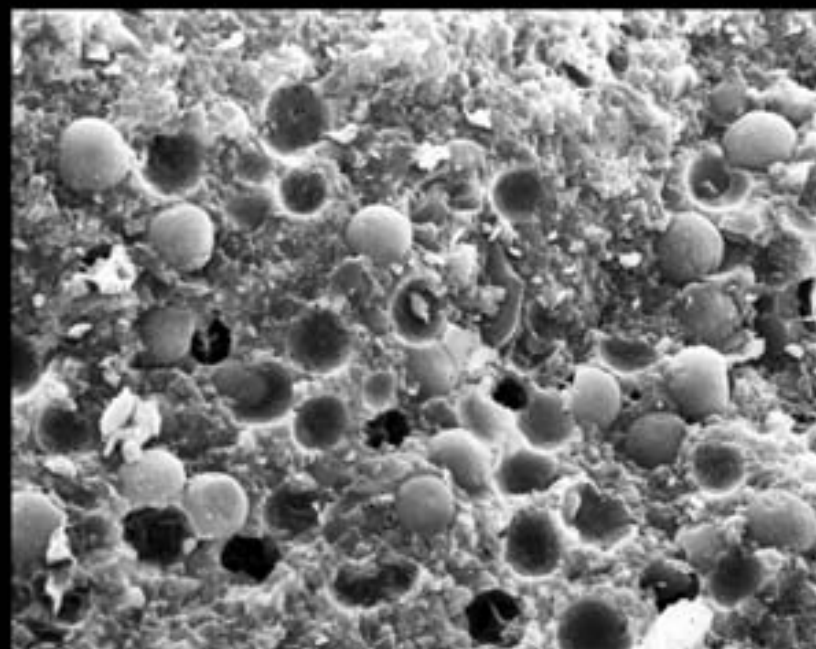
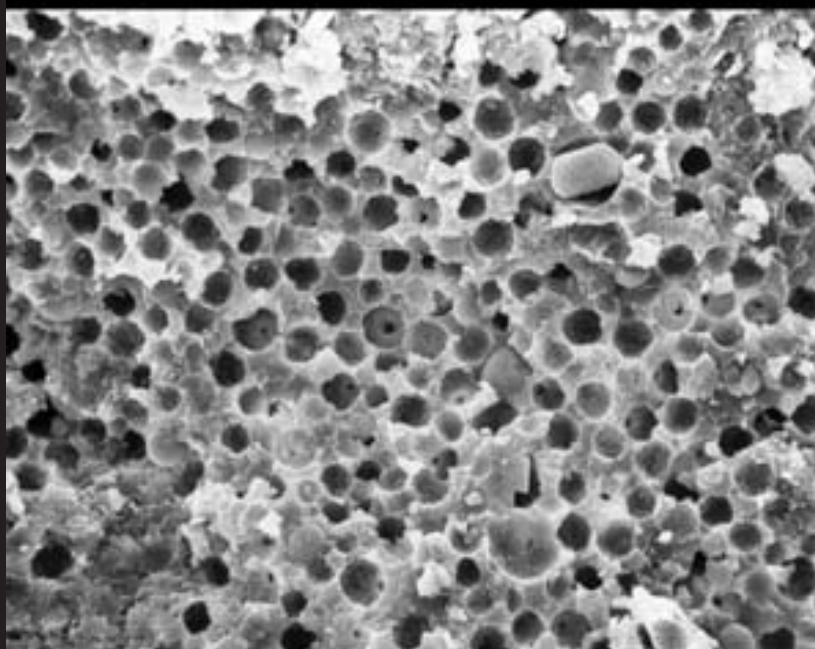
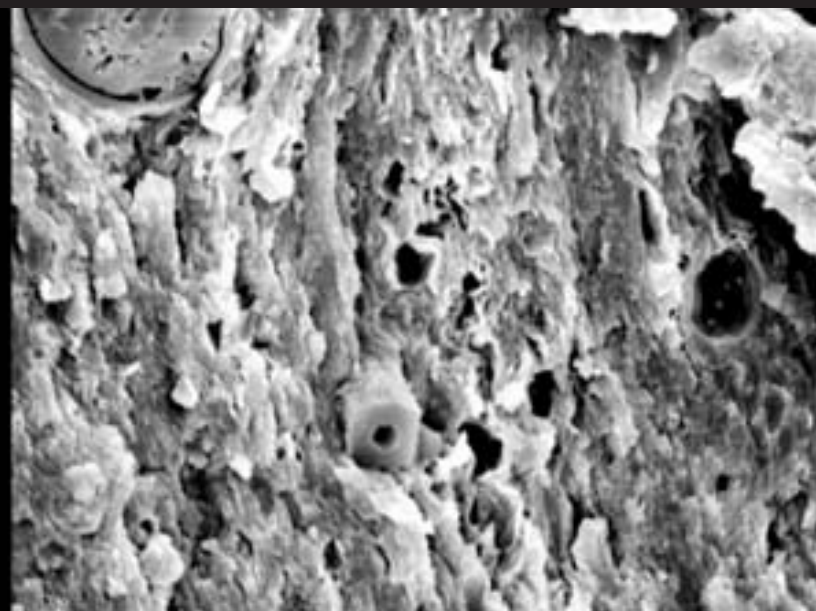
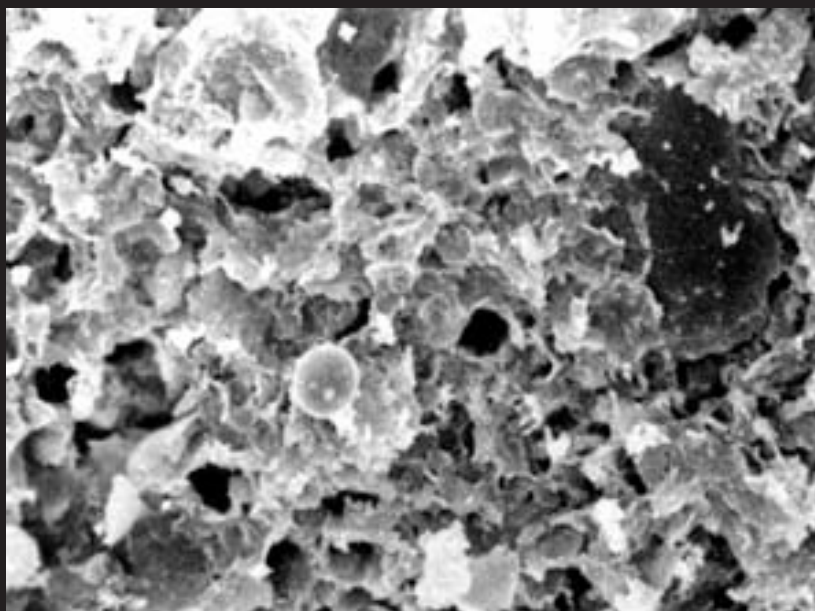
### Table LII

Fig. 1. Coccoids immersed to glycocalyx from thin bedding marls. Lower Cretaceous, Mongolia, locality Bon-Tzagan.

Fig. 2. Cross section of bedding marl; seen as an arrangement of layers of coccoids and sheaths of cyanobacteria replaced by carbonate. The carbonate of the marls are have probably of cyanobacterial origin. Lower Cretaceous, Zabajcalie, locality Bajsa.

Fig. 3. Biofilm of entirely coccoidal forms replaced by carbonate. Lower Cretaceous, Zabajcalie, locality Bajsa.

Fig. 4. The same, enlarged.





Микроорганизмы в раковинах кембрийских фосфатных брахиопод.

### Таблица LIII

Фиг. 1. Тела бактерий, замещенные фосфатом кальция, на сколе раковины фосфатной брахиоподы *Keyserlingia* sp.; верхний кембрий; Ленинградская область.

Фиг. 2. Замещенное фосфатом кальция тело бактерии на сколе раковины *Keyserlingia* sp. Возраст и местонахождение те же.

Фиг. 3. Фосфатизированные тела бактерий и нити, их соединявшие, на сколе раковины *Linnarssonina* sp; нижний кембрий, синская свита; Сибирская платформа.

Фиг. 4. Скопление фосфатизированных тел бактерий на мускульном поле (внутренняя поверхность) фосфатной брахиоподы *Dictyonina* sp.; средний кембрий; Алтае-Саянская область.

Microorganisms in the shells of the Cambrian phosphatic brachiopods.

### Plate LIII

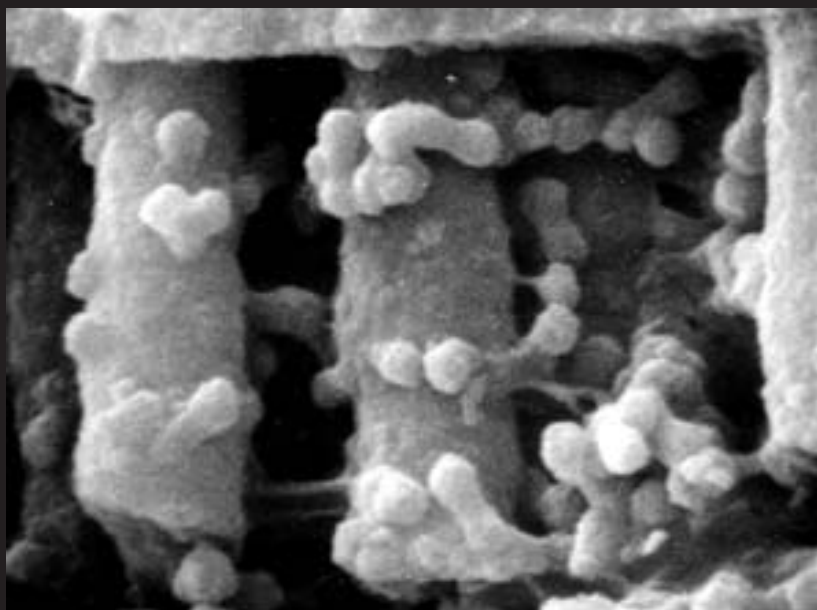
Fig. 1. Bacterial bodies, replaced by calcium phosphate, on the cross section of phosphate brachiopoda valve *Keyserlingia* sp.; Upper Cambrium, Leningrad district.

Fig. 2. Bacteria body replaced by calcium phosphate on the cross section of valve *Keyserlingia* sp.; the same age and locality.

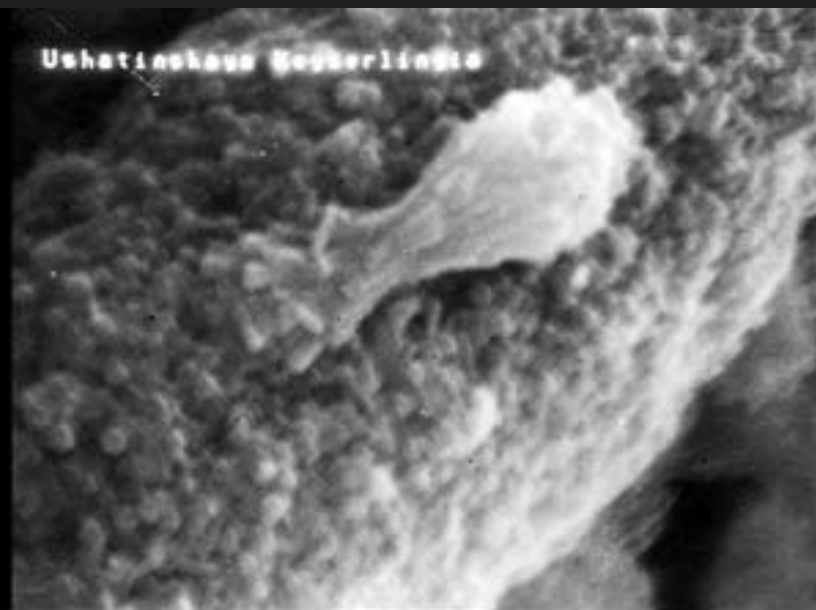
Fig. 3. Phosphatized bacterial bodies and threads connected them on the cross section of valve *Linnarssonina* sp.; Lower Cambrian, Sinsk Formation; Siberian platform.

Fig. 4. Concentration of phosphatized bacteria bodies on the muscle scar (inner surface of valve) of the phosphatic brachiopoda *Dictyonina* sp.; Middle Cambrian; Altae-Sayan district.

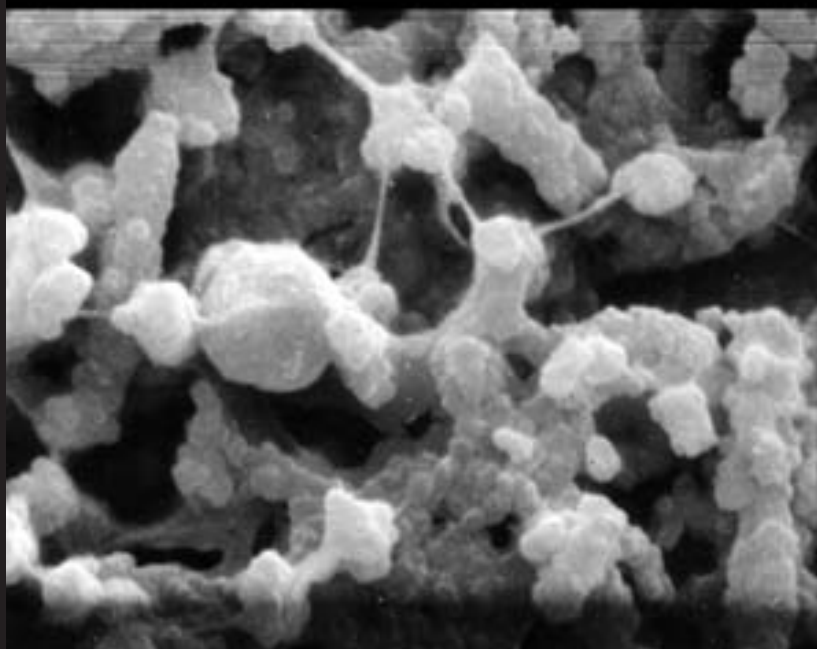




3 μm



10 μm



3 μm



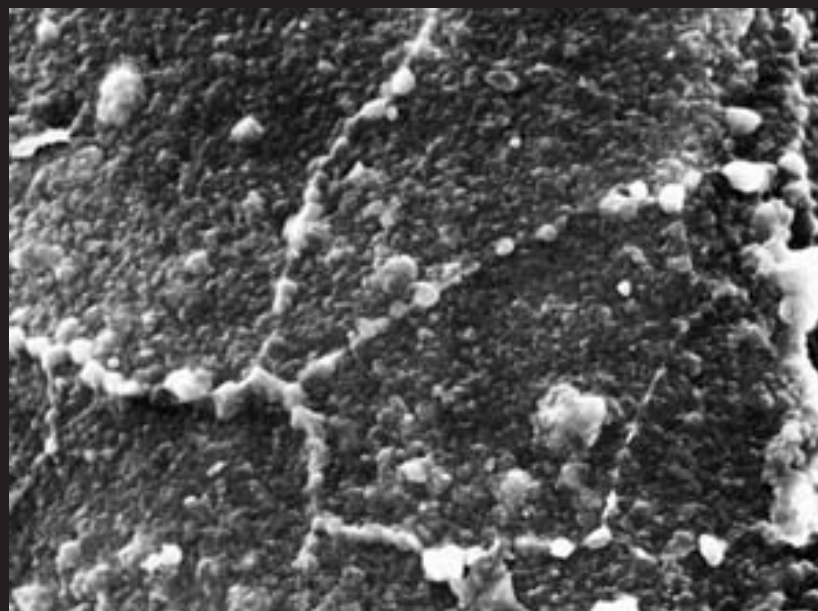
3 μm

## Таблица LIV

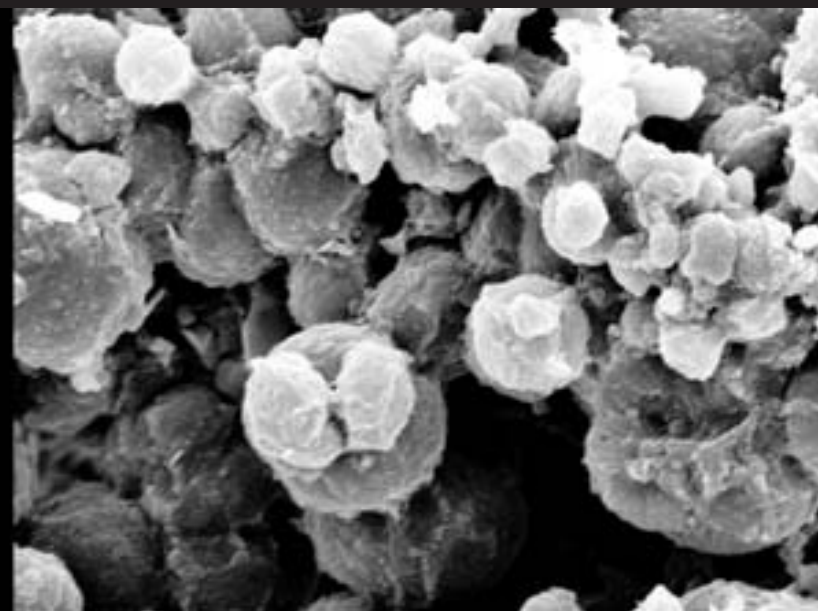
- Фиг. 1. Фосфатизированные нити актиномицетов в примакушечной области у молодой раковины *Eoobolus* sp.; нижний кембрий; Западная Монголия.
- Фиг. 2. Фосфатизированные бактериальные тела на внутренней поверхности фосфатной раковины *Cryptotreta* sp. немного ниже центра фотографии видно не доведенное до конца деление бактерии; нижний кембрий, пестроцветная свита; Сибирская платформа.
- Фиг. 3. Скопление бактериальных тел на внутренней поверхности фосфатной раковины *Cryptotreta* sp.; нижний кембрий, пестроцветная свита; Сибирская платформа.
- Фиг. 4. Участок фосфатизированной органики, вероятно, оставшийся от мягкого тела брахиоподы и разрушавшие его бактериальные тела на внутренней поверхности раковины *Cryptotreta* sp.; нижний кембрий, пестроцветная свита; Сибирская платформа.

