

Российская академия наук
Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка
Программа фундаментальных исследований Президиума РАН
«Проблемы происхождения жизни и становления биосферы»
Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральное государственное унитарное научно-производственное предприятие «Геологоразведка»

Водоросли в эволюции биосферы

МАТЕРИАЛЫ

I палеоальгологической конференции

Москва, ПИН РАН
25–28 февраля 2013 г.

Водоросли в эволюции биосферы / Материалы I палеоальгологической конференции.
25–28 февраля 2013 г. Москва: ПИН РАН. 2013. 158 с.

Сборник посвящен различным аспектам изучения преимущественно ископаемых водорослей и цианобактерий. В него вошли расширенные тезисы докладов I Палеоальгологической конференции «Водоросли в эволюции биосферы», освещающие актуальные и дискуссионные вопросы фундаментального и прикладного значения. Среди рассмотренных тем наибольшее внимание уделено микробиальным сообществам в контексте их роли в освоении суши и породообразовании. Представлены данные по современным подходам и методическим разработкам в их изучении. Не менее представительны материалы, касающиеся экологических, палеоэкологических и палеогеографических исследований, а также роли кризисных явлений в развитии древних альгофлор. Весомая доля работ затрагивает практическое значение ископаемых водорослей в решении биостратиграфических задач. Часть материалов посвящена морфологии и филогенетическим исследованиям низших растений.

Сборник может представлять интерес для палинологов, ботаников, палеоботаников, палеонтологов, а также для геологов широкого профиля, интересующихся вопросами стратиграфии, палеогеографии, палеоэкологии, седиментологии.



Algae in Biosphere Evolution / Contributions to the First Palaeoalgal Conference.
February, 25–28th 2013. Moscow: PIN RAS. 2013. 158 p.

Issue focuses on different aspects of the study of mainly fossil algae and cyanobacteria. It includes enlarged abstracts of the First Palaeoalgal Conference «Algae in Biosphere Evolution», concerning actual and debatable questions of fundamental and practical significance. The most attention in the topics is paid to the microbial communities in the context of their role in land occupation and rock forming. Data on contemporary approaches and methodical novation in its investigations are present. Analyses of the role of crisis in ancient algae evolution and data regarding ecological, palaeoecological, palaeogeographical research are also representative. Great part of papers is devoted to the biostratigraphical importance of fossil algae. Some works concern morphology and phylogeny of the lower plants.

The volume may be of interest to palynologists, botanists, palaeobotanists, palaeontologists, as well as to general geologists going in for stratigraphy, palaeogeography, palaeoecology and sedimentology.

ОРГАНИЗАТОРЫ

Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН (ПИН РАН), Москва

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН), Новосибирск

Федеральное государственное унитарное научно-производственное предприятие «Геологоразведка» (ФГУНПП «Геологоразведка»), Санкт-Петербург

Палеонтологическое общество при РАН

Научный совет по биологии и эволюции органического мира

ОРГКОМИТЕТ

Председатели:

А.Ю. Розанов (Москва, ПИН РАН)

С.В. Рожнов (Москва, ПИН РАН)

Б.И. Чувашов (Екатеринбург, ИГиГ УрО РАН)

Сопредседатели:

В.А. Лучинина (Новосибирск, ИНГГ СО РАН)

Е.Г. Раевская (Санкт-Петербург, ФГУНПП «Геологоразведка»)

Ответственный секретарь:

М.В. Теклёва (Москва, ПИН РАН)

Члены оргкомитета:

О.В. Шурекова, А.В. Паль (Санкт-Петербург, ФГУНПП «Геологоразведка»).

Н.К. Лебедева, Е.Б. Пещевская, А.А. Горячева (Новосибирск, ИНГГ СОРАН),

Т.Н. Герман, Е.Г. Голубкова (Санкт-Петербург, ИГГД РАН),

В.М. Горленко (Москва, ИНМИ РАН),

В.Н. Сергеев (Москва, ГИН РАН)

ВОДОРОСЛИ – СОЗИДАТЕЛИ КИСЛОРОДНОЙ БИОСФЕРЫ

Предисловие

Палеоальгологическая конференция «Водоросли в эволюции биосферы», материалы к которой опубликованы в настоящем сборнике, проходит в рамках программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Проблемы происхождения жизни и становления биосферы». Эта программа под разными названиями, отражающими те или иные акценты в направлениях исследований, активно разрабатывается с 2005 года. Одним из важнейших аспектов этой программы является изучение становления кислородной биосферы. Возникновение свободного кислорода в биосфере в количестве, достаточном для дыхания, было связано с появлением и широким развитием водорослей. Под водорослями, прежде всего, понимают гетерогенную группу как одноклеточных, так и многоклеточных растений, вегетативное тело которых, называемое талломом, или слоевищем, не расчленено на стебель, листья и корень, хотя внешне они могут имитировать такую дифференциацию. Большинство современных водорослей – эукариотные организмы. Но к водорослям относят и прокариотных цианобактерий, так как они тоже осуществляют кислородный фотосинтез, используя воду, углекислый газ и световую энергию. Кроме того, все фотосинтезирующие эукариоты сформировались благодаря симбиозу с цианобактериями, которые в своем симбиотическом развитии превратились в хлоропласты. Таким образом, водоросли – это группа прокариотных и эукариотных кислородных фотосинтетиков.

Цель проводимой конференции – объединение усилий палеоальгологов для создания общей картины влияния водорослей на развитие биосферы, определение наиболее важных задач в изучении этой проблемы и координация исследований в этом направлении. Общий упадок научных исследований в России последних десятилетий сказался и на изучении водорослей. Для исправления этого положения Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН взял на себя обязанность стать базовой организацией для проведения этой конференции. Несмотря на все трудности организации, конференция оказалась достаточно представительной, что отражает большой интерес к водорослям и их роли в эволюции биосферы и позволяет надеяться на плодотворность ее работы.

В настоящее время в большинстве водорослевых сообществ преобладают эукариотные водоросли, а цианобактерии занимают в основном экстремальные местообитания. Так было не всегда. В прокариотной докембрийской биосфере среди водорослей преобладали цианобактерии, бывшие основными продуцентами того времени. Отсюда в палеоальгологии большой интерес, отраженный в тематике конференции, к докембрийским цианобактериям, сохранившимся в ископаемом состоянии в виде строматолитов, пленок и разрозненных микроскопических остатков. Все эти остатки известны с раннего архея. Но систематическая принадлежность многих из них остается загадочной. Дело в том, что, по молекулярным данным, цианобактерии появились только в начале протерозоя. Но архейские строматолиты и биопленки морфологически мало отличаются от протерозойских, заведомо построенных цианобактериями. Возможны два объяснения этого факта. Архейские строматолиты, точнее, те из них, для которых доказано органическое происхождение, были построены другими бактериями, способными к анаэробному фотосинтезу, так как они приурочены преимущественно к фотической зоне и к амфибиальному ландшафту, и свет должен был играть важную роль в их жизнедеятельности. Второе объяснение может быть связано с неправильной интерпретацией молекулярных данных.

Вторая важная проблема касается времени появления эукариотных водорослей. Их широкое развитие в начале позднего рифея академик Г.А. Заварзин назвал Протерозойской биотической революцией. Она хорошо отражена в геологической летописи и маркирует начало замещения, точнее, наложения так называемой эукариотной биосферы на прокариотную. Но ископаемые остатки прокариотных организмов не всегда легко отличить от эукариотных. Обоснование отличительных черт эукариотных микрофитофоссилий от прокариотных – весьма актуальная задача. Все эукариоты требуют кислорода для дыхания, поэтому

их массовое и широкое появление маркирует сравнительно высокое содержание кислорода в атмосфере. Но единичные находки водорослей в раннем протерозое, отмеченные академиком А.Ю. Розановым и некоторыми другими исследователями, требуют дополнительного объяснения, связанного, например, с возможной мозаичностью содержания кислорода в морской воде при малоокислородной атмосфере.

Замещение прокариотных оксигенных фотосинтетиков эукариотными происходило не только в планктоне, но и в бентосе: строматолитовые постройки замещались постройками известковых водорослей. Последовательность и длительность их замещения в разных биотопах в течение палеозоя, особенно раннего, является важным предметом изучения водорослей. Появление в палеозое хардграундов и особенностей обрастания их биопленками – актуальная задача палеоэкологов. Биопленки, в том числе и на песчаных осадках, известны с раннего архея до настоящего времени. Именно благодаря им мы можем наблюдать ископаемые знаки ряби на морском дне. Но сообщества, образующие эти биопленки, очевидно, сильно менялись в течение геологического времени. Изучение их – не менее важное направление альгологии.

Значительная часть материалов конференции посвящена диатомеям и динофлагеллятам – водорослям, которые стали играть особую роль в мезо-кайнозойской биосфере. Тщательно разработанная систематика этих водорослей и их быстрая эволюция позволяют широко использовать эти группы для стратиграфии, а чувствительность многих из них к экологическим факторам сделала их важными для реконструкции условий среды обитания. Но их происхождение, родственные отношения с другими водорослями и роль в эволюции биосферы полны разнообразных загадок, не менее трудных и волнующих, чем у докембрийских водорослей.

Таковы одни из самых крупных проблем изучения водорослей в контексте эволюции биосферы. Но и частные задачи иногда могут показать общую картину лучше, чем специальный обзор. Важно увидеть загадку даже в самых, на первый взгляд, малозначительных деталях и пытаться ее разгадать. Только при таком подходе наши исследования станут для всех интересными и приведут к убедительной интерпретации полученных фактов. Публикуемые материалы конференции, как мне кажется, подтверждают это правило.

С.В. Рожнов

ПАЛЕОМИКРОКОДИИ И ИХ ПРИРОДА

А.И. Антошкина¹, К.М. Седаева²

¹ Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, antoshkina@geo.komisc.ru

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, sedaeva-mgu@mail.ru

PALAEOMICROCEDIA AND THEIR ORIGIN

A.I. Antoshkina¹, K.M. Sedaeva²

¹ Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch, RAS, Syktyvkar, antoshkina@geo.komisc.ru

² Moscow State University, sedaeva-mgu@mail.ru

Впервые *Palaeomicrocodium* был описан из верхнедевонских рифогенных толщ залива Бонапарта в северо-западной Австралии в ассоциации с *Renalcis–Shuguria–Chabakovia–Izhella* (Mamet, Roux, 1983, p. 95). Авторы отнесли палеомикрокодии к представителям сине-зеленых водорослей и установили, что они являются древним таксоном *Microcodium*, и имели сходные с ним условия обитания. Палеомикрокодии эпизодически и локально встречаются на разных уровнях карбонатного разреза нижнего и среднего палеозоя, а начиная с карбона и до кайнозоя включительно как микрокодии. В аналогичной ассоциации палеомикрокодии были отмечены из нижнекембрийских микробияльно-археоциатовых построек северо-западной Сардинии, Италии (Cherch et al., 1997). Более детальные исследования показали, что чаще всего палеомикрокодии связаны с микробияльными сообществами, участвующими в формировании рифогенных образований, в основном на кризисных рубежах развития рифовых экосистем. Современные микробияльные исследования показали, что большинство таксонов сине-зеленых водорослей являются цианобактериями. Такой точки зрения придерживаются многие палеонтологи, особенно зарубежные (Riding, Soja, 1993 и др.). Сонахождение цианобактерий с палеомикрокодиями отражает стрессовые ситуации, не позволяющие позднедевонским рифовым системам пройти полную экологическую сукцессию (Антошкина, 2003).

Детальные литолого-палеоэкологические исследования верхнедевонских рифогенных толщ показали, что *Palaeomicrocodium* в ассоциации с цианобактериями встречается в породах, подвергшихся субэкральному воздействию вследствие обмеления и кратковременного осушения (Антошкина, 2002). Позднее было установлено, что они отмечаются не только в породах биогермного, но и лагунного, и прибрежно-континентального генезиса (Antoshkina, 2006). Кроме того, разрозненные фрагменты палеомикрокодий были выявлены также в корах выветривания среди каолининовых глин с сидеритовыми конкрециями, характеризующих палеопочвы.

На систематическое положение *Palaeomicrocodium*, как и *Microcodium*, имеются разные точки зрения – это: 1) водоросли, образовавшиеся в обстановках морского мелководья и лагун (Mamet, Roux, 1983; Cherchi et al., 1997); 2) органоминеральные образования, представляющие собой результат симбиоза почвенных грибов и корней растений (Martin-Chivelet, Gimenez, 1992; Rachki, 1999) и 3) обызвесткованные остатки палеолишайников (в данной работе).

Как было отмечено ранее В.П. Масловым (1973, с. 13), известковые членики микрокодий в виде корок росли на дне или на растительных стержнях, обычно не сохраняющихся. Поэтому можно говорить, что палеомикрокодии, как и микрокодии, существовали не в типичных морских условиях, а в тех, где отложения в разной степени были затронуты субэкральными процессами. Это вызывает сомнение рассматривать палеомикрокодии как водоросли, хотя и низкого систематического положения. Две последние точки зрения позволяют считать данный таксон индикатором субэкральных обстановок. Жизнеспособность второй точки зрения подтверждается тем, что во вмещающих их породах: а) отчетливо проявлены процессы вадозного диагенеза, субэкральной переработки пород и б) распределение минерализованного симбиотического сообщества вокруг корневых остатков. Третья точка зрения, предлагаемая авторами, основывается на том, что палеомикрокодии по морфологии, палеоэкологической приуроченности и распределению на различных субстратах сходны с современными лишайниками (рис. 1). Лишайники – это организмы, образованные симбиозом автотрофных фикобионтов (низших водорослей, цианобактерий и бактерий) и гетеротрофных микобионтов (грибов), которые отнесены к низшим растениям. Они могут прикрепляться к разнообразному субстрату (камни, древесина, пустынные корки, глины и т. д.) самим слоевищем или особыми органами прикрепления – *ризоидами*, которые образуются на нижней части слоевища и относятся к низшим растениям (Водоросли. Лишайники, 1977). Лишайники распространены в различных местах обитания от экватора до полярных широт, неблагоприятных для существования других растений.

Таким образом, можно рассматривать палисадно расположенные или в виде гроздевидных скоплений и разрозненные сферообразные членики палеомикрокодий, как корочки палеолишайников, росших на поверхности разных субстратов. Они свидетельствовали о времени осушения, проявлении субэкральных процессов и о начале формирования «пионерного» растительного покрова. Массовость их проявления в породе и мощность самих пород с палеомикрокодиями может свидетельствовать о длительности существования субэкральных условий.

Работа проводилась в рамках Программы Президиума РАН 28/2, проект № 12-P-5-1006.

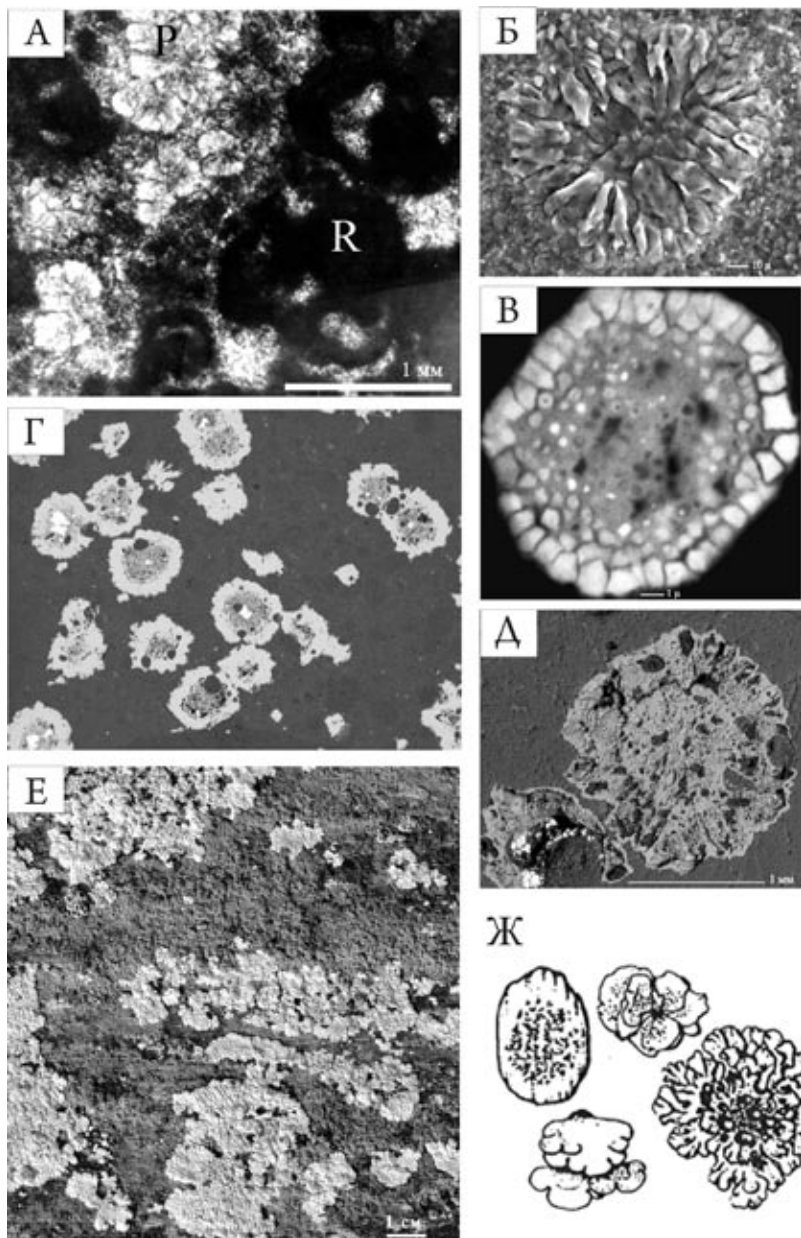


Рис. 1. Палеомикрокодии и современные лишайники: А – Ассоциация *Renalcis* (R) и *Palaeomicrocodium* (P) в биогермном известняке, р. Шарью, гр. Чернышева, фаменский ярус, обр. 86/90; Б – членик *Palaeomicrocodium* (электронная микрофотография после травления во вторичных электронах, там же, обр. 86/166-1; В – сидеритизированный членик *Palaeomicrocodium* (электронная микрофотография в упруго отраженных электронах, там же, обр. 86/166; Г – сидеритовые конкреции по членикам палеомикрокодий, неравномерно распределенным в глинисто-терригенной массе, скв. Нюроль 22, Нюрольская впадина, кровля франского яруса, обр. 22a/43-1; Д – деталь Г, где наблюдаются включения халькопирита (темные зерна) в сидеритизированных члениках палеомикрокодий; Е – современные лишайники на поверхности скального выхода; Ж – зарисовки некоторых видов современных лишайников (с сайта «Все по биологии»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антошкина А.И. 2003. Рифообразование в палеозое (север Урала и сопредельные области) // Екатеринбург: УрО РАН. 303 с.
- Антошкина А.И. 2002. *Palaeomicrocodium* как индикатор стрессов в позднедевонских рифовых экосистемах // Геология девонской системы: Мат-лы междунар. симпоз. Сыктывкар: Геопринт. С. 53–56.
- Водоросли. Лишайники / Жизнь растений. М.М. Голлербах, Ал.А. Федоров (ред.). М.: Просвещение. 1977. Т. 3. 487 с.
- Маслов В.П. 1973. Атлас породообразующих организмов. М.: Наука. 267 с.
- Антошкина А.И. 2006. Palaeoenvironmental implications of *Palaeomicrocodium* in Upper Devonian microbial mounds of the Chernyshev Swell, Timan-northern Ural region // *Facies*. V. 52. P. 611–625.
- Cherchi A., Frohler M., Schroder R. 1997. Microfossils of the *Tartbinia-Palaeomicrocodium* group (filamentous cyanobacteria) from the Lower Cambrian of SW-Sardinia (Italy) // *Bol. Soc. Paleontol. Ital.* V. 35. №. 2. P. 187–198.
- Mamet B.L., Roux A. 1983. Algues dévono-carbonifères de L’Australie // *Rev. Micropaléontol.* V. 26. №. 2. P. 63–131.
- Martin-Chivelet J., Gimenez R. 1992. Palaeosols in microtidal carbonate sequences, Sierra de Utiel Formation, Upper Cretaceous, SE Spain // *Sedimentary Geology*. V. 81. P. 125–145.
- Racki G. 1999. Silica-secreting biota and mass extinctions: survival patterns and processes // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. V. 154. P. 107–132.
- Riding R., Soja C.M. 1993. Silurian calcareous algae, cyanobacteria, and microproblematica from the Alexander Terrane, Alaska // *J. Palaeontol.* Pol. P. 710–728.

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ИЗВЕСТКОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ПОЗДНЕГО ДЕВОНА УРАЛА

А.Л. Анфимов

Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, anfimov@igg.uran.ru

CALCAREOUS ALGAE DEVELOPMENT STAGES IN THE LATE DEVONIAN, THE URALS

A.L. Anfimov

Institute of Geology and Geochemistry of UB of RAS, Ekaterinburg, anfimov@igg.uran.ru

В среднем девоне на Урале установлен ряд региональных перерывов в карбонатном осадконакоплении. Перерывы близки по возрасту на западном и восточном склонах Урала: предафонинский и предлангурский, предпашийский и предбродовский. В результате сокращения мощности среднедевонских карбонатных пород во время перерывов наблюдается снижение видового разнообразия водорослей в 4–5 раз; в итоге в конце живетского века в разрезах присутствовали немногочисленные цианобактерии (гирванеллы и ротплетцеллы) и более многочисленные представители харовых водорослей *Umbella bella* Masl., *Planumbella effusa* Tchuv., *Kusiella fruticosa* Tchuv., *Sycidium* sp. (Анфимов, 2012). Харовые водоросли характерны для морских бассейнов с аномальной соленостью.

В начале франского века (в саргаевское время) начинается постепенное углубление морских бассейнов с формированием обширных по площади обстановок морского мелководья, где образуются онколиты, сложенные нитями цианобактерий гирванелл и ротплетцелл. Саргаевские известняки обычно бывают розовато-светло-серыми, серыми. В доманиковое время они сменяются известняками темно-серыми слоистыми битуминозными с амфипорами, кораллами, тентакулитами или черными доманикитами с прослоями кремнистых известняков. Это явилось следствием дальнейшего углубления морских бассейнов. Так же как и в тальтийское время, углубление морских бассейнов оказалось губительным для водорослей и привело к их почти полному отсутствию в известняках доманикового и соответственно нижней половине губинского горизонтов (за исключением гирванелл) (Стратиграфические схемы Урала, 1993; Чувашов, Шуйский, 1988; Chuvashov et al., 1993). Известны и мелководные разрезы доманиковых известняков, в частности разрез «Писаный Камень» на восточном склоне на р. Ирбит, где распространены розовато-светло-серые и светло-серые узорчатые известняки с брахиоподами, кораллами, строматопороидеями, тентакулитами и немногочисленными водорослями *Renalcis* sp., *Rezhella* sp., *Issinella* sp. В этих известняках определены ругозы нижнего-среднего франа и конодонты зон *hassii* и *thenana* (Чувашов, Анфимов, 2007). Наличие конодонтов упомянутых зон позволяет предположить здесь наличие границы между пачками известняков губинского горизонта, близких по возрасту к известнякам доманикового и мендымского горизонтов западного склона Урала.

Появление разнофациальных известняков нижефранского подъяруса подтверждает вывод Б.И. Чувашова о начале дифференциации рельефа морского дна в это время (Чувашов, 1968; Chuvashov et al., 1993). В результате продолжения этого процесса на западном склоне Южного Урала в позднем фране появилось несколько типов разрезов: темно-серых битуминозных известняков с обилием раковин тентакулитов, иногда головоногих моллюсков, прослоями кремнистых аргиллитов с раковинами радиолярий и светло-серых, розовато-светло-серых, серых пятнисто доломитизированных известняков с остатками строматопороидей, кораллов, брахиопод и цианобактерий *Girvanella* sp., *Rothpletzella* sp., *Izhella* sp., *Epiphyton* sp., *Shuguria* sp., зеленых водорослей *Cateniphycus* sp., красных водорослей *Solenopora* sp., т. е. пород усть-катавской и самсоновской свит, а также нерасчлененных известняков мендымского и аскынского горизонтов верхнефранского подъяруса (Стратиграфические схемы Урала, 1993). На западном склоне Среднего Урала в бассейне р. Чусовой в позднем фране формируются темно-серые известняки мендымского горизонта и залегающие выше светло-серые детритовые и органогенно-детритовые известняки аскынского горизонта. В известняках мендымского горизонта кроме уже упомянутых цианобактерий отмечены *Rectangulina tortuosa* (Антроп.), *R. mammata* (Тчув.), являющиеся руководящими, а также зеленые водоросли *Issinella devonica* Reitl., *Litanaia* sp. и красные водоросли *Katavella orlovkaensis* Tchuv., *Solenopora koivense* Tchuv., *S. paulis* Tchuv. Для аскынского горизонта характерны те же цианобактерии, а также зеленые водоросли *Litanaia* sp., *Cateniphycus tchussovensis* Tchuv. На восточном склоне Среднего Урала в Режевском р-не в известняках губинского горизонта (рис. 1) распространен близкий комплекс водорослей, а также красная водоросль *Uralites regularis* Tchuv., и новые зеленые водоросли *Rezevites cucumeriformis* Tchuv. et Anfimov, *Rezhella alveolatus* Tchuv. et Anfimov (Анфимов, Чувашов, 2011). На р. Исети в одновозрастных известняках отмечены зеленые дазикладовые *Thibia kodinskya* Anfimov, *Atractyliopsis pyriformis* Anfimov и сифоновые водоросли *Perrierella tourneurii* Mamet et Preat (Анфимов, 2011).

Следовательно, на протяжении франского века в мелководных условиях происходило увеличение видового разнообразия и количественного состава водорослей: в позднем фране появились новые зеленые водоросли в разрезах на берегах р. Исеть, красные водоросли и цианобактерии в разрезах на р. Чусовой. В этот век наблюдается расцвет альгофлоры позднего девона, распространяются зеленые дазикладовые и сифонокладовые водоросли, начинающие вытеснять сифоновых.

На рубеже франского и фаменского веков происходит массовое вымирание многих таксонов морской фауны и флоры, исчезновение строматопоровых и коралловых рифогенных построек, получившее название Кельвассерского события (Веймарн, Корнеева, 2007). Причиной вымирания послужило резкое понижение уровня моря; на западном склоне Урала это событие привело к формированию брахиоподовых ракушнякаков – барминских слоев, на восточном склоне в разрезах на р. Реж эта граница выражена слабо и распозна-

Ярус	Горизонт	Свита (пачка)	Литология	Мощность, м	Водоросли	Состав пород
Фаменский	Хвощевский	Хвощевские слои		33	<i>Kamaena delicata</i> <i>Cribrókamaena furcillata</i> <i>Nanopora woodi</i> <i>Stylaella rhomboidea</i> <i>Issinella grandis</i> <i>Issinella devonica</i> <i>Issinella sainsii</i>	Известняки серые и темно-серые слоистые с многочисленными фораминиферами и сифонокладовыми, реже дазикладовыми водорослями
	Чепчуговский	Чепчуговские слои		269	<i>Izhella nubiformis</i> <i>Girvanella ducii</i> <i>Renalcis devonicum</i> <i>Issinella grandis</i> <i>Solenopora aff. koivense</i>	Известняки серые и темно-серые узорчатые с многокамерными фораминиферами, цианобактериями, зелеными и красными водорослями
	Шамейский	Шамейские слои		102	<i>Catenaella uralica</i> <i>Isinella devonica</i>	Известняки светло-серые слоистые, в нижней части с прослоями алевролитов, фауна брахиопод, однокамерных, редко многокамерных фораминифер, конодонтов
	Губинский	Губинские слои		140	<i>Shuguria flabeliformis</i> <i>Epiphyton buldyricum</i> <i>Issinella devonica</i>	Известняки светло-серые, серые с инкрустациями
	Бродовский	Бродовские слои		110	<i>Epiphyton buldyricum</i> <i>Rothpletzella devonica</i> <i>Wetheredella sp.</i> <i>Shuguria sp.</i>	Известняки темно-серые, серые битуминозные плитчатые-слоистые с амфипорами, брахиоподами, кораллами
Франский	Бродовский	Бродовские слои		100	<i>Epiphyton buldyricum</i> <i>Rothpletzella devonica</i> <i>Wetheredella sp.</i> <i>Shuguria sp.</i>	Известняки светло-серые, розовые с инкрустациями, буро-вишневыми прослоями; водоросли, брахиоподы
	Бродовский	Бродовские слои		135	<i>Wetheredella sp.</i> <i>Shuguria sp.</i>	Известняки розовые, розовато-серые, неяснослоистые за счет водорослей, с брахиоподами и конодонтами
Живетский	Высотинский			200-500	<i>Scasyporella uralica</i> <i>Rezhella sp.</i> <i>Devonoscale sp.</i>	Известняки серые, розовые, иногда с вулканокластами, с брахиоподами, конодонтами, фораминиферами
						Известняки, известковые песчаники, гравелиты, фауна брахиопод, кораллов, наутилоидей, конодонтов

Рис. 1. Сводная стратиграфическая колонка средне-верхнедевонских пород Режевского района (составлена с использованием материалов из Стратиграфических схем Урала, 1993, а также статей Наседкина и др., 1993; Анфимов, Чувашов, 2011).

ется только по смене комплексов фауны. В результате обмеления в начале фаменского века и дальнейших периодических обмелений из многих разрезов исчезают цианобактерии, господствующее положение занимают зеленые сифонокладовые и красные водоросли.

Одним из наиболее изученных в отношении известковых водорослей в настоящее время на восточном склоне Урала является разрез фаменских известняков на р. Реж вблизи западной окраины дер. Сохарево (Анфимов, Чувашов, 2011). Часть разреза показана на рис. 1. Здесь определены следующие водоросли:

Шамейский горизонт (известняки серые, буровато-серые неяснослоистые): *Girvanella ducii* Wether., *Renalcis devonicus* Johnson, *Shuguria flabeliformis* Antr., *Izhella nubiformis* Antr., *Rezhella alveolata* Tchuv. et Anfim., *Issinella devonica* Reitl., *I. grandis* Tchuv., *Catenaella uralica* Schir, *Kamaena delicata* Antr., *Kamaenella* sp., *Subkamaena* sp., *Proninella tamarae* Reitl., *Devonoscale tatarstanica* (Antr.), *Paraepimastopora* sp., *Uralites regularis* Tchuv., *Solenopora* sp., *Parachaetetes paleozoicus* Masl, *Umbella* sp. Чепчуговский горизонт (известняки серые узорчатые, темно-серые массивные): определены те же водоросли, появляются *Hedstroemia* sp., *Menselina clathrata* Antr. Хвощевский горизонт (известняки светло-серые, серые массивные и слоистые): определены *Kamaena aff. delicata* Antr., *Cribrókamaena furcillata* Brencl., *Parakamaena irregularis* Berch., *Subkamaena razdolica* Berch., *Nanopora woodi* Berch., *Stylaella rhomboids* Berch., *Issinella devonica* Reitl., *Is. grandis* Tchuv., *Is. sainsii* Mamet, *Proninella* sp.

На западном склоне Урала определен близкий по составу комплекс альгофлоры. Особенностью фаменского альгокомплекса является широкое распространение зеленых сифонокладовых водорослей, вытесняющих дазикладовых. Несколько менее распространены красные водоросли; последнее место занимают представители цианобактерий и харовых водорослей. Определенное увеличение разнообразия зеленых сифонокладовых водорослей наблюдается в хвощевское время.

Исследования выполнены при финансовой поддержке совместного проекта УрО РАН 12-С-1032 и инициативного проекта УрО РАН № 12-У-5-1021.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анфимов А.Л. 2012. Этапы развития известковых водорослей раннего и среднего девона Урала // Палеозой России: региональная стратиграфия, палеонтология, гео- и биособытия. Мат-лы 3 Всерос. совещ. «Верхний палеозой России: региональная стратиграфия, палеонтология, гео- и биособытия». СПб: ВСЕГЕИ, 2012. С. 22–25.
- Анфимов А.Л. 2011. Новые зеленые водоросли верхнего девона восточного склона Среднего Урала (разрез Кодинка) / Б.И. Чувашов (ред.). Мат-лы по палеонтологии и стратиграфии Урала и Западной Сибири (девонская и каменноугольная система). Екатеринбург: УрО РАН. С. 80–89.
- Анфимов А.Л., Чувашов Б.И. 2011. Известняки франского и фаменского ярусов на р. Реж у д. Сохарево / Б.И. Чувашов (ред.). Мат-лы по палеонтологии и стратиграфии Урала и Западной Сибири (девонская и каменноугольная система). Екатеринбург: УрО РАН. С. 127–150.
- Веймарн А.Б., Корнеева Г.А. 2007. Глобальные геологические события на рубеже франского и фаменского веков // Бюл. МОИП, отд. геол. Т. 82. Вып. 1. С. 48–68.
- Наседкина В.А., Постоялко М.В. и др. 1990. К стратиграфии верхнего девона на восточном склоне Среднего Урала // Проблемы стратиграфии Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР. С. 22–35.
- Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). 1993. Девон. Западный склон Урала: Лист 1–14. Восточный склон Урала: Лист 1–16. Екатеринбург: Уралгеолком.

- Чувашов Б.И. 1968. История развития и биомическая характеристика позднедевонского бассейна на западном склоне Среднего и Южного Урала. М.: Наука. 131 с.
- Чувашов Б.И., Шуйский В.П. 1988. Стратиграфические и фациальные комплексы известковых водорослей палеозоя Урала // Известковые водоросли и строматолиты (систематика, биостратиграфия, фациальный анализ). Новосибирск: Наука. С. 98–125.
- Чувашов Б.И., Анфимов А.Л. 2007. Новый фациальный и возрастной тип органогенных построек на восточном склоне Урала // Ежегодник – 2006. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. С. 67–70.
- Chuvashov B.I., Shuysky V.P., Ivanova R.M. 1993. Stratigraphical and facies complexes of the Paleozoic calcareous algae of the Urals / Studies on Fossil Benthic Algae. F. Barattolo et al. (eds): Bol. Soc. Paleont. Ital. V. 1. Mucci, Modena. P. 93–112.

СООБЩЕСТВА ДИАТОМОВЫХ ВОДОРосЛЕЙ МИКУЛИНСКИХ, ГОЛОЦЕНОВЫХ И СОВРЕМЕННЫХ ВОДОЕМОВ БАССЕЙНОВ ВЕРХНЕГО И СРЕДНЕГО ДОНА

Г.А. Анциферова, О.А. Остапенко

Воронежский государственный университет, Воронеж, g_antiferova@mail.ru

DIATOM ASSEMBLAGES OF MIKULIN, HOLOCENE AND RECENT PONDS OF UPPER AND MIDDLE DON BASINS

G.A. Antsiferova, S.A. Ostapenko

Voronezh State University, Voronezh, Russia, g_antiferova@mail.ru

Территория бассейнов Верхнего и Среднего Дона располагается вне границ московского и валдайского оледенений, предшествующих микулинскому межледниковому времени и голоцену. В пределах подобных территорий наиболее распространенными являются озера речного происхождения.

Ископаемые сообщества диатомовых водорослей микулинского времени изучены на левобережье Дона в разрезах Шкурлат, участок III у г. Павловска Воронежской области, у хутора Ямань в северной части Кривоборского обрыва в основании толщи отложений второй надпойменной террасы Дона.

Разрез Шкурлат, участок III расположен в северо-восточной стенке Павловского гранитного карьера. Диатомовые водоросли выделены из алевролитистых песков, накопление которых происходило в позднемикулинское время в среднеглубоком олиготрофно-мезотрофном водоеме. Комплекс диатомей насчитывает около 200 видов и внутривидовых таксонов, принадлежащих 32 родам. Выявлены вымершие плейстоценовые формы: *Stephanodiscus peculiaris* Khurs., *Cyclotella reczickiae* var. *diversa* Log., *Fragilaria brevistriata* var. *constricta* Loss. Обнаружен редкий вид экзот *Fragilaria magocsyi* Lacsmy., известный из современных водоемов Венгрии и Дальнего Востока, в ископаемом состоянии наблюдался в микулинских отложениях разреза Смелый (Брянская область).

В разрезе у хутора Ямань на левобережье Дона у уреза воды изучены микулинские озерные мергели. Комплекс диатомей насчитывает 240 видов и внутривидовых таксонов, принадлежащих 31 роду. Вымерших форм и плейстоценовых реликтов не наблюдается. Доминирующий комплекс диатомей представлен видами обрастателями и донными родов *Fragilaria* Lyngb., *Opephora* Petit., *Epithemia* Bréb., *Cymbella* Ag., *Gyrosigma* Hass., *Navicula* Bory, *Amphora* Ehr. По диатомеям восстанавливаются условия старичного мелководного эвтрофного водоема.

Микулинские (эмские, ресс-вюрмские, муравинские, мяркинские) диатомовые водоросли изучены во множестве других разрезов в пределах территорий, расположенных вне границ предшествующего оледенения. В их отложениях прослеживается заторфованность, прослой торфа. В большинстве известных разрезов накопление озерных и озерно-болотных осадков происходило на отдельных этапах межледниковья в неглубоких, заросших высшей водной растительностью водоемах. Мощности осадков, как правило, небольшие.

Подобная палеогеоэкологическая обстановка обуславливала развитие сообществ диатомовых водорослей, представленных плейстоценовыми видами, имеющими широкий стратиграфический диапазон распространения и высокую степень адаптации. Среди планктонных диатомей распространены: *Stephanodiscus rotula* (Kütz.) Hende, *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round, *Cyclotella comta* (Ehr.) Kütz., *C. cyclopuncta* Håkansson et Carter, *C. krammeri* Håkansson, *C. ocellata* Pant., *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim., *A. italica* (Ehr.) Sim., *A. islandica* (O. Müll.) Sim., среди обрастателей *Opephora martyi* Herib., представители рода *Fragilaria* Lyngb.: *F. construens* (Ehr.) Grun. с разновидностями, *F. brevistriata* Grun. и др., в группе донных диатомей многочисленны виды рода *Navicula* Bory: *N. radiosa* Kütz., *N. oblonga* Kütz., *N. scutelloides* W. Sm., *Cymbella diluviana* Krasske, *Amphora ovalis* Ehr. с разновидностями и многие другие (Анциферова, 2001).

Примером подобных сообществ диатомовых водорослей являются диатомеи из разреза у г. Вышний Волочек, которые исследовала Е.А. Черемисинова в 1966 г. из микулинской гиттии (оптимум межледниковья) и торфа. Они залегают на московской морене и перекрыты водно-ледниковыми валдайскими песками. В диатомовом комплексе, выделенном из гиттий, доминируют планктонные виды, рода *Cyclotella* (Kütz.) Bréb.: *C. krammeri* Håkansson, *C. ocellata* Pant., а также *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim., *Stephanodiscus rotula* (Kütz.) Hende, среди обрастателей наблюдаются разнообразные виды рода *Fragilaria* Lyngb., *Opephora martyi* Herib. et var. *amphioxys* Poretzky, *Achnanthes lanceolata* (Bréb.) Grun. с разновидностями, в группе донных диатомей разнообразны виды рода *Navicula* Bory: *N. cincta* (Ehr.) Kütz., *N. oblonga* Kütz., *N. placentula* (Ehr.) Grun., *N. järnefeltii* Hust., *N. scutelloides* W. Sm., *Cymbella diluviana* Krasske. По сообществам диатомовых водорослей восстанавливаются условия осадконакопления в среднеглубоком олиготрофном, затем эвтрофном водоеме (Черемисинова, 1966). Систематический состав данного комплекса диатомей и характер диатомовой

диаграммы соответствуют микулинским (эемским, рисс-вюрмским, муравинским, мяркинским) из разрезов центра России, Беларуси и других территорий, изученных Г.К. Хурсевич, Л.П. Логиновой (Хурсевич, Логинова, 1980) и многими другими исследователями.

Голоценовые диатомовые водоросли в бассейне Среднего Дона известны в разрезах Гаврило-86 и Шкурлат-ГК-6 вблизи Павловского гранитного карьера у д. Шкурлат (Воронежская область).

В разрезе Гаврило-86 изучены диатомовые водоросли из отложений бореального времени (радиоуглеродная датировка 8270–8370 л.т.н.). Озерная линза осадков, представленных алевритами с прослойками глины и торфа, имеет мощность 1–3 см. Наблюдаются растительные остатки, раковинный детрит. Общая мощность 0.9 м. Диатомовый комплекс представлен 346 видами и внутривидовыми таксонами, принадлежащими 36 родам. Диатомовые водоросли развивались в пресноводном мелководном, слабопроточном эвтрофном водоеме. Доминируют эпифитные виды обрастатели, связанные с зарослями высшей водной растительности. Это *Epithemia zebra* (Ehr.) Kütz. var. *zebra* с разновидностями, *E. turgida* (Ehr.) Kütz. var. *turgida* с разновидностями, *E. intermedia* Fricke, *E. mülleri* Fricke, *Cocconeis placentula* Ehr. var. *placentula* с разновидностями, *C. pediculus* Ehr. var. *pediculus*, *Fragilaria brevistriata* Grun. var. *brevistriata*. Среди донных диатомей распространены *Amphora ovalis* Kütz. с разновидностями, *Navicula oblonga* Kütz., *N. radiosa* Kütz. Группа планктонных диатомей представлена видами *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim. var. *granulata*, *Stephanodiscus rotula* (Kütz.) Hendeby, *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round.

В разрезе Шкурлат-ГК-6 из осадков суббореального (более 4500 л.т.н.) времени изучены диатомовые водоросли, насчитывающие 320 видов и внутривидовых таксонов, принадлежащих 36 родам. Доминируют эпифитные виды обрастатели, связанные с зарослями высшей водной растительности. Это *Epithemia zebra* (Ehr.) Kütz. var. *zebra* с разновидностями, *E. turgida* (Ehr.) Kütz. var. *turgida* с разновидностями, *E. intermedia* Fricke, *E. mülleri* Fricke, *Cocconeis placentula* Ehr. var. *placentula* с разновидностями, *C. pediculus* Ehr. var. *pediculus*, *Fragilaria brevistriata* Grun. var. *brevistriata*. Широко распространены донные диатомеи, свидетельствующие о прозрачности водной среды. Среди них постоянно встречаются *Amphora ovalis* var. *pediculus* Kütz., *A. veneta* Kütz., *Anomoeoneis sphaerophora* (Kütz.) Pfitz. var. *sphaerophora* с разновидностями, *Navicula oblonga* Kütz., *N. radiosa* Kütz. В водной толще распространялись планктонные диатомеи, в составе которых наиболее часты *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim. var. *granulata*, *A. alpigena* (Grun.) Krammer, *A. distans* (Ehr.) Sim., *Stephanodiscus rotula* (Kütz.) Hendeby, *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round.

Водоем, в котором развивались данные диатомовые водоросли, отличается особой минерализация. По галобности в ископаемых сообществах преобладают виды индифференты, предпочитающие воды с минерализацией 0.2–0.3 ‰. Одновременно развиваются галофильные виды (1.6–12 ‰), обычные в пресной воде, но для развития которых оптимальна минерализация 0.4–0.5 ‰ и эвригалинные мезогалобные (солончатководные) виды, способные переносить изменения минерализации в широких пределах. В группе мезогалобов (0.5–9 ‰) наблюдаются часто встречающиеся в пресных водах *Synedra tabulata* (Ag.) Kütz. et var. *fasciculata* (Kütz.) Grun., *Cocconeis pediculus* var. *minutissima* Poretzky, *Mastogloia smithii* Thw. var. *smithii*, *Diploneis interrupta* (Kütz.) Cl. var. *interrupta*, *D. pseudoovalis* Hust., *Anomoeoneis sphaerophora* var. *sculpta* (Ehr.) O. Müll. et var. *polygramma* (Ehr.) O. Müll., *Navicula halophila* (Grun.) Cl., *N. pygmaea* Kütz., *Gyrosigma acuminatum* var. *brebissonii* Grun. et var. *gallica* Grun., *G. strigile* (W. Sm.) Cl., *Amphora coffeaeformis* Ag. et var. *acuminatum* (Kütz.) Hust., *A. veneta* Kütz. et var. *subcapitata* I. Kiss., *Rhopalodia musculus* var. *mirabilis* Fricke, *R. gibberula* (Ehr.) O. Müll. et var. *vancheurckii* O. Müll. и др. В составе комплекса диатомей присутствуют виды эндемики, в настоящее время встречающиеся в оз. Байкал, в оз. Духовом в Забайкалье. Это *Fragilaria lacus Baikalii* Skv., *Navicula skabitschewskyi* (Skabitsch.) Zabelina, *Pinnularia abnormis* Skv. и др.

Диатомовые водоросли развивались в пресноводном мелководном, слабопроточном водоеме. Несколько повышенная минерализация вод может быть объяснена повышенным испарением в условиях аридизации климата.

Сообщества микулинских и голоценовых диатомовых водорослей из эвтрофных водоемов региона по видовому составу наиболее близки современным. По данным до 2008 г., в целом они насчитывали до 350 видов и внутривидовых таксонов, принадлежащих 41 роду, включая данные по пойменным озерам долины р. Хопер в пределах Хоперского государственного природного заповедника (Воронежская область, образован в 1935 г.). Ныне представления о видовом разнообразии диатомовых водорослей региона значительно расширились в результате изучения систематического состава низших водорослей из водоемов государственного природного заповедника «Воронинский» (Тамбовская область, образован в 1994 г.). А именно, диатомовые водоросли насчитывают до 450 видов и внутривидовых таксонов, принадлежащих 45 родам (Анциферов, Борисова, 2009).

В составе сообществ диатомовых водорослей речных озер бассейна Среднего Дона в составе диатомовых сообществ этих мелководных эвтрофных водоемов доминируют в основном бентосные диатомеи. Среди видов обрастателей и донных широко распространены *Fragilaria brevistriata* Grun. с разновидностями, *F. construens* (Ehr.) Grun., *F. construens* var. *venter* (Ehr.) Grun., *F. construens* var. *binodis* (Ehr.) Grun., *F. pinnata* Ehr., *Ophephora martyi* Herib. с разновидностями. Разнообразные виды родов *Navicula* Bory (*N. cryptocephala* Kütz., *N. gracilis* Ehr., *N. oblonga* Kütz., *N. radiosa* Kütz., *N. hungarica* Grun. с разновидностями и др.), *Cymbella* Ag. (*C. cymbiformis* (Ag.? Kütz.) V.H., *C. cesatii* (Rabenh.) Grun., *C. microcephala* Grun., *C. diluviana* (Krasske) Florin, *C. ehrenbergii* Kütz., *C. ventricosa* Kütz., *C. turgida* (Greg.) Cl.), *Amphora* Ehr. (*A. ovalis* Kütz. с разновидностями), *Gomphonema* Ehr. (*G. augur* Ehr., *G. constrictum* Ehr., *G. intricatum* Kütz. et var. *pumilum* Grun.), *Gyrosigma* Hass. (*G. acumanatum* (Kütz.) Rabenh., *G. attenuatum* (Kütz.) Rabenh.), *Epithemia* Bréb. (*E. sorex*

Kütz., *E. turgida* (Ehr.) Kütz. с разновидностями, *E. zebra* (Ehr.) Kütz. с разновидностями, *E. intermedia* (Fricke), *Rhopalodia* O. Müll. (*R. gibba* (Ehr.) O. Müll. et var. *ventricosa* (Ehr.) Grun.) и многие другие. В составе планктонных сообществ доминируют такие виды как *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *S. hantzschii f. tenuis* Håkansson et Stoermer, *Cyclotella comta* (Ehr.) Kütz. var. *comta*, *C. meneghiniana* Kütz., *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim. var. *granulata*, *A. granulata* var. *angutissima* (O. Müll.) Sim., *A. italica* (Ehr.) Sim. f. *italica*, *A. italica* var. *tenuissima* (Grun.) Sim. *A. islandica* (O. Müll.) Sim. et subsp. *helvetica* (O. Müll.) Sim., *Melosira varians* Ag. и другие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анциферова Г.А. 2001. Эволюция диатомовой флоры и межледникового осадконакопления центра Восточно-Европейской равнины // Тр. Воронежского ун-та. Вып. 2. Воронеж: ВГУ. 198 с.
- Анциферова Г.А., Борисова Л.Е. 2009. Озера долины реки Вороны как естественный современный рефугиум диатомовых водорослей центра Восточно-Европейской равнины // Вестн. Воронежского ун-та. Сер. география. Геоэкология. № 2. С. 85–92.
- Хурсевич Г.К., Логинова Л.П. 1980. Ископаемая диатомовая флора Белоруссии (Систематический обзор). Минск: Наука и техника. 122 с.
- Черемисинова Е.А. 1966. Диатомовые водоросли в отложениях экстралайдальной зоны последнего оледенения // Мат-лы по геологии и полезным ископаемым северо-запада РСФСР. Л.: Наука. С. 168–179.

ЖИЗНЬ В ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКЛАХ: ДРЕВНЯЯ И СОВРЕМЕННАЯ

М.М. Астафьева

Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, astafieva@paleo.ru

LIFE IN VOLCANIC GLASSES: ANCIENT AND RECENT

M.M. Astafieva

Borissiak Paleontological Institute of RAS, Moscow, astafieva@paleo.ru

До недавнего времени только разные типы осадочных пород считались благоприятными для обнаружения микробов, в то время как вулканические породы оставались вне поля зрения бактериальной палеонтологии. Однако современные исследования показали, что подводные морские базальты, особенно базальтовое стекло, также являются благоприятной средой для жизни микробов (Furnes et al., 2007). Впервые же это было продемонстрировано Торсетом еще в 1992 г. (Thorseth et al., 1992).

Предположение, что вулканические породы являются местообитанием ранней микробной жизни, не является неожиданным. Некоторые из самых нижних ветвей древа жизни представлены термофильными микробами и существует доказательство того, что ранняя жизнь могла быть приурочена к вулканическим территориям, в том числе к гидротермальным источникам (Furnes et al., 2004). Так, например, нитчатые микрофоссилии, описанные из массивных сульфидных отложений (возраст 3.235 млрд. лет) интерпретируются как образовавшиеся в условиях подобных современным черным курильщикам (Rasmussen, 2000). Это соответствует оптимальным температурам роста термофильных бактерий (около 70 °C).

Больше того, было предположено, что вскоре после извержения, когда температура поверхности пород падает ниже 113 °C, жизнь уже может существовать (Stetter et al., 1990; Stetter, 2006), причем колонизация стекловидного вещества пиллоу лав происходит одновременно везде, куда может проникнуть морская вода (Thorseth et al., 2001). Важна и интересна проблема развития жизни на границе изверженная порода – вода (Астафьева и др., 2008; Astafieva et al., 2008; Fisk et al., 2003, 2006; Rozanov et al., 2008). При этом происходит микробная колонизация и поверхности субстрата и самой толщи породы.

Для проверки сказанного выше в качестве объектов исследования были выбраны базальтовые пиллоу-лавы с включениями вулканического стекла из раннего палеопротерозоя (2.41 млрд. лет) Карелии и современное вулканическое стекло из пиллоу-лав Срединно-Атлантического хребта.

Бактериально-палеонтологические исследования проводились на электронном сканирующем микроскопе CamScan-4 с микроанализатором Link-860. Исследовались только свежие сколы пород (как древних, так и современных), слегка протравленные кислотами.

Сравнительная характеристика микрофоссилий древних и современных вулканических стекол

В результате бактериально-палеонтологических исследований и в древних и в современных породах были обнаружены довольно разнообразные и многочисленные остатки микроорганизмов.

Нитевидные формы преобладают и в раннепалеопротерозойских и в современных вулканических стеклах. И в том, и в другом случае нитевидные формы представлены как микрофоссилиями, обитавшими на поверхности субстрата, так и эндолитами. Обнаружены нитевидные формы нескольких типов.

Длинные нитевидные формы, как правило, имеют диаметр около 1–3 мкм и длину до 100 мкм. Они обнаружены и в древних и в современных вулканических стеклах.

В вулканических стеклах пиллоу-лав Мяндухи нити (диаметр около 3 мкм) часто сливаются с породой, встречаются расплюснутые бактериальные чехлы (рис. 1).

К остаткам протерозойских бактерий также можно отнести и «поперечный срез» полой нити, слегка выступающей из породы, которая частично заполнена породой (рис. 2). Кроме того в этом случае можно быть уверенными, что это «инситная» форма.

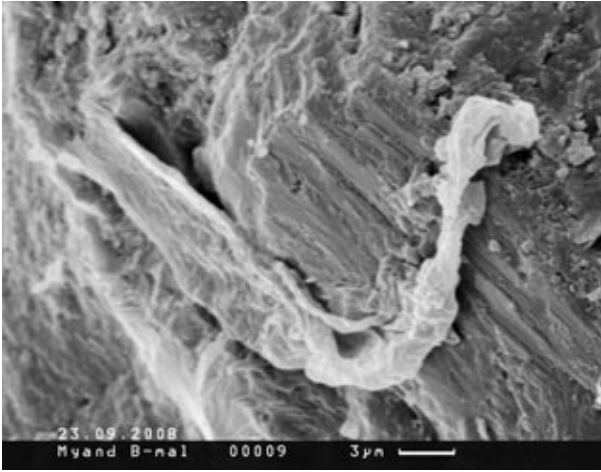


Рис. 1. Расплющенный бактериальный чехол из вулканических стекол пиллоу-лав раннего палеопротерозоя (2.41 млрд. лет) Мяндухи (Карелия).

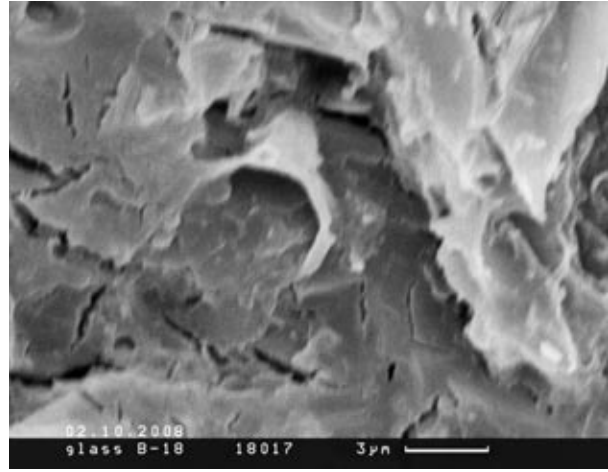


Рис. 2 «Срез» полый нити, слегка выступающей из породы. Чехол нити частично заполнен породой. Современные вулканические стекла.

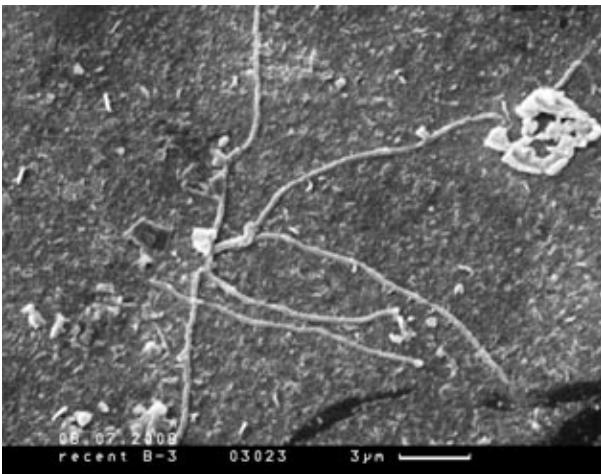


Рис. 3 Длинные нитевидные формы, вероятно, актиномицеты. Современные вулканические стекла.