## Plate LIV

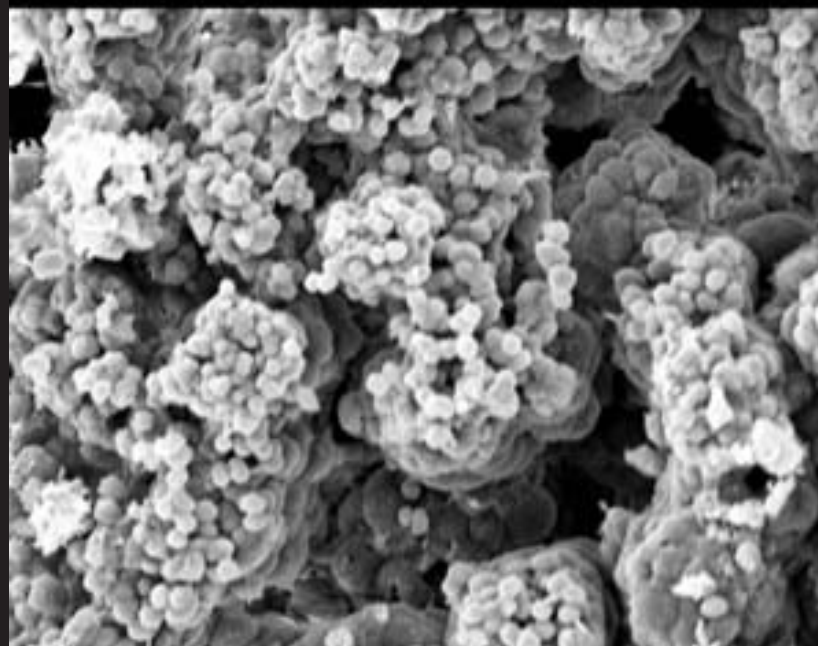
- Fig. 1. Phosphatized threads of actinomyces near the apex on the outer surface of young valve *Eoobolus* sp.; Lower Cambrian; West Mongolia.
- Fig. 2. Phosphatized bacterial bodies on the inner surface of the phosphate brachiopoda valve *Cryptotreta* sp.; below of the centre it is possible to see the beginning of fission of bacterial body; Lower Cambrian, Pestrozvet Formation; Siberian platform.
- Fig. 3. Concentration of bacterial bodies on the inner surface of phosphate brachiopoda valve *Cryptotreta* sp.; Lower Cambrian, Pestrozvet Formation, Siberian platform.
- Fig. 4. Phosphatized organic matter (probably from soft body of brachiopoda) and bacterial bodies that destroyed it on the inner surface of valve *Cryptotreta* sp.; Lower Cambrian, Pestrozvet Formation, Siberian platform.



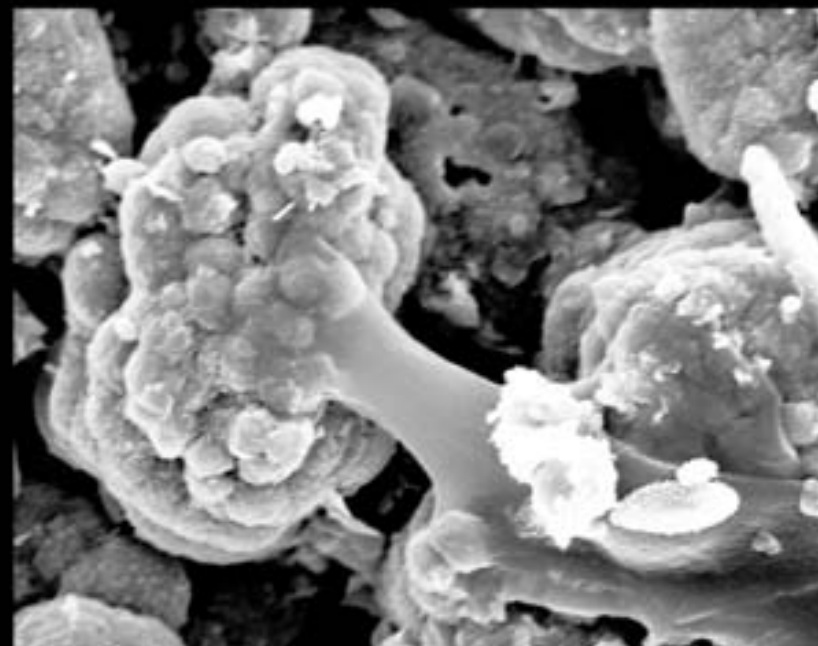
1



2



3



4

3 μm

10 μm

10 μm

10 μm

Микроорганизмы среди золотоносных отложений

Фотографии на таблицах LVI (фиг. 1–4) и LVI (фиг. 1, 2) сделаны с образцов, происходящих из бассейна Витватерсранд (Южная Африка, ЮАР) из золотоносной группы Витватерсранд (возраст около 3 млрд. л.). Образцы собраны в руднике West Driefonten, рудное поле West Buic Lain (переданы М.А. Федонкиным), и представляют собою сильно окварцованные обогащенные углеродом глинистые сланцы со столбчатой отдельностью.

**Таблица LV**

Фиг. 1. Фрагмент слоя столбчатого углеродистого сланца, содержащего золото, общий вид.

Фиг. 2. Замещенные золотом трихомы цианобактерий, заключенные в сланце.

Фиг. 3. Изгибающиеся пучки цианобактерий, замещенных золотом.

Фиг. 4. То же, с большим увеличением.

Microorganisms among the auriferous sediments

The photos on the plates LV (figs. 1–4) and LVI (figs 1, 2) are made from samples provided by M.A. Fedonkin. The samples are from basin Witwatersrand (South Africa, SAR) from auriferous Group Witwatersrand (age about 3 Ga). They were collected from West Driefonten mine, ore mineralization West Buic Lain. All samples are strong silicified and enriched by carbon clay shale with columnar jointing.

**Plate LV**

Fig. 1. General view of the fragment of bed of columnar carbonaceous shale that contained the gold.

Fig. 2. Trichomes of cyanobacteria replaced by gold from shale.

Fig. 3. Curving bundles of cyanobacteria, replaced by gold.

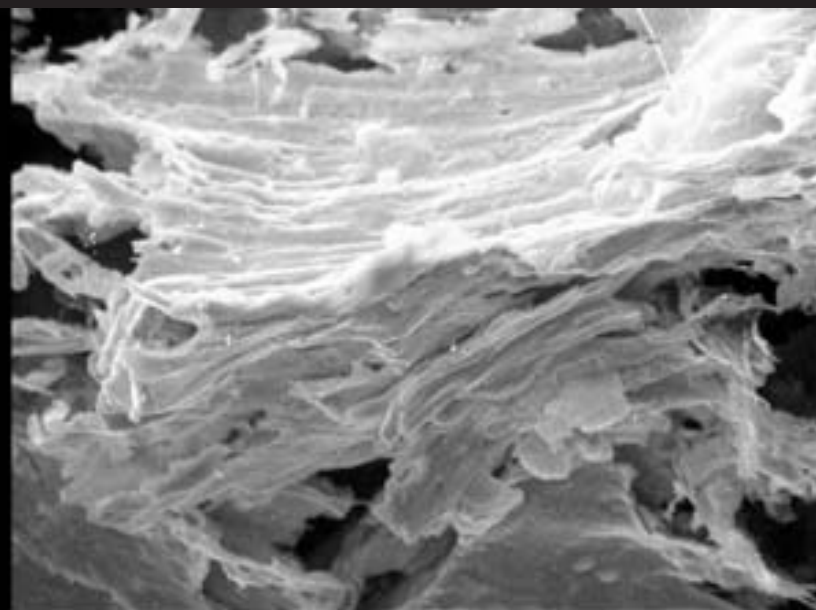
Fig. 4. The same, enlarged.





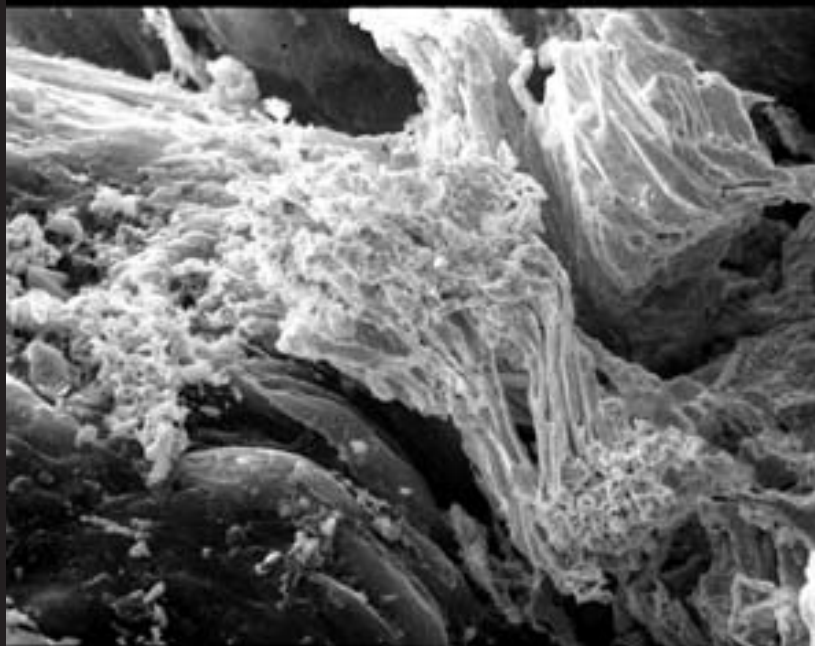
300  $\mu\text{m}$

1



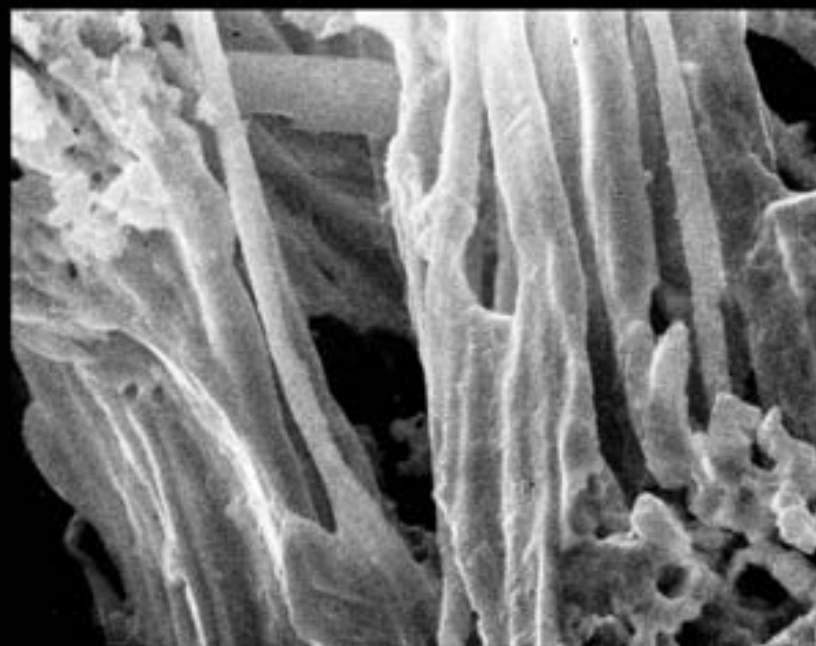
10  $\mu\text{m}$

2



30  $\mu\text{m}$

3



3  $\mu\text{m}$

4

### Таблица LVI

Фиг. 1. Фрагмент окварцованного золотоносного сланца с замещенными золотом коккоидными телами бактерий.

Фиг. 2. То же, другой участок, кроме коккоидных, видны и другие бактериальные тела.

Фиг. 3, 4. Фотографии сделаны с образцов из аллювиальной четвертичной золотосодержащей россыпи; Амурская область, Октябрьская россыпь.

Фиг. 3. Замещенные золотом переплетения трихомов цианобактерий и остатки гликокаликса.

Фиг. 4. Строение золотины с биоморфным строением; видны нитевидные и коккоидные формы.

### Plate LVI

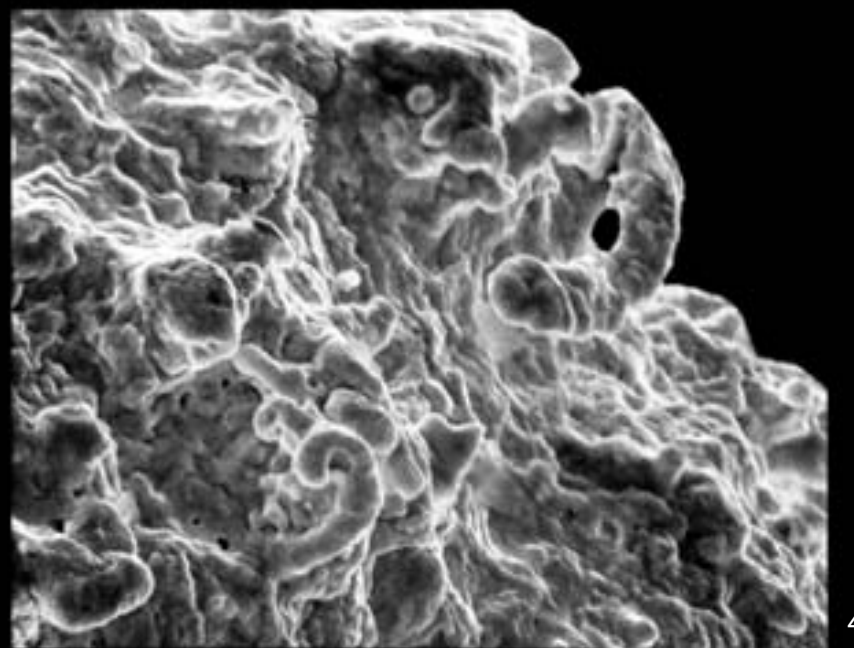
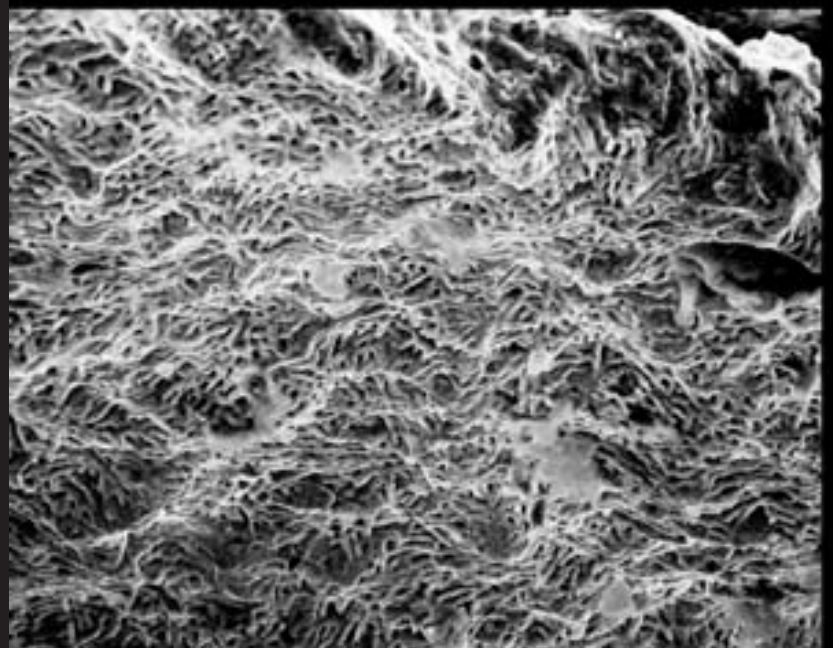
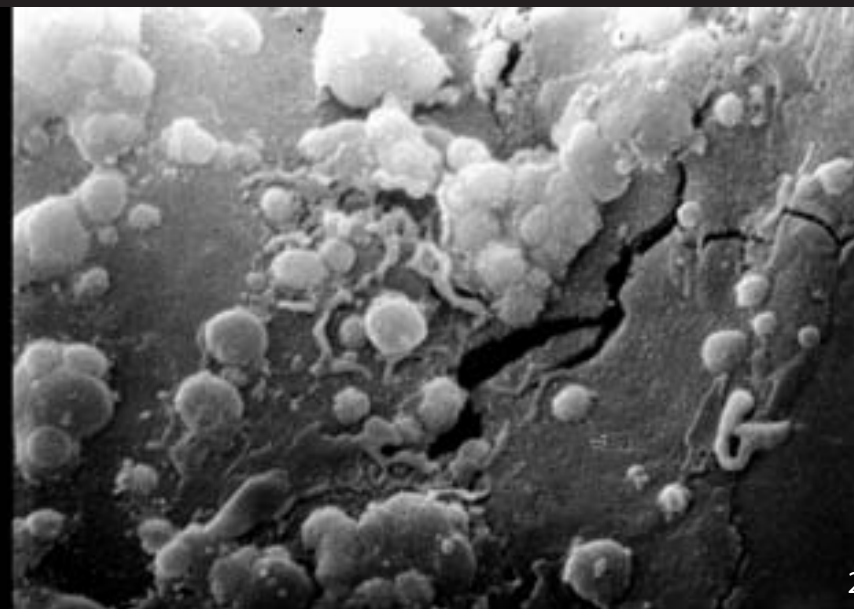
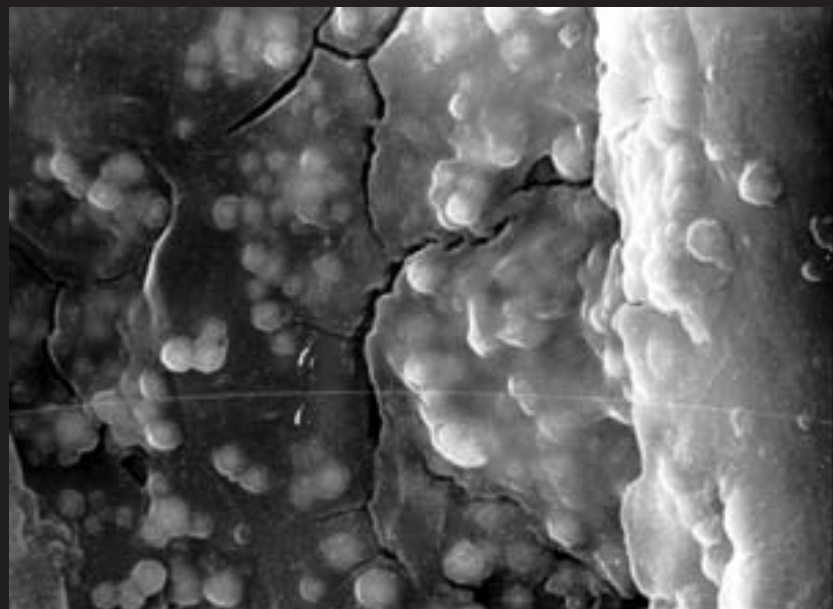
Fig. 1. Fragment of silicified auriferous shale with bacterial coccoidal bodies replaced by gold.

Fig. 2. The same, another part; there are other bacterial bodies besides the coccoidal forms.

Figs. 3, 4. The samples from alluvial Quarternary auriferous placer deposit (Amur district, October placer).

Fig. 3. Interlacing of cyanobacterial trichomes and remains of glycocalyx replaced by gold.

Fig. 4. The structure of gold grain with biomorph texture: filamentous and coccoidal forms.



## Таблица LVII

Фиг. 1–3. Метеорит Алаис (C11), углистый хондрит, упал 15 марта 1806 г. в местечке Алаис, Франция. Участки с фрамбоидами пирита. Размеры отдельных кристаллитов пирита, слагающих шаровидные структуры, менее 1  $\mu\text{m}$ . Появление подобных фрамбоидов пирита в земных условиях происходит при трансформации органического вещества в бескислородных условиях в присутствии сульфат-редуцирующих бактерий.

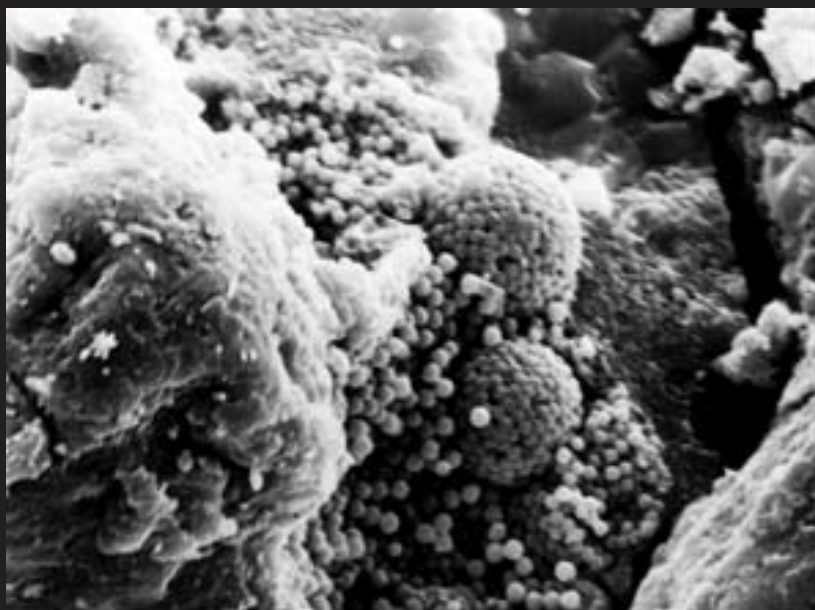
Фиг. 4. Метеорит Каинсаз (CO3) – углистый хондрит, упал у села Каинсаз, Татарстан, Поволжский район, 13 сентября 1937 г. Фрамбоид пирита и вокруг него россыпь отдельных кристаллитов. Кристаллиты как во фрамбоиде, так и в породе сильно разрушены.

## Plate LVII

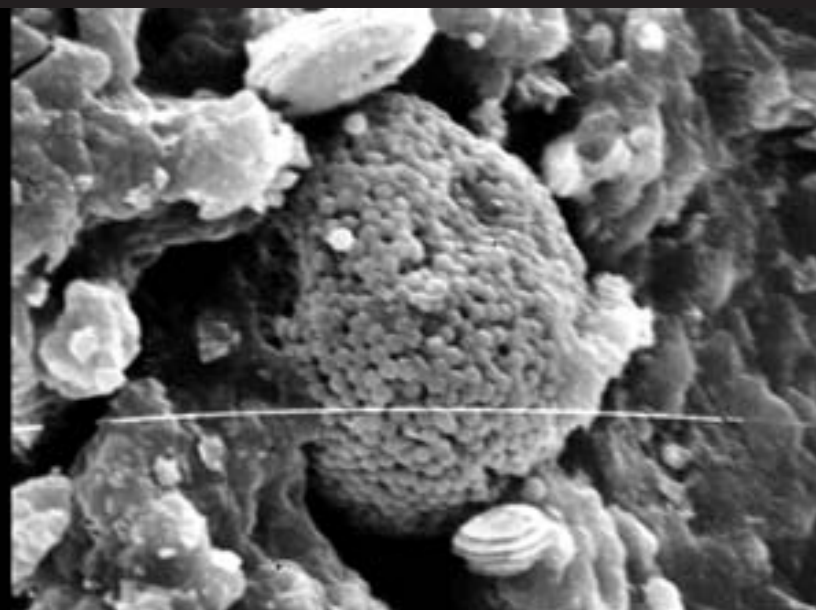
Figs. 1–3. Meteorite Alais, C11 Carbonaceous chondrite – Fall, Alais, France March 15, 1806. The fragments with pyrite framboids formed globe-shape structures. Sizes of separate pyrite crystallites are less than 1  $\mu\text{m}$ . The appearance of such pyrite framboids on the Earth occurs in the anoxic conditions and in the presence of sulfur-reducing bacteria.

Fig. 4. Meteorite Kainsaz CO3.2 Carbonaceous chondrite – Fall, Kainsaz, Tatarstan Republic, Povolzhsky Region, Russia, Sept. 13, 1937. Pyrite framboid surrounded by accumulation of separate crystallites. All crystallites in framboid and in the rock are strongly destroyed.

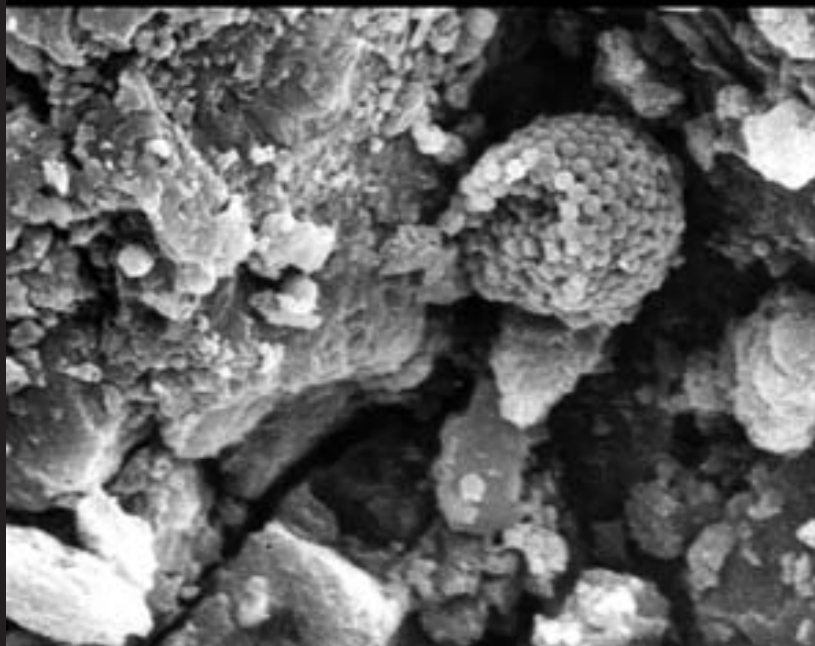




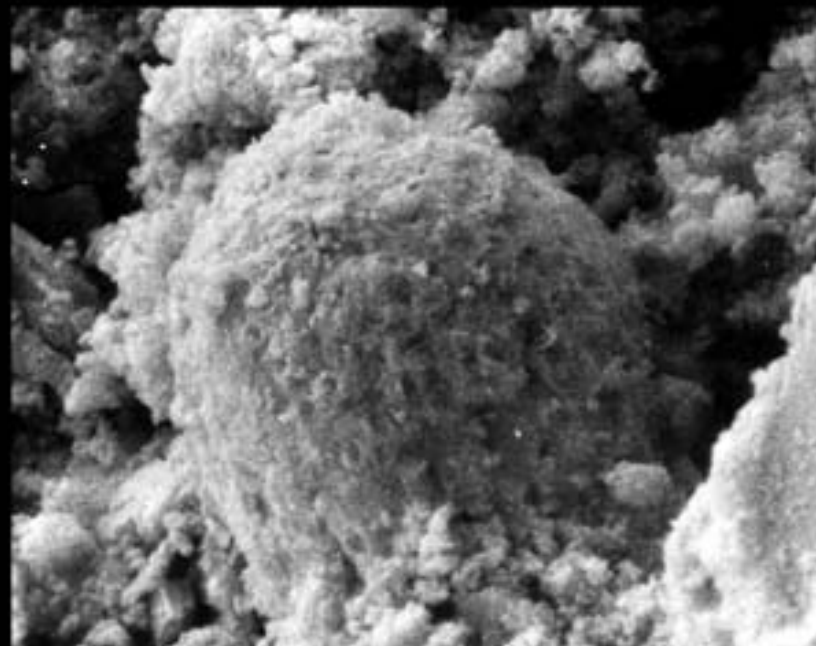
1



2



3



4

### Таблица LVIII

Метеорит Альенде (CV3), углистый хондрит, упал 8 февраля 1969 г. в Пуэблито де Альенде, штат Чиуауа, Мексика. При падении разбился на множество обломков, общая масса которых около 5 тонн.

Фиг. 1. Псевдоморфоза по чехлу цианобактерии, вероятно, заключавшего несколько трихомов.

Фиг. 2. Нитчатый микроорганизм с частично сохранившимися следами клеточного строения. Рядом видны фрагменты других бактериоморфных форм.

Фиг. 3. Тело сферической формы с диаметром около 20  $\mu\text{m}$ . Возможно, это псевдоморфоза по коккоидной колонии, но не исключено, что тело принадлежит минерализованному эвкариотному организму.

Фиг. 4. Минерализованный гликокаликс с пустотами сферической формы, вероятно, оставшимися от коккоидных тел.

### Plate LVIII

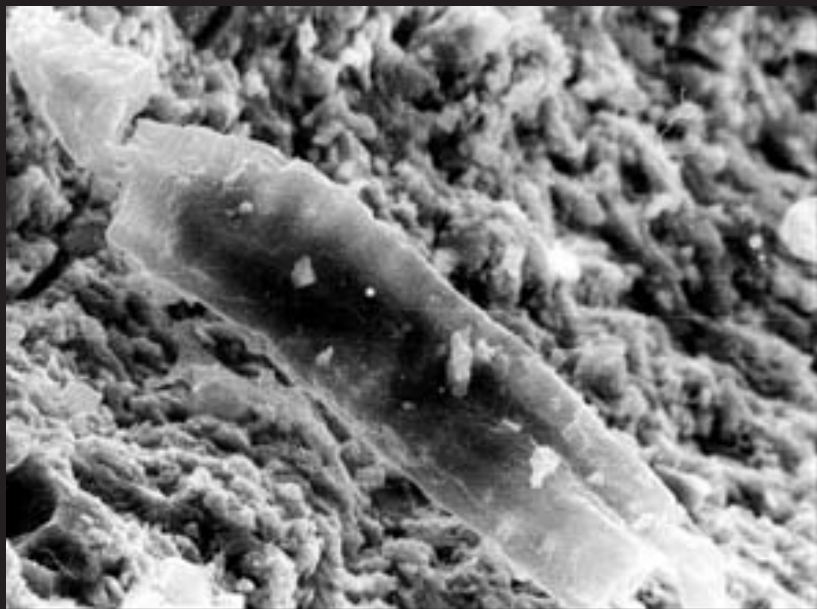
Meteorite Allende CV3 Carbonaceous chondrite – Fall; Pueblito de Allende, Chihuahua State, Mexico; Feb. 8, 1969. The largest carbonaceous meteorite recovered on Earth. Allende was broken on the many fragments, the total mass of all fragments recovered is about five tons.

Fig. 1. Pseudomorph on the sheath of cyanobacteria probably including several trichomes.

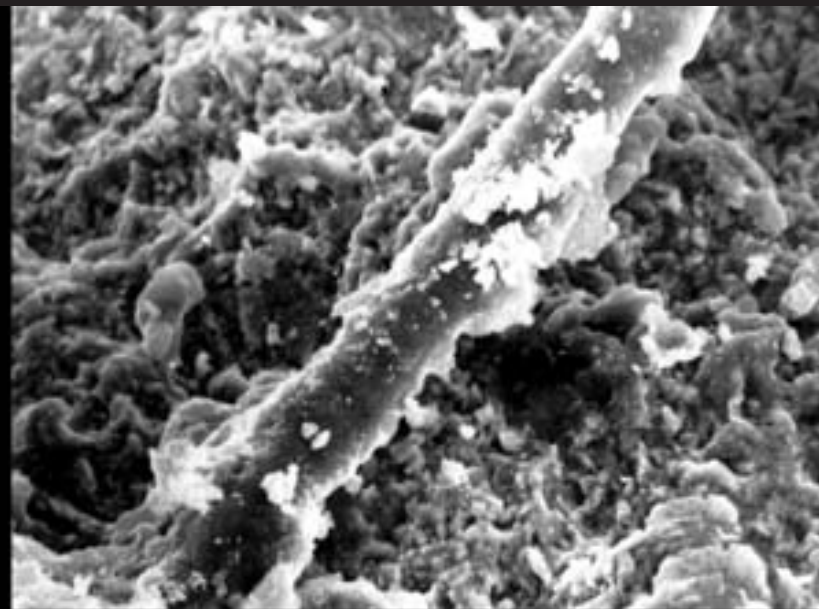
Fig. 2. Filamentous microorganism with partly preserved cell structure. Nearby are fragments of other bacteriomorphs.

Fig. 3. Spherical form with diameter  $\sim 20 \mu\text{m}$ . Probably it is pseudomorph on coccoidal colony, but may represent a mineralized eucaryotic microorganism.

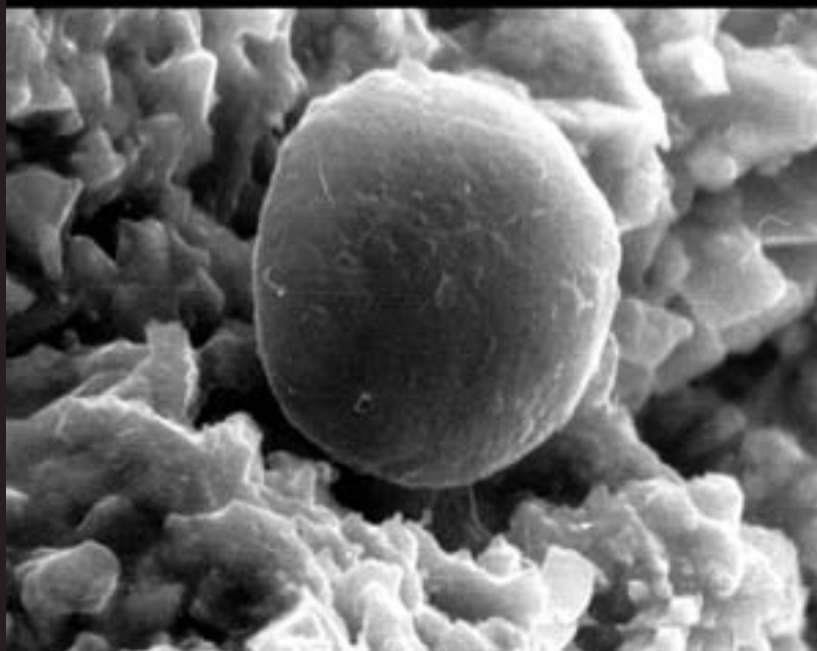
Fig. 4. Mineralized glycocalyx contains cavities from coccoidal forms.