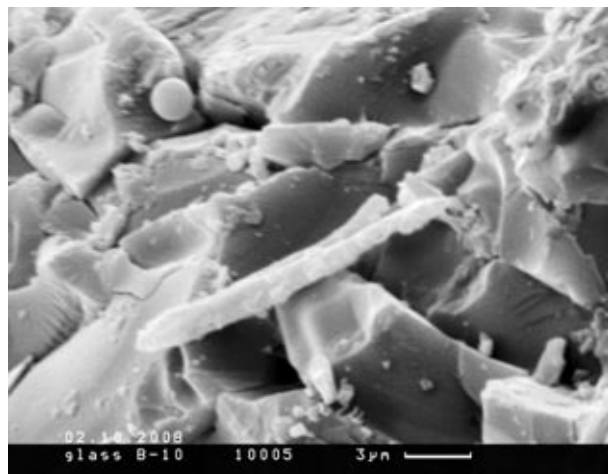


Рис. 4. Нить (трубочка) с диаметром около 2 мкм, по всей видимости, покрытая чехлом из современного вулканического стекла.

Длинные нитевидные формы **современного** вулканического стекла диаметром много меньше 1 мкм (рис. 3) покрывают поверхность скола. Морфологически эти нити схожи с актиномицетами.

В современных пиллоу-лавах также встречены и нити (трубочки) с диаметром около 2 мкм, по всей видимости, покрытые чехлом (рис. 4), что лучше всего видно в месте погружения нити в породу.

Итак, можно говорить о присутствии довольно разнообразного ископаемого микробного комплекса в изученных базальтовых пиллоу-лавах и их стеклах как современных, так и раннепалеопротерозойских. Таким образом, вулканогенные породы являлись благоприятной средой для развития жизни. В обоих комплексах преобладают разнообразные нитевидные формы и встречены предположительно эвкариотные формы. В то время как кокки и овальные формы, вероятно, имели резко подчиненное значение.

Наши исследования подтверждают, что микробы колонизировали базальтовое стекло раннедокембрийских подводных извержений, также как и микробы колонизируют при современных извержениях вулканическое стекло. Это значит, что хорошо сохранившиеся пиллоу-лавы архейских и раннепалеопротерозойских зеленокаменных поясов, могут быть весьма перспективными для поиска следов древней жизни на Земле.

Работа выполнена по Программе Президиума РАН «Проблемы происхождения жизни и становления биосферы» (подпрограмма II) и поддержана грантами РФФИ, №№ 11-04-00129, 12-04-0102 и научной школой НШ-65493.2010.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Астафьева М.М., Розанов А.Ю., Корнелл Д.* 2008. Раннепротерозойские (2.2. GA) пиллоу-лавы Южной Африки и ископаемые микроорганизмы // Тез. Докл. 54 сес. Палеонт. о-ва, СПб., 2008. С. 6–7.
- Astafieva M.M., Rozanov A.Yu., Cornell D.H., Hoover R.B.* 2008. Life development on the boundary lava-water (on the example of Palaeoproterozoic Ongeluk lavas of South Africa) // Proc. SPIE. V. 7097.
- Fisk M.R., Storrle-Lombardi M.C., Douglas S. et al.* 2003. Evidence of biological activity in Hawaiian subsurface basalts // *Geochem. Geophys. Geosyst.* V. 4. Iss. 12.
- Fisk M.R., Storrle-Lombardi M.C., Josef J.* 2006. The water-igneous rock interface: potential microbial habitats on Mars // *Technical Abstract Summary Digest. Part of Proc. SPIE.* 2006. V. 6309. P. 176.
- Furnes H., Banerjee N.R., Muehlenbachs K. et al.* 2004. Early life recorded in Archean pillow lavas // *Science.* V. 304. P. 578–581.

- Furnes H., Banerjee N.R., Staudigel H. et al. 2007. Comparing petrographic signatures of bioalteration in recent to Mesoproterozoic pillow lavas: Tracing subsurface life in oceanic igneous rocks // *Precamb. Res.* 2007. V. 158. P. 156–176.
- Rasmussen B. 2000. Filamentous microfossils in a 3,235-million-year-old volcanogenic massive sulfide deposit // *Nature.* V. 405. P. 676–679.
- Rozanov A.Yu., Astafieva M.M., Hoover R.B. 2008. The Early Earth and its environments // *Proc. SPIE.* V. 7097.
- Stetter K.O. 2006. Hyperthermophiles in the history of life // *Phil. Trans. Roy. Soc.* V. B 361. P. 1837–1843.
- Stetter K.O., Fiala G., Huber G., Seegerer A. 1990. Hyperthermophilic microorganisms // *FEMS Microbiol. Rev.* V. 75. P. 117–124.
- Thorseth I.H., Furnes H., Heldal M. 1992. The importance of microbiological activity in the alteration of natural basaltic glass // *Geochim. Cosmochim. Acta.* V. 56. P. 845–850.
- Thorseth I.H., Torsvik T., Torsvik V. et al. 2001. Keldysh-98 Scientific party. Diversity of life in ocean floor basalts // *Earth Planet Sci. Lett.* 2001. V. 194. P. 31–37.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ БАКТЕРИАЛЬНО-ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ АРХЕЙСКИХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ НА ЭЛЕКТРОННОМ СКАНИРУЮЩЕМ МИКРОСКОПЕ ZEISS EVO50 С МИКРОАНАЛИЗАТОРОМ INCA OXFORD 350

М.М. Астафьева, Л.В. Зайцева

Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, astafieva@paleo.ru; l.zaytsava@mail.ru

FIRST RESULTS OF BACTERIAL PALEONTOLOGICAL STUDY OF ARCHAEOAN FERRUGINOUS QUARTZITES USING SCANNING ELECTRONIC MICROSCOPE ZEISS EVO50 WITH MICROPROBE INCA OXFORD 350

M.M. Astafieva, L.V. Zaitseva

Borissiak Paleontological Institute of RAS (PIN RAS), astafieva@paleo.ru; l.zaytsava@mail.ru

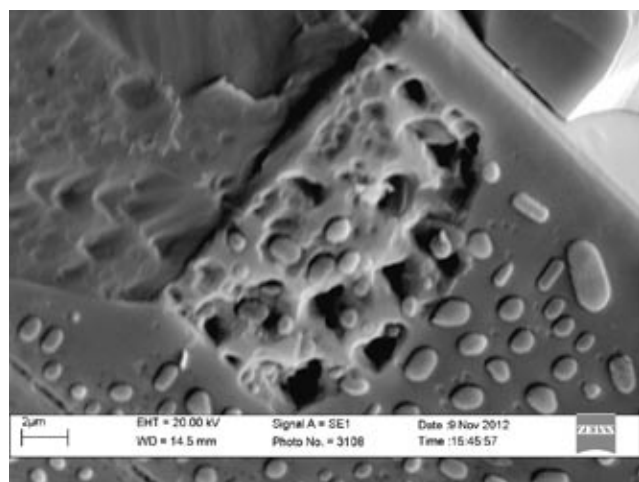
Железистые кварциты известны на всех материках, появляясь в архее, они достигают наибольшего развития в протерозое и являются составной частью метаморфических комплексов всех древних щитов. В фанерозое образование этой формации прекращается. Своеобразие развития во времени, тонкая слоистость, ритмическая повторяемость прослоев вызывают большой интерес к этой формации.

Железистые кварциты – породы осадочного происхождения. Для них характерно переслаивание железистых (магнетит, гематит, сидерит и др.) и кварцитовых прослоев. Слоистость тонкая, мощность прослоев менее 1–2 мм. Содержание железа превышает 15 %. Потенциально все минералы железистых прослоев могут иметь биогенную природу, поскольку и для окисленных (гематита), и для восстановленных (магнетит и сидерит) микробиологами установлен прямой механизм бактериальной продукции. Основной рудный минерал железистых кварцитов – магнетит и проблема его происхождения до сих пор не совсем ясна (Заварзина, 2004а).

Однако следы самих бактерий в прослоях обнаружены не были. И это не удивительно. Доказано, что при образовании, например, магнетита термофильными железоредукторами основную массу составляет тонкодисперсный неполностью сформированный магнетит. При старении осадка, при абиогенной перекристаллизации магнетита, происходят процессы упорядочивания структуры и укрупнения кристаллов (Chistyakova et al., 2001). Поэтому в природе в случае древних осадков и метаморфизованных пород морфологически выявить биогенную природу магнетита невероятно трудно (Заварзина, 2004б).

Поскольку проблема происхождения железистых кварцитов представляет значительный интерес, мы решили начать исследования. В качестве модельного объекта были выбраны железистые кварциты архея (2.75 млрд. лет) Оленегорского месторождения Кольского п-ова. Материал был любезно предоставлен сотрудниками ИГГД РАН С.Б. Фелицыным и Н.А. Алфимовой.

В результате начавшихся бактериально-палеонтологических исследований уже были получены интересные результаты. Обнаружены нитевидные, коккоидные, гантелевидные и др. формы, во всей видимости, бактериальной природы (рис. 1, 2, 3).

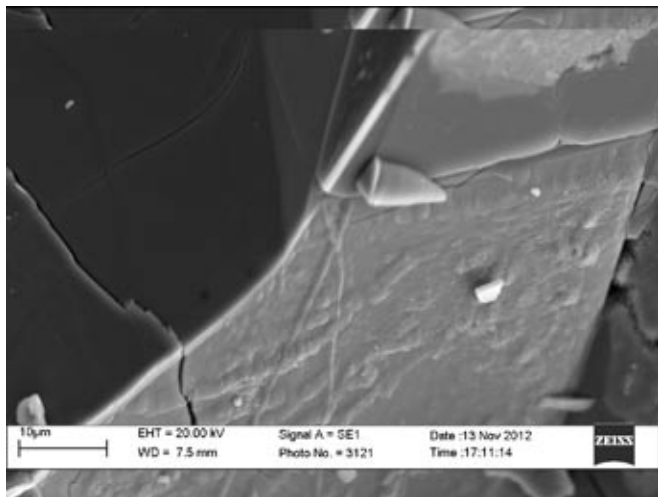


a

б

Элемент	Весовой %	
	1 – состав основной породы	2 – состав микрофоссилий
C	9.43	8.49
K	0.31	1.20
Ca	0.39	3.07
Fe	50.16	48.67
O	39.71	38.56

Рис. 1. *a* – фрагмент железистого прослоя с большим количеством предположительно бактериальных форм, размер которых порядка 1 мкм (в центре снимка видны микрофоссилии, «встроенные» в матрицу породы); *б* – химический элементный состав биологических объектов, по составу соответствующий матрице.



a

б

Элементы	C	Mg	Si	Fe	O	Итого
Спектр 1	8.08		1.37	52.45	38.11	100.00
Спектр 2	7.68		0.48	55.05	36.79	100.00
Спектр 3	8.49			53.56	37.96	100.00
Спектр 4	8.52		0.63	52.43	38.43	100.00
Спектр 5	9.18	3.40	25.57	4.66	57.18	100.00

Рис. 2. a – нитчатые бактериальные микрофоссилии в железистых прослоях и их элементный состав (б). Видно, как железистый прослой перекрывается кремнистым.

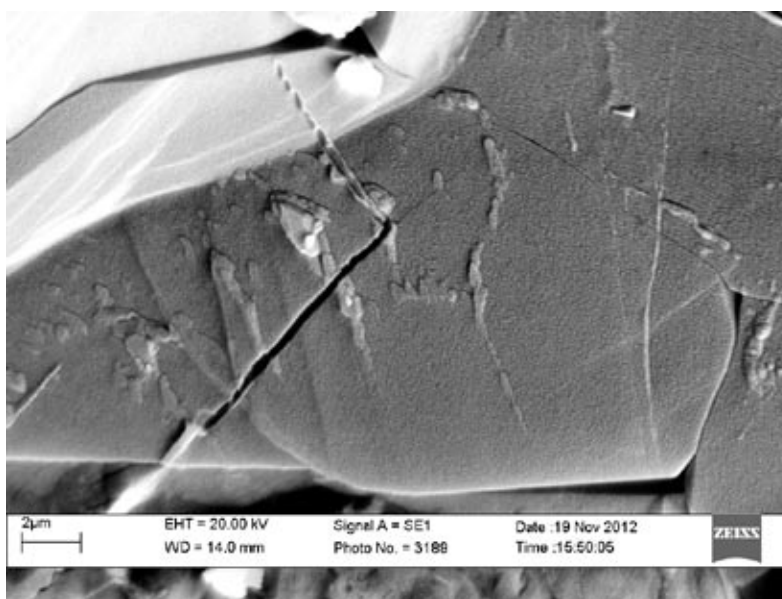


Рис. 3. Нитевидные формы в кремнистых прослоях.

Наиболее обильны и разнообразны формы, близкие к коккоидным – собственно кокки, овальные, гантелевидные и т. д. формы. Размеры большей части обнаруженных объектов около 1 мкм. Нитевидные формы встречаются реже и представлены в основном длинными тонкими одиночными нитями.

Большая часть биогенных структур найдена в железистых прослоях. Они практически полностью слагают целые фрагменты породы, погружаются в матрицу и на некоторых снимках наблюдается их нахождение внутри породы (рис. 1, 2). Оснований сомневаться в инситуности их происхождения не имеется.

В кремнистых прослоях подобных форм значительно меньше. Преимущественно это длинные тонкие нитевидные формы, сливающиеся с породой (рис. 3).

Таким образом, можно сделать предварительный вывод о возможном биогенном происхождении архейских железистых кварцитов и об участии микроорганизмов в процессе образования железистых кварцитов. Исследования продолжаются.

Работа выполнена по Программе Президиума РАН «Проблемы происхождения жизни и становления биосферы» (подпрограмма II) и поддержана грантами РФФИ №№ 11-04-00129, 12-04-00102 и научной школой НШ-65493.2010.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Заварзина Д.Г. 2004а. Роль диссимиляторных железоредуцирующих бактерий в преобразовании минералов железа // Палеонт. журн. № 3. С. 1–8.
- Заварзина Д.Г. 2004б. Образование магнетита и сидерита термофильными железоредуцирующими бактериями // Палеонтол. журн. № 6. С. 3–8.
- Chistyakova N.I., Rusakov V.S., Zavarzina D.G. et al. 2001. Formation of the magnetotaxing phase by thermophilic Fe(III)-reducing bacteria: Mossbauer study // Physics Metals Metallogr. V. 92. Suppl. 1. P. S138–S142.

**ВИДЫ РОДА *CHAMAEPINNULARIA* LANGE-BERTALOT & KRAMMER
(BACILLARIOPHYTA) В ЭКОСИСТЕМАХ АРКТИКИ**

М.А. Богданова¹, М.С. Куликовский²

¹Северный (Арктический) Федеральный университет им. М.В. Ломоносова
Архангельск, bogdanova.bio@yandex.ru

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок
max-kulikovsky@yandex.ru

**SPECIES OF THE GENUS *CHAMAEPINNULARIA* LANGE-BERTALOT ET KRAMMER
(BACILLARIOPHYTA) IN ARCTIC ECOSYSTEMS**

M.A. Bogdanova¹, M.S. Kulikovskiy²

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, bogdanova.bio@yandex.ru

²I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Borok, max-kulikovsky@yandex.ru

Виды рода *Chamaepinnularia* Lange-Bertalot & Krammer были выделены из ранее сборного рода *Navicula* Vogu и отличаются от него наличием альвеол покрытых с внешней стороны, так же как и целый панцирь, кремнеземным слоем. Это в большинстве мелкоклеточные виды, характерные для пресноводных местообитаний и лишь несколько таксонов известны с морских побережий (Witkowski et al., 1999; Kulikovskiy, 2010).

Новые представители диатомовых водорослей из рода *Chamaepinnularia* обнаружены в результате электронно-микроскопического исследования проб мхов, собранных на острове Колгуев (Ненецкий автономный округ). Отбор проб мха производили 27 июня 2012 г. на пологих сухих склонах сопки и водоразделов о. Колгуев (Баренцево море), расположенного в пределах подзоны кустарничково-мохово-лишайниковой тундры (Уваров, 2012). Растительный покров представлен типичными арктическими, субарктическими и арктико-альпийскими видами, такими как *Salix herbacea*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Empetrum nigrum*, *Dicranum* sp., *Sanionia uncinata*. Средняя высота мохово-лишайникового покрова составляла 3–6 см. В процессе работы над образцами проб была установлена видовая принадлежность мхов-базибионтов. Интересные виды диатомовых водорослей рода *Chamaepinnularia* были обнаружены в пробе мха вида *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske – наиболее массового представителя моховой флоры на сухих возвышенных участках рельефа.

В работе дается обзор видов диатомовых водорослей из рода *Chamaepinnularia* Lange-Bertalot et Krammer, выявленных в разнотипных экосистемах Арктики, на основе собственных и литературных данных.

Сбор материала проводился в ходе экспедиции Арктического плавучего университета с 01.06.2012 г. по 10.07.2012 г. Работа поддержана грантом РФФИ (12-04-33078 мол_а_вед).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Уваров С.А. 2012. Лишайниковые сообщества на острове Колгуев // Известия ШЦ РАН. Т. 14. № 1(4). С. 1141–1144.
Kulikovskiy M.S., Lange-Bertalot H. 2010. Morphology and distribution of *Naviculadicta witkowskii* Lange-Bertalot & Metzeltin and its transfer to the genus *Chamaepinnularia* Lange-Bertalot & Krammer // Diatom Research. V. 25. №. 1. P. 67–76.
Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. 2000. Diatom Flora of Marine Coasts 1 // Iconographia Diatomologica. 7. A.R.G. Gantner Verlag K.G. 926 p.

**РАДИКАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В БИОСФЕРЕ ПРИ ПЕРЕХОДЕ
ОТ ПОЗДНЕГО РИФЕЯ К ВЕНДУ**

Н.Г. Воробьева, В.Н. Сергеев

Геологический институт РАН, Москва, sergeev@ginras.ru

**LATE RIPHEAN-VENDIAN TRANSITION AND THE RADICAL CHANGES
IN THE BIOSPHERE BY THE END OF PROTEROZOIC**

N.G. Vorob'eva, V.N. Sergeev

Geological Institute of RAS, Moscow, sergeev@ginras.ru

В результате продолжительной эволюции в течение протерозоя эвкариотные микроорганизмы достигли высокого разнообразия, и в конце позднего рифея (криогений или южноуральский биогоризонт cf. Sergeev, 2009, 850–635 млн. л.н.) многочисленные и морфологически сложные ядерные организмы пользовались широким распространением. Как органостенные, так и окремненные микробиоты южноуральского биогоризонта из открыто-морских обстановок средней части шельфа содержат обильные остатки прокариотных и эвкариотных микроорганизмов, которые дают ясное представление о достигнутом организмами эволюционном уровне к концу позднего протерозоя и о степени организации позднерифейских экосистем. Одним из наиболее разнообразных и хорошо сохранившихся Lagerstätte позднего рифея является ассоциация окремненных микрофоссилий чичканской свиты Южного Казахстана, документирующая статус морской биоты непосредственно перед началом серии позднепротерозойских оледенений и последовавшей затем радиации и глобальной экспансии Metazoa (Sergeev, Schopf, 2010; Schopf et al., 2010). Широкое распростране-

ние и особенно высокое разнообразие эвкариотных микроорганизмов в этой микробиоте, возможно, связано с появлением полового размножения у ядерных организмов, что привело к последовавшему взрывообразному увеличению их морфологического и таксономического разнообразия, соотносимого с рубежом в один миллиард лет и известного как «неопротерозойская революция» (Сергеев, 2006). В чичканской микробиоте представлены многочисленные микроскопические эвкариоты, включая имеющих вазовидную форму панцирных амёб; акантоморфных акритарх и других фитопланктонных микроорганизмов с орнаментированной и скульптурированной поверхностью; огромных по масштабам бактериального микромира (до ~1 мм в диаметре) мегасфероморфных акритарх; нитевидных ваушериевых зеленых водорослей и многих других (например, *Cerebrospira*, *Jacutianema*, *Melanocytrillum*, *Stictosphaeridium*, *Trachyhystrichosphaera*, и *Vandalosphaeridium*). Помимо протист, чичканская микробиота содержит разнообразные, многочисленные и хорошо сохранившиеся прокариотные цианобактерии, включая как остатки матоформирующих гормониевых и энтофизалесовых водорослей, так и многочисленных таксонов хроококовых и плеурокапсовых бентосных и планктонных форм (например, *Oscillatoria*, *Veteronostocales*, *Obruchevella*, *Cyanonema*, *Polybessurus*, *Siphonophycus*, *Eoentophysalis*, *Palaeopleurocapsa* и *Scissillisphaera*). Особое место в составе микробиоты составляют остатки морфологически простых коккоидных форм типа *Glenobotrydion* или *Muxococcoides*, которые однозначно не могут быть интерпретированы как хромофитовые водоросли или цианобактерии, отражая, очевидно, «скрытую экспансию» эвкариотных микроорганизмов в прокариотные экосистемы. Смешанный характер чичканской микробиоты, представленной остатками как цианобактерий, так и одноклеточных ядерных организмов, отвечает транзитной стадии уровня организации экосистем, переходной между преимущественно прокариотной биосферой докембрия к преимущественно эвкариотной биосфере фанерозоя.

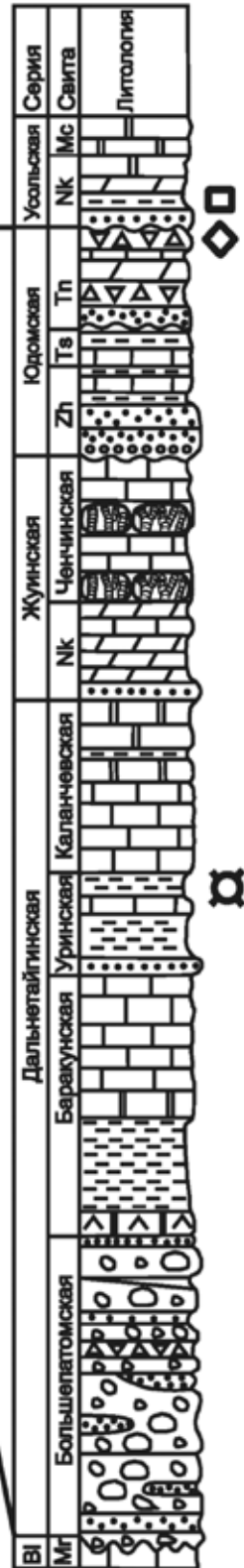
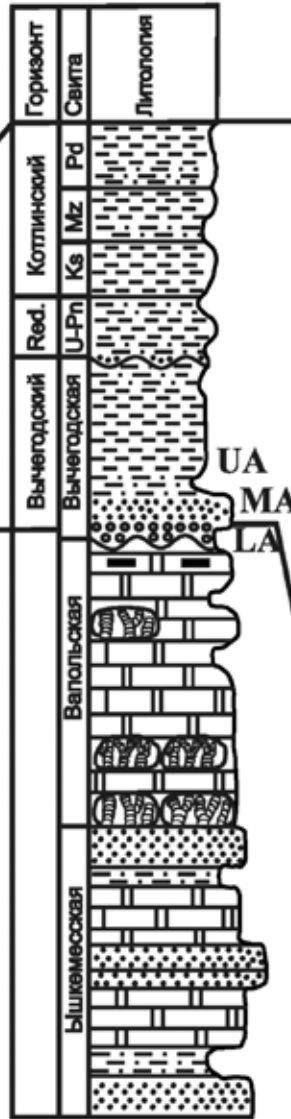
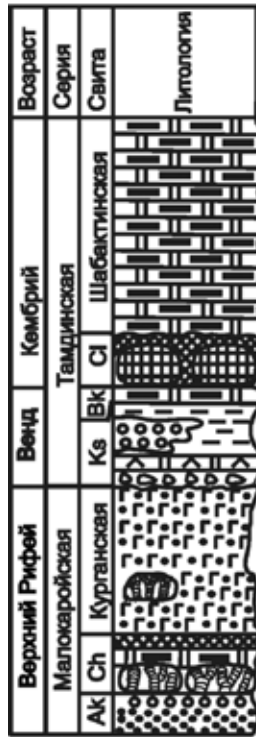
Радикальные изменения в составе ассоциаций микрофоссилий и органического мира в целом при переходе от рифея к венду (от криогения к эдиакарию) были в первую очередь, вероятно, связаны с серией позднепротерозойских оледенений. Предполагается, что во время самого интенсивного оледенения Марино (Лапландского) ледники достигли экватора. Начало оледенения Марино и определяет нижнюю границу вендской системы, в то время как по его завершению принимают нижнюю границу эдиакария (635–642 млн. л.н.). Верхний отдел вендской системы охарактеризован уникальной биотой бесскелетных многоклеточных животных, а в ее нижней части присутствует характерная ассоциация акантоморфных акритарх микробиот пертататакского типа или эдиакарского комплекса акантоморфной палинофлоры (ЭКАП). Разнообразные ассоциации ЭКАП глобально распространены в отложениях нижнего венда в Австралии, Китае, Малых Гималаях Индии, Сибири, Шпицбергена, Норвегии и Восточно-Европейской платформы (Grey, 2005; Сергеев, 2006; Сергеев и др., 2010; Vorob'eva et al., 2009a,b; Sergeev et al., 2011). ЭКАП встречается как органостенные микроостатки в сланцах, так же как и минерализованные микрофоссилии в кремнях и фосфоритах, и содержит такие характерные таксоны как *Tanarium*, *Alicesphaeridium*, *Cavaspina*, *Appendisphaera* и другие. Большинство этих крупных акантоморфных акритарх представляют собой наиболее вероятно остатки яиц низших беспозвоночных, хотя есть и альтернативная интерпретация наиболее мелких форм как низших эвкариотных водорослей.

Анализ распространения акритарх ЭКАП в Австралии позволил К. Грей (Grey, 2005) обособить выше тиллитов Марино четыре пространственно выдержанные микропалеонтологические комплексные зоны. Аналоги первой (нижней) зоны установлены в керне буровой скважины в Кельтминская-1 Тиманского поднятия на северо-востоке Русской плиты в верхней части вычегодской свиты в стратотипическом разрезе вендской системы (Vorob'eva et al., 2009a). Присутствующая здесь биота акантоморфных акритарх пертататакского типа, получившая название кельтминской (верхняя ассоциация, рис. 1), содержит комплекс таксонов акантоморфид относительно сложного строения, которые обладают симметричными, а иногда и беспорядочно расположенными выступами. В составе этих ископаемых в кельтминской микробиоте преобладают представители родов *Alicesphaeridium* (*A. medusoideum*, *A. cornigerum*, *A. tubulatum* и *A. lappaceum*) и *Tanarium* (*T. conoideum*, *T. tuberosum*, *T. pilosiusculum* и *Tanarium* sp.); редкими компонентами микробиоты являются *Cavaspina* и *Appendisphaera*, а также эндемичные *Keltmia cornifera*, *K. irregularia*, *Bullatosphaera velata*, *Timanisphaera apophysa*, *Eotylotopalla strobilata*, *Galeasphaeridium bicorporis*, *G. oviscoris* и *Weissiella grandistella*. Аналоги второй зоны ЭКАП установлены в разрезе уринской свиты Байкало-Патомского нагорья Средней Сибири (Sergeev et al., 2011). Однако существует альтернативная точка зрения на таксономический состав уринской микробиоты, согласно которой последняя является наиболее древней ассоциацией ЭКАП в мире (Moczydlowska, Nagovitsin, 2012), расположенной ниже ее первой зоны.