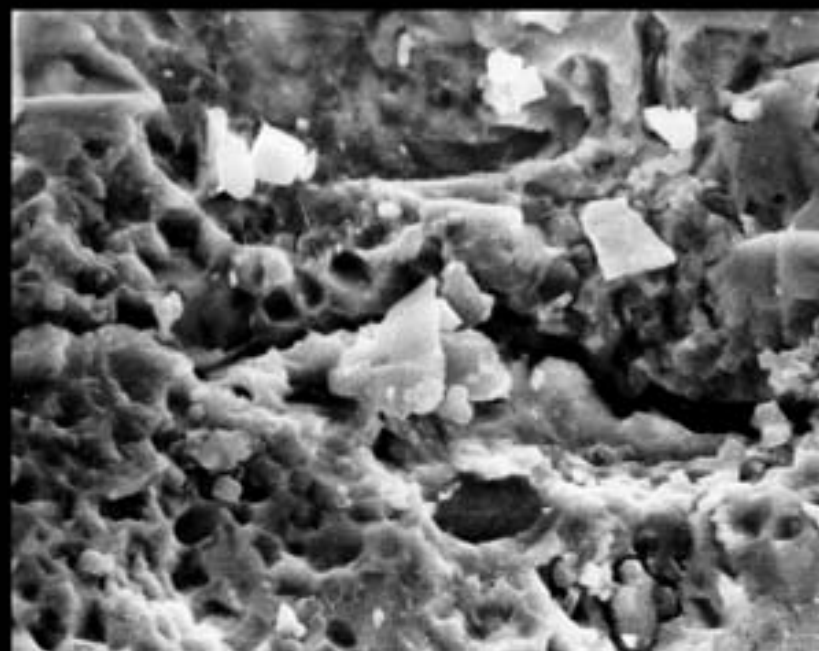
1



2



3



4

20 μm

20 μm

10 μm

1 μm

### Таблица LIX

Метеорит Альенде (CV3).

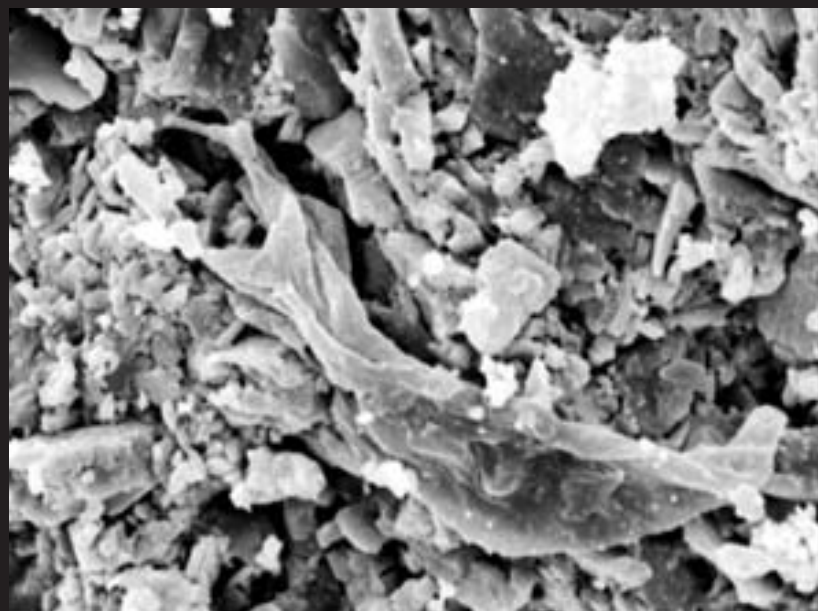
- Фиг. 1. Расплющенная пленка, возможно, псевдоморфоза по чехлу цианобактерии.
- Фиг. 2. Мешковидная форма диаметром около 10  $\mu\text{m}$  с шероховатой поверхностью. Состав – чистая сера; возможно, состоит из минерализованных серобактерий.
- Фиг. 3. Скопление коротких фрагментов, возможно, обрывков от минерализованных нитей цианобактерий.
- Фиг. 4. Фрагмент, состоящий из fossilized биопленки с пустотами, оставшимися от коккоидных форм или их колоний.

### Plate LIX

Meteorite Allende CV3.

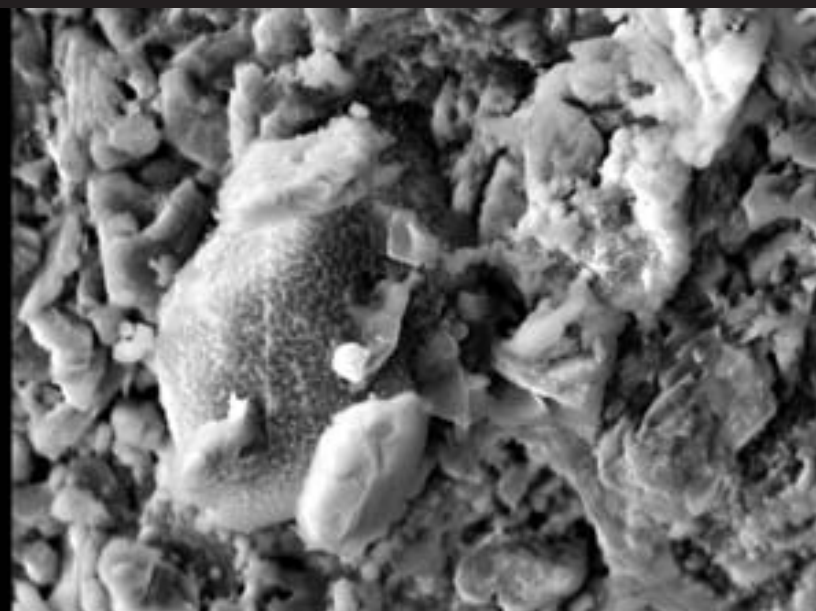
- Fig. 1. Flattened film, probably it is pseudomorph on cyanobacterial sheath.
- Fig. 2. Bag-like form with diameter about 10  $\mu\text{m}$  with unequal surface. The composition is pure sulfur; probably it is composed of mineralized sulfur-bacteria.
- Fig. 3. Accumulation of short fragments that probably represent bits of mineralized cyanobacterial trichomes.
- Fig. 4. Fragment consisting of fossilized biofilm with traces from coccoidal forms or their colonies.





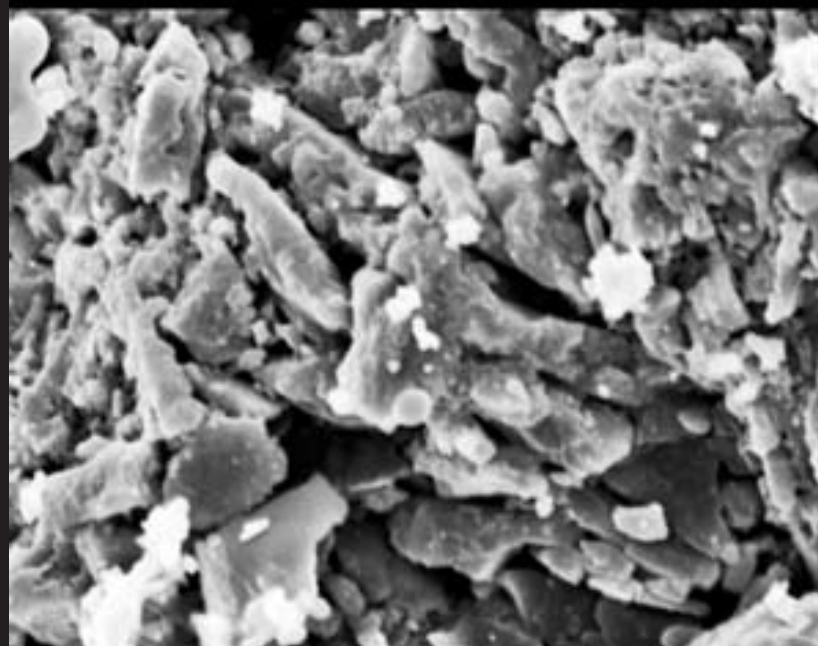
10  $\mu\text{m}$

1



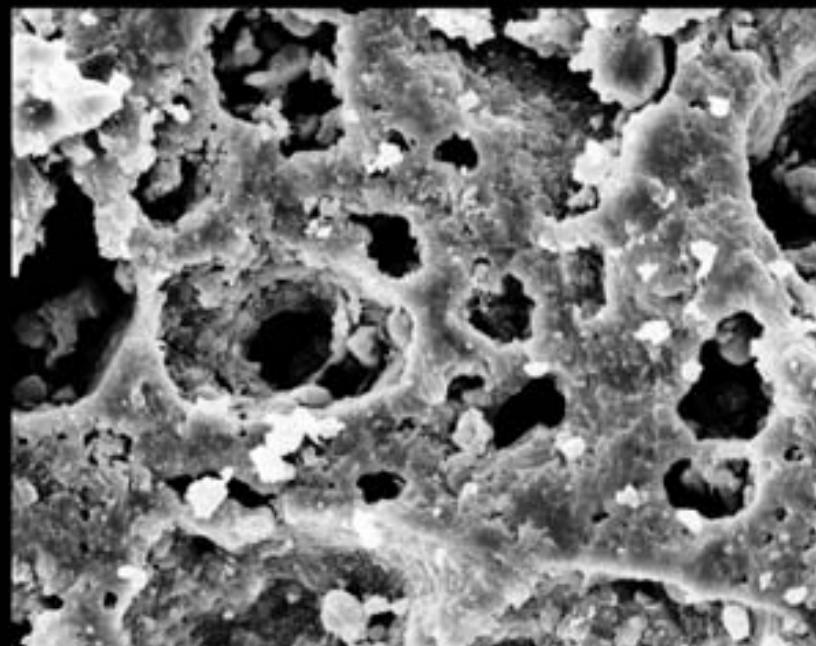
8  $\mu\text{m}$

2



3  $\mu\text{m}$

3



10  $\mu\text{m}$

4

### Таблица LX

Метеорит Ефремовка (СМ2), углистый хондрит, найден в 1962 г.  
в Павлодарской области, Казахстан.

Фиг. 1. Нитчатая форма, напоминающая актиномицеты. Лежащая под ними порода состоит из скопления коккоидных форм.

Фиг. 2. Скопление коккоидных форм диаметром около 1.5  $\mu\text{m}$ . Иногда они образуют дипло- и тетракокки или короткие нити.

Фиг. 3. Псевдоморфозы по нитям цианобактерий. На тонкой нити в центре видно ее деление на клетки. Рядом, ответвившаяся короткая нить, заканчивающаяся шаром, возможно, минерализованным спорангием.

Фиг. 4. Псевдоморфозы по нитчатым цианобактериям, состоявшим из нескольких трихомов, одетых одним общим чехлом.

### Plate LX

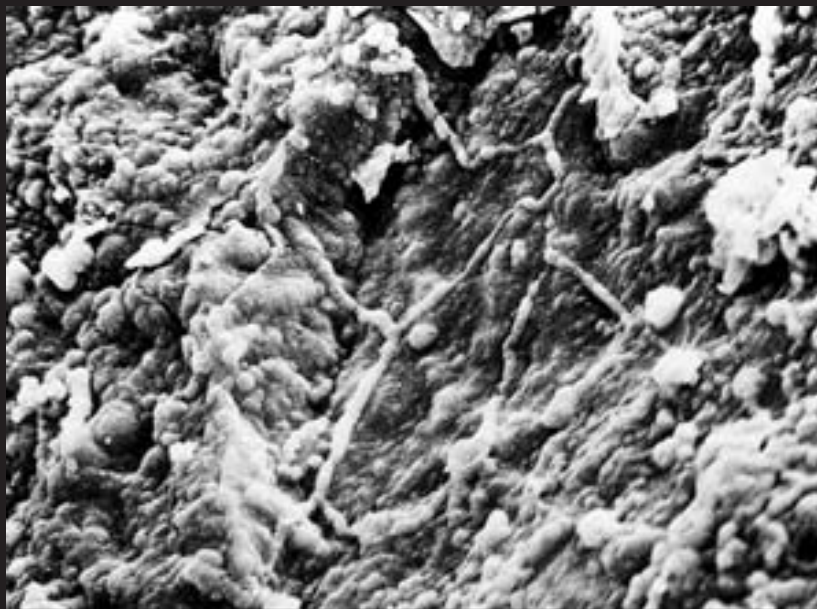
Meteorite Efremovka CM2 Carbonaceous chondrite – Find, 1962 – Pavlodar region,  
Kazakhstan.

Fig. 1. Thread form similar to actinomyces. The rock under it consists of accumulation of mineralized coccoidal forms.

Fig. 2. Accumulation of coccoidal forms with diameter  $\sim 1.5 \mu\text{m}$ . Sometimes they form diplo- and tetracocci or short filaments.

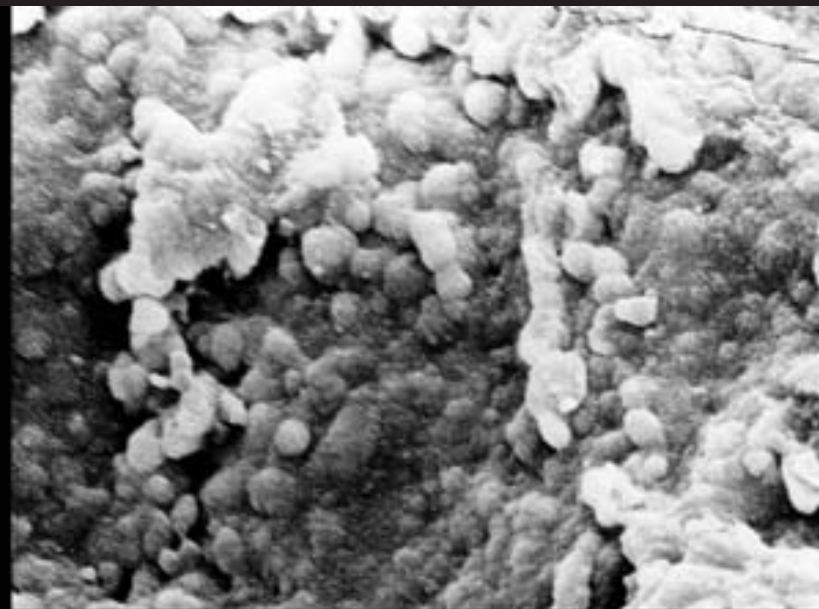
Fig. 3. Pseudomorps on the cyanobacterial trichomes. In the centre there is fission of the cells on the thin trichome. Near branched short filament with spherical terminiu; possibly a mineralized sporangium or terminal heterocyst.

Fig. 4. Pseudomorphs on multiseriate filamentous cyanobacteria, consisting of several trichomes encased within a common sheath.



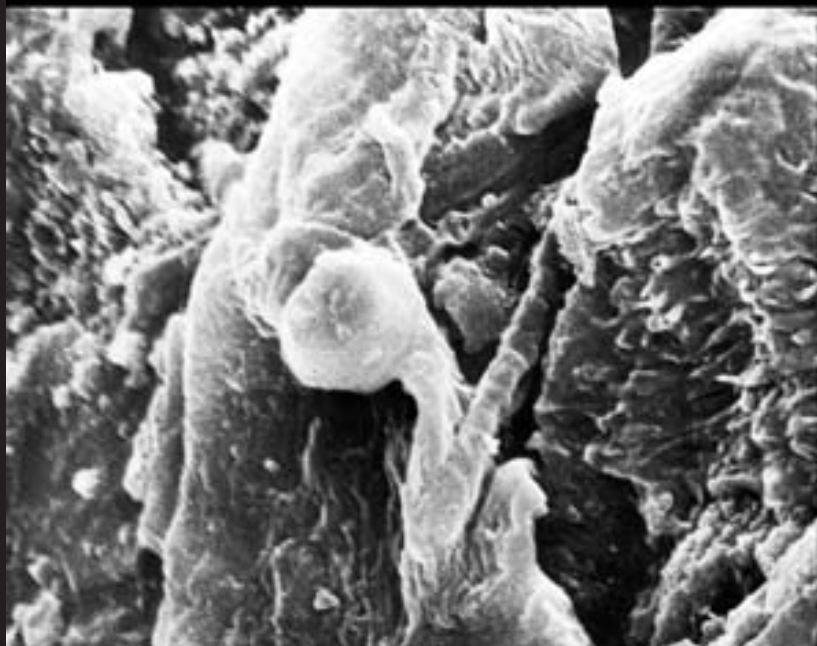
1

10 μm



2

3 μm



3

3 μm



4

3 μm



### Таблица LXI

Метеорит Мигей (СМ2), углистый хондрит, упал 18 июня 1889 г.  
близ г. Николаева, Украина.

Фиг. 1. Войлокоподобная пластина, состоящая из ниточек длиной 50–100  $\mu\text{m}$ , возможно являющимися псевдоморфозами по нанобактериям.

Фиг. 2. Войлокоподобная пластина, состоящая из ниточек около 50 nm длины, рядом с которыми располагаются скопления коккоидных форм с диаметром 200–400 nm. Возможно и те, и другие являются псевдоморфозами по нанобактериям.

Фиг. 3. Скопления коккоидных биоморфных структур, одиночных с диаметром менее микрона или объединенных в колонии с диаметром до 2–3  $\mu\text{m}$ .

Фиг. 4. Коккоидные формы с диаметром от 200 nm до 1  $\mu\text{m}$ , иногда делящиеся. Справа, возможно, находится их колония.

### Plate LXI

Meteorite Mighei CM2 Carbonaceous chondrite – Fall, June 18, 1889 –  
near town Nikolaev, Ukraine.

Fig. 1. Thin felt-like plate consisting of threads with length 50–100 nm. Probably they are pseudomorphs on nanobacteria.

Fig. 2. Thin felt-like plate consisting of threads about 50 nm in length; near there are the accumulation of coccoid forms with diameter about 200–400 nm. Probably all they are pseudomorphs on nanobacteria.

Fig. 3. The accumulation of coccoidal biomorphic structures: isolated with diameter less than 1  $\mu\text{m}$  or united in colonies with diameter to 2–3  $\mu\text{m}$ .

Fig. 4. Coccoidal forms with diameter from 200 nm to 1  $\mu\text{m}$ ; sometimes they are divided. Their colony is probably at the right.





1



2



3



4

### Таблица LXII

Метеорит Муррей (CM2), углистый хондрит, упал 29 сентября 1950 г.  
близ пос. Муррей, Коллоуей Коунти, Кентукки, США.