Геохимические данные независимо выдвигают на первый план рифей-вендский интервал как время радикальных экологических изменений, особенно в окислительно-восстановительной структуре палеобассейнов и содержании кислорода в океанах и атмосфере. Результаты применения новых методик, в том числе и анализа распределения в разрезе верхнего докембрия пассивной окраины Восточно-Европейской платформы (Тиманского поднятия) высокорегентного железа, предполагают, что алгоритм встречаемости в осадочной последовательности венда акантоморфных акритарх и мягкотелых животных может быть напрямую связан с увеличением содержания в океанах и атмосфере уровня свободного кислорода (Johnston et al., 2012). Эта гипотеза была выдвинута более 50 л.н., но сейчас она получила обоснованное подтверждение по совпадающим палеобиологическим и геохимическим данным. Количество свободного кислорода воз-

Хр. Малый Каратау

Тиманское поднятие
(Кельтминская-1 скважина)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- | | | | |
|--|-------------------------|--|---|
| | Ледниковые отложения | | Строматолиты |
| | Песчаники | | Конгломераты |
| | Аргиллиты | | Кэп доломиты |
| | Алевролиты | | Мергеля |
| | Туфы и песчаники | | Доломиты |
| | Карбонатная брекчия | | Доломиты с кремнями |
| | Известняки | | Кремни и фосфориты |
| | Несогласия | | Фауна Немакит-Далдынского яруса |
| | Фауна Томмотского яруса | | Положение чичканский и уринской микробиот |

Рис. 1. Корреляция разрезов верхнего докембрия хр. Малый Каратау Тиманского поднятия (скважина Кельтминская-1) и Байкало-Патомского нагорья. Серии и свиты: BI – баллаганахская, Mг – мариинская, Nk – николевская, Zг – жербинская, Ts – тирбесская, Tп – тинновская, Nk – нохтуйская, Ms – мачинская, U-Pn – усть-пинезская, Ks – красавинская, Mz – мезенская, Pd – падунская, Ak – актугайская, Ch – чичканская, Ks – кыршабактинская, Bk – беркутинская, Cl – чулактауская. Ассоциации микрофоссилий вычегодской свиты: LA – нижняя ассоциация, MA – средняя ассоциация, UA – верхняя ассоциация; Red. – редкинский горизонт.

росло в бассейнах непосредственно после оледенения Марино, но в раннем венде его содержание не достигло критического уровня, обеспечивающего полную оксигенизацию обстановок обитания среднего шельфа. Поэтому преваляровавшие здесь анаэробные обстановки вынуждали ранневендских животных образовывать яйца, чтобы пережить неблагоприятные условия. Эти яйца древнейших беспозвоночных и сохранились как многочисленные и разнообразные микробиоты ЭКАП в отложениях нижнего венда. В позднем венде содержание кислорода возросло настолько, что это привело к полной оксигенизации донной части бассейнов среднего шельфа, и необходимость образовывать яйца у древних беспозвоночных отпала. Поэтому в ранневендских отложениях акантоморфные акритархи ЭКАП отсутствуют при доминировании в микробиотах этого возраста морфологически простых нитчатых и коккоидных остатков прокариотных и эвкариотных микроорганизмов, но они содержат прекрасно сохранившиеся отпечатки бесскелетных многоклеточных, в том числе и древнейших билатерально-симметричных животных *Kimberella* (Fedonkin et al., 2007).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Sergeev V.N. 2006. Окремненные микрофоссилии докембрия: природа, классификация и биостратиграфическое значение // М.: Геос. 280 с.
- Sergeev V.N., Семихатов М.А., Федонкин М.А., Воробьева Н.Г. 2010. Основные этапы развития докембрийского органического мира: сообщение 2. Поздний протерозой // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 18. № 6. С. 3–33.
- Grey K. 2005. Ediacaran palynology of Australia // Mem. As. Aust. Palaeont. V.31. P. 439.
- Fedonkin M., Simonetta A., Ivantsov A.Y. 2007. New data on *Kimberella*, the Vendian mollusc-like organism (White Sea region, Russia): Palaeoecological and Evolutionary Implications // Geol. Soc. Spec. Publ. V. 286. P. 157–179.
- Johnston D.T., Poulton S.W., Goldberg T. et al. 2012. Late Ediacaran redox stability and metazoan evolution // Earth and Planetary Sci. Lett. V. 335–336. P. 25–35.
- Moczydlowska M., Nagovitsin K. 2012. Eriacaran radiation of organic-walled microbiota recorded in the Ura Formation, Patom Uplift, East Siberia // Precamb. Res. V. 198–199. P. 1–24.
- Schopf J.W., Kudryavtsev A.B., Sergeev V.N. 2010. Confocal laser scanning microscopy and Raman imagery of the Late Neoproterozoic Chichkan microbiota of South Kazakhstan // Journ. Paleontol. V. 83. № 3. P. 402–416.
- Sergeev V.N. The distribution of microfossil assemblages in Proterozoic rocks // Precambrian Res. 2009. V. 173. № 1–4. P. 163–169.
- Sergeev V.N., Schopf J.W. 2010. Taxonomy, paleoecology and biostratigraphy of the Late Neoproterozoic Chichkan microbiota of South Kazakhstan: the marine biosphere on the eve of Metazoan radiation // Journ. Paleontol. V. 84. № 3. P. 363–401.
- Sergeev V.N., Knoll A.H., Vorob'eva N.G. 2011. Ediacaran microfossils from the Ura Formation, Baikal-Patom Uplift, Siberia: taxonomy and biostratigraphic significance // Journ. Paleontol. V. 85. № 5. P. 987–1011.
- Vorob'eva N.G., Sergeev V.N., Knoll A.H. 2009a. Neoproterozoic microfossils from the northeastern margin of the East European Platform // Journ. Paleontol. V. 83. № 2. P. 161–196.
- Vorob'eva N.G., Sergeev V.N., Knoll A.H. 2009b. Neoproterozoic microfossils from the margin of the East European Platform and the search for a biostratigraphic model of lower Ediacaran rocks // Precambrian Res. V. 173. P. 163–169.

МОРСКАЯ АЛЬГОФЛОРА ПОЗДНЕВИЗЕЙСКОГО (РАННИЙ КАРБОН) ПОДМОСКОВНОГО БАСЕЙНА: ТАКСОНОМИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ

Н.Б. Гибшман¹, А.С. Алексеев^{1,2}

¹ Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, aaleks@geol.msu.ru

MARIN ALGAE OF THE LATE VISEAN (EARLY CARBONIFEROUS) MOSCOW BASIN: TAXONOMY AND BIOGEOGRAPHY

N.B. Gibshman¹, A.S. Alekseev²

¹ Borissiak Paleontological Institute of RAS, Moscow

² Moscow State University, aaleks@geol.msu.ru

В нижнекаменноугольных отложениях (визейский и серпуховский ярусы) Подмосковного бассейна остатки известковых водорослей хотя и встречаются нередко, но они остаются очень слабо изученными и практически не используются при решении вопросов биостратиграфии и реконструкции обстановок осадконакопления. Тем более они не привлекали внимания как важный компонент морской биоты, первичные продуценты и генераторы значительных объемов карбонатного материала, связывавшего избыточное количество углекислого газа. В последние годы при систематическом изучении многих разрезов верхневизейских отложений Подмосковья с биостратиграфическими целями выявлено присутствие значительного числа таксонов известковых водорослей, ранее здесь не отмечавшихся.

Водоросли поздневизейского Подмосковного бассейна первоначально были описаны как фораминиферы в составе трех видов: *Nodosinella index* (Ehrenberg, 1854), *Nodosinella lahuseni* von Moeller, 1879 и *Nodosinella tenuis* von Moeller, 1879. Для описания (von Moeller, 1879, с. 111–115, т. V, ф. 5–8) видов тогда были приняты термины (Brady, 1876) – скорлупа, камера, перегородка, стенка скорлупы, отверстия для взаимного соединения полостей камер, поровые каналы, которые использовались в то время для характеристики строения фораминифер родов *Nodosaria* Ehrenberg, 1854 и *Nodosinella* Brady, 1876. Они изучались как путем выделения объектов из породы, так и с помощью изготовления шлифов, с сечениями, правильно ориентированными по оси (Moeller, 1879). Отличительные признаки (структура стенки и положение поровых каналов) были на-

званы и показаны на фото так четко, что названия этих видов были сохранены при последующих ревизиях таксонов родового ранга поздневизейских водорослей (Mamet, 1991, 2006).

Позднее (Швецов, Бирина, 1935) известковые водоросли стали изучаться как самостоятельная группа ископаемых организмов, когда они были обнаружены при литологическом описании карбонатных пород верхнего визе Подмосковского бассейна. М.С. Швецовым и Л.Г. Бириной (1935, т. IV, ф. 11–16) были выделены новый род и вид *Calcifolium okense* Schwetsov et Birina, 1935. В их характеристике уже использована терминология, применяемая при описании растений – «листки», сифон, срез, а формы, относившиеся ранее к фораминиферам (Moeller, 1879), называются трубчатыми водорослями (Швецов, Бирина, 1935, т. IV, ф. 19), изученными позднее (Mamet, Roux, 1974). Повторное детальное описание *C. okense* было опубликовано совместно с описанием еще одного вида *Calcifolium punctatum* Maslov, 1956 из карбона Подмосковья (Маслов, 1956, с. 48–51, т. 8, ф. 1–5; т. 9, ф. 1–5; т. 10, ф. 1–5). В.П. Маслов отнес род *Calcifolium* Shwetzov et Birina к зеленым водорослям (Chlorophyta) и семейству кодиевых Codiaceae, а также обосновал терминологию морфологических признаков для ископаемых водорослей (Маслов, 1956, с. 7, 47).

Позднее (Махлина и др., 1993) таксономическое разнообразие подмосковских поздневизейских водорослей (приведены изображения или только названия в тексте) было несколько расширено. Среди них указывались *Calcifolium okense*, *C. punctatum*, *Exvotarisella index* (Ehrenberg, 1854 emend von Moeller, 1879), *Palaeoberezella lahuseni* (von Moeller, 1879), а также *Koninckopora* sp., *Ungdarella* sp. и *Girvanella* sp. Водоросли рассматривались как индикаторы мелководного шельфового бассейна (Швецов, Бирина, 1935; Маслов, 1956; Махлина и др., 1993). Н.Б. Гибшман (2003) и П.Б. Кабанов (2003) установили присутствие *C. okense* и трубчатых форм в веневском горизонте карьера Заборье. Кабанов и др. (2012) среди фоссилий упомянули водоросль *Asphaltinella* sp. в слое 3 алексинского горизонта и многочисленные сифоновые водоросли камениды в михайловском горизонте разреза Новогуровский.

Необходимо отметить, что сегментированные трубки водорослей (*Exvotarisella* Elliot, 1970; *Palaeoberezella* Mamet, 1974 и др.) в массовом количестве присутствуют в нерастворимых остатках образцов, отобранных для выделения конодонтов из известняков михайловского и веневского горизонтов, в меньшей степени они развиты в тарусском горизонте серпуховского яруса. Это указывает на то, что наряду с *Calcifolium*, скелеты которых полностью растворяются, они формировали густые поселения на обширных мелководьях эпиконтинентального моря.

Изучение нового фактического материала (Gibshman et al., 2009; Алексеев и др., 2013) подтвердило присутствие всех ранее указанных родов известковых водорослей в шлифах карбонатных пород алексинского и михайловского горизонтов верхневизейского подъяруса. Кроме того, найдены ранее не известные в Подмосковье “*Asphaltina*” *cordillerensis* Mamet in Petryk et Mamet, 1972; *Asphaltinella horowitzi* Mamet et Roux, 1978 и *Asteroaoujgalia gibshmanae* Brenckle, 2004, которые обнаружены в михайловском горизонте (рис. 1). Возраст альгофлоры определен по комплексам фораминифер и на основе циклического анализа (Gibshman et al., 2009; Алексеев и др., 2013).

Ареал “*Asphaltina*” *cordillerensis* охватывал бассейны США, Арктической Канады (Mamet, Rudloff, 1972; Petryk, Mamet, 1972; Brenckle, 1977; Brenckle et al., 1982; Mamet et al., 1987; Brenckle, Groves, 1987) и Колымский массив (Богуш и др., 1990). Другой вид *Asphaltinella horowitzi* известен в Марокко, Мидконтиненте США, Теннесси (Mamet, 1991), Британской Колумбии (Mamet, 2006). Вид *Asteroaoujgalia gibshmanae* был впервые описан П. Бренклом (Brenckle, 2004) из алексинского горизонта Прикаспийской впадины (Западный Казахстан).

Обширные ареалы (Мидконтинент США, Арктическая Канада, Аляска, Прикаспий, Урал, Сибирь) этих бентосных известковых водорослей свидетельствуют о достаточно широком обмене альгофлоры алексинского и михайловского бассейнов с удаленными акваториями Американского континента и морями Палеотетиса.

Многочисленные и разнообразные ассоциации фораминифер позднего визе характеризуются широкими ареалами. Такая пелагическая группа как конодонты в алексинском и михайловском горизонтах включает *Kladognathus*, *Syncladognathus*, *Cavusgnathus unicornis* и *Gnathodus girtyi*. Хотя они встречаются нечасто, скорее всего, из-за мелководности поздневизейского бассейна и высокой скорости седиментации (разбавление осадочным материалом), но принадлежат к широко распространенным мелководным формам, что свидетельствует о достаточно свободных палеобиогеографических связях поздневизейского морского бассейна Подмосковья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (частично)

- Полная библиография ссылок на публикации Mamet et al., 1972, 1978, 1987; Brenckle, 1977; Brenckle et al., 1982, 1987; Богуш и др., 1990 см. в В. Mamet (1991, 2006).
- Гибшман Н.Б., Алексеев А.С. 2013. Биостратиграфия и обстановки осадконакопления позднего визе (ранний карбон) Подмосковно-го бассейна по фораминиферам и водорослям // Тез. докл. Палеострат 2013. Годичное собрание секции палеонтологии МОИП и московского отделения палеонтологического общества. С. 6–7.
- Гибшман Н.Б. 2003. Характеристика фораминифер стратотипа серпуховского яруса в карьере Заборье (Подмосковье) // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 11. № 1. С. 39–63.
- Кабанов П.Б. 2003. Стратотип серпуховского яруса в карьере Заборье. Ч. 1. Литофациальная характеристика // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 11. № 1. С. 18–35.
- Кабанов П.Б., Алексеева Т.В., Алексеев А.О. 2012. Серпуховский ярус карбона в типовой местности: седиментология, минералогия, геохимия, сопоставление разрезов // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 20. № 1. С. 3–17.
- Маслов В.П. 1956. Ископаемые известковые водоросли СССР. М.: АН СССР. Тр. ИГН АН СССР. Вып. 160. 299 с.
- Махлина М.Х., Вдовенко М.В., Алексеев А.С. и др. 1993. Нижний карбон Московской синеклизы и Воронежской антеклизы. М.: Наука. 217 с.

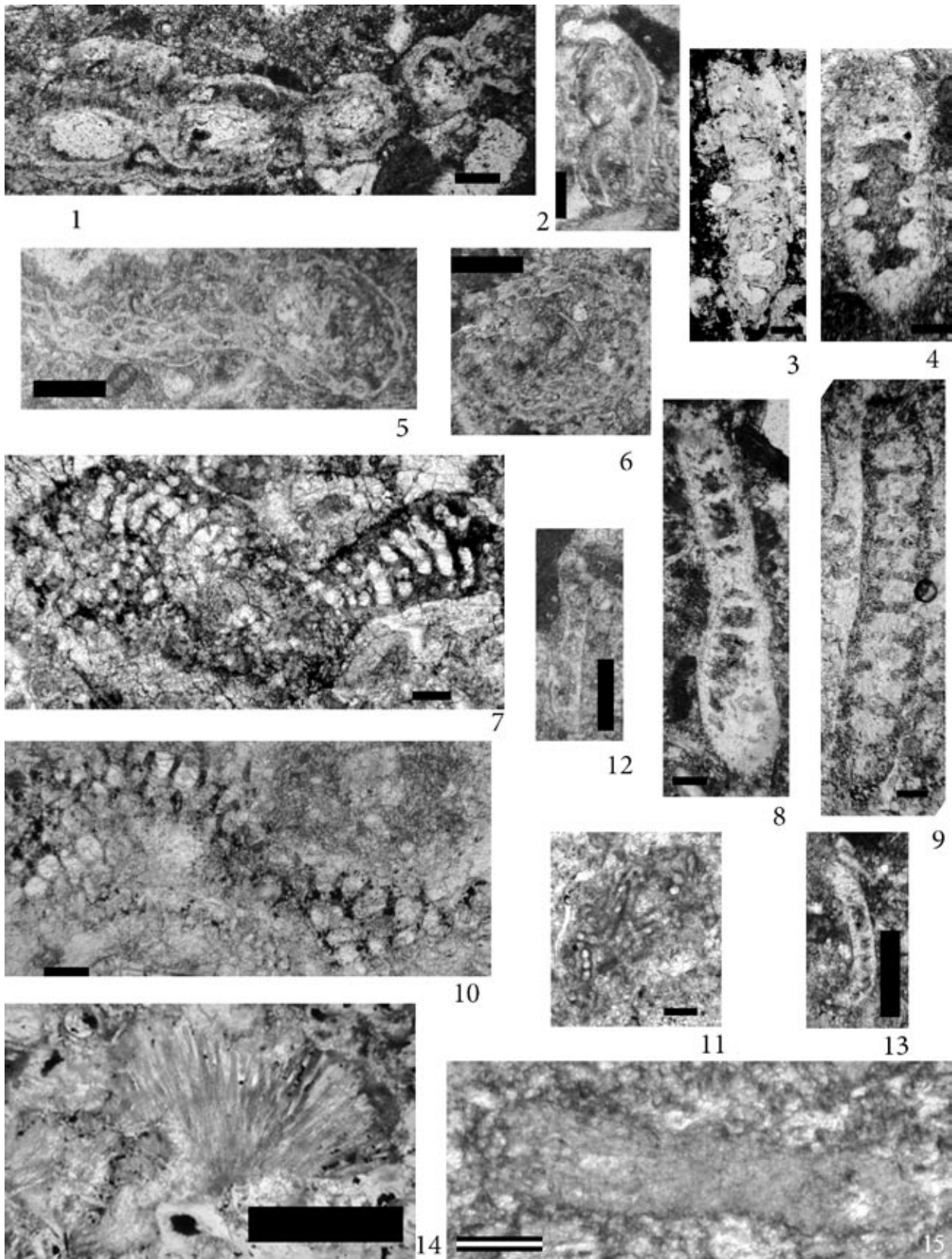


Рис. 1. Некоторые представители альгофлоры поздневизейского (нижний карбон) Подмосковского бассейна (x50), размер шкалы 0.1 мм, кроме 15 – 0.5 мм; № экз. – персональная коллекция Н.Б. Гибшман.

1, 2 – *Asphaltina cordillerensis* Mamet in Petryk et Mamet, продольное сечение пластины (1), фрагмент организма (2). Михайловский горизонт, скв. 39, гл. 20.5 м. № 4995, 4678 – соответственно. 3, 4 – *Exvotarisella index* (Ehrenberg, 1854 emend von Moeller), продольное сечение. 3. Алексинский горизонт, скв. 39, гл. 38,8 м, № 4393. 4. Михайловский горизонт, там же, гл. 20.5 м. № 4685. 5 – *Asteroaoujgalia gibshmanae* Brenckle, круговое сечение. Михайловский горизонт, Новогуровский карьер, слой 15 (повтор: Gibshman et al., 2007, P.1, f. 2). № 0167. 6, 7 – *Asphaltinella horowitzi* Mamet et Roux, продольное и круговое сечение. Михайловский горизонт, скв. 39, гл. 20.5 м, обе – шл. 2. № 5000a, 5000b соответственно.

- Швецов М.С., Бирина Л.М. 1935. К вопросу о петрографии и происхождении окских известняков района Михайлов-Алексин. ОНТИ, НКТП СССР. Тр. Моск. геол. треста, вып. 10. 181 с.
- Brenckle P.L. 2004. Late Visean (Mississippian) calcareous microfossils from the Tarim Basin of Western China // Jour. Foram. Res. V. 3. № 2. P. 144–164.
- Gibshman N.B., Kabanov P.B., Alekseev A.C. et al. 2009. Novogurovsky Quarry. Upper Visean and Serpukhovian / A.C. Alekseev, N.V. Goreva (eds). Type and reference Carboniferous sections in the south part of the Moscow Basin. Field trip guidebook of International Field Meeting of the I.U.G.S. Subcommission on Carboniferous Stratigraphy “The historical type sections, proposed and potential GSSP of the Carboniferous in Russia”. Moscow, August 11–12, 2009. Moscow: PIN RAN. P. 13–45.
- Moeller V. von. 1879. Die Foraminiferen des Russischen Kohlenkalks // Mem. Acad. Imp. Sci. T. 27, 5 (9) (St.-Petersbourg). 172 pp. 7 T.
- Mamet B. 1991. Carboniferous calcareous Algae / R. Riding (ed.). Calcareous Algae and Stromatolites. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. Ch. 19. P. 371–451.
- Mamet B. 2006. Taxonomy of Visean marine calcareous Algae, Fernie, British Columbia (Canada) // Riv. It. Paleontol. Stratigr. V. 112. № 3. P. 323–357.
- Mamet B., Roux A. 1974. Sur quelques algues tubulaires scalariformes de la Tethys Paleozoique // Rev. Micropaleontol. V. 17. № 3. P. 134–156.

БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ЗОНЫ ПО ДИАТОМЕЯМ: ТИПЫ И ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ КАЙНОЗОЯ СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКИ)

А.Ю. Гладенков

Геологический институт РАН, Москва, andreygladenkov@gmail.com

BIOSTRATIGRAPHIC ZONES BASED ON DIATOMS: TYPES AND PECULIARITIES OF APPLICATION (BY THE EXAMPLE OF THE NORTH PACIFIC CENOZOIC)

A.Yu. Gladenkov

Geological Institute of RAS, Moscow, andreygladenkov@gmail.com

Остатки морских одноклеточных известковистых и кремнистых водорослей широко представлены в отложениях мезозоя и кайнозоя. Изучение ископаемых микроводорослей (прежде всего, планктонных) дает эффективные результаты по детальному расчленению вмещающих толщ. Заметный интерес к изучению фитопланктона проявился в конце 60-х гг. прошлого века, когда в Мировом океане начало широкомасштабное проводиться глубоководное бурение. Он был обусловлен несколькими причинами. Во-первых, остатки микроводорослей в толщах осадочного чехла обычно представлены в большом количестве. Во-вторых, в связи с относительно большой скоростью эволюции фитопланктонных сообществ, достигается высокое разрешение при расчленении древних толщ, что может использоваться для выделения зональных подразделений. И, в-третьих, микропланктон имеет достаточно широкое географическое распространение в морских бассейнах, что позволяет проводить корреляции вмещающих отложений, представленных в удаленных разрезах. Если говорить о морском кайнозое, то к настоящему времени для его расчленения по разным группам фитопланктона разработаны шкалы, представляющие последовательности смыкающихся зональных подразделений. При биостратиграфических исследованиях наряду с кокколитофоридами и динофлагеллатами значительное внимание уделяется изучению кремнистого микропланктона, в первую очередь, диатомовым водорослям, имеющим особенно большое значение при изучении толщ внетропических областей. Диатомеи появились в раннем мелу, однако широкое развитие получили со среднего эоцена, а в олигоцене-неогене начали преобладать в фитопланктоне высоких и средних широт Мирового океана.

Накопленные к настоящему времени данные свидетельствуют, что при безусловной практической ценности зонального расчленения следует иметь в виду определенные затруднения его использования. Ниже обсуждаются основные трудности и ограничения, с которыми приходится сталкиваться при использовании зон по диатомеям. В качестве исходного материала использованы данные по кайнозойским зонам Северной Пацифики – региона, который является основным объектом исследований автора.

Проблема использования зональных подразделений различного типа. Рассматривая принципы построения зональных океанических шкал по диатомеям, следует напомнить, что при выделении зон и проведении их границ используются датированные уровни – прежде всего, уровни появления или исчезновения от-

- 8, 9 – *Palaeoberezella lahuseni* (von Moeller), продольное сечение. 8. Михайловский горизонт, скв. 39, гл. 20.5 м, № 4508.
 9. Алексинский горизонт, скв. 41, гл. 38.8 м. № 4092. 10 – *Koninckopora* sp., косое продольное сечение. Новогуровский карьер, михайловский горизонт, слой 10–12, обр. 6/15 (повтор: Gibshman et al., 2007, P. 6, f. 33). № 0112. 11 – *Girvanella* sp., круговое сечение. Алексинский горизонт, Новогуровский карьер, слой 1, обр. 1/3 (повтор: Gibshman et al., 2007, P. 6, f. 35). № 0076. 12, 13 – *Kataena* sp., продольное сечение. Михайловский горизонт, скв. 39, гл. 20.5 м, обе – шл. 3. № 5002, 5006 соответственно. 14 – *Calcifolium okense* Schwetsov & Birina, плоскостное сечение пластинки. Михайловский горизонт, скв. 41, гл. 28.8 м, шл. 2. № 4195a. 15 – *Ungdarella uralica* Maslov, продольное сечение. Новогуровский карьер, михайловский горизонт, слой 14, обр. 3 (повтор: Gibshman et al., 2007, P. 6, f. 32). № 0169.

дельных маркирующих видов. Возраст и изохронность таких уровней контролируются, в первую очередь, их корреляцией в разрезах с магнитостратиграфической шкалой. Критерии проведения границ могут быть неодинаковыми, поэтому в зависимости от этого, выделяются различные типы зон: комплексные зоны, зоны распространения (включающие зоны совместного распространения, зоны распространения таксона, филозоны), интервал-зоны и акме-зоны. В целом можно говорить о том, что зоны представляют отложения, которые формировались за время существования определенного палеонтологического комплекса, отличающегося от комплексов смежных слоев. Однако при этом различия в составах сменяющих друг друга зональных сообществ в основном проявляются в ограниченном количестве видов (поэтому комплексные зоны по диатомеям в океанических шкалах практически не используются). Как показала практика, наиболее эффективные результаты по выделению зон достигаются через анализ стратиграфического распространения отдельных видов (необязательно относящихся к одному роду), или реже – родов. Применение такого подхода позволяет в итоге получать дробные и смыкающиеся биостратиграфические подразделения с относительно изохронными границами. На современном уровне изученности диатомей дают возможность обеспечивать высокую степень разрешаемости стратиграфических шкал, которые состоят из зон с продолжительностью в среднем от 1–2 млн. лет до 0.1–0.2 млн. лет. Использование датированных уровней представляет собой удобный практический инструмент, который, по существу, в первую очередь направлен именно на выделение дробных биостратиграфических подразделений. Однако такие зоны часто не отражают значительные этапы развития флоры, а зональные виды не всегда обнаруживают филетическую преемственность в разрезе. Подобные зоны следует рассматривать как единицы в разряде специальных стратиграфических подразделений. Своим «частным обоснованием» они отличаются от основных стратиграфических подразделений – хронозон, которые имеют комплексное обоснование (Стратиграфический кодекс России, 2006). По сравнению с последними, биостратиграфические зоны являются менее информативными для определения этапов развития диатомовой флоры, а также палеобассейнов в целом. Тем не менее, их использование позволяет, как проводить дробное расчленение осадочных отложений, так и датировать геологические события.

Проблема глобальности и провинциальности диатомовых зон. При рассмотрении вопроса о пространственном масштабе зон верхнего кайнозоя, необходимо отметить, что глобальных зон по диатомеям в строгом смысле не существует. Об этом, например, свидетельствует анализ материалов по отложениям с возрастом моложе эоцена, которые формировались в условиях «ледникового» климатического режима, сменившего на Земле режим «оранжерейный». Диатомовые комплексы, по крайней мере, с олигоцена, характеризуются определенной степенью провинциализма и приурочены к трем основным климатическим поясам: средне-высокоширотному южному, приэкваториальному и средне-высокоширотному северному. Границы выделяемых в их пределах зон не всегда устанавливаются с помощью одних и тех же видов. Например, при расчленении неогена в пределах низких широт, Южном океане и Северной Пацифике используются в той или иной степени различные зональные шкалы с неодинаковым количеством зон. В целом, границы подразделений в этих шкалах проводятся по одному принципу – на основе использования датированных уровней. Однако зональные комплексы имеют отличия в таксономическом составе (особенно отчетливые, начиная с позднего миоцена), а в качестве датированных уровней во многих случаях выбраны различные формы. Кроме того, границы стратиграфического распространения ряда форм, в том числе важных в стратиграфическом отношении, могут оказаться диахронными при переходе из одной широтной области в другую, что затрудняет корреляцию шкал. Поэтому при сопоставлении шкал большую важность представляет изучение переходных и смешанных диатомовых ассоциаций в разрезах экотонных областей (фронтальных зон), а также привлечение данных по магнитостратиграфии. Необходимо также отметить, что в виду присутствия в северном полушарии обширных континентальных преград северные части Тихого и Атлантического океанов разделены гигантскими массивами суши и не имеют прямой связи (до конца позднего миоцена не существовало и их связи через Арктический бассейн). Это предопределило неодинаковые условия развития диатомовых ассоциаций в двух разобщенных биогеографических областях в пределах одного пояса – Северотихоокеанской и Североатлантической. Биостратиграфические подразделения, выделяемые в этих областях, различны. Причем ввиду отсутствия в Северной Атлантике полных непрерывных разрезов кайнозоя, последовательную смену разновозрастных комплексов диатомей проследить не удастся. Возраст выделяемых здесь для расчленения доплейстоценовых отложений слоев с флорой и зон, которые не имеют надежных привязок к магнитостратиграфической шкале, во многих случаях достаточно условен.