Фиг. 1. Короткие нити, состоящие из овальных или шарообразных близких по размеру форм, содержащих серу и кальций. Такие же отдельные формы разбросаны по породе. Возможно, все они являются псевдоморфозами по какому-то типу серобактерий.

Фиг. 2. То же, увеличено.

Фиг. 3. То же увеличено.

Фиг. 4. Слои, состоящие из скоплений таких же форм, собранных в нити и отдельных.

### Plate LXII

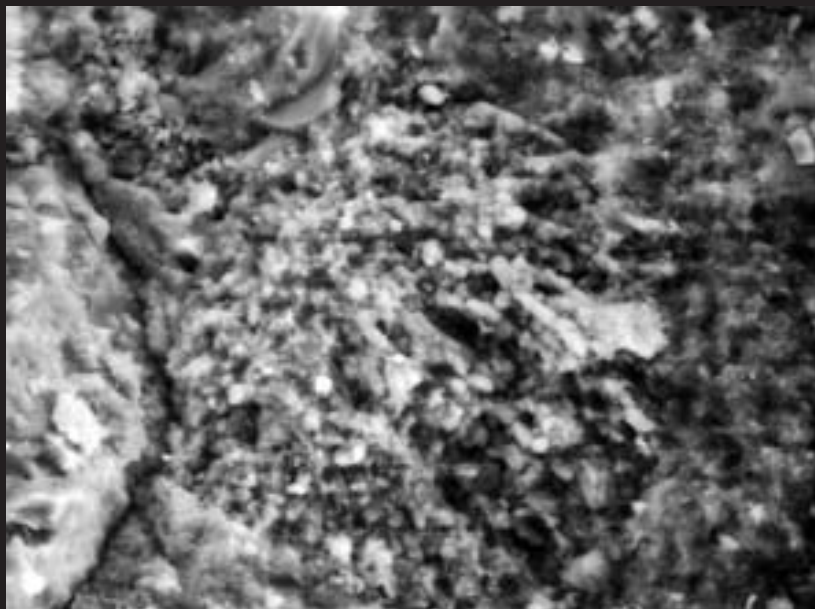
Meteorite Murray CM2 Carbonaceous chondrite – Fall, Sept. 20, 1950 in Murray,  
Colloway County, Kentucky, USA.

Fig. 1. Short threads consisting of oval or spherical form similar on size, containing Sulfur and Calcium. The same separate forms are scattered on the surface of rock. Probably they are on the sulfur bacteria.

Fig. 2. The same, enlarged.

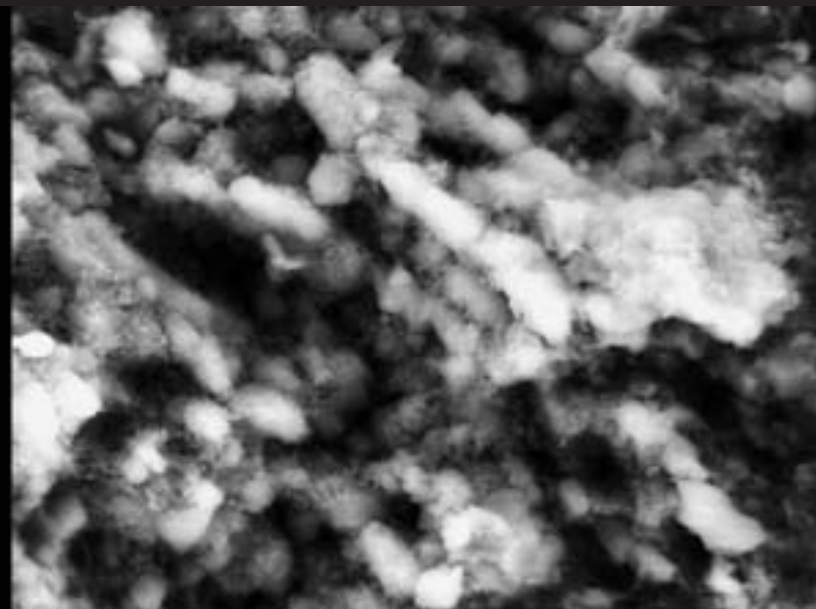
Fig. 3. The same, enlarged.

Fig. 4. Beds consisting of accumulation of the same forms (as on figs. 1–3) isolated or gathered together in threads.



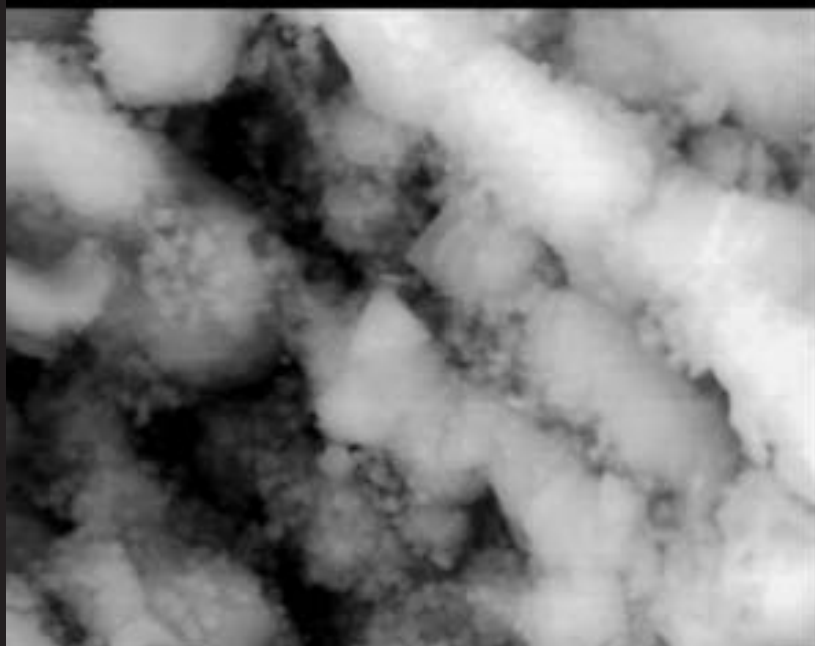
1

40  $\mu\text{m}$  



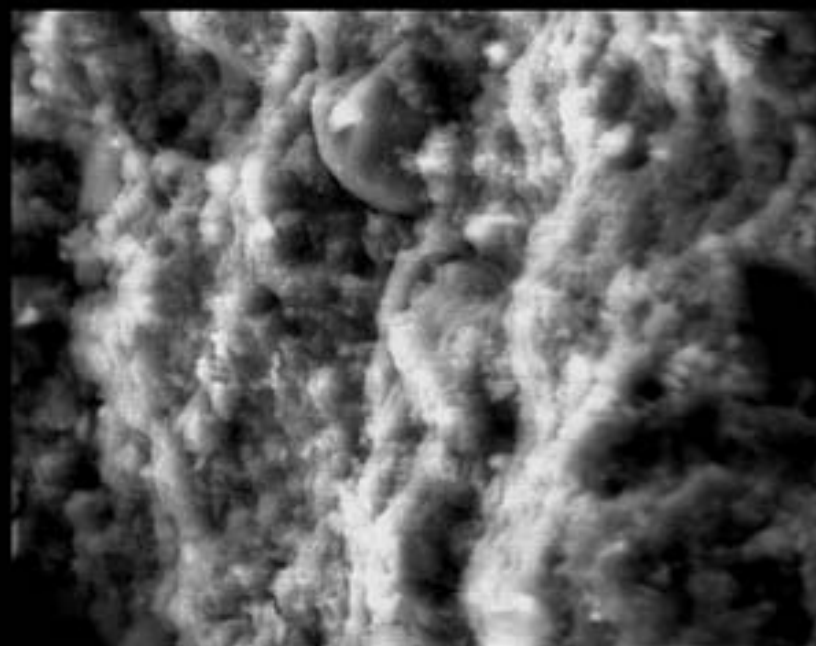
2

10  $\mu\text{m}$  



3

4  $\mu\text{m}$  



4

20  $\mu\text{m}$  

### Таблица LXIII

Метеорит Муррей (CM2).

Фиг. 1. Нить с диаметром 2–3  $\mu\text{m}$ , состоящая из коротких (около 2  $\mu\text{m}$ ) овальных форм, и такие же изолированные формы, разбросанные в породе. Возможно, они принадлежат к какому-то типу серобактерий.

Фиг. 2. Сочетание нитеобразных и коккоидных структур. Последние состоят из более мелких тоже округлых форм, между нитями иногда имеются тяжи.

Фиг. 3. Сферическое образование около 25  $\mu\text{m}$  в диаметре, на поверхности видны мелкие округлые формы. Возможно, это колония, состоящая из коккоидных форм.

Фиг. 4. Овальная мешковидная форма около 8  $\mu\text{m}$  в поперечнике и около 10  $\mu\text{m}$  в длину, на одном конце с отростком. Возможно, принадлежит какому-то эвкариотному организму.

### Plate LXIII

Meteorite Murray CM2.

Fig. 1. Filament with diameter 2–3  $\mu\text{m}$  consists of short (~2  $\mu\text{m}$ ) oval forms, the same forms are scattered on the rock. Probably all they belong to some type of sulfur bacteria.

Fig. 2. Combination of filamentous and coccoidal structures. Coccoidal ones are consisted of small spherical forms, with strands between the filaments.

Fig. 3. Spherical body about 25  $\mu\text{m}$  in diameter, on the surface there are small round forms, possibly a colony, consisting of coccoidal forms.

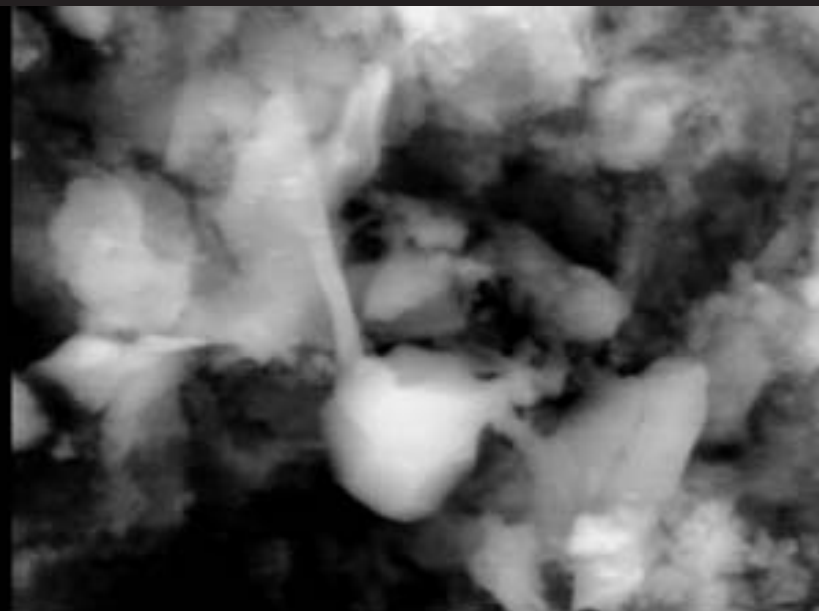
Fig. 4. Oval bag-like form about 8  $\mu\text{m}$  in diameter and about 10  $\mu\text{m}$  in the length, there is the projection on one end. Probably it belongs to eucaryotic organism.





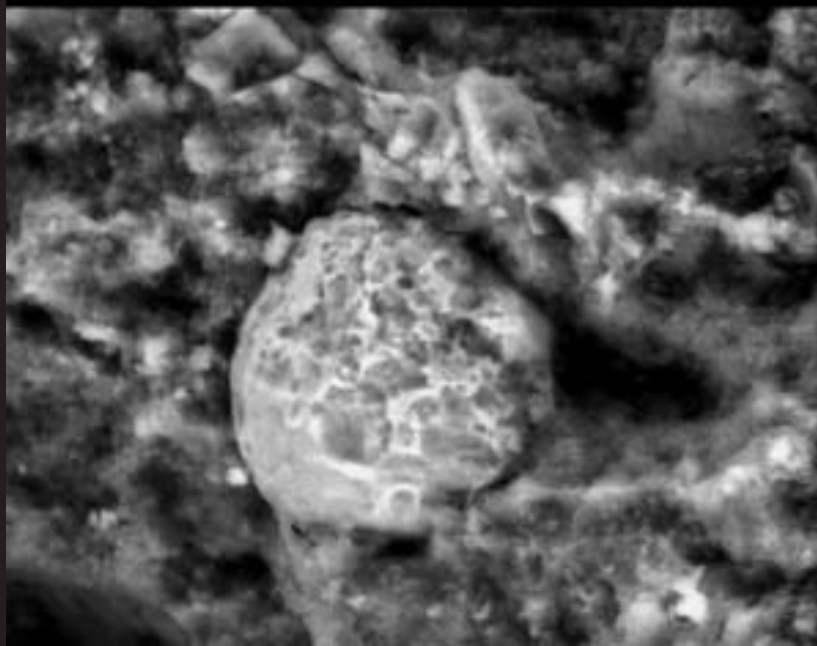
1

10  $\mu\text{m}$  



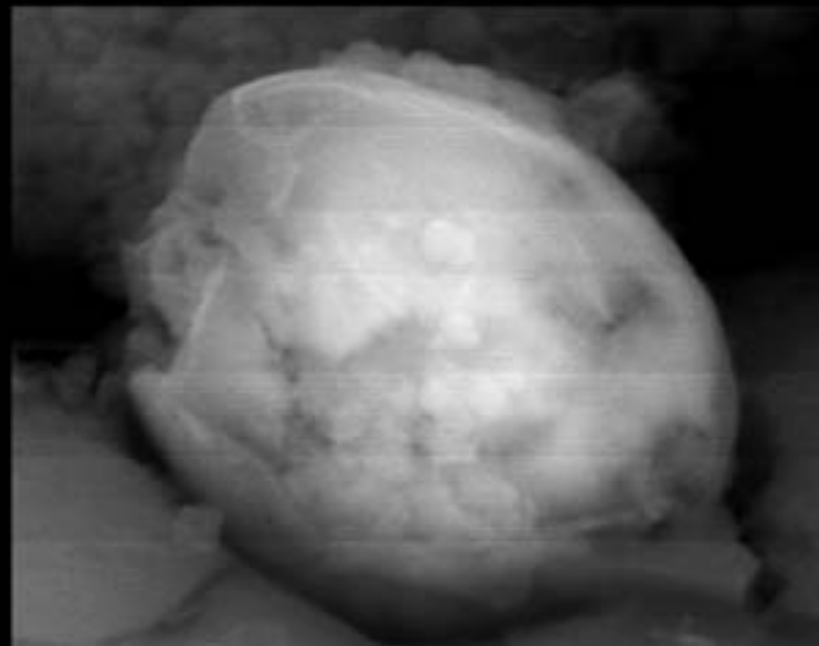
2

2  $\mu\text{m}$  



3

20  $\mu\text{m}$  



4

2  $\mu\text{m}$  

### Таблица LXIV

Метеорит Мурчисон (CM2), углистый хондрит, упал 28 сентября 1969 г. близ деревни Мурчисон, Виктория, Австралия. Вес 108 кг.

Фиг. 1. Тонкая длинная нить с диаметром около 2–3  $\mu\text{m}$ , вероятно, полая, иногда видны пережимы, имеется ответвление (в центре снимка). Более всего напоминает цианобактерию.

Фиг. 2. Чехол, вероятно, объединявший несколько нитей цианобактерий. В средней части внутри проглядывается участок нити.

Фиг. 3. Полая чехол, вероятно, окружавший пучок трихомов цианобактерий. Видна его минерализованная оболочка.

Фиг. 4. Несколько объединенных вместе параллельных нитей, возможно, принадлежавших цианобактериям, частично покрытых общим чехлом. По размерам и по морфологии очень напоминает современные цианобактерии.

### Plate LXIV

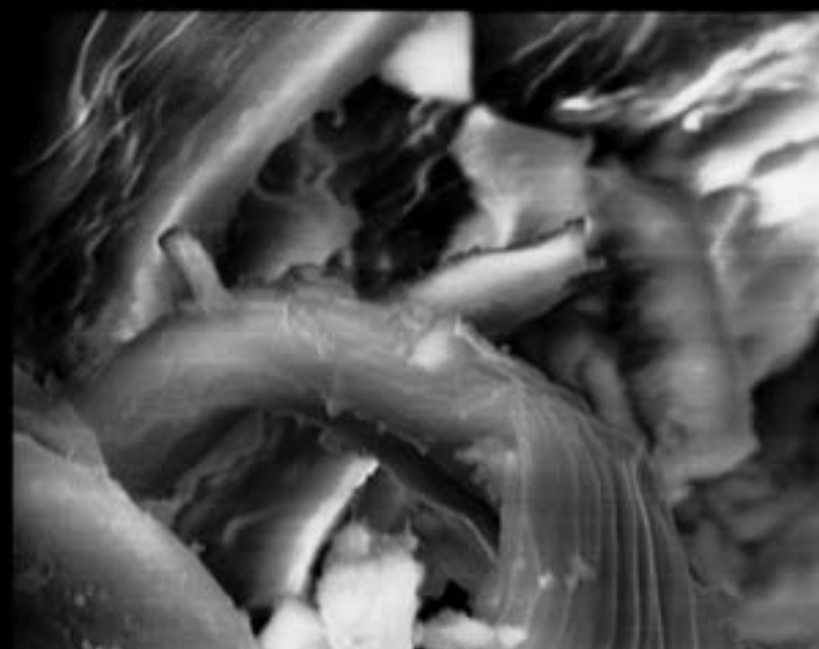
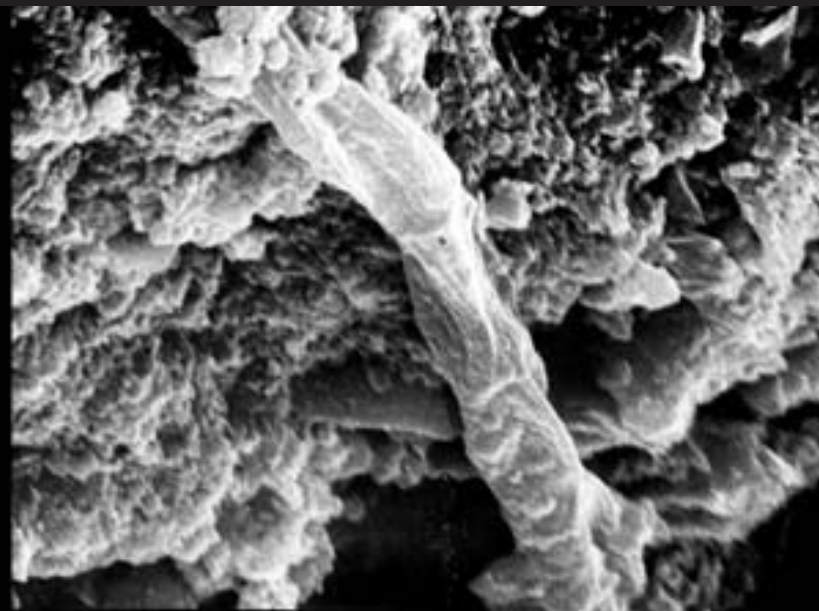
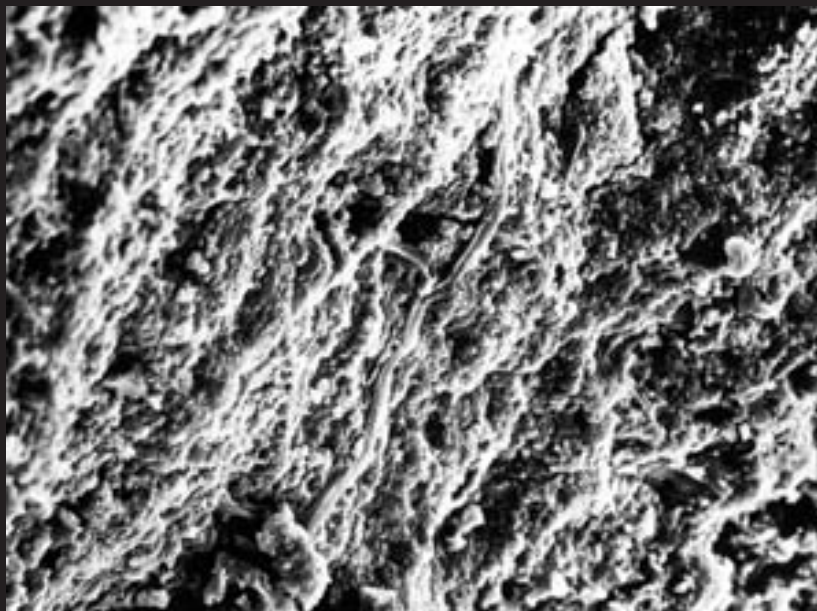
Meteorite Murchison CM2 Carbonaceous chondrite – Fall, Sept. 28, 1969 near village Murchison, Victoria, Australia. The recovered mass is 108 kg.

Fig. 1. Long thin filament with diameter  $\sim 2\text{--}3 \mu\text{m}$ , probably hollow inside, sometimes it is possible to see cross-wall constructions (traces of fission). There is branching (in the center) of this possible cyanobacterium.

Fig. 2. Sheath encasing multiple trichomes of cyanobacteria. In the middle inside it is possible to see a portion of the trichome.

Fig. 3. Hollow mineralized sheath encasing multiseriate bundle of cyanobacteria trichomes.

Fig. 4. Several united parallel trichomes probably belonging to a cyanobacterium, partially encased within a common sheath. The size and morphology is consistent with known genera and species of modern cyanobacteria.



### Таблица LXV

Метеорит Мурчисон (CM2).

Фиг. 1. Тонкая длинная нить с диаметром около 0.5  $\mu\text{m}$ , рядом с нею в левой части снимка скопление таких же нитей. Более всего они напоминают цианобактерии. Лежащая под ними порода состоит из скопления коккоидных форм.

Фиг. 2. Скопление коккоидных тел с диаметром 200–300 nm.

Фиг. 3. Сферическое тело с диаметром около 5  $\mu\text{m}$ . Возможно колония, коккоидных бактерий, так как рядом наблюдаются многочисленные полуразрушенные их тела.

Фиг. 4. Пучок нитей, вероятно, принадлежащих трихомам цианобактериям. Рядом имеются коккоидные формы.

### Plate LXV

Meteorite Murchison CM2.

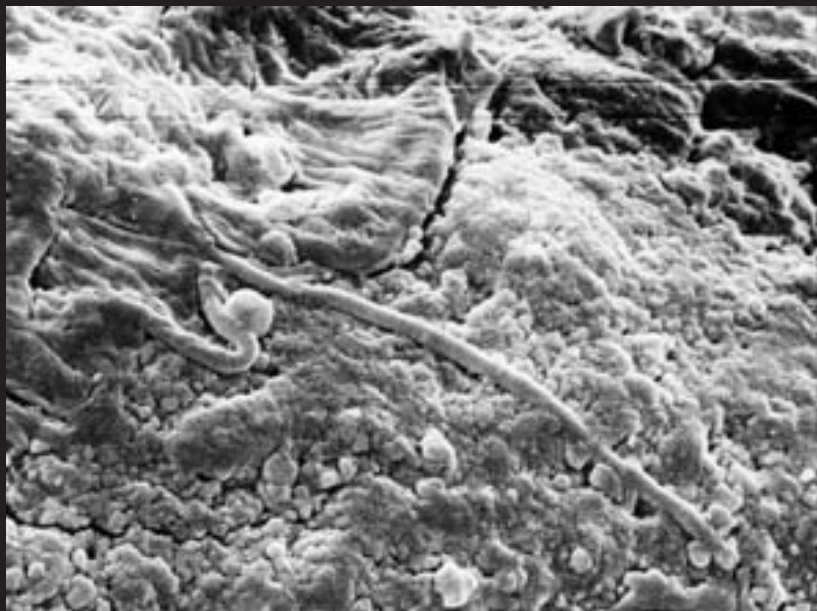
Fig. 1. Long thin filament with diameter about 0.5  $\mu\text{m}$ , near at the left near an accumulation of filaments similar to cyanobacteria. The rock under surface consists of accumulation of coccoidal forms.

Fig. 2. Accumulation of coccoidal forms with diameter about 200–300 nm.

Fig. 3. Spherical body with diameter about 5  $\mu\text{m}$ . Probably it is colony of coccoidal bacteria, as nearby are numerous cell remnants.

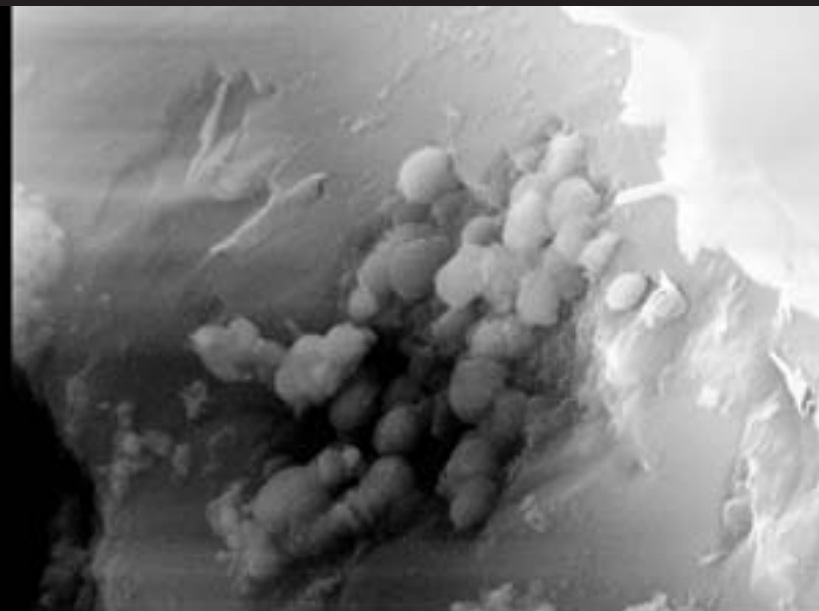
Fig. 4. Bundle of cyanobacterial trichomes near there are coccoidal forms.





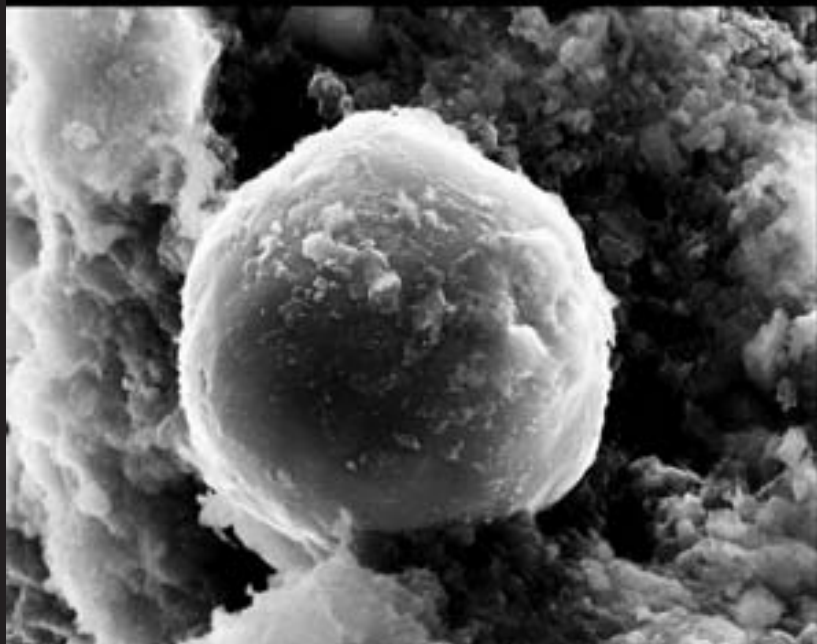
1

3  $\mu\text{m}$



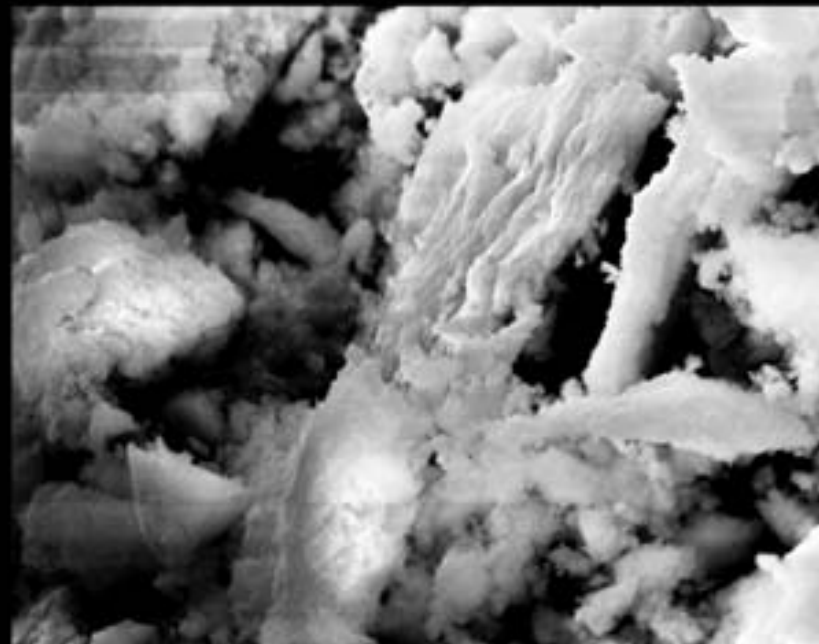
2

1  $\mu\text{m}$



3

2  $\mu\text{m}$



4

6  $\mu\text{m}$

### Таблица LXVI

Метеорит Ногойя (CM2), углистый хондрит, упал 30 июня 1879 г.  
в Ногойя, Аргентина.

Фиг. 1. Скопление разной длины (до 40  $\mu\text{m}$ ) нитей с диаметром около 2  $\mu\text{m}$ , состоящих из шаровидных или овальных образований, возможно принадлежащим псевдоморфозам по серобактериям.

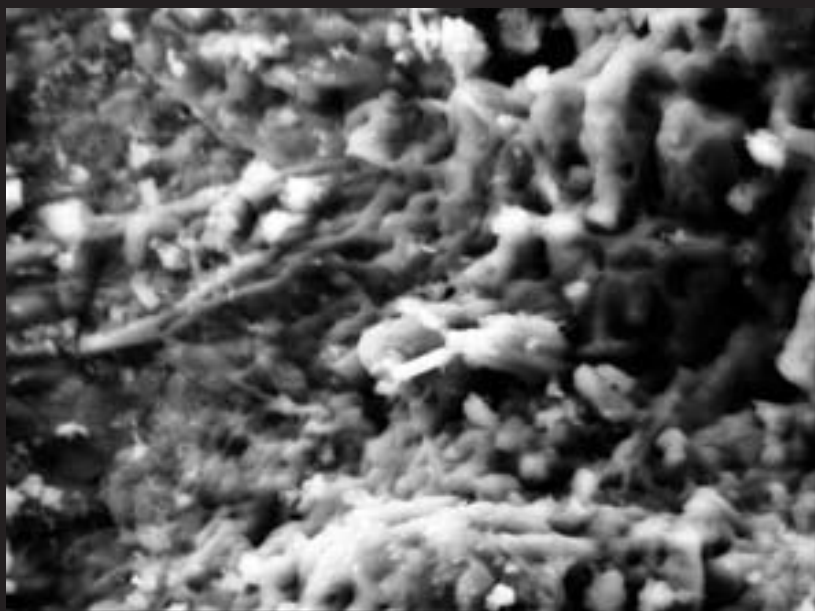
Фиг. 2–4. Тот же образец, сильно увеличено.

### Plate LXVI

Meteorite Nogoya CM2 Carbonaceous chondrite – Fall June 30, 1879 –  
Nogoya, Argentina.

Fig. 1. Accumulation of filaments of different lengths (to 40  $\mu\text{m}$ ) and diameter about 2  $\mu\text{m}$ , consisting of spherical or oval formations belonging to pseudomorphs on sulfur bacteria.

Fig. 2–4. The same sample, strong enlarged.



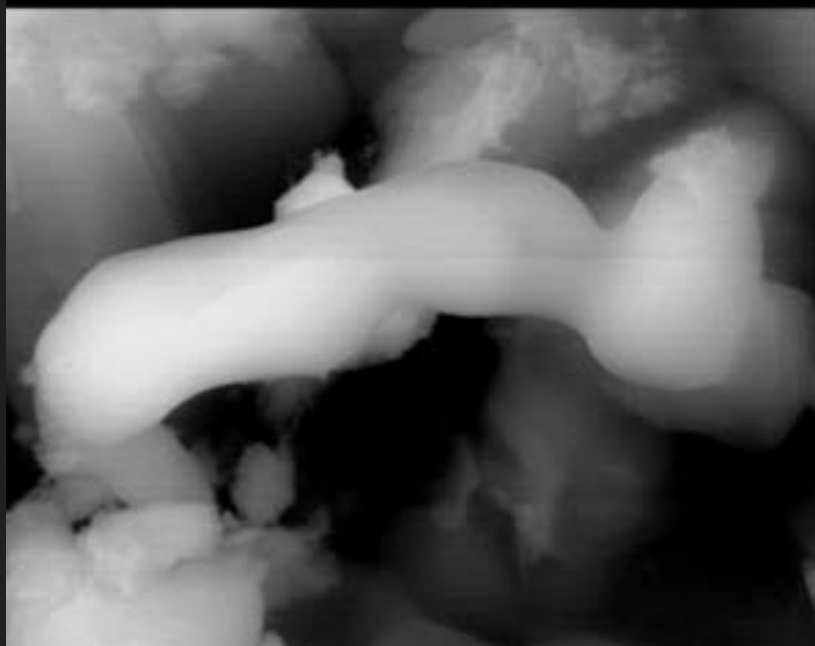
1

20  $\mu\text{m}$



2

4  $\mu\text{m}$



3

4  $\mu\text{m}$



4

2  $\mu\text{m}$

### Таблица LXVII

Метеорит Оргей (C11), углистый хондрит, упал 14 мая 1864 г.  
в провинции Тарн и Гаронна, Франция.

Фиг. 1. Два пучка нитей, почти нацело состоящие из серы. Возможно, они принадлежали цианобактериям.

Фиг. 2. Скопление многочисленных оболочек и нитей с диаметром около 4–5  $\mu\text{m}$ , иногда разделенных на клетки, погруженных в матрикс метеорита.

Фиг. 3. Немного приплюснутая овальная форма около 12–15  $\mu\text{m}$  в поперечнике с вдавленностью посередине, возможно, принадлежавшая эвкариотному микроорганизму. В ее составе преобладает железо, вокруг – россыпь фрамбоидов пирита.

Фиг. 4. Овальная форма, имеющая до 50  $\mu\text{m}$  по длинной оси, с симметричной вдавленностью на одном конце, возможно, принадлежавшая эвкариотному микроорганизму, замещена серой.

### Plate LXVII

Meteorite Orgueil C11 Carbonaceous chondrite – Fall May 14, 1864 –  
Tarn et Garonne, France.

Fig. 1. Two bundles of filaments enriched in magnesium and sulfur. Consistent with hollow cyanobacterial sheaths infilled with epsomite.

Fig. 2. Accumulation of numerous sheaths and filaments with diameter ~4–5  $\mu\text{m}$ , embedded in the meteorite matrix.