Следует подчеркнуть, что разработанные зональные шкалы используются не только при исследовании осадочных отложений, сформировавшихся в пределах открытого океана. Они также успешно применяются при датировании, расчленении и корреляции толщ окраинноморских и наземных разрезов. В этом отношении яркую иллюстрацию представляют результаты, полученные в последние 35–40 лет при работе с разнофациальными кайнозойскими образованиями, развитыми в районах обрамления Северной Пацифики. Например, изучение диатомовых комплексов среднего миоцена – квартера в различных разрезах Камчатки, Сахалина, Японии и Калифорнии и сопоставление их с ассоциациями зональной северотихоокеанской шкалы позволило во многих случаях провести дробное расчленение неоген-четвертичных толщ, а также уточнить или пересмотреть возраст ряда свит, горизонтов и формаций. Полученные в последние годы результаты свидетельствуют также и о реальной возможности применения при изучении разрезов обрамления зональных подразделений северотихоокеанской шкалы, разработанных во второй половине 1990-х гг.

(Barron, Gladenkov, 1995; Gladenkov, Barron, 1995; Гладенков, 1998) для расчленения олигоцена и нижнего миоцена. Синтез имеющихся данных позволил в начале 2000-х гг. провести региональную корреляцию олигоцена – нижнего миоцена на зональной основе (Гладенков, 2007, и др.). Появляющиеся новые данные по другим разрезам в регионе позволяют расширить и дополнить эту корреляционную схему. Таким образом, зональная шкала предоставляет реальный «базис», который дает возможность проводить расчленение и корреляцию морских осадочных толщ верхнего кайнозоя в пределах Северной Пацифики и ее обрамления.

Проблема сопоставления диатомовых ассоциаций в разнофациальных толщах. Геологическая практика показывает, что определенные трудности использования зон имеются также в пределах одной климатической области. В частности, в Северотихоокеанской области они связаны с тем, что данный регион включает геологически сложно построенную обширную зону перехода от океана к континенту. Вкрест ее простирается глубоководные фации образуют своеобразные «клинья» с вершиной к суше. К такой зоне, например, относится большая часть разрезов Камчатки, Сахалина, Чукотки и Аляски, для которых характерны пестрота фаций, невыдержанность мощности и большое количество перерывов. Из-за «клиньевой» структуры многих шельфовых разрезов, в них часто трудно проследить диатомовые зоны в их полном объеме и определить их границы. Понятно, что в таких разрезах океанические фации, содержащие «эталонные» зональные ассоциации, могут быть представлены только в идеальных случаях. Это приводит к несмыкаемости зон в относительно мелководных фациях. К тому же уровни появления и исчезновения стратиграфически важных таксонов, здесь во многих случаях не совпадают с таковыми их реального возникновения или вымирания. Кроме того, при переходе от океанических фаций к более мелководным отложениям число типично океанических видов в составе комплексов уменьшается, и наоборот – доминирующими становятся формы, характерные для прибрежных вод. По этой причине, часто достаточно трудно сопоставлять комплексы, формировавшиеся в разных частях окраинных бассейнов и открытого океана, так как они имеют разный таксономический состав. К тому же в составе исследуемых ассоциаций зональные маркирующие виды могут вообще отсутствовать. Поэтому в ряде случаев требуется выделение местных или локальных стратиграфических подразделений, охарактеризованных в основном мелководными диатомовыми ассоциациями. Это заставляет искать и детально изучать разрезы с «переходными» диатомовыми комплексами – от океанических к неритическим, состав которых характеризуется наличием форм, типичных как для первых, так и для вторых ассоциаций. Одновременно для контроля построений привлекаются данные по литологическим, физическим и другим маркерам.

Проблема диахронности границ биостратиграфических зон. Часто полагается, что зональные подразделения по диатомеям являются хроностратиграфическими. Однако на самом деле, как уже говорилось выше, они представляют собой биостратиграфические зоны, которые могут иметь диахронные границы. В ряде случаев под влиянием гипноза изучения зон в одном разрезе исследователи «подравнивают» зональные границы в других разрезах, не задумываясь над вопросом об объеме допуска такого подравнивания. В этом отношении не всегда принимается во внимание возможное «скольжение» границ биостратиграфических зон и даже линзообразное залегание некоторых конкретных зон. Так как при проведении границ зон по диатомеям следует учитывать полный интервал стратиграфического распространения маркирующих видов, при оценке возраста появления таксонов необходимо использовать уровень с наиболее древней из имеющихся датировок (и напротив, возраста исчезновения – с наиболее молодой). При этом, «разброс» возрастных датировок какого-либо из «уровней», выбранного в качестве характеристики зональной границы, не должен превышать пределов необходимой точности (на практике это – около 0.1 млн. лет). В конкретных ситуациях нужно руководствоваться здравым смыслом, с учетом того, чтобы имеющийся допуск составлял небольшую часть зонального интервала. Поэтому при проведении границ большое значение имеет как изучение ископаемых комплексов в широкой серии разрезов, так и использование для контроля других групп ископаемых, а также анализ различных маркирующих реперов (палеомагнитных, литологических и др.). Иначе они, при имеющемся стремлении к выделению хронозон, будут не до конца обоснованными.

Несмотря на все перечисленные трудности, зональные подразделения по диатомеям служат сейчас действенным инструментом при решении стратиграфических и геологических задач. Зональные шкалы находят широкое применение в практике, и уже трудно представить современные геологические исследования морского кайнозоя без привлечения данных по изучению ископаемых диатомей.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 13-05-00115 и Программы № 28 фундаментальных исследований Президиума РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гладенков А.Ю. 1998. Зональная стратиграфия олигоцена и нижнего миоцена Северотихоокеанского региона по диатомеям // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 6. № 2. С. 50–64.
- Гладенков А.Ю. 2007. Детальная стратиграфия и морские экосистемы позднего кайнозоя севера Тихоокеанского региона (по диатомеям). М.: ГЕОС. 296 с.
- Стратиграфический кодекс России. 2006. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ. 3 изд. 95 с.
- Barron J.A., Gladenkov A.Y. 1995. Early Miocene to Pleistocene diatom stratigraphy of Leg 145 // Proc. Ocean Drilling Program, Sci. Res. V. 145. P. 3–19.
- Gladenkov A.Y., Barron J.A. 1995. Oligocene and early Miocene diatom biostratigraphy of Hole 884B // Proc. Ocean Drilling Program, Sci. Res. V. 145. P. 21–41.

**ЭДИАКАРСКИЕ КОМПЛЕКСЫ АКАНТОМОРФНОЙ ПАЛИНОФЛОРЫ МИРА
(СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ, КОРРЕЛЯЦИЯ
И ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ)**

Е.Ю. Голубкова, А.Б. Кузнецов

Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, golubkovaeyu@mail.ru

**EDIACARAN ACANTHOMORPH PALYNOFLORA ASSEMBLAGES OF THE WORLD
(STRATIGRAPHIC DISTRIBUTION, CORRELATION AND TAXONOMIC DIVERSITY)**

E.Yu. Golubkova, A.B. Kuznetsov

*Institute of Precambrian Geology and Geochronology, RAS, Saint-Petersburg
golubkovaeyu@mail.ru*

Вендский этап в истории развития докембрийских микрофоссилий характеризуется появлением и широким распространением крупных, орнаментированных акритарх, отнесенных к эдиакарскому комплексу акантоморфной палинофлоры (ЭКАП). Богатый фактический материал, накопленный в последние годы, позволяет считать эту группу биостратиграфически перспективной для расчленения, корреляции и датирования отложений венда. Согласно современным представлениям предполагается, что ЭКАП распространены в нижневендских отложениях (Воробьева, Сергеев, 2012 и др.). Этой точки зрения ранее придерживались и авторы настоящей работы (Голубкова и др., 2000). Вместе с тем, новые сведения, полученные в результате биостратиграфических, изотопно-хемостратиграфических и палеофациальных исследований вендских (эдиакарских) отложений требуют пересмотра сложившихся ранее представлений.

Наиболее древние находки ЭКАП в мире известны из нижней части формации Doushantuo Китая (ассоциация 1 с *Tianzhushania spinosa*; Zhou et al., 2007; Yin et al., 2011) (рис. 1, 2). На основе полученных изотопно-геохронологических данных, возраст отложений, содержащих первую ассоциацию микрофоссилий, может быть ограничен интервалом 630–600 млн. лет (Zhou et al., 2007; Liu et al., 2009). Для карбонатов этого времени характерны высокие положительные значения $\delta^{13}\text{C}$ (EP1) и отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ менее 0.7078 (Sawaki et al., 2010).

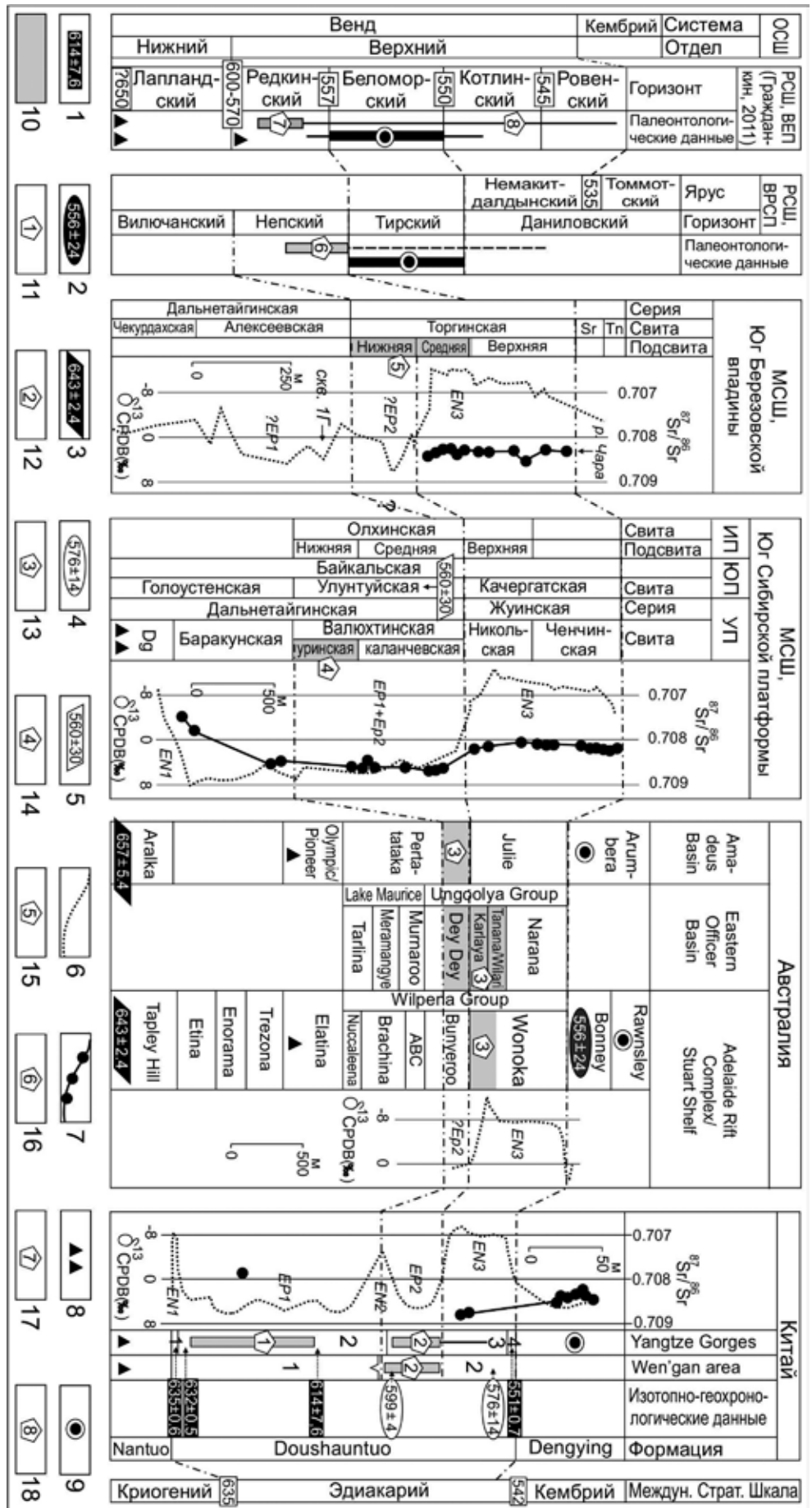
Представители второй ассоциации с *Tanarium anozus* – *Tanarium conoideum* обнаружены в верхней части формации Doushantuo Южного Китая (рис. 1, 2; Yin et al., 2011). Изотопно-геохронологические данные позволяют предполагать, что накопление карбонатов этой части разреза могло происходить 600–550 млн. л.н. (Zhou et al., 2007; Liu et al., 2009). Массовые находки акантоморфных микрофоссилий выявлены в отложениях с высокими положительными значениями $\delta^{13}\text{C}$ (EP2) (Zhou et al., 2007). Верхняя часть третьей пачки ущелья Янцзы, содержащая отдельные таксоны второй ассоциации, охарактеризована отрицательным экскурсом $\delta^{13}\text{C}$ (EN3), отнесенным к событию Shuram–Wonoka. Верхней границей этого события может служить U–Pb возраст циркона из кровли формации Doushantuo (551±0.7 млн. лет), тогда как нижняя граница оценена лишь условно – 575 млн. лет (Sawaki et al., 2010). Высокие отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.7088), полученные для карбонатов третьей пачки, указывают на накопление отложений не позднее 600–580 млн. лет. Таким образом, время существования второй ассоциации микрофоссилий может отвечать интервалу 600–550 млн. лет, а массовое их распространение приходится на 600–575 млн. лет.

Наиболее богатая, третья ассоциация выявлена в терригенных породах формаций Pertatataka, Dey Dey, Karlaya, Tanana и Wonoka внутренних бассейнов Австралии (рис. 1; Grey, Calver, 2007). Представители акантоморфных акритарх обнаружены в разных структурно-фациальных районах, что существенно затрудняет корреляцию фоссилийносных отложений и, как следствие, приводит к неоднозначности в понимании стратиграфических объемов установленных здесь комплексных акритарховых зон (Голубкова и др., 2010). По таксономическому составу австралийские биоты наиболее близки второй ассоциации Китая (рис. 2). На основе имеющихся изотопно-геохронологических данных, возраст отложений, содержащих ЭКАП, может быть оценен в широких пределах, от 640 до 560 млн. лет. Распространение акантоморфных микрофоссилий отвечает отложениям, охарактеризованным верхней частью положительного (?EP2) и нижней частью отрицательного (EN3; событие Shuram–Wonoka) экскурсами $\delta^{13}\text{C}$, что ограничивает диапазон существования австралийских биот интервалом 600–560 млн. лет.

Четвертая ассоциация с *Ancorosphaeridium magnum* – *Tanarium anozus* обнаружена в аргиллитах уринской свиты дальнотайгинской серии Патомского нагорья Восточной Сибири (рис. 1; Sergeev et al., 2011; Moszydlowska, Nagovitsin, 2012). По таксономическому составу уринская биота сопоставляется с австралийской и второй китайской ассоциациями (рис. 2). Присутствие тиллитов, а также C- и Sr-изотопные характеристики позволяют коррелировать самую нижнюю часть дальнотайгинской серии с ледниковыми отложениями Nantuo и базальными горизонтами формации Doushantuo (EN1) Китая (Покровский и др., 2006). Большая верхняя часть дальнотайгинской серии по C- и Sr-изотопным данным сопоставляется с нижней и средней пачками формации Doushantuo (EP1 и EP2) и известняками улунтуйской свиты Прибайкалья, Pb–Pb возраст которых равен 560±30 млн. лет. Жуинская серия, перекрывающая дальнотайгинскую серию, содержит карбонаты с низкими отрицательными значениями $\delta^{13}\text{C}$, что предполагает их формирование во время события Шурам–Вонока (EN3). Таким образом, возраст отложений уринской свиты попадает в интервал 600–560 млн. лет.

Пятая, обедненная ассоциация с *Cavaspinga acuminata* – *Talakanina obscura* обнаружена в отложениях торгинской свиты Березовской впадины юго-востока Сибирской платформы (Колосова, 1991). Нижняя часть

Рис. 1. Корреляция вендских (эдиакарских) отложений мира на основе биостратиграфических и изотопно-хемостратиграфических данных: 1 – U-Rb возраст вулканогенных цирконов; 2 – U-Rb возраст обломочных цирконов; 3 – Re-Os возраст алевролитов и сланцев; 4 – Rb-Rb возраст осадочных фосфоритов; 5 – Rb-Rb возраст карбонатов; 6 – C-изотопные кривые; 7 – Sr-изотопные кривые; 8 – типитты, динамикитты; 9 – эдиакарские мягкотелые организмы; 10 – распространение ЭЖАП в разрезах мира; 11 – биота Довшапццо с *Tanzhuania spinosa*; 12 – биота Довшапццо с *Tanartium anozus* – *Tanartium conoidesum*; 13 – австралийские биоты с *Aureodisrhaeria lemnis* – *Tadakkalia obscura*; 14 – уринская биота с *Aliceoerphaeridium magnum* – *Tanartium anozus*; 15 – торгинская обеденная биота с *Clavaspina acuminata* – *Tadakkalia obscura*; 16 – непская биота с *Arpeldisrhaeria lemnis* – *Tadakkalia obscura*; 17 – кельтменская биота с *Aliceoerphaeridium medsoideum* – *Messstella grandistella*; 18 – обеденная верхневендская биота с *Tanartium conoidesum*. Принятые сокращения: ОСШ – общая стратиграфическая шкала, МСШ – местная стратиграфическая шкала; ВЕП – Восточно-Европейская платформа; ВРСШ – внутренние районы Сибирской платформы; ИП – Иркутское Прибайкалье; ЮП – Южное Прибайкалье; УП – уринское подяние; Дг – джемкужанская свита; Sr – сералахская свита; Тп – тинновская свита.



свиты охарактеризована положительным экскурсом (?EP2) $\delta^{13}C$, а верхняя большая ее часть – отрицательной аномалией EN3 $\delta^{13}C$ и высокими отношениями $^{87}Sr/^{86}Sr$ (рис. 1). Предполагается, что накопление отложений средней–верхней части торгинской свиты происходило 560–550 млн. л.н.

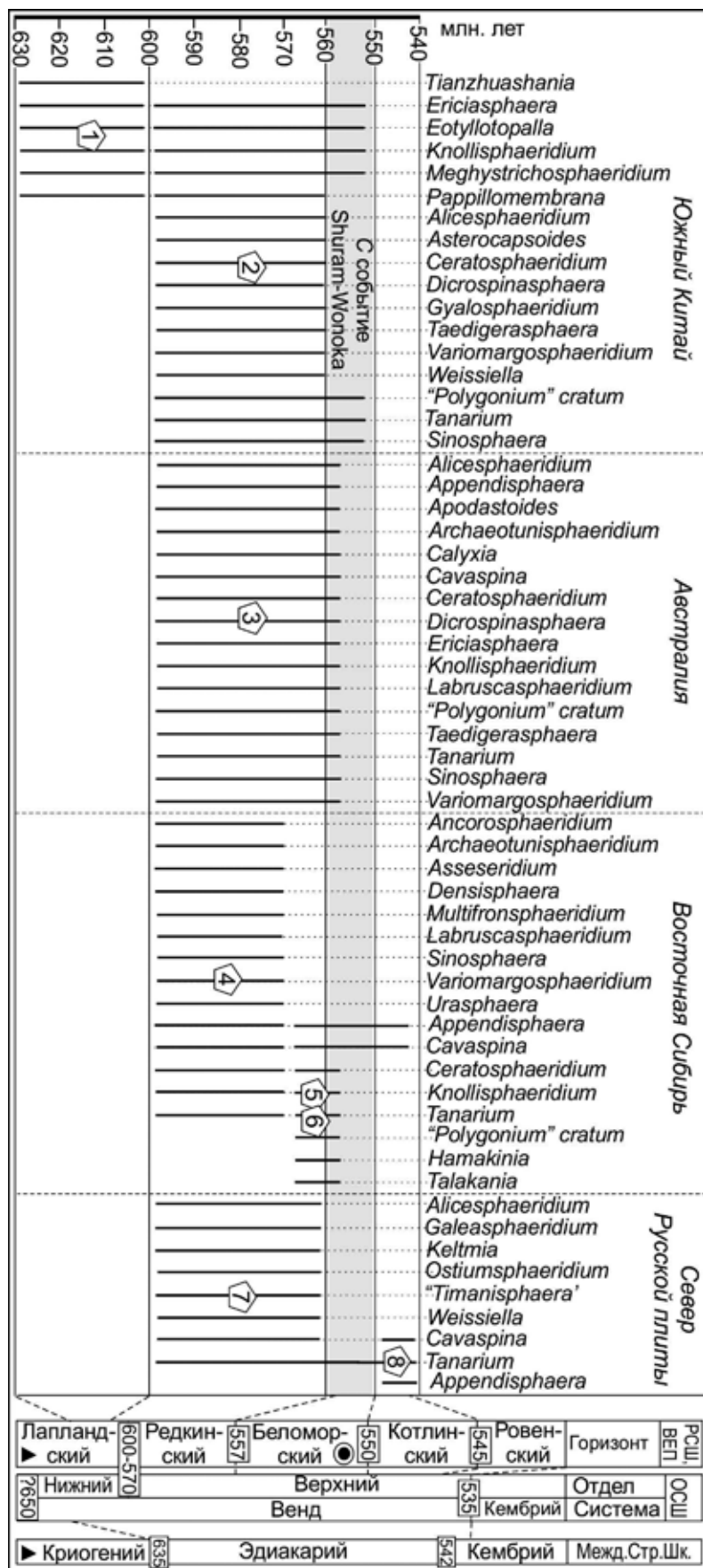


Рис. 2. Стратиграфический диапазон распространения характерных таксонов ЭКАП в вендских (эдиакарских) отложениях мира. Условные обозначения см. на рис. 1.

Микробиоты непского типа, выделенные в шестую ассоциацию с *Appendisphaera tenuis* – *Talakania obscura* – *Tanarium conoideum*, широко распространены в отложениях верхнего подгоризонта непского горизонта внутренних районов Сибирской платформы (рис. 1). Отдельные представители *Cavaspina acuminata*, *Appendisphaera* sp. обнаружены в терригенных породах даниловского горизонта юга Непско-Ботубинской антеклизы (Голубкова, 2012). В связи с отсутствием изотопно-геохронологических и хемостратиграфических данных, стратиграфическое положение непского горизонта дискуссионное. Выше лежащие карбонатные отложения тирского горизонта охарактеризованы эдиакарскими мягкотелыми организмами (Стратиграфия нефтегазоносных..., 2005). В стратотипической местности венда Восточно-Европейской платформы тирскому горизонту, скорее всего, соответствует беломорский горизонт (557–550 млн. лет), выделенный по массовому распространению мягкотелых организмов (Гражданкин, 2011). По таксономическому составу непские комплексы сопоставляются с торгинской биотой. Возрастной интервал распространения торгинской и непской ассоциаций строго не установлен, но близок рубежу 560 млн. лет.

Седьмая ассоциация с *Alicesphaeridium medusoideum* – *Weissiella grandistella* выделена в верхней части вычегодской свиты скв. Кельтменская-1 Мезенской синеклизы Европейского севера России (рис. 1, 2; Vorob'eva et al., 2009). Высказанное ранее предположение о ранневендском возрасте кельтменской биоты (Vorob'eva et al., 2009) вступает в противоречие с палеофацialsными исследованиями, на основании которых отложения, отнесенные к вычегодской свите (инт. 2790–2309 м), выделены в усть-пинежскую свиту редкинского горизонта верхнего венда

(Гражданкин, в ст. Подковыров и др., 2011). Последняя точка зрения, на наш взгляд, является более убедительной, так как находки отдельных представителей ЭКАП, обнаружены недавно в верхневендских отложениях скв. Кельтминская-1 (описываемая ниже ассоциация 8) и даниловском горизонте Непско-Ботубинской антеклизы Восточной Сибири (Голубкова, 2012).

Восьмая, обедненная ассоциация с *Tanarium conoideum* установлена в терригенных породах верхней части мезенской свиты (инт. 1832–1376 м) скв. Кельтменская-1. В ассоциации с транзитными таксонами обнаружены единичные акантоморфиты *Tanarium conoideum*, *T. anozos*, *T. sp.*, *Appendisphaera tenuis* и *Cavaspina sp.* Согласно предложенной региональной стратиграфической схеме расчленения верхневендских отложений Восточно-Европейской платформы (Гражданкин, 2011), которая, на наш взгляд, является более детальной и обоснованной по сравнению с официально принятой, отложения нижней части мезенской свиты скв. Кельтменская-1 (инт. 2309–1725 м) отвечают беломорскому горизонту (557–550 млн. лет), охарактеризованному эдиакарскими мягкотелыми организмами, а верхняя ее часть в интервале 1725–1330 м сопоставляется с котлинским горизонтом (550–545 млн. лет) (рис. 1; Гражданкин, в ст. Подковыров и др., 2011). Согласно такой корреляции, распространение восьмой ассоциации может быть ограничено интервалом 557–545 млн. лет.

В результате проведенного анализа доказано присутствие представителей ЭКАП в вендских (эдиакарских) отложениях, в интервале 630–545 млн. лет. Расцвет акантоморфных микрофоссилий приходится на 600–560 млн. лет, что отвечает средней части эдиакария Международной стратиграфической шкалы или переходным отложениям нижнего – верхнего венда (редкинский горизонт) Общей стратиграфической шкалы России. В составе эдиакарских биот отмечается появление большого количества новых морфотипов, в том числе форм с фуркатными, а также имеющими дополнительные скульптурные элементы выростами. Массовое, но постепенное вымирание микрофоссилий наблюдается на рубеже 560 млн. лет и совпадает с глобальным С-событием Shuram–Wonoka. Отдельные, морфологически просто устроенные акантоморфиты, очевидно обладавшие высокой адаптивной способностью, продолжили свое существование до конца верхнего венда.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ №№ 11-05-00813, 13-05-01059 и Программы 28 Президиума РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Воробьева Н.Г., Сергеев В.Н.* 2012. Зональная стратиграфия нижнего венда по микрофоссилиям // Современная микропалеонтология. Тр. 15 Всерос. микропалеонтол. совещ. (12–16 сентября 2012 г., Геленджик). М. С. 476–479.
- Голубкова Е.Ю., Раевская Е.Г., Кузнецов А.Б.* 2010. Нижневендские комплексы микрофоссилий Восточной Сибири в решении стратиграфических проблем региона // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 18. № 4. С. 3–27.
- Голубкова Е.Ю.* 2012. Микрофоссилии эдиакарского комплекса акантоморфной палинофлоры Восточной Сибири // Современная микропалеонтология. Тр. 15 Всерос. микропалеонтол. совещ. (12–16 сентября 2012 г., Геленджик). М. С. 480–483.
- Гражданкин Д.В.* 2011. Хроностратиграфия верхнего венда (на примере разрезов Северо-Восточной окраины Восточно-Европейской платформы и Западного склона Среднего Урала) // Автореф. дис. докт. геол.-мин. наук. Новосибирск. 32 с.
- Колосова С.П.* 1991. Позднекембрийские шиповатые микрофоссилии востока Сибирской платформы // Альгология. Т. 1. № 2. С. 53–58.
- Подковыров В.Н., Гражданкин Д.В., Маслов А.В.* 2011. Литогеохимия тонкозернистых обломочных пород венда южной части Вычегодского прогиба // Литол. и полезн. ископ. № 5. С. 484–504.
- Покровский Б.Г., Мележик В.А., Буякайте М.И.* 2006. Изотопный состав С, О, Sr и S в позднекембрийских отложениях Патомского комплекса, Центральная Сибирь. Сообщение 1. Результаты, изотопная стратиграфия и проблемы датирования // Литол. и полезн. ископ. № 5. С. 1–26.
- Grey K., Calver C.R.* 2007. Correlating the Ediacaran of Australia / P. Vickers-Rich, P. Komarower (eds). The Rise and Fall of the Ediacaran Biota // J. Geol. Soc. London. Spec. publ. V. 286. P. 115–135.
- Liu P., Yin C., Gao L. et al.* 2009. New material of microfossils from the Ediacaran Doushauntuo Formation in the Zhangcunping area, Yichang, Hubei Province and its zircon SHRIMP U-Pb age // Chinese Sci. Bul. V. 54. № 6. P. 1058–1064.
- Moczyłowska M., Nagovitsin K.* 2012. Ediacaran radiation of organic-walled microbiota recorded in the Ura Formation, pattom Uplift, East Siberian // Precambrian Res. V. 198–199. P. 1–24.
- Sawaki Y., Ohno T., Tahata T.* 2010. The Ediacaran radiogenic Sr isotope excursion in the Doushauntuo Formation in the Three Gorges area, South China // Precambrian Res. V. 176. P. 46–64.
- Sergeev V.N., Knoll A.N., Borob'eva N.G.* 2011. Ediacaran microfossils from the Ura Formation, Baikal-Patom Uplift, Siberian: taxonomy and biostratigraphic significance // J. Palaeont. V. 15. № 5. С. 987–1011.
- Vorob'eva N.G., Sergeev V.N., Knoll A.N.* 2009. Neoproterozoic microfossils from the Northeastern margin of the East European Platform // J. Palaeontol. V. 83. № 2. С. 161–196.
- Willman S., Moczyłowska M.* 2008. Ediacaran acritarch biota from the Giles 1 drillhole, Officer Basin, Australia, and its potential for biostratigraphic correlation // Precambrian Res. V. 162. P. 498–530.
- Yin C., Liu P., Awramik S.M. et al.* 2011. Acanthomorph Biostratigraphic Succession of the Ediacaran Doushauntuo Formation in the East Yangtze Gorges, South China // Acta Geol. Sin. (english edition). V. 85. № 2. P. 283–295.
- Zhou C., Xie G., Kathleen M. et al.* 2007. The diversification and extinction of Doushauntuo-Pertatataka acritarchs in South China: causes and biostratigraphic significance // Geol. J. V. 42. P. 229–262.

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

С.В. Демидова

Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт, Минск, sdem@geology.org.by

DIATOM BIODIVERSITY IN LATE PLEISTOCENE IN THE TERRITORY OF BELARUS

S.V. Demidova

Belarusian Research Geological Exploration Institute, Minsk, sdem@geology.org.by

На территории Беларуси в позднем плейстоцене, в частности, на протяжении муравинского (микулинского) межледниковья, флора диатомовых водорослей отличалась значительным таксономическим разнообразием. Об этом свидетельствуют результаты исследований белорусскими диатомологами остатков диатомей из порядка 20 разрезов муравинских отложений.

В составе диатомовой флоры муравинского межледниковья, а также раннего этапа последующего поозерского (валдайского) оледенения, насчитывается 548 таксонов (404 вида, 129 разновидностей и 15 форм), которые принадлежат к 72 родам, 31 семейству и 15 порядкам. Абсолютное большинство форм является ныне живущими организмами и встречается в настоящее время в континентальных пресноводных водоемах умеренных широт Северного полушария.

Все диатомовые водоросли изученного возраста относятся к трем классам: *Coscinodiscophyceae* (центрические диатомеи), *Fragilariophyceae* (бесшовные пеннатные диатомеи) и *Bacillariophyceae* (шовные пеннатные диатомеи). В составе флоры абсолютным лидером по количеству порядков (9 из 15), семейств (25 из 31, или 65 %), родов (50 из 72, или 69.4 %), видов (337 из 404, или 83.4 %) и таксонов рангом ниже вида (112 из 144, или 77.8 %) является класс *Bacillariophyceae*.

Класс *Coscinodiscophyceae* подразделяется на 4 порядка, которые объединяют 40 видов и внутривидовых таксонов диатомей (7.3 % от всего таксономического состава флоры). Представители данного класса – планктонные и планктонно-бентосные организмы, приспособленные к жизни в толще воды либо в планктоне и на субстрате. Несмотря на небольшое видовое разнообразие центрических диатомей в осадках по сравнению с пеннатными, численность их популяций часто достигает максимальных значений. Наибольшим таксономическим разнообразием в этом классе отличаются порядок *Stephanodiscales* и семейство *Stephanodiscaceae* (26 видов, или 4.7 % от всего состава флоры).

Класс *Fragilariophyceae* объединяет 33 вида и 26 разновидностей, что в сумме составляет 10.8 % всех таксонов изученной флоры. Створки диатомей данного класса встречаются в озерных отложениях интервала времени, начиная с припятского позднеледниковья и до поозерского раннеледниковья включительно. Особенностью большинства представителей данного класса является экологическая толерантность – возможность приспосабливаться к условиям сред обитания, различных по набору абиотических и биотических составляющих. Диатомеи класса *Fragilariophyceae* характерны для всех этапов развития водных альгоценозов – от первоначального заселения водоемов до естественного угасания жизни водорослей. Часто даже при наименее благоприятных экологических условиях они становятся ведущими доминантами. Наиболее представительным в классе *Fragilariophyceae* является порядок *Fragilariales*, а внутри порядка – семейство *Fragilariaceae*, которое включает подавляющее большинство видов диатомей из класса *Fragilariophyceae* (57, или 10.4 % от всего видового состава диатомовой флоры) и состоит из 12 родов.

Самым представительным в таксономическом отношении является класс *Bacillariophyceae*, включающий обитателей дна и перифитона. К этому классу принадлежит наибольшее количество порядков, семейств и родов, которые объединяют 449 таксонов (337 видов, 99 разновидностей и 13 форм) диатомовых водорослей, что составляет 81.9 % всех выявленных в изученной диатомовой флоре таксонов. Порядок *Naviculales* объединяет наибольшее количество видов, разновидностей и форм, идентифицированных в общем составе диатомовой флоры позднего плейстоцена – 193 (35.2 %). К данному порядку принадлежит 12 семейств, большинство которых представлено одним родом диатомей. Семейство *Naviculaceae* – самое разнообразное в качественном отношении по сравнению с остальными (80 таксонов, или 14.6 % от всех видов, разновидностей и форм во флоре). В данном семействе 5 родов, среди которых род *Navicula* – лидер по количеству видов (66). Порядок *Symbellales* является вторым по таксономическому разнообразию среди всех порядков (4 семейства, 10 родов, 92 таксона – 16.8 %). Порядок *Achnanthes* (3 семейства, 9 родов, 53 таксона или 9.7 % видового состава) – третий по видовому разнообразию в общем составе позднеплейстоценовой диатомовой флоры.

Систематические списки диатомовой флоры отдельных разрезов насчитывают от 135 видов и внутривидовых таксонов из 44–45 родов диатомей (разрезы Шитино и Зеленый Мох) до 311 таксонов, принадлежащих к 63 родам (разрез Владыки) (табл. 1). Видовое богатство флоры (максимальное количество встреченных таксонов) в среднем составляет 201.2 таксон видовой группы в разрезе. Среднее количество родов во флорах – 52.4, среднее количество видов, приходящихся на каждый род – 3.7.

Сопоставление количественных показателей видового разнообразия изученных локальных флор с возрастом и генезисом пород водосборов (табл. 1) приводит к выводу, что одним из ведущих факторов, контролировавших видовое разнообразие диатомовых водорослей в палеоводоемах на протяжении последнего теплого интервала плейстоцена, являлось разнообразие пород питающих водосборов, которые отличались

Таблица 1. Характеристика отложений палеоводоёмов и показатели видового богатства флор диатомовых водорослей.

Разрез	Интервал глубин, м	Мощность отложений, м	Интервал отбора проб, см	Количество образцов с диатомеями	Аналитик, год изучения диатомовой флоры	Видовое богатство диатомовой флоры			Преобладающие породы водосбора палеоводоёма	Продолжительность развития диатомовой флоры (по палинологическим данным, согласно этапности развития растительности по Рыловой и др., 2008)	
						Таксонов на 1 род	родов	Таксонов нов		фазы	количество фаз
Валдыки	11.0–26.8	15.8	40	40	Феленя С.А., 2000	311	63	4.9	g _Q pt,sz	пт 6 – пт 8	3
Зельва	8.2–25.4	17.2	75	23	Феленя С.А., 2000	280	62	4.5	g _Q pt,sz	пт 3 – пт 9	7
Серёбрище	13.6–37.0	23.4	30	79	Феленя С.А., 1998; Демидова С.В., 2009	262	56	4.7	g _Q pt,sz	пт 5 – пт 8	4
Понемунь	3.26–6.16	2.9	5	58	Хурсевич Г.К., 1978; Демидова С.В., 2000	239	54	4.4	g _Q pt,sz	пт 5 – пт 7	3
Малье Новоселки	16.4–34.0	17.6	36	49	Хурсевич Г.К., 1979	238	60	4.0	g _Q pt,sz	пт 3 – пт 7	5
Чёрный Берег	14.0–19.3	5.3	10	42	Логниова Л.П., 1978; Демидова С.В., Феленя С.А., 2008	231	52	4.4	g _Q pt,sz	пт-f3 – пт 5	5
Долгое	13.1–30.7	17.6	40	44	Логниова Л.П., 1989	221	54	4.1	fg _Q dn-sz; g _Q pt,dh	пт 2 – пт 7	6
Гродно	0.0–9.3	9.3	65	14	Хурсевич Г.К., 1978	211	51	4.1	g _Q pt,sz	пт 5 – пт 9	5
Копалевичи	31.56–33.12	1.56	12	13	Демидова С.В., 2004	183	49	3.7	fg _Q dn-sz	пт 2 – пт 3	2
Черноосово	25.8–55.5	29.7	60	19	Демидова С.В., 2000	179	51	3.5	fg _Q dn-sz; g _Q pt,dh	пт-f3, пт 3–4, пт 9, pz	>5
Уручье	9.25–11.3	2.0	10	24	Демидова С.В., Хурсевич Г.К., 2007	178	53	3.3	g _Q pt,sz	пт 7 – пт 9, pz	4
Светлогорск	34.8–53.5	18.7	65	28	Хурсевич Г.К., 1995	175	53	3.3	fg _Q dn-sz; g _Q pt,dh	пт 8 – пт 9, pz 1 – pz 2	4
Боровики	25.8–55.5	29.7	55	54	Феленя С.А., 1995	175	53	3.3	fg _Q dn-sz; g _Q pt,dh	пт 5 – пт 9, pz 1 – pz 2	7
Чегелево	28.5–35.0	6.5	100	7	Логниова Л.П., 1974	169	49	3.4	g _Q pt,sz	пт 5 – пт 6	2
Сосны	4.4–7.4	3.0	35	8	Демидова С.В., 2004	159	49	3.2	fg _Q dn-sz	пт 3 – пт 5	3
Корчево	26.6–32.8	6.2	20	31	Хурсевич Г.К., 1989	141	46	3.1	g _Q pt,sz	пт 7	1
Зеленый Мох	14.0–19.4	5.4	30	18	Демидова С.В., 1999, 2009	135	45	3.0	fg _Q dn-sz	вторая половина межледниковья	1-3
Шитино	23.0–52.5	29.5	90	32	Логниова Л.П., 1989	135	44	3.1	fg _Q dn-sz	пт 2 – пт 8	7

Примечание: g_Qpt,sz – моренные отложения сожской стадии припятского оледенения; g_Qpt,dh – моренные отложения днепровской стадии припятского оледенения; fg_Qdn-sz – водно-ледниковые днепровско-сожские отложения.

по возрасту и происхождению. Так, наибольшим таксономическим разнообразием отличаются диатомовые флоры, населявшие палеоводоёмы, образовавшиеся в межледниковое время в области развития молодого сожского (московского) моренного и конечно-моренного рельефа, сложенного, главным образом, богатыми в минеральном отношении супесчано-суглинистыми породами. Сравнительно беднее по количеству получивших развитие форм диатомей выглядят флоры озёр, располагавшихся в области преобладания покровных водно-ледниковых днепровско-сожских отложений и более древней, в некоторой степени размытой,

днепровской морены. И, наконец, наименее богатые в качественном отношении диатомовые флоры выявлены в отложениях древних озер, имевших распространение на обширной низменной территории Полесья, сложенной, в основном, песчаными водно-ледниковыми породами.

В целом имеющийся богатый систематический материал по диатомовой флоре отдельных изученных разрезов муравинского межледниковья Беларуси дает большие возможности для многогранного пространственно-временного флористического анализа.

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Д.Б. Денисов

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, denisow@inep.ksc.ru

INVESTIGATIONS OF THE DIATOM COMPLEXES IN MOUNTAIN GLACIAL LAKES SEDIMENTS: PROBLEMS AND PROSPECTS

D.B. Denisov

Institute of the North industrial environmental problems KSC RAS, Apatity, denisow@inep.ksc.ru

Диатомовые комплексы донных отложений (ДО) малых горных субарктических водоемов являются уникальным источником разнотипной информации о долговременной динамике окружающей среды и широко используются в палеоэкологических исследованиях в мировой и отечественной практике (Моисеенко и др., 1997; Paul et al., 2010; Каган, 2012). Интерес к палеоэкологическим исследованиям горных водоемов обусловлен необходимостью понимания тенденций современных глобальных климатических и антропогенных изменений в биосфере.

Материалом для анализа послужили диатомовые комплексы верхних слоев ДО горных водоемов Хибинского горного массива (Кольский полуостров), расположенные в различных ландшафтно-географических условиях. Мощность колонок оказалась различной – от 7 до 26 см в зависимости от условий отбора и характера седиментов. Распределение химических элементов в ДО было использовано в качестве маркера для определения начала и оценки хода развития промышленного загрязнения (Даувальтер, 2002). Основные характеристики исследованных озер представлены в таблице 1. Диатомовый анализ донных отложений был проведен по стандартной общепринятой методике с модификациями, используемыми в ИППЭС КНЦ РАН (Диатомовый анализ, 1949; Кашулин и др., 2008; Косова и др., 2011; Денисов, 2007; 2012).

Диатомовые комплексы исследованных водоемов и их изменения в процессе сукцессии водных экосистем за исследованный период для каждого водоема характеризуются индивидуальными особенностями. Наиболее резкие изменения в таксономическом составе были выявлены для оз. Бол. Вудъявр, подверженно-го интенсивному антропогенному влиянию стоков апатитовой промышленности с 30-х гг. прошлого века. Произошла полная замена палеосообществ с господством *Cyclotella* на фрагиляриевые мезотрофные комплексы (Денисов, 2007; Кашулин и др., 2008). Другие водоемы развиваются в условиях фонового, преимущественно аэротехногенного загрязнения, изменения видового состава от нижних слоев к верхним носит плавный характер и не всегда определяется антропогенным воздействием (рис. 1).

Распределение содержания химических элементов в донных отложениях индицирует антропогенную деятельность: Pb и Cd – связано с глобальным развитием промышленности в Западной Европе, Ni и Cu – деятельность крупных металлургических комбинатов на Кольском Севере, P, Al, Sr – деятельность апатитовой промышленности. Эти же данные позволяют косвенно оценивать скорость седиментации и делать выводы о продолжительности исследованного периода. Так, для оз. Академическое этот период составляет, вероятно, около 900 лет, в то время как для оз. Мал. Вудъявр – около 200 лет (Денисов, 2007; 2012). В ДО оз. Бол. Вудъявр можно выделить две зоны отложений: верхняя зона с высокими скоростями седиментации, обусловленными поступлением большого количества взвеси и интенсивным развитием диатомового планктона – период около 80 лет, и нижняя зона, где скорости седиментации были ближе к естественным, около 300–400 лет (рис. 2).

Таблица 1. Некоторые характеристики исследованных озер (*– перспективное озеро для будущих исследований).

Объект	Площадь зеркала, кв.км	Площадь водосбора, кв.км	Максимальная глубина, м	Высота над у.м., м
Пай-Кунъявр	1.3	144	21	208
Большой Вудъявр	3.24	100	36.5	312
Малый Вудъявр	0.55	22	10.5	356.5
Купальное	0.05	0.32	4.5	352
Сердцевидное	0.027	3.3	6.2	434.4
Академическое	0.2	2.1	18.5	759.4
*Тахтаръявр	0.11	1.22	25	806.8



Рис. 1. Карта-схема расположения исследованных озер.

Очевидно, что поступление большого количества биогенных элементов со стоками апатитовой промышленности привели к резкому увеличению обилия диатомей в оз. Бол. Вудъявр (рис. 2). В других водоемах причины изменений выражены менее очевидно. Еще более сложной задачей представляется сравнительный анализ и поиск общих закономерностей в развитии всех исследованных водоемов. Динамика общего обилия диатомей малых озер, характеризующихся сравнительно небольшой площадью водосбора (<4 км²) отличается положительным трендом по направлению от нижних слоев к верхним. Очевидно, это проявление типичной олиготрофно-эвтрофной сукцессии, происходящей на фоне глобальных климатических изменений, которые становятся более благоприятными для развития диатомей.

Динамика численности диатомей в ДО оз. Академическое характеризуется резкими колебаниями, вызванными естественно-природными изменениями окружающей среды и климата. Диапазон этих колебаний сопоставим с мощным антропогенным воздействием (рис. 2). Вероятно, таким образом диатомовые сообщества реагировали на события Средневекового климатического оптимума (нижняя часть колонки) и Малого Ледникового периода (МЛП) XIV–XV вв. (средняя часть колонки). В течение МЛП в Хибинах не происходи-

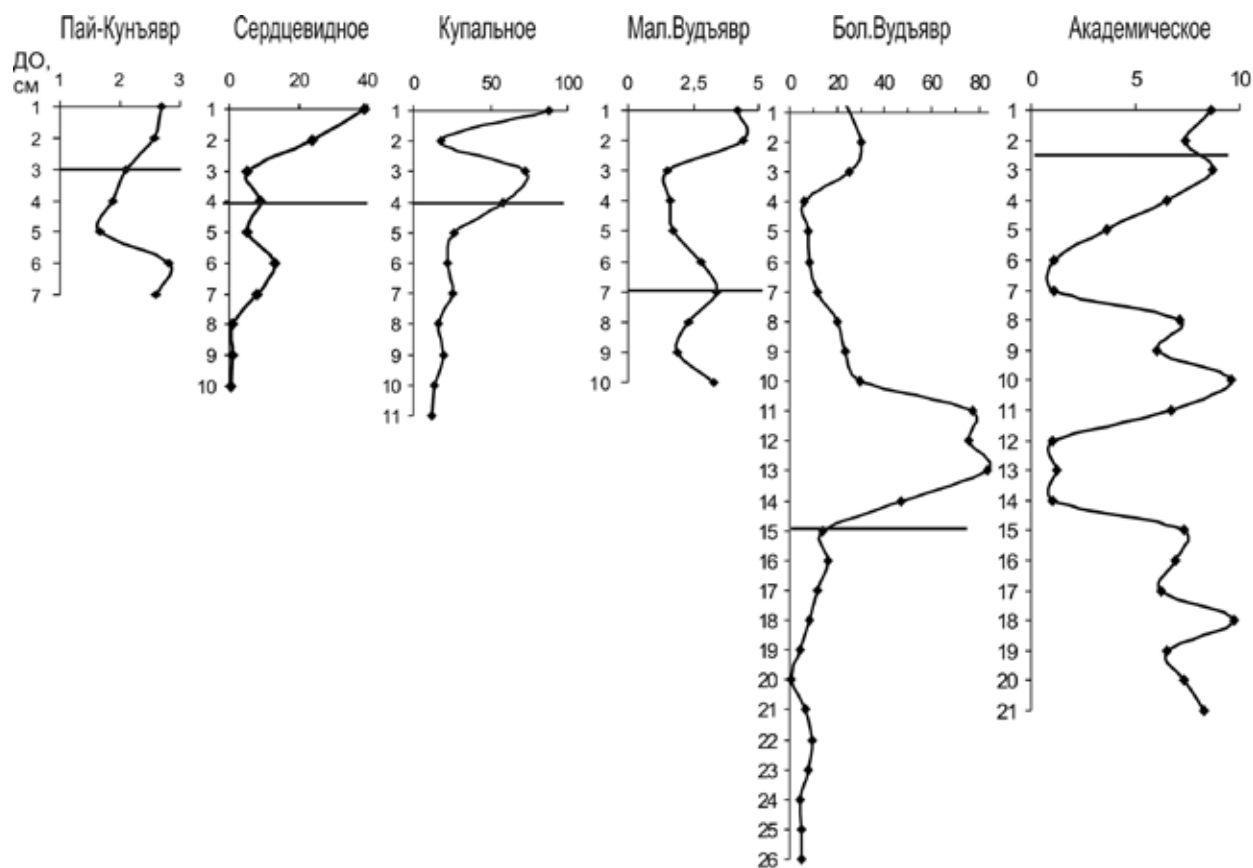


Рис. 2. Динамика общей численности (млн.ств./г) створок диатомей в донных отложениях разнотипных горных водоемов Хибинского горного массива. Чертой отмечено начало увеличения содержания тяжелых металлов (Pb, Cd, Ni, Cu).

ло формирование мощного оледенения, но произошло сокращение периода открытой воды, когда диатомеи могли развиваться в водоеме.

Выбор объекта для палеоэкологической реконструкции на основе колонок небольшой мощности (до 30 см) должен быть детерминирован конкретной задачей. Реконструкция развития экосистемы в условиях длительного прямого антропогенного воздействия может быть осуществлена в результате получения колонки ДО, содержащей интервалы, сформированные до начала воздействия («фоновые слои»), при том что основные значимые факторы являются известными. Если задачей является выявление последствий аэротехногенного загрязнения, то, помимо «фоновых» колонка должна содержать отложения, сформированные в процессе этого воздействия, в количестве, достаточном для выявления устойчивых трендов. Наиболее общие критерии, которые позволяют заранее предполагать скорости седиментации, могут быть выражены следующим правилом: скорость седиментации на максимальной глубине озера тем выше, чем больше водосборная площадь, меньше глубина и высота над уровнем моря. Для исследования исторической динамики глобальной и региональной климатической системы и окружающей среды, без наложения антропогенных факторов, целесообразно использовать малые горные ледниковые водоемы, расположенные в ледниковых цирках в зоне каменистой (лишайниковой) тундры и обладающие значительной глубиной (Денисов, 2012; Денисов, Терентьев, 2008). Благодаря предельно низким скоростям седиментации, возможно исследовать палеоэкологическую информацию о значительном временном интервале развития водоема, даже, используя колонку небольшой мощности. Влияние антропогенной деятельности проявляется в таких водоемах только в поверхностных слоях ДО, что позволяет сделать вывод об уровне и интенсивности аэротехногенного загрязнения, но затрудняет получение выраженного тренда этих процессов. Практически полное отсутствие преобразования питающего озеро вод на водосборной площади, вероятно, позволяет выявлять влияние таких факторов, как солнечная активность и других гелиокосмических факторов, что было показано на примере оз. Академическое (Денисов, 2011, 2012). В настоящее время это предположение подлежит проверке на основе диатомовых комплексов ДО водоемов аналогичного типа (оз. Тахтаръявр) (Денисов и др., 2012). Возникает вопрос о степени влияния эрозионных процессов в ледниковом цирке на процессы седиментации. Крутые склоны цирков являются источниками оползней и камнепадов, что приводит к поступлению в водоем значительного количества минеральных частиц. Не исключено, что подобные процессы могут многократно увеличить скорости седиментации и повлечь за собой ошибки при реконструкции. Может ли малое количество створок в отдельных слоях колонки быть результатом увеличения количества осаждаемого материала, а не следствием неблагоприятных условий? Очевидно, можно рекомендовать при просмотре диатомовых препаратов ДО цирковых озер обращать внимание на присутствие минеральных компонентов и оценивать их количество. При анализе, характер распределения в ДО минеральных частиц можно сопоставить с концентрацией химических элементов.

В настоящее время очевидно, что малые горные ледниковые озера глубоких ледниковых цирков представляют собой уникальные модельные палеоэкологические объекты, обладающие огромным потенциалом для диатомового анализа. Немногочисленный видовой состав диатомей, возможность исследовать длительный временной интервал при малой мощности колонки, а также выявлять «скрытые» в других озерах регулирующие факторы, составляет несомненные достоинства этих объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Даувальтер В.А. 2002. Факторы формирования химического состава донных отложений / Учебное пособие по дисциплине «Геохимия окружающей среды» для направления 511100 «Экология и природопользование» // Мурманск: изд-во МГТУ. 76 с.
- Денисов Д.Б. 2007. Изменения гидрохимического состава и диатомовой флоры донных отложений в зоне воздействия горнорудного производства (Кольский полуостров) // Водные ресурсы. Т. 34. № 6. С. 719–730.
- Денисов Д.Б. 2011. Связь динамики интегральных показателей диатомовых комплексов донных отложений с солнечной активностью (оз. Академическое, Кольский полуостров) // Мат-лы 12 междунар. научн. конф. диатомологов, посвященной 120-летию со дня рождения А.И. Прошкиной-Лавренко (19–24 сентября 2011 г.). М.: Университетская книга. С. 230–233.
- Денисов Д.Б. 2012. Реконструкция развития экосистемы малого горного субарктического водоема за последние 900 лет (на примере оз. Академическое, Хибин, Кольский полуостров) // Тр. КНЦ РАН «Прикладная экология Севера». Вып. 1. Апатиты. С. 126–147.
- Денисов Д.Б., Терентьев П.М. 2008. Первые результаты исследований оз. Академическое (Хибинский горный массив) // Мат-лы 4 школы молодых ученых и специалистов «Сбалансированное природопользование: глубокая переработка минеральных ресурсов» (6–8–ноября 2007 г.). Апатиты: изд-во КНЦ РАН. С. 161–166.
- Денисов Д.Б., Валькова С.А., Черепанов А.А. и др. 2012. Первые результаты комплексного исследования экосистемы оз. Тахтаръявр (Хибинский горный массив, Кольский полуостров) // Тр. 4 Всерос. научн. конф. «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения» (Апатиты, 2–5 октября 2012 г.). Апатиты: КНЦ РАН. С. 176–180.
- Диатомовый анализ. 1949. Л.: Госгеоиздат. Кн. 1. 239 с.
- Каган Л.Я. 2012. Диатомовые водоросли Евро-Арктического региона. Аннотированная коллекция (древние и современные морские и пресноводные) // Апатиты: изд-во КНЦ РАН. 210 с.
- Кашулин Н.А., Денисов Д.Б., Сандимиров С.С. и др. 2008. Антропогенные изменения водных систем Хибинского горного массива (Мурманская область). Т. 1. Апатиты: изд-во КНЦ РАН. 250 с.
- Косова А.Л., Малышева М.Б., Денисов Д.Б. 2011. К методике камеральной обработки проб для диатомового анализа донных отложений // Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Мат-лы 7 Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода (г. Апатиты, 12–17 сентября, 2011 г.). В 2 т. / Геологический ин-т КНЦ РАН. Апатиты. СПб. Т. 1. (А–К). С. 294–295.
- Моисеев Т.И., Даувальтер В.А., Каган Л.Я. 1997. Горные озера как маркеры загрязнения воздуха // Водные ресурсы. Т. 24. № 5. С. 600–608.
- Paul C.A., Douglas M.S.V., Smol J.P. 2010. Diatom-inferred Holocene climatic and environmental changes in an unusually subsaline high Arctic nunatak pond on Ellesmere Island (Nunavut, Canada) // J. Paleolimnology. V. 44. P. 913–929.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛЬГОГРУППИРОВОК НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ НА ТЕХНОГЕННЫХ ИЛАХ

Л.И. Домрачева^{1,2}, Л.В. Кондакова², Е.В. Дабах^{1,2}, Т.С. Елькина¹

¹ Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Киров, tatyana_1@inbox.ru

² Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и Вятского государственного гуманитарного университета, Киров, ecolab2@gmail.com

STRUCTURAL FEATURES OF ALGAL ASSEMBLAGES IN THE INITIAL STAGES OF SOIL FORMATION ON TECHNOGENIC SILTS

L.I. Domracheva^{1,2}, L.V. Kondakova², E.V. Dabakh^{1,2}, T.S. El'kina¹

¹ Vyatskaya State Agricultural Academy, Kirov, tatyana_1@inbox.ru

² Laboratory of Bimonitoring, Institute of Biology, Komi Scientific Centre of UB RAS and Vyatka State Humanities University, Kirov, ecolab2@gmail.com

В процессе техногенного преобразования биосферы происходят радикальные изменения природных экосистем, связанные с их деградацией под влиянием механического разрушения и загрязнения. Очень часто подобные явления наблюдаются в зоне действия химических предприятий. Одно из таких предприятий – Кирово-Чепецкий химический комбинат (КЧХК), который более полувека функционирует на территории Кировской области. Данный завод относится к химически опасным предприятиям, в связи с чем окружающая среда на территории и вблизи комбината за десятилетия его производственной деятельности подверглась воздействию широкого спектра загрязнителей, в том числе тяжелыми металлами и радионуклидами (Скугорева и др., 2009).