Fig. 3. Flattened oval form about 12–15  $\mu\text{m}$  in diameter with indentation in the middle. Possibly remains of a eucaryotic microorganism; Fe is prevailed in it composition, and it is surrounded by an accumulation of pyrite framboids.

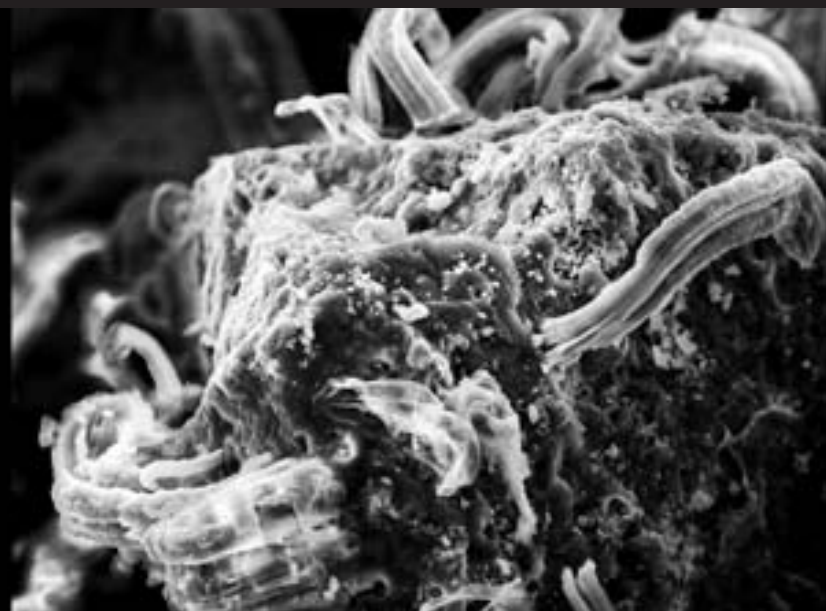
Fig. 4. Oval form about 50  $\mu\text{m}$  on the long axis, with symmetrical depressions on one end replaced by sulfur. May be remains of a eucaryotic microorganism.





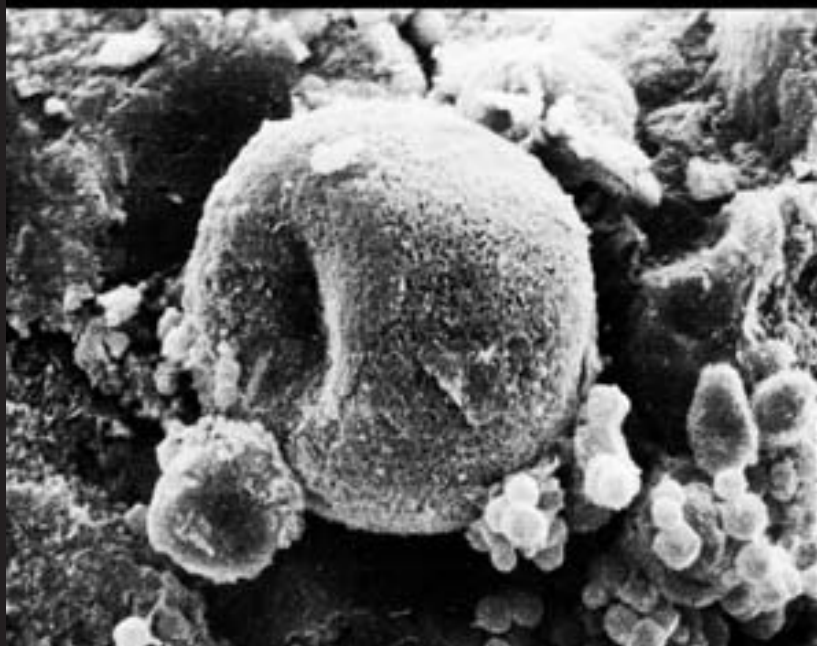
1

10  $\mu\text{m}$



2

20  $\mu\text{m}$



3

3  $\mu\text{m}$



4

10  $\mu\text{m}$

### Таблица LXVIII

Метеорит Оргей (C11).

Фиг. 1. Две овальные формы, имеющие до 50  $\mu\text{m}$  по длинной оси. Поверхность покрыта мелкими правильными выемками, возможно, порами. Вероятно, остатки эвкариотных микроорганизмов. Замещены серой.

Фиг. 2. Частично разрушенные, перекрученные, иногда свернутые нити и пустые оболочки с диаметром около 1  $\mu\text{m}$ . Под ними – скопление мелких коккоидных форм.

Фиг. 3. Скопление коккоидных форм с диаметром от 2 до 0.5  $\mu\text{m}$ .

Фиг. 4. Мешковидная форма около 8  $\mu\text{m}$  в поперечнике и около 10  $\mu\text{m}$  в длину, на одном конце с выростом. Возможно, принадлежит какому-то эвкариотному организму (сравнить: очень похожее образование обнаружено в метеорите Муррей: табл. LXIII, фиг. 4).

### Plate LXVIII

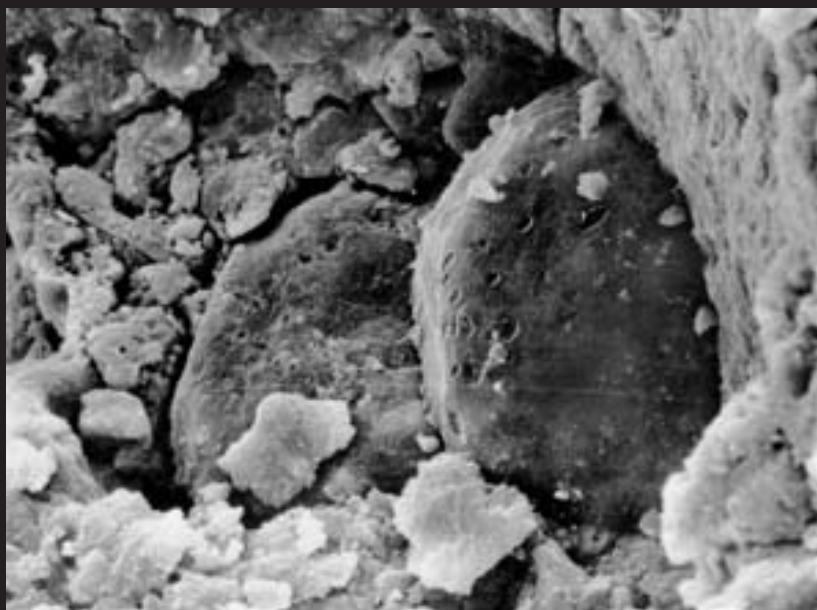
Meteorite Orgueil C11.

Fig. 1. Two oval forms (up to 50  $\mu\text{m}$  on the long axis) replaced by sulfur. The surface is covered by small indentations, possibly pores. May represent the remains of a eucaryotic microorganism.

Fig. 2. Partly collapsed helical sometimes coiled filaments and empty sheaths  $\sim 1$   $\mu\text{m}$  in diameter. Under them – the accumulation of small coccoidal forms.

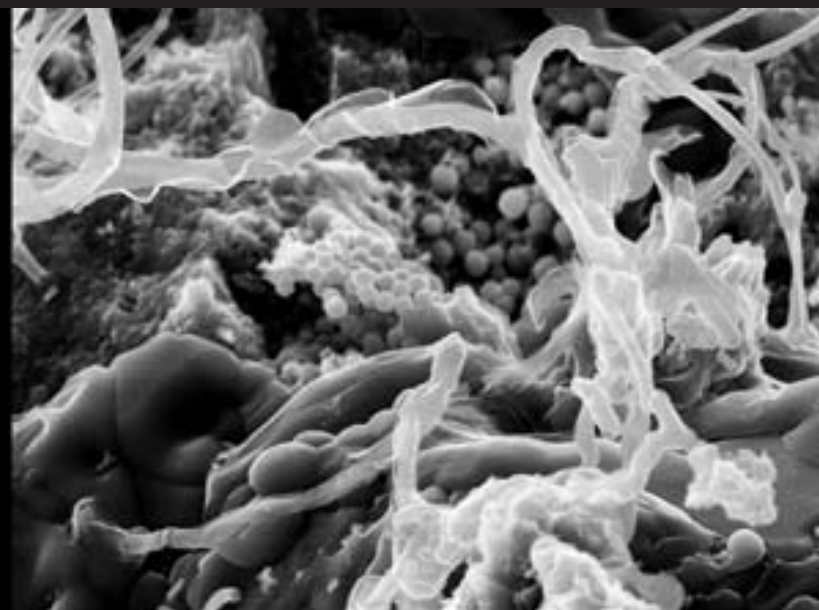
Fig. 3. Accumulation of coccoidal forms from 2 to 0.5  $\mu\text{m}$  in diameter.

Fig. 4. Bag-shape form about 8  $\mu\text{m}$  in diameter and about 10  $\mu\text{m}$  in length, on the one end there is growth. Probably this form belongs to eucaryotic microorganism (compare: there is very similar form in meteorite Murray; pl. LXV, fig. 4).



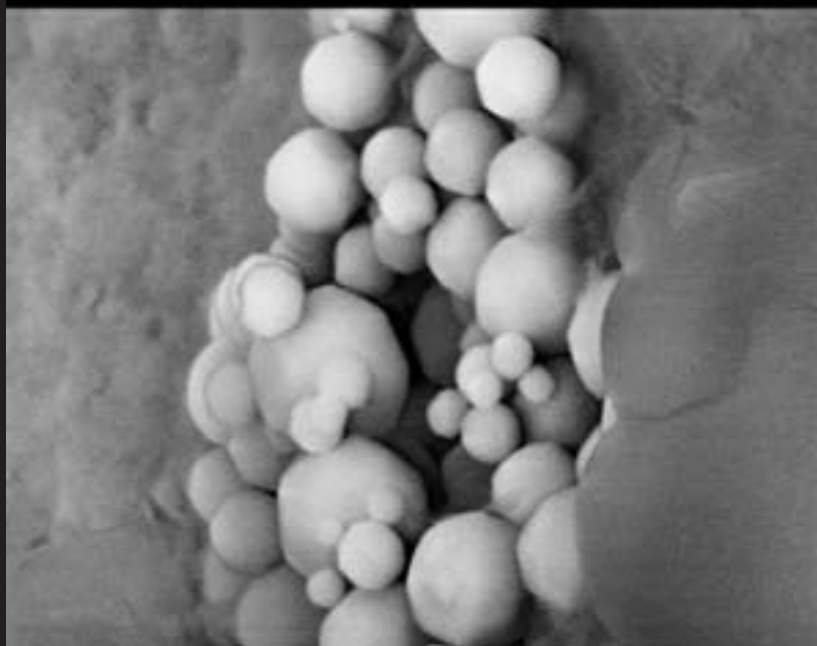
1

10 μm



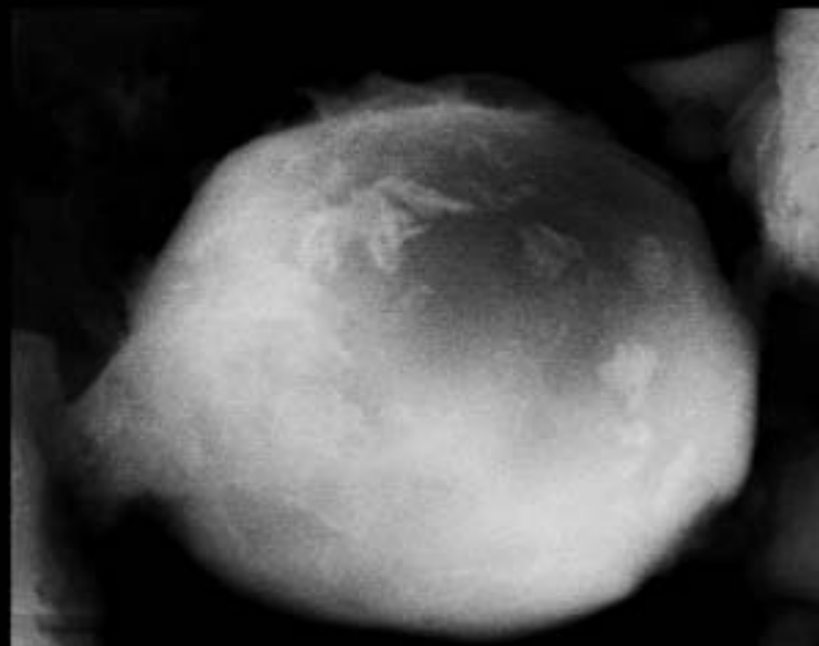
2

5 μm



3

2 μm



4

1 μm

### Таблица LXIX

Метеорит Рейнбоу (CO3), углистый хондрит, найден в 1994 г.  
в штате Виктория, Австралия.

Фиг. 1. Скопление коротких (около 10–12  $\mu\text{m}$ ) обломков нитей, состоящих из округлых и овальных мелких форм, иногда соединенных в короткие цепочки.

Фиг. 2, 3. То же, увеличено.

Фиг. 4. Фрамбонд пирита около 7–8  $\mu\text{m}$  в диаметре, возможно, свидетельствующий о биогенной среде его формирования.

### Plate LXIX

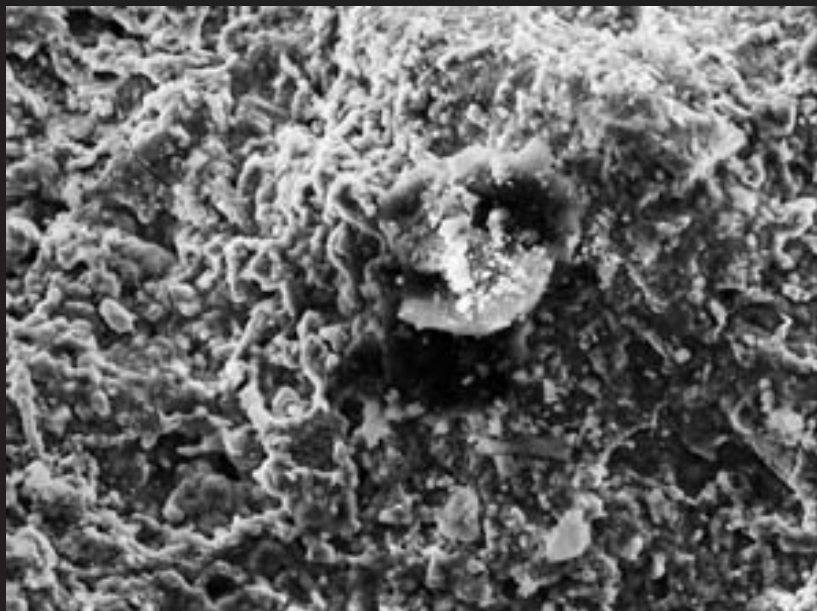
Meteorite Rainboy CO3 Carbonaceous chondrite –  
find Victoria, Australia, 1994.

Fig. 1. Accumulation of short (about 10–12  $\mu\text{m}$ ) fragments of threads consisting of spherical and oval small forms, sometimes they are connected in short chains.

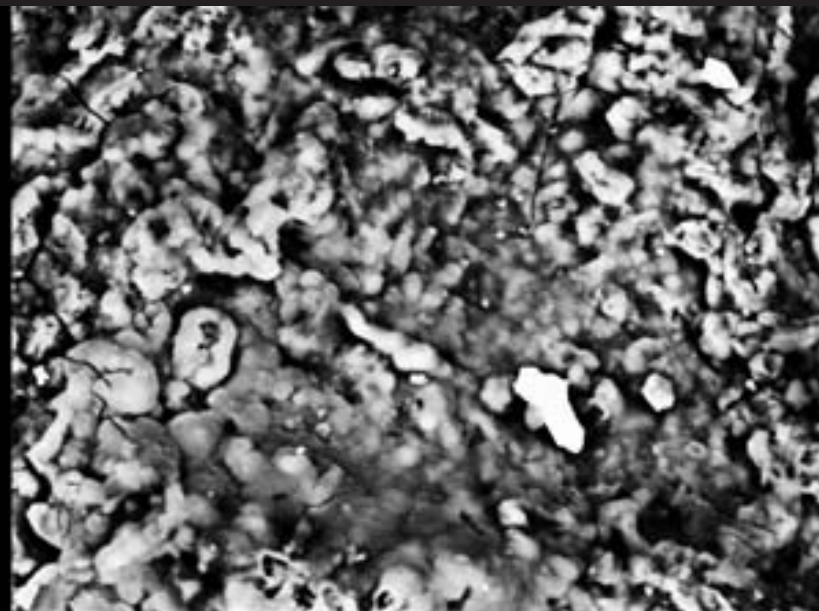
Fig. 2, 3. The same, enlarged.

Fig. 4. Framboid of pyrite about 7–8  $\mu\text{m}$  in diameter, probably it testify to biogenetic environment of it formation.