В процессе деятельности КЧХК в озеро Просное, расположенное в пойме реки Вятки, в течение 25 лет с промышленными стоками попадало огромное количество взвешенного материала. В результате на дне его накопилась масса техногенных илов объемом 330 тыс. м³, и около 70 % территории озера превратилось в заболоченную низину, на которой начинает формироваться почвенный покров. Почвообразующим субстратом являются техногенные пластичные серые глины, состоящие на 70–80 % из карбоната и сульфата кальция. В толще илов на небольшой глубине (от 30 см) встречаются гипсовые корки, соответственно, почвообразование ограничено мощностью рыхлой толщи. В формирующемся профиле можно выделить оторфованную подстилку, переходящую на глубине до 10 см в гумусовый горизонт мощностью около 3 см. Ниже до гипсовой корки выделяется сизоватая с ржавыми пятнами сырая глинистая масса, которую нельзя считать ненарушенной породой, так как в нее затеками проникает органическое вещество и проявляется глеевый процесс. В составе верхней части техногенных отложений отмечено высокое содержание ртути, свинца, цинка, стронция, кадмия, мышьяка (от 1 до 7 ПДК) и радионуклидов (Дабах, 2012).

В нашей работе из формирующегося стратифицированного профиля были отобраны пробы для альгологического анализа. Слой 0–7 см – это оторфованная подстилка; 7–11 см – гумус и горизонты 11–18 см и 18–30 см – глинистая масса с проникновением органического вещества и наличием глеевого процесса. В ходе альгологического анализа определяли видовой состав водорослей и цианобактерий (ЦБ) в каждом из выделенных горизонтов, а также количественные параметры альгоценозов, которые развивались при их инициации путем увлажнения образцов, помещенных в чашках Петри, и с раскладкой на поверхности стекол обрастания.

Флористический анализ показал (табл. 1), что видовое богатство фототрофов в анализируемом субстрате представлено 34 видами водорослей и ЦБ, в том числе из отдела Cyanophyta – 7, Chlorophyta – 23, Xanthophyta – 2, Bacillariophyta – 2.

При этом наблюдается ярко выраженная тенденция снижения видового богатства от верхних горизонтов в глубину: 26 (0–7 см) → 14 (7–11 см) → 8 (11–18 см) → 7 (18–30 см). Примечательно, что представители Cyanophyta размножаются только в 2-х верхних горизонтах. Только в этом горизонте встречаются желтозеленые (Xanthophyta) и диатомовые (Bacillariophyta) водоросли. По видовому разнообразию наиболее многочисленны зеленые водоросли, как одноклеточные, так и нитчатые. В этом отделе три вида (*Chlorella vulgaris*, *Chlorococcum infusionum* и *Pseudococcomyxa simplex*) обнаружены в каждом горизонте, что, вероятно, свидетельствует о максимально низкой экологической валентности данных видов, так как условия обитания (аэрация, световой режим, химический состав и т. д.) в горизонтах резко различаются.

Преобразование техногенных илов не только сопровождается формированием многовидовых альгосообществ, но также интенсивным размножением зеленых водорослей и ЦБ. При этом, хотя максимальное видовое разнообразие характерно для зеленых водорослей, максимальное количественное обилие отмечено у ЦБ, развивающихся в верхних горизонтах (табл. 2).

Анализ результатов, приведенных в табл. 2, показывает такую же тенденцию, которая проявилась при анализе видового обилия: резкое снижение количественного обилия фототрофов при удалении от поверхности (их численность в верхнем горизонте в 50 раз выше, чем в нижнем).

Резко различается и структура популяций фототрофных микроорганизмов (рис. 1): если в двух верхних горизонтах фототрофные прокариоты составляют абсолютное большинство (90 %), то в двух нижних горизонтах фототрофы представлены на 100 % эукариотными зелеными водорослями. Численность зеленых водорослей также резко падает с глубиной (рис. 2).

Таблица 1. Видовой состав фототрофов на техногенных илах на начальных этапах формирования почв.

№	Водоросли и цианобактерии	Глубина горизонта, см			
		0-7	7-11	11-18	18-30
	Суанопхита				
1	<i>Leptolyngbya boryana</i> (Gom.) Anagn. et Komarek	+			
2	<i>Nostoc calcicola</i> Breb.	+	+		
3	<i>Phormidium autumnale</i> (Ag.) Gom.	+			
4	<i>Phormidium calcareum</i> Kütz.	+	+		
5	<i>Phormidium formosum</i> (Bory ex Gom.) Anagn. et Komarek	+			
6	<i>Phormidium retzii</i> Lemm (Ag.) Gom. f. <i>retzii</i>	+			
7	<i>Tychonema granulatum</i> (Gard.) Anagn. et Kom.		+		
	Chlorophyta				
8	<i>Actinochloris sphaerica</i> Korsch.	+			
9	<i>Borodinella polytetras</i> Mill.	+			
10	<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrova	+		+	
11	<i>Characium acuminatum</i> A. Br.		+		
12	<i>Chlamydomonas conversa</i> Korsch.		+		+
13	<i>Chlamydomonas debaryana</i> Gorosch. var. <i>atactogama</i> (Korsch.) Gerloff	+			
14	<i>Chlamydomonas gelatinosa</i> Korsch. in Pascher			+	
15	<i>Chlamydomonas gloeogama</i> Korsch. f. <i>gloeogama</i>	+		+	+
16	<i>Chlamydomonas minutissima</i> Korsch. in Pascher	+			+
17	<i>Chlamydomonas pertusa</i> Chod.			+	
18	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i> Dang.	+			
19	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer. var. <i>vulgaris</i>	+	+	+	+
20	<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schränk) Menegh.	+	+	+	+
21	<i>Fernandinella alpina</i> Chod.	+			
22	<i>Gongrosira debaryana</i> Rabenh.	+	+		
23	<i>Lobomonas rostrata</i> Hazen	+			
24	<i>Microthamnion kuetzigianum</i> Näg.	+	+		
25	<i>Myrmecia incisa</i> Reisingl	+			
26	<i>Pandorina morum</i> (O. F. Müll.) Bory		+		
27	<i>Planophila bipyrenoidosa</i> Reisingl			+	+
28	<i>Pseudococcomyxa simplex</i> (Mainx) Fott	+	+	+	+
29	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Breb. sensu Chod.	+	+		
30	<i>Ulothrix</i> sp.		+		
	Xanthophyta				
31	<i>Botrydiopsis eriensis</i> Snow	+			
32	<i>Xanthonema exile</i> (Klebs) Silva	+			
	Bacillariophyta				
33	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun. in Cleve et Grun.	+			
34	<i>Navicula</i> sp.	+	+		
	Всего видов	26	14	8	7

Таблица 2. Показатели количественного обилия водорослей и цианобактерий, развивающихся на техногенных илах, тыс. клеток/см².

Глубина горизонта, см	Одноклеточные зелёные	Нитчатые зелёные	Безгетероцистные цианобактерии	Гетероцистные цианобактерии	Суммарная численность фототрофов
0-7	188.8 ± 16.7	39.0 ± 6.0	2397.5 ± 475.0	11.0	2636.3 ± 492.7
7-11	173.8 ± 14.2	9.8 ± 0.7	1551.0 ± 110.0	126.5 ± 1.7	1861.1 ± 126.6
11-18	106.1 ± 19.2	-	-	-	106.1 ± 19.2
18-30	51.7 ± 9.5	-	-	-	51.7 ± 9.5

Примечание: «-» – данная группа фототрофов при количественном учете не обнаружена.

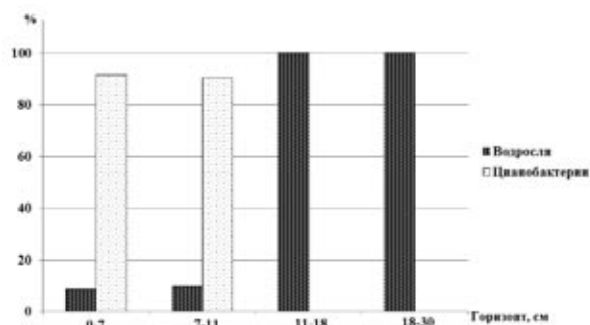


Рис. 1. Структура популяций фототрофных микроорганизмов на начальных этапах формирования почв на техногенных илах.

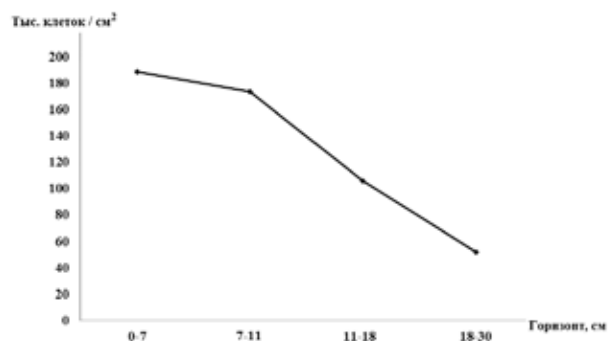


Рис. 2. Численность зелёных водорослей на начальных этапах формирования почв на техногенных илах.

Таким образом, в процессе преобразования техногенных илов наблюдается массовое развитие водорослей и ЦБ, четко дифференцированное в зависимости от горизонтов по видовому и количественному представительству. Микрофототрофы, благодаря высокой скорости размножения, способны создавать значительные объемы первичной продукции. Вероятно, лабильное органическое вещество фототрофов является одним из доминирующих факторов процессов протекания первичного почвообразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Скугорева С.Г., Дабах Е.В., Адамович Т.А. и др. 2009. Изучение состояния почв на территории вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината // Теоретическая и прикладная экология. № 2. С. 37–46.
- Дабах Е.В. 2012. Почвообразование на техногенных илах озера Просное // Докл. 6 съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Петрозаводск. С. 193–194.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ РОДА *TETRACYCLUS* RALFS В МИОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ (ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Ю.Ф. Дубровина¹, М.В. Усольцева¹, Е.А. Михеева²

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, uliada@lin.irk.ru

²Институт земной коры СО РАН, Иркутск

THE DIVERSITY OF *TETRACYCLUS* RALFS (BACILLARIOPHYCEAE) FROM MIOCENE SEDIMENTS OF VITIM PLATEAU (TRANSBAIKALIA)

Yu.F. Dubrovina¹, M.V. Usoltseva¹, E.A. Mikheeva²

¹Limnological Institute, Siberian Branch of the RAS, Irkutsk, uliada@lin.irk.ru

²Institute of Earth's Crust, Siberian Branch of the RAS, Irkutsk

Изучение состава диатомовой флоры миоценовых отложений Витимского плоскогорья началось с 1970 г. (Едрихинский, Черемисинова, 1970; Моисеева, 1984) и продолжается в настоящее время (Рассказов и др., 2007; Дубровина, Усольцева, 2012). В приведенных списках видового состава диатомовых комплексов нередко упоминается род *Tetracyclus* Ralfs, в значительной степени представленный вымершими, пресноводными разновидностями, многие из которых использовались в качестве стратиграфических маркеров (Williams, 1996). В последней монографии (Рассказов и др., 2007) для Северной палеодолины Витимского плоскогорья указаны следующие виды рода *Tetracyclus* Ralfs: *Tetracyclus celatom* Okuno, *T. ellipticus* (Ehr.) Grunow, *T. emarginatus* (Ehr.) W. Smith, *T. floriformis* Tsch., *T. lacustris* Ralfs et var. (= *T. glans* (Ehr.) Mills), а для Южной палеодолины такие виды, как *T. ellipticus*, *T. ellipticus* var. *lancea* f. *subrostrata* Hustedt, *T. lacustris* Ralfs, *T. lacustris* var. *strumosus* (Ehr.) Hustedt, *T. lacustris* var. *elongatus* Hustedt.

Ранние исследования были проведены с помощью световой микроскопии, что не дает полного представления о тонкой структуре панцирей диатомей, и, в свете современного представления об их ультраструктуре ставит под сомнение систематическое положение ранее приведенных таксонов.

С помощью сканирующей электронной микроскопии были изучены образцы скважин Северной (4053, 4119, 4124 и 8101) и Южной (7236) палеодолин Витимского плоскогорья. Литологическое описание некоторых из скважин приведено в монографии С.В. Рассказова с соавторами (Рассказов и др., 2007).

В отложениях Северной палеодолины нами были обнаружены следующие виды рода *Tetracyclus* Ralfs: *T. glans* (Ehr.) Mills, *T. ellipticus* (Ehr.) Grunow, *T. elegans* (Ehr.) Ralfs in Pritchard, *T. emarginatus* (Ehr.) Smith, *T. excentricum* (Ehr.) Williams, *T. maximumcostata* Williams, Khursevich, Flower, *T. radius* Saito-Kato, Hayashi, Tanimura, *T. celatom* Okuno, *T. stella* (Ehr.) Herib, *T. polygibbum* (Pant.) Williams, *T. castellum* (Ehr.) Grunow, *T. bradburyii* Williams, *T. tscheremissinova* Williams, Reid, *T. ovalifolius* (J. Y. Li) Williams.

В отложениях Южной палеодолины отмечены такие виды, как *T. glans*, *T. ellipticus*, *T. tscheremissinovae*, *T. polygibbum*, *T. linearis* (Ehr.) Grunow, *T. arcelli* Williams, Khursevich, Flower.

Таким образом, по сравнению с литературными данными (Рассказов и др., 2007), настоящее исследование позволило выявить большее разнообразие видов рода *Tetracyclus*. Впервые для миоценовой флоры Витимского плоскогорья отмечены виды *T. excentricum*, *T. maximumcostata*, *T. radius*, *T. celatom*, *T. stella*, *T. polygibbum*, *T. castellum*, *T. bradburyii*, *T. tscheremissinovae* и *T. ovalifolius*. Вид *T. floriformis* нами не обнаружен.

Интересным представляется присутствие таких видов как *T. radius*, который был найден ранее только в среднемиоценовых отложениях Японского моря (Saito-Kato et al., 2011) и *T. bradburyii*, отмеченный только из ископаемых отложений штата Орегон (США) (Williams, 2009).

Полученные данные расширяют ранее имеющиеся представления о миоценовой флоре Витимского плоскогорья.

Работа выполнена в рамках гранта Президента МК-2617.2011.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дубровина Ю.Ф., Усольцева М.В. 2012. Диатомовые водоросли рода *Tetracyclus* Ralfs в миоценовых отложениях северной палеодолины Витимского плоскогорья (Забайкалье) // Геология Забайкалья. Мат-лы 2 Всерос. молодежн. научн. конф. Улан-Удэ: изд-во ФГБУН Бурятский научный центр. С. 66–68.
- Ендрихинский А.С., Черемиснинова А.С. 1970. О нахождении миоценовых отложений на Витимском плоскогорье // Докл. АН СССР. 1970. Т. 191. № 4. С. 885–888.
- Моисеева А.И. 1984. Роль диатомовых водорослей в стратиграфии и палеографии неогена Восточной Сибири // Проблема возраста геологических образований Восточной Сибири. Итоги и дальнейшие направления исследований с целью подготовки к изданию «Геолкарты-50». Тез. докл. Иркутск, ВостСибНИИГГиМС, ВСО ВПО. С. 70–71.
- Рассказов С.В., Лямина Н.А., Черняева Г.П. 2007. Стратиграфия кайнозоя Витимского плоскогорья: Феномен длительного рифтогенеза на юге Восточной Сибири // Ин-т земной коры СО РАН. Новосибирск: Гео. 193 с.
- Saito-Kato M., Hayashi T., Tanimura Y. 2011. *Tetracyclus radius* (Bacillariophyta) a new fossil species from Miocene freshwater sediments in the Japan sea // Phytotaxa. 24. P. 51–57.
- Williams D.M. 1996. Fossil species of the diatom genus *Tetracyclus* (Bacillariophyta, «ellipticus» species group): morphology, interrelationships and the relevance of ontogeny // Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 351. P. 1759–1782.
- Williams D.M. 2009. The identity of *Tetracyclus constrictus* (Bacillariophyceae) and a description of *Tetracyclus bradburyii*, a new Miocene species // Ann. Paléontol. 95. P. 37–51.

СИСТЕМАТИКА И ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ КЕМБРИЙСКИХ ОБЫЗВЕШТВЛЕННЫХ «ВОДОРΟΣЛЕЙ»

А.Ю. Журавлёв

Геологический институт РАН, Москва; Área y Museo de Paleontología, Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain; ayzhur@mail.ru

SYSTEMATICS AND PALAEOECOLOGY OF THE CAMBRIAN CALCIFIED «ALGAE»

A.Yu. Zhuravlev

Geological Institute of RAS, Moscow; Área y Museo de Paleontología, Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain; ayzhur@mail.ru

Из кембрийских отложений известно 133 рода, которые относят к обызвествленным водорослям или цианобактериям. Изучение типового и топотипического материала позволило установить, что только три из них, а именно средне- и позднекембрийские *Amgaella* Korde, *Seletonella* Korde и *Mejerella* Korde, можно отнести к настоящим водорослям, вероятно, сифонального или сифонокладального типа организации. Еще 27 родов, включая *Renalcis* Vologdin, *Epiphyton* Bornemann, *Girvanella* Nicholson et Etheridge, *Obruchevella* Reitlinger, относятся большинством авторов к обызвествленным цианобактериям или кальцимикробам, иногда кальцибионтам. Остальные 103 рода представляют собой скелеты многоклеточных животных (например, *Cambroporella* Korde, *Kadvoya* Korde), кристаллы морского синседиментационного цемента и другие неорганические образования (например, *Nuia* Maslov, *Zaganolomia* Drosdova), ископаемые следы (*Ketemella* Pjanovskaya), различные необызвествленные структуры (*Filiphycus* Vologdin, *Uranovia* Vologdin) и многочисленные синонимы.

Наиболее обширная группа кембрийских обызвествленных водорослеподобных организмов, которые здесь по наиболее известному и распространенному роду – *Renalcis* – именуется ренальциды, изначально обычно описывались именно как водоросли (Bornemann, 1886; Вологдин, 1932; Корде, 1973), реже как фораминиферы (Рейтлингер, 1948; Riding, Brasier, 1975). Позднее возобладало представление об их природе как о цианобактериях (Лучинина, 1975; Riding, Voronova, 1982). В последнее время особенности различных ископаемых этой группы принято рассматривать либо как результат диагенетических изменений практически одной и той же цианобактерии (Pratt, 1984), либо как жизненные формы одной и той же водоросли (Luchinina, 2009).

Не вызывает сомнения, что кембрийские ренальциды не являются диагенетическими структурами: характер их взаимоотношений с другими рифостроящими организмами, указывает на прижизненную биоминерализацию скелета (Zhuravlev, Wood, 1995; Zhuravlev, 2001). Вероятно, не являлись они и обызвествленными цианобактериями, поскольку их микроструктура сходна с микроструктурой некоторых ископаемых обызвествленных водорослей, губок и квидарий (Rozanov, Sayutina, 1982), но не наблюдается у современных, даже наиболее сложных морфологически известывыделяющих цианобактерий (Laval et al., 2000; Riding, 2011). Сложно

согласиться и с водорослевой природой ренальцид, поскольку указанные у них спорангии, плазмодесмы и другие сложные структуры (Luchinina, Terleev, 2008) представляют собой сочетание первичной микроструктуры с заполнением пустот вторичным морским цементом. Кроме того, ренальциды одинаково хорошо выживали, как на открытом освещенном пространстве, так и в узких затененных рифовых полостях, причем некоторые из них, например *Chabakovia Vologdin*, были облигатными криптобионтами (Zhuravlev, Wood, 1995).

Ренальциды появлялась в самом конце эдиакарского периода (у всех более древних форм отсутствует характерная для них микроструктура или отсутствует биоминеральный скелет). Они стали основными рифостроителями в раннекембрийскую эпоху и единственными строителями среднекембрийских рифов. Они практически исчезли к концу кембрийского периода с наступлением термозеры (Zhuravlev, Wood, 2008). Возможно, единичные роды выжили в ордовике и силуре, но их девонские и мезозойские аналоги, несмотря на микроструктурное сходство, отличаются морфологически от кембрийских предшественников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Vologdin A.G. 1932. Археоциаты Сибири. Вып. 2: Фауна кембрийских известняков Алтая // М.-Л.: Госгеолтехиздат. 106 с.
- Корде К.Б. 1973. Водоросли кембрия // М.: Наука. 350 с.
- Лучинина В.А. 1975. Палеоальгологическая характеристика раннего кембрия Сибирской платформы (юго-восток) // Новосибирск: Наука. 100 с.
- Рейтлингер Е.А. 1948. Кембрийские фораминиферы Якутии // Бюлл. МОИП, отд. геол. Т. 23. Вып. 2. С. 77–82.
- Bornemann J.G. 1886. Die Versteinerungen des Cambrischen Schichtensystems der Insel Sardinien nebst vergleichenden Untersuchungen über analoge Vorkommnisse aus andern Ländern. Erste Abt. iii: Archaeocyathinae // N. Acta Acad. Caesar. Leopold.-Carol. Germ. Natur. Curiosorum. T. 51. № 1. S. 28–78.
- Laval B., Cady S.L., Pollack J.C. et al. 2000. Modern freshwater microbialite analogues for ancient dendritic reef structures // Nature. V. 407. № 6804. P. 626–629.
- Luchinina V.A. 2009. *Renalcis* and *Epiphyton* as different stages in the life cycle of calcareous algae // Paleontol. J. V. 43. № 4. P. 463–468.
- Luchinina V.A., Terleev A.A. 2008. The morphology of the genus *Epiphyton* Bornemann // Geologia Croatica. V. 61. № 2–3. P. 105–111.
- Pratt B.R. 1984. *Epiphyton* and *Renalcis* – diagenetic microfossils from calcification of coccooid blue-green algae // J. Sediment. Petrol. V. 54. № 3. P. 948–971.
- Riding R. 2011. Calcified cyanobacteria // J. Reitner, V. Thiel (eds). Encyclopedia of geobiology. Heidelberg: Springer. P. 211–223.
- Riding R., Brasier M. 1975. Earliest calcareous foraminifera // Nature. V. 257. № 5523. P. 208–210.
- Riding R., Voronova L.G. 1982. Recent freshwater oscillatoriacean analogue of the Lower Palaeozoic calcareous algae *Angulocellularia* // Lethaia. V. 15. № 2. P. 105–114.
- Rozanov A.Yu., Sayutina T.A. 1982. Microstructure of certain algae, archaeocyathids and cribricyathids // Proc. 3rd N. Amer. Paleontol. Conv. V. 2. P. 453–455.
- Zhuravlev A.Yu. 2001. Paleoecology of Cambrian reef ecosystems // J.D. Stanley (ed.). The history and sedimentology of ancient reef systems. N.Y.: Plenum Press. P. 121–157.
- Zhuravlev A.Yu., Wood R. 1995. Lower Cambrian reefal cryptic communities // Palaeontology. V. 38. № 2. P. 443–470.
- Zhuravlev A.Yu., Wood R.A. 2008. Eve of biomineralization: Controls on skeletal mineralogy // Geology. V. 36. № 12. P. 923–926.

СТАНОВЛЕНИЕ БИМИНЕРАЛИЗАЦИИ: ВЗАИМОСВЯЗЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

А.Ю. Журавлёв

Геологический институт РАН, Москва; Área y Museo de Paleontología, Facultad de Ciencias,
Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain; ayzhur@mail.ru

THE ONSET OF BIOMINERALISATION: INTERPLAY OF CLIMATIC AND ECOLOGICAL FACTORS

A.Yu. Zhuravlev

Geological Institute of RAS, Moscow; Área y Museo de Paleontología, Facultad de Ciencias,
Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain; ayzhur@mail.ru

Живые существа формируют скелет из таких минералов, которые позволяют сократить энергетические затраты, т.е. одновременно являются достаточно растворимыми, чтобы осуществлять их садку при нормальных условиях, но в то же время устойчивыми при данном климате и уровне $p\text{CO}_2$. Поэтому вполне закономерно, что в холодном климате эдиакарского периода и раннекембрийской эпохи карбонатные скелеты образовывались преимущественно из арагонита и высокомагнезиального кальцита (Mg-кальцит), а в средне-позднекембрийскую термозеру преобладали стали скелеты из низкомагнезиального кальцита (Ca-кальцит). Подобное чередование основным карбонатных биоминеральных разностей сохранилось на протяжении всего фанерозоя (Zhuravlev, Wood, 2008). Эти простые правила позволяют понять, почему эдиакарские и кембрийские организмы обладали скелетами из арагонита/Mg-кальцита или Ca-кальцита, но не объясняют, почему (1) кембрийское биоминерализационное событие уложилось в столь сжатые, по геологическим меркам, сроки (около 15 млн. лет), и почему (2) при одних и тех же условиях в разных группах организмов сложилось предпочтение к арагониту, Mg-кальциту, либо Ca-фосфату. Вероятно, оба эти вопроса имеют общую подоплеку.

Так, вслед за повышенной мышечной активностью, поддерживаемой в основном за счет быстрого накопления в мускулах молочной кислоты в условиях анаэробного метаболизма, которая необходима для выработки АТФ, позвоночные испытывают продолжительный период понижения уровня pH во внеклеточных жидкостях и повышенный ацидоз (Ruben, Bennett, 1987). Выработка молочной кислоты, сопряженная с по-

нижением внеклеточного pH, ведет к частичному растворению скелета и одновременно к гиперкальциемии сосудов, поэтому высокая стабильность Са-фосфата позволяет позвоночным использовать именно этот минерал для образования скелета. В эволюционной ретроспективе биоминерализация у позвоночных началась именно с появления скелетных элементов ротового аппарата у активно плавающих хищников (конодонты) и фильстраторов-микрофагов (гетеростраки), представляющих базальные группы челюстноротых (Donoghue, Sansom, 2002). Та же связь между активностью, хищным образом жизни и биоминерализацией, возможно, объясняет и фосфатный состав ловчего аппарата ранних хетогнат, известных как протоконодонты (Vannier et al., 2007). Другой группой скелетных беспозвоночных, обладающей анаэробным метаболизмом с выработкой молочной кислоты для достижения высокого уровня мускульной активности с последующей фазой понижения внеклеточного уровня pH, являются быстро бегающие наземные и активно плавающие хищные крабы – членистоногие с фосфатным скелетом (Full, Hergeid II, 1984). Некоторые из первых членистоногих, составлявших значительную часть кембрийского биоразнообразия, также обладали фосфатной кутикулой и принадлежали к активным хищникам – микро- и макрофагам.