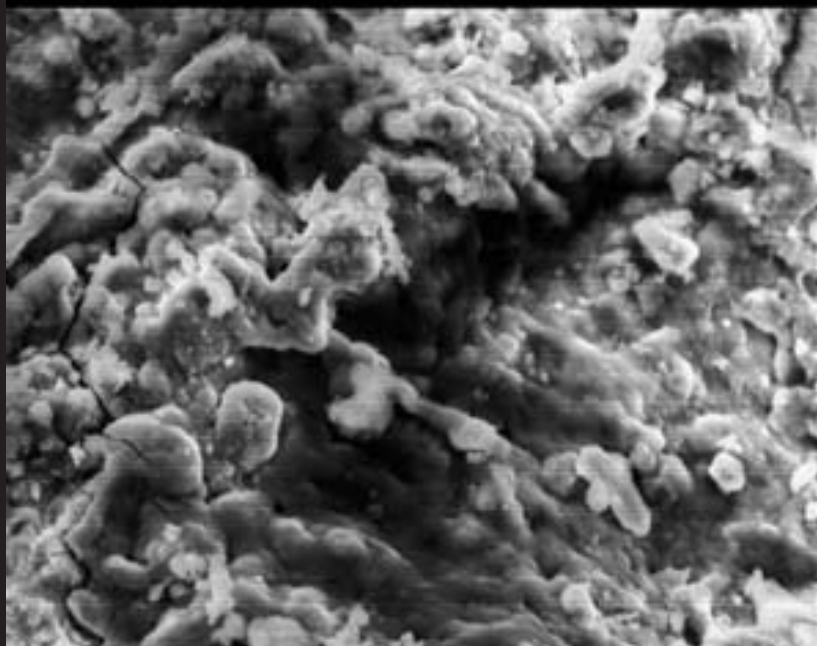




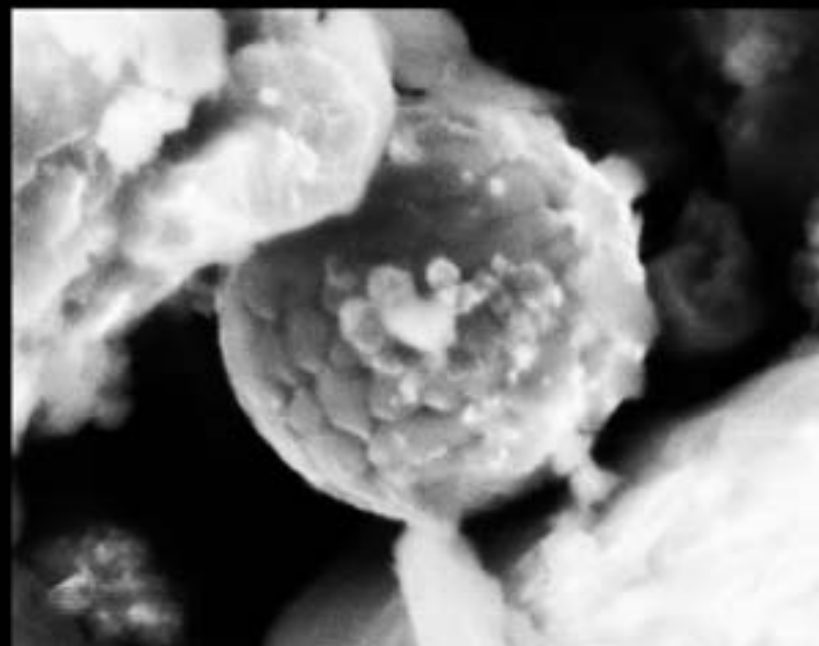
1



2



3



4

20 μm

10 μm

10 μm

2 μm

### Таблица LXX

Метеорит Тегиш Лейк (C2), углистый хондрит, упал 18 января 2000 г.  
близ оз. Тегиш, Британская Колумбия, Канада.

Фиг. 1. Нити диаметром не более 100 nm, на которых видно клеточное строение, вокруг мелкие коккоидные формы.

Фиг. 2. Скопление фрамбоидов пирита, возможно, свидетельствующее о биогенной среде их формирования.

Фиг. 3, 4. То же, увеличено.

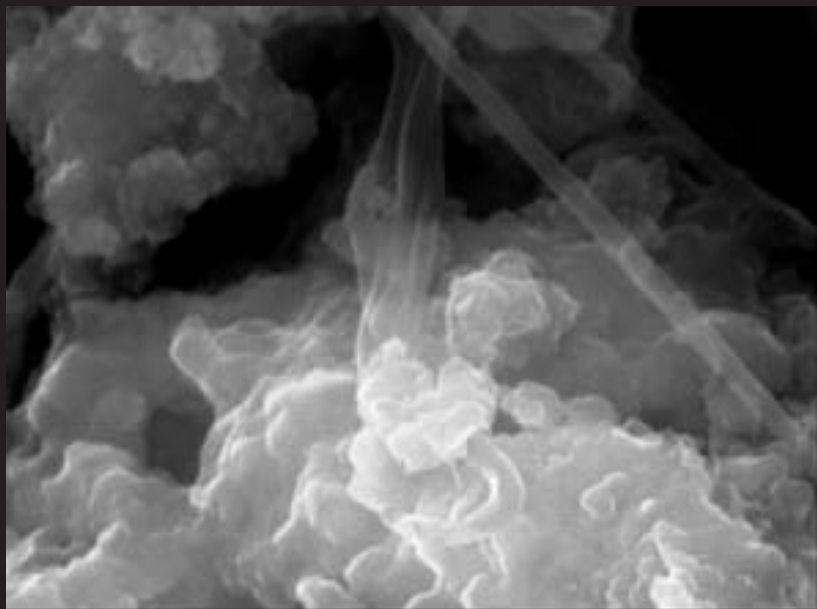
### Plate LXX

Meteorite Tagish Lake C2 Ungrouped Carbonaceous chondrite – Fall, January 18,  
2000, Tagish Lake, British Columbia, Canada.

Fig. 1. Threads with diameters ~100 nm. Cell structure is visible in them; surrounded by small coccoidal forms.

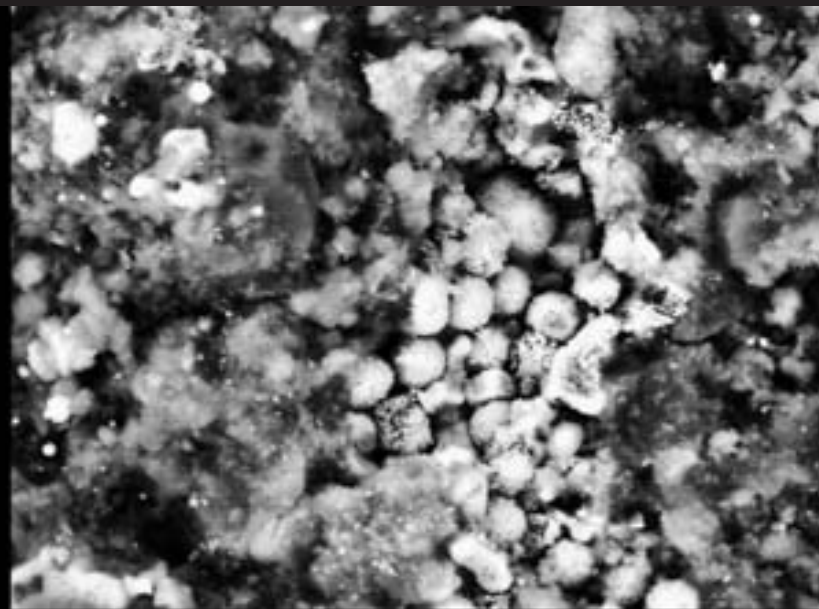
Fig. 2. Accumulation of pyrite framboids, what probably testify to biogenetic environment of it formation.

Fig. 3, 4. The same enlarged.



1

600 μm



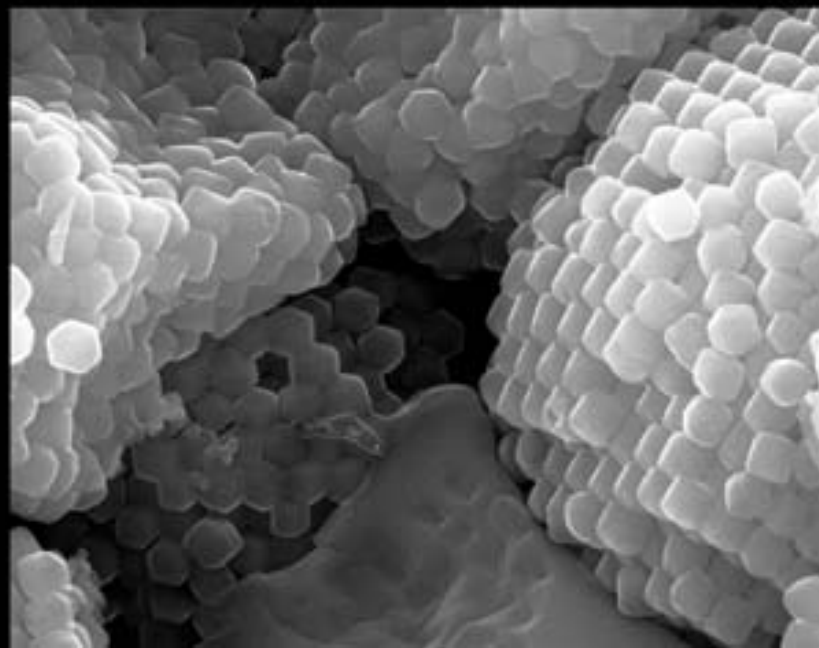
2

10 μm



3

5 μm



4

1 μm

### Таблица LXXI

Метеорит Ивуна (C11), углистый хондрит, упал 16 декабря 1938 г.  
близ Ивуна, Танзания.

Фиг. 1. Отдельные нити с округлыми окончаниями, погруженные в матрикс метеорита, вокруг которых располагаются глобулы, обогащенные серой.

Фиг. 2. То же, увеличено.

Фиг. 3. Уплощенная изогнутая нить с диаметром около 0.7–1  $\mu\text{m}$ . Справа под обломанной тонкой оболочкой виден трихом, который замещен эпсомитом.

Фиг. 4. Вверху – энерго-дисперсионный спектр (EDS) показывающий, что трихом содержит большое количество серы и в нем отсутствует азот. Внизу – количественные содержания присутствующих элементов.

### Plate LXXI

Meteorite Ivuna C11 Carbonaceous chondrite – Fall Dec. 14 1938,  
near Ivuna, Tanzania.

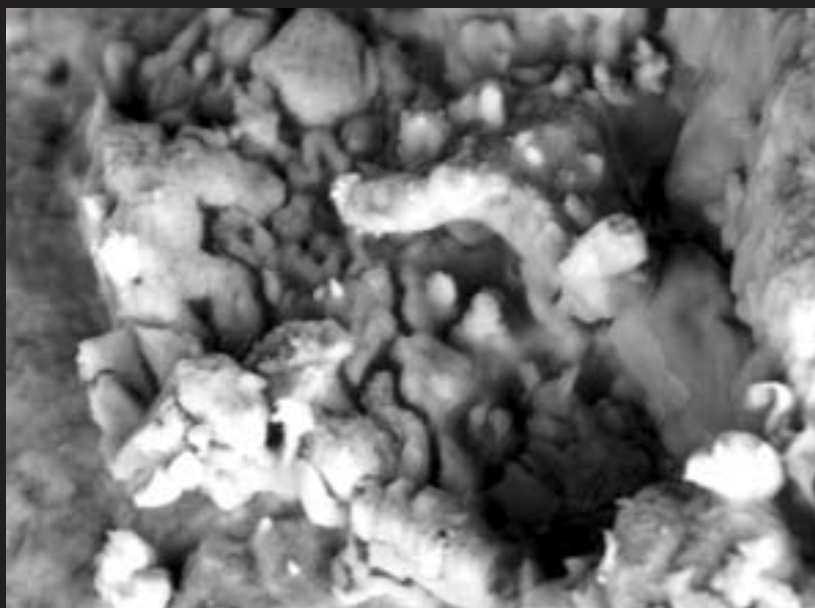
Fig. 1. Separate filaments with rounded terminus embedded in Ivona Meteorite matrix with sulfur-rich globules.

Fig. 2. The same, enlarged.

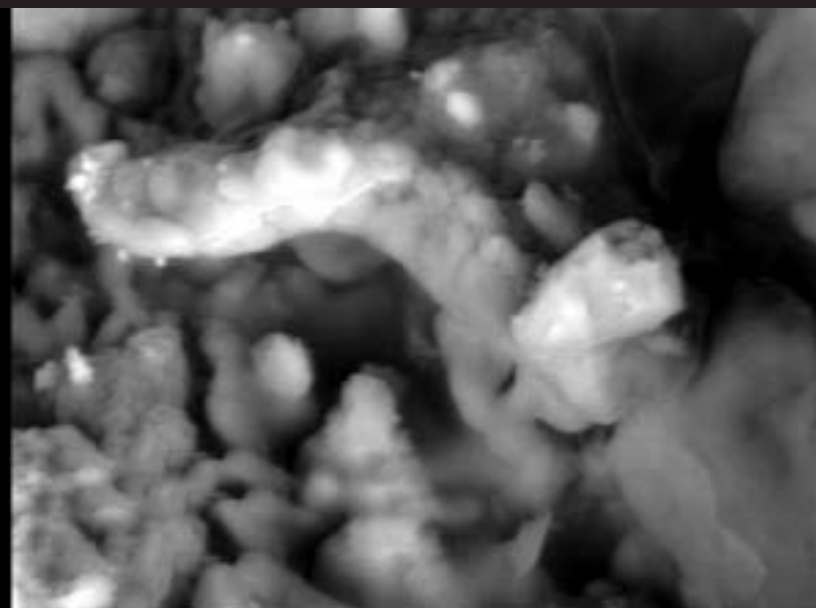
Fig. 3. Flattened undulatory filamentous microfossil (diameter  $\sim 0.7\text{--}1 \mu\text{m}$ ). Thin carbonaceous sheath broken to expose trichome replaced by epsomite (magnesium sulfate).

Fig. 4. Above – EDS data shows filament is sulfur – rich, but has no detectable Nitrogene. Below – Quantitative results of a content of elements.

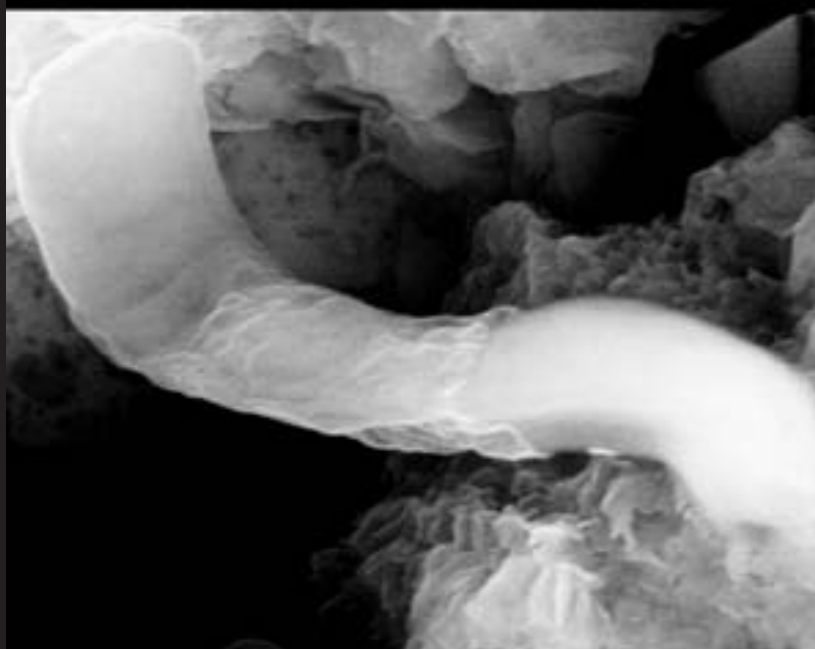




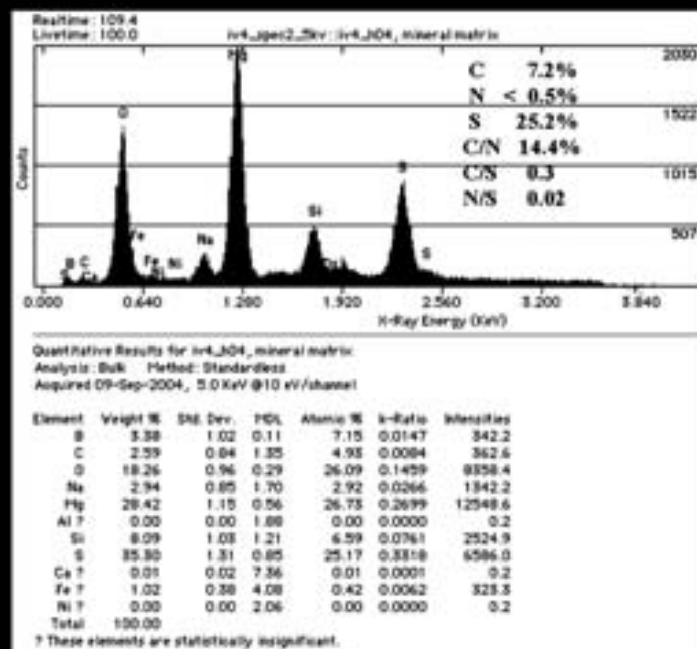
1



2



3



4

Научное издание

**ИСКОПАЕМЫЕ БАКТЕРИИ  
И ДРУГИЕ МИКРООРГАНИЗМЫ В ЗЕМНЫХ ПОРОДАХ  
И АСТРОМАТЕРИАЛАХ**

М.М. Астафьева, Л.М. Герасименко, А.Р. Геллер, В.А. Жемло,  
С.И. Жмур, Г.А. Карлов, В.К. Орловский, Ю.А. Пономаренко,  
А.Ю. Розанов, Е.Л. Сумина, Г.Т. Ушакина, Р.А. Фролова, О.А. Школьник

Москва, ПИН РАН, 2011

Научные редакторы

А.Ю. Розанов,  
Г.Т. Ушакина

Компьютерная верстка Емельянова

ООО «Издательство «Гео»

Подписано в печать 8 октября 2011 г.

Формат 60×90. Гарнитур «Таймс». Шрифт офсетный. Бумага мелованная.

Усл. печ. л. 10. Усл. п. л. 15. Тираж 400 экз.

Издательство Геологический институт им. А.А. Борисяка РАН (ПИН РАН)

Москва, Профсоюзная, 123

Отпечатано в типографии «Лакшери Пресс»

Москва, ул. архитектора Власова, д. 21, к. 3

ISBN 978-5-903825-16-5



9 785903 825165