Другие распространенные группы кембрийских организмов обладали карбонатными скелетами. Преобладание Са-кальцита над Mg-кальцитом и арагонитом, или наоборот, в основном объясняется изменениями в $p\text{CO}_2$, влияющими на pH морских вод, а также изменениями в соотношении ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} (Zhuravlev, Wood, 2008; Ries, 2010). Хотя арагонит, благодаря лучшей упаковке кристаллической структуры и двойникованию, не имеет плоскостей кливажа, способствующих развитию трещины, которые распространяются вдоль градиента наименьшего рассеивания энергии (Weiner, Addadi, 1997), Кроме того, кристаллы этого минерала имеют небольшие размеры и игловидную форму или формируются в виде сферулитов с высокой пористостью. Кальцит может формироваться в виде крупных кристаллов, но очень хрупких, которые легко расщепляются вдоль плоскостей {10.4}, называемых плоскостями «ромбоэдра раскалывания», и поэтому даже многослойные кальцитовые раковины при сходной микроструктуре уступают в прочности арагонитовым (Zhang et al., 2011). Эти исходные различия в свойствах карбонатных минералов, вероятно, отражаются в характере их использования организмами с разными жизненными стратегиями. Большинство кембрийских организмов, принадлежавших к водорослям и прикрепленным метазою с низким уровнем организации (археоциаты, крибрициаты, коралломорфы), вряд ли обладали достаточно высоким уровнем метаболизма для формирования сложных скелетов. В этом случае востребован был менее «дорогой» строительный материал, подобный Mg-кальциту. Его физические свойства – неплотная кристаллическая упаковка и хрупкость, связанные со слабым контролем над ориентировкой кристаллов, – компенсировались за счет формирования массивных скелетов, обычно укрепленных обильными вторичными отложениями. Образ жизни неприкрепленных сидячих и подвижных животных вряд ли сопрягался с формированием мощного скелета, но различные арагонитовые минеральные композиты удовлетворяли как требованиям защиты (прочность) так и подвижности (легкость). Скажем, перламутр, является примером такого биоминерального композита на основе поликристаллического карбоната Са, обладающего прекрасными механическими свойствами, несмотря на хрупкость отдельных компонентов. Хотя перламутр содержит всего 1% органического вещества, перламутр отличается более высокой жесткостью, прочностью и устойчивостью, чем другие композиты; он в 1000 раз более устойчив к раскалыванию, чем единичный кристалл арагонита и в 10 раз его прочнее (Vincent, 2001). Даже менее совершенные арагонитовые структуры, наблюдающиеся у анабаритов, хиолитов, оболеллятных брахиопод и других кембрийских неприкрепленных сидячих и малоподвижных животных могли служить для формирования достаточно прочных, но в то же время энергетически выгодных скелетов. Са-кальцитовые структуры, хотя по своим механическим свойствам и уступают арагониту, стали необходимостью в условиях термоэры. Кроме того, по крайней мере минерализованная кутикула ракообразных отличается высокими механическими свойствами (Sachs et al., 2006).

В кембрийскую диверсификацию наблюдается удивительное совпадение тенденций в биоминерализации и динамике становления экологических гильдий (Wood, Zhuravlev, 2012). У прикрепленных форм в основном развивались массивные скелеты из Mg-кальцита, у неприкрепленных сидячих – арагонитовые покровы, подвижный бентос приобретал либо арагонитовые, либо Са-кальцитовые склеритомы и панцири, тогда как активно плавающий нектон складывался из хетогнат и конодонтов с фосфатными зубами и членистоногих с фосфатными и Са-кальцитовыми кутикулами. Этот тренд показывает эволюционный успех тех эдиакарских и кембрийских групп, которые характеризовались наиболее высоким уровнем метаболизма и активности: активные нектонные хищники с фосфатными зубами и подвижный бентос с прочными и жесткими арагонитовыми раковинами, несмотря на высокую энергетическую цену своих скелетов, составляли к концу кембрия 70–80% от родового разнообразия, против 30–40 % в начале периода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Donoghue P.C.J., Sansom I.J. 2002. Origin and early evolution of vertebrate skeletonization // *Microsc. Res. Tech.* V. 59. № 5. P. 352–372.
- Full R.J., Hergeid C.F. II. 1984. Fiddler crab exercise: The energetic cost of running sideways // *J. Exp. Biol.* V. 109. № 1. P. 141–161.
- Ries J.B. 2010. Review: geological and experimental evidence for secular variation in seawater Mg/Ca (calcite-aragonite seas) and its effects on marine biological calcification // *Biogeosci.* V. 7. № 9. P. 2795–2849.
- Ruben J.A., Bennett A.A. 1987. The evolution of bone // *Evolution.* V. 41. N 6. P. 1187–1197.
- Sachs C., Fabritius H., Raabe D. 2006. Hardness and elastic properties of dehydrated cuticle from the lobster *Homarus americanus* obtained by nanoindentation // *J. Mater. Res.* V. 21. № 8. P. 1987–1995.

- Vannier J., Steiner M., Renvoisé E. et al. 2007. Early Cambrian origin of modern food webs: evidence from predator arrow worms // Proc. Roy. Soc. B. V. 274. P. 627–633.
- Vincent J.F.V. 2001. Ceramics from invertebrate animals / M. Levy, H. Bass, R. Stern (eds). Handbook of elastic properties of solids, liquids, and gases. V. III: Elastic properties of solids. N.Y.: Academic Press. P. 213–226.
- Weiner S., Addadi L. 1997. Design strategies in mineralized biological materials // J. Mater. Chem. V. 7. № 5. P. 689–702.
- Wood R.A., Zhuravlev A.Yu. 2012. Escalation and ecological selectivity in the Cambrian Radiation of skeletons // Earth-Sci. Rev. V. 115. P. 249–261.
- Zhang J., Tong J., Li C. et al. 2011. The study on toughening mechanical properties of stacked microstructure of shell // CISME. V. 1. № 9. P. 39–43.
- Zhuravlev A.Yu., Wood R.A. 2008. Eve of biomineralization: Controls on skeletal mineralogy // Geology. V. 36. № 12. P. 923–926.

СФЕРИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ БИОМОРФНЫХ СТРУКТУР БИОСИЛИЦИТОВ В ОЧАГАХ РАЗГРУЗОК ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ КАМЧАТКИ (КАЛЬДЕРА УЗОН)

Л.В. Зайцева¹, Е. А. Жегалло¹, Г.А. Карпов²

¹ Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, l.zaytseva@mail.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

SPHERICAL FORMATIONS AND BIOMORPHIC STRUCTURES' PECULIARITIES OF BIOSILICITES FORMED (AROSE) IN THE HOT SPRINGS' DISCHARGE AREAS IN KAMCHATKA (CALDERA OF UZON)

L.V. Zaitseva¹, E.A. Zhegallo¹, G.A. Karpov²

¹ Borissiak Paleontological Institute of RAS, Moscow, l.zaytseva@mail.ru

² Institute of Volcanology and Siesmology, Far East Division RAS, Petropavlovsk-Kamchatskii

В 2009 г. в кальдере Узон нами были обнаружены осадки в виде тонких корочек, отлагающихся в зоне растека воды, выливающейся из скв. К-4. Был обнаружен участок с формированием корочки биосилицита (1), которая имела четкое зональное строение. Полевые наблюдения и лабораторные исследования этого осадка, формирующегося в настоящее время, позволили выявить некоторые его характерные особенности. На поверхности гравелитово-глинистой площадки образовалась кремнистая корочка и макроскопически имела четкую зональность (рис. 1).

Общая толщина корочки достигала 4–6 мм. Визуально можно было выделить несколько зон разной плотности и цвета. Верхний слой серо-белого цвета, около 1 мм, глубже шел ярко выраженный 0.2–0.5 мм слой осадка серо-зеленого цвета, далее зона белого цвета 1–2 мм. В основании осадка обнаружен слой с рыхлой текстурой около 2 мм, мажущей руки, как мел. В химическом составе вещества корочки преобладает кремний ($\text{SiO}_2=88.5\%$), достаточно много кальция ($\text{CaO}=1.5\%$). Среди микропримесей отмечены К, Na, Al, Fe, Ti, Ba, As, Cu, P, S.

Исследование вещества осадка проводили в ПИН РАН на сканирующем электронном микроскопе Zeiss EVO50 XVP с микроанализатором INCA Oxford 350, что позволило выявить структурно-текстурные особенности его микроструктуры и состава. Наблюдение исследуемой кремнистой корочки показало: внешний слой (1) – рыхловатый слой толщиной 100–200 мкм представлен окремненной биотой: нитчатые чехлы облеплены выпавшим кремнеземом. Далее в следующем сверху вниз слое (2) наблюдается увеличение количества кремнезема, свободные полости исчезают, формируется монолитный слой толщиной 200–500 мкм, преимущественно кремнеземного состава (рис. 2,а). Ниже идущий слой (3) толщиной 200–300 мкм (рис. 2,а), с сотовой (пузырчатой) массой кремнезема включающей в свой состав С, N, Fe (рис. 3, 2) и кавернозными, хаотично заполненными участками. Ниже по слою пустоты в пузырьчатой массе заполнены шаровидными сферами, состоящими из сфер кремнезема меньшего диаметра. Здесь превалируют сферы и полусферы размером порядка 10–15 мкм (рис. 2,б). Ниже в зоне развития кавернозной структуры наряду с отдельными сферами присутствуют нитчатые микроорганизмы (рис. 2,в) – это следующий слой (4) – пузырьчатый слой с минерализованными нитями толщиной около 1000 мкм. Следующий слой (5), определенный визуально, как 0.2–0.5-миллиметровый слой осадка серо-зеленого цвета, под электронным микроскопом показывает (рис. 2,е) присутствие минерализованного кремнеземом органического вещества (гликокаликса). Ниже идущий слой (6) – достаточно рыхлый слой тянущихся вверх нитей (рис. 2,д), толщиной 1–2 мм. Близкий к основанию слой (7) образует «войлок» из минерализованных нитей разной толщины (рис. 2,е), сцементированный кремнеземом, в состав которого входят в некоторых количествах и другие элементы (Mn, Cu). В самом основании исследуемого участка гейзерита можно наблюдать обломки чехлов нитей, сцементированные кремнеземом.

При рассмотрении результатов исследования можно отметить ряд интересных особенностей образования данного участка гейзерита. Состав слоя 2 и 3 (рис. 3) отличается присутствием алюминия в монолитном слое 2, что, вероятно, влияет на свойства монолитной корки кремнезема, которая удерживает выход

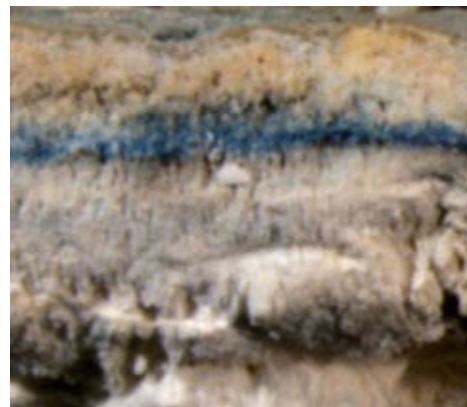


Рис. 1. Кремнистая корочка, толщина 4–6 мм.

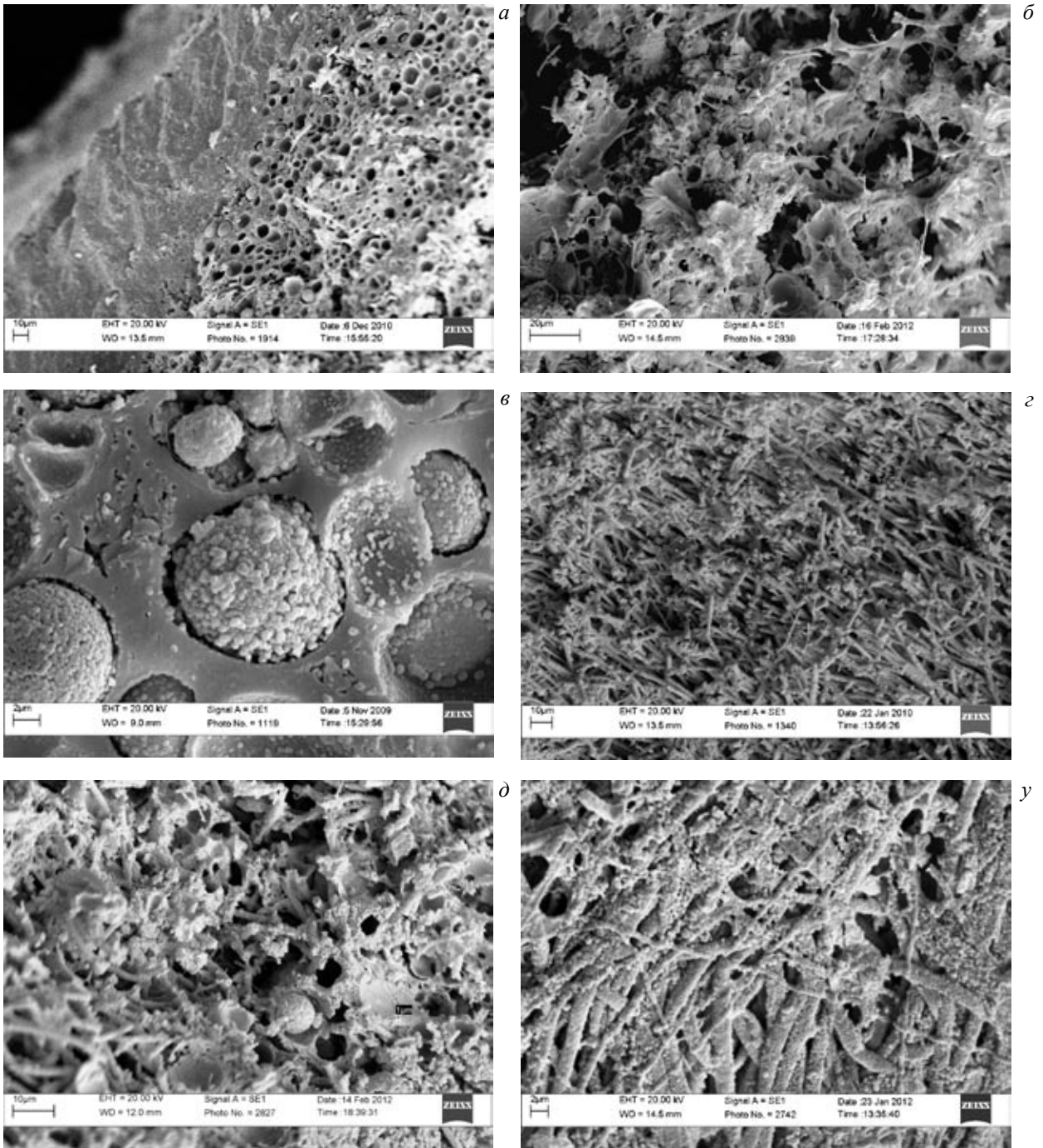


Рис. 2. Фото СЭМ участков слоев кремнистой корочки.

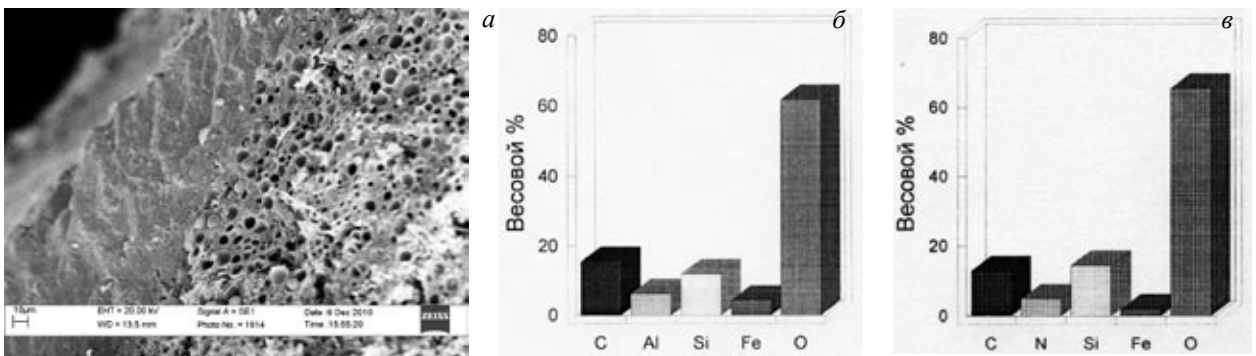


Рис. 3. а – фото СЭМ, слои 1, 2, 3 корки гейзерита, б – диаграмма состава вещества слоя 2, в – диаграмма состава вещества слоя 3.

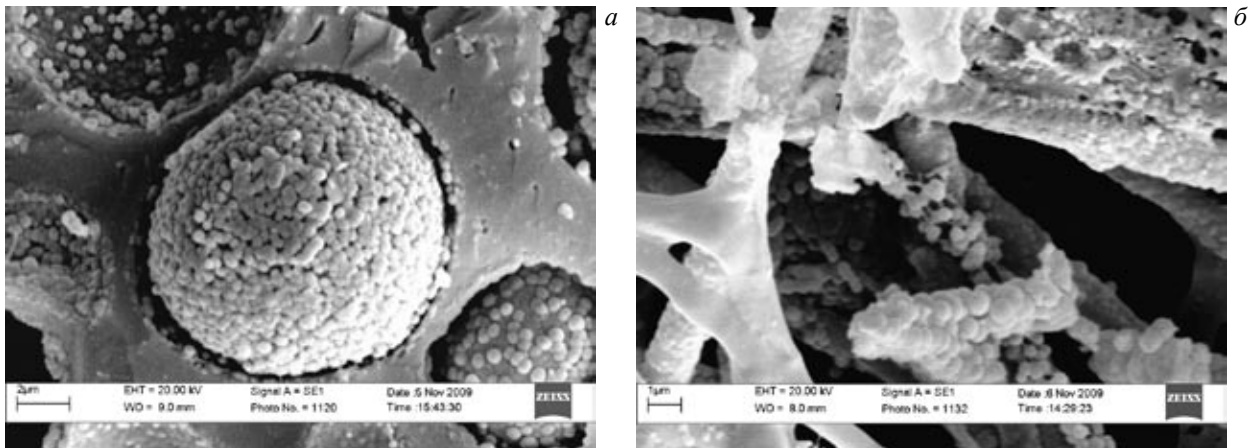


Рис. 4. Фото СЭМ: *a* – сферические образования кремнезема размером до 15 мкм, *б* – сферические частицы кремнезема на чехлах цианобактериальных нитей.

образующегося ниже в слое цианобактерий при фотосинтезе, кислорода, а также и других растворенных в термальных водах газов, способствуя образованию сотовой структуры в нижележащих слоях изучаемого участка корки гейзерита.

Слой (5) – окрашенный слой серо-зеленого цвета с большим содержанием органического вещества минерализованного гликокаликса (полисахарида), который выделялся живой микробиотой, в большей мере цианобактериями, под воздействием высокоминерализованных термальных растворов и высоких температур. Другие продукты активной жизнедеятельности цианобактерий, в том числе и хлорофилл влияли на состав и строение, образованного гейзерита. Наличие хлорофилла в этом слое было определено присутствием его в спиртовой вытяжке из этого слоя.

Сферические образования кремнезема были изучены на разных участках исследуемого образца гейзерита (рис. 2, *б*, рис. 4, *а*, *б*). Результаты измерений частиц на электронно-микроскопических фотоснимках этих участков позволили построить кривую распространенности размеров радиусов частиц кремнезема (рис. 5). Кривая показывает, что для измеренных сферических частиц кремнезема на изученном участке гейзерита характерно три размера: 170 нм, 300–400 нм и 500 нм. При этом размер сфер не превышает 600 нм, что соответствует размерам монодисперсных частиц, полученных при синтезе в работе (2). В сколах некоторых сфер можно наблюдать то, что они состоят из множества других более мелких сфер, которые плотно упакованы. Стенки пустых ячеек часто инкрустированы мельчайшими, порядка 0.2–0.3 мкм, округлыми частичками коллоидного окисла кремнезема.

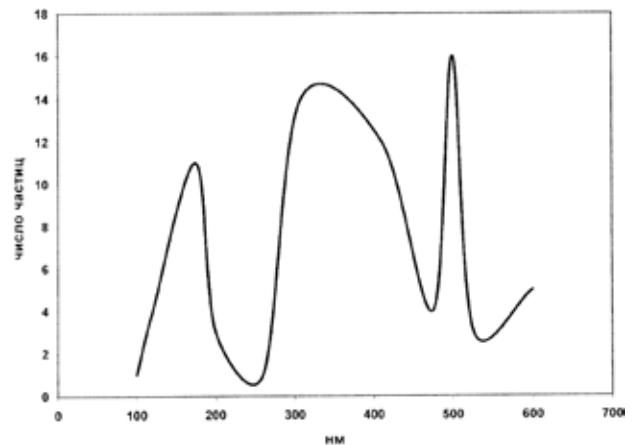


Рис. 5. Распространенность размеров радиусов частиц кремнезема.

Материал исследований показывает: изученная нами слоистость корочек биосилицитов, по-видимому, свидетельствует о сезонности отложения вещества. Можно полагать, что в летний – вегетационный период формируются слои с повышенным содержанием органики. Нам впервые удалось установить присутствие углерода и азота в биосилицитах. Пузырчатые структуры, по нашему мнению, фиксируют участки фотосинтетического выделения газов термофильной биотой. Хемогенное осадкообразование возможно сопряжено с активным процессом жизнедеятельности термофильных микроорганизмов, клетки и колонии которых выступают в роли механических затравок для поликонденсации частиц кремнезема, а гликокаликс которых служит, с одной стороны защитой микроорганизмов, а с другой – своеобразным катализатором процесса их постмортальной силификации. Обнаруженную нами тримодальность распределения сферических частиц кремнезема в осадке можно связывать с вариабельностью температуры, pH и условий активности микробиологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Жегалло Е.А., Карпов Г.А., Лупкина Е.А. и др. 2007. Фоссилизированная альго-бактериальная флора гейзеров Камчатки // Альгология. Т. 17. № 1. С. 88–92.
- Камашев Д.В. 2007. Синтез, свойства и модели образования надмолекулярных матриц кремнезема // Происхождение биосферы и коэволюция минерального и биологических миров. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ Уро РАН. С. 29–44.

ВОДОРΟΣЛИ *TASMANITES* NEWTON, 1875 И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ СТРАТИГРАФИИ И НЕФТЯНОЙ ГЕОЛОГИИ

Е.Н. Здобнова

ООО «ЛУКОЙЛ-ВолгоградНИПИморнефть», Волгоград, volgapalyn@bk.ru

ALGAE *TASMANITES* NEWTON, 1875 AND THEIR ROLE FOR STRATIGRAPHY AND PETROLEUM GEOLOGY

E.N. Zdobnova

«LUKOIL-VolgogradNIPImorneft» Ltd», Volgograd, volgapalyn@bk.ru

Водоросли рода *Tasmanites* Newton отнесены к семейству *Tasmanitaceae* порядка *Pterospermatales* отдела *Prasinophyta* (Tarran, 1980). Встречаясь от протерозоя до ныне, водоросли образуют массовые скопления, приуроченные к верхнесилурийским, девонским, каменноугольным, пермским и верхнеюрско-нижнемеловым прибрежно-морским отложениям. Они имеют определенный и соответствующий только им химический состав (молекулярная формула $C_{90}H_{121-134}O_{11-17}$), который указывает на них как на возможные источники углеводородов (Taugourdeau-Lantz, 1979).

Жизненный цикл тасманаций обеспечивается двумя стадиями: подвижной жгутиковой и неподвижной цистовой. Образование зародышей цисты и инцистирование является неотъемлемой частью репродуктивного цикла. Объектами исследований палинологов являются водоросли неподвижной цистовой стадии. Цисты рода *Tasmanites* Newton имеют характерную сфероидальную или дискоидальную толстую оболочку (гладкую или смятую в складки), пронизанную порами-каналцами, пиллом и оторочку по внешнему краю.

Водоросли обладают высокой степенью адаптивности за счет миксотрофного типа питания, эвритермности, эвригалинности, инцистирования и способности к вертикальной миграции (Eisenack, 1963; Ефремова, 1987). При наступлении комфортных для них условий: температуры, солености, большого количества пищевых ресурсов, главным образом, азота, фосфора и, возможно, наличие радиоактивных элементов, быстро растет численность их популяции. Повышенная биопродуктивность (цветение воды) прازیнофитов в современных условиях наблюдается на границе река-море, например, после ливневого сброса рек.

Тасманации – планктонные организмы. В современных условиях они заселяют в морях и океанах тропиков фотическую зону – слой воды глубиной до 100 м. Материалом для исследований послужили богатые палинокомплексы с преобладанием *Tasmanitaceae*, выделенные из разнофациальных нижнепермских отложений западной и юго-восточной частей Прикаспия. Среди прازیнофитов встречаются гладкие и сетчатые (сотовидные), смятые складками и причудливо частично завернутые оболочки: *Tasmanites medius* Eis. (рис. 1), *T. kaljoi* Tim., *T. martinsonii* Eis., *T. morai* Sommer, *T. tardus* Eis., *T. compactus* (Lub.) Zdob., *T. robustus* (Lub.) Zdob., *T. spinireticulatus* (Abr. & Mar.) Zdob., *T. caspius* Zdob., *T. polymorphus* Zdob. (Здобнова, 2011а).

Фоссилизированные цисты тасманаций, как и микрофитофоссилии, при накоплении мощных толщ осадочных пород подвержены процессам катагенеза, основной из составляющих которого является температура (Степанов, 1984).

Первые попытки использовать свойство их оболочек, состоящих из спорополленина и близких к ним биополимеров, изменять свой цвет под действием теплового поля были предприняты в 60-е гг. Гутьяром был предложен оптический метод определения уровня катагенеза ОВ по их цветовой гамме, который получил развитие в работах зарубежных (Gutjahr, 1966; Corgeia, 1969; Staplin, 1969) и российских авторов (Ровнина, 1984).

Совместно с углепетрографами Л.В. Ровниной была разработана семибалльная (Ровнина, 1984), а позднее, восьмибалльная (Ровнина, 2005) цветовая шкала микрофитофоссилий, привязанная к значениям отражательной способности витринита и стадиями катагенеза.

В отличие от предыдущих исследователей в качестве объекта определения катагенетической преобразованности выбраны водоросли *Tasmanitaceae*. Перед другими палинологическими группами они имеют ряд преимуществ: широкое стратиграфическое распространение, простая морфология, преимущественно крупные размеры и толщина цист, обеспечивающая равномерный рост интенсивности цвета. Кроме этого, они являются показателями морских условий, характеризую сапропелевый тип органического вещества.

Эти особенности позволили использовать их в качестве индикаторов палеотемператур. Тасманации имеют способность изменять свой цвет, как и все микрофитофоссилии, под воздействием теплового поля. Видимое изменение цвета – это результат процесса карбонизации, при котором происходит уплотнение углеводородных структур под воздействием температур. Степень теплового воздействия пропорциональна степени карбонизации углеводородных полимеров и интенсивности их цветовой гаммы: чем выше температура воздействия, тем выше степень карбонизации и степень интенсивности цвета, приобретенного цистами.

В данной работе автор представляет исследования, являющиеся продолжением изучения тасманаций в области установления палеотемператур и стадий катагенеза палинологическим методом (Здобнова, Остроухов, 2008) по цветовой шкале цист водорослей (тасманаций) под действием температур, которая получена на основе эталонных образцов (Ragozina et al., 1986).

Эта цветовая шкала была усовершенствована и адаптирована к палинологическим исследованиям (Здобнова, 2011б). Для этого в каждом эталонном образце определен усредненный цвет-таксон *Tasmanites medius* Eis., соответствующий определенной температуре. Полученные цвет-таксоны помещены над соответствующими им эталонными температурными отметками. Близкие по оттенкам усредненные цвет-таксоны были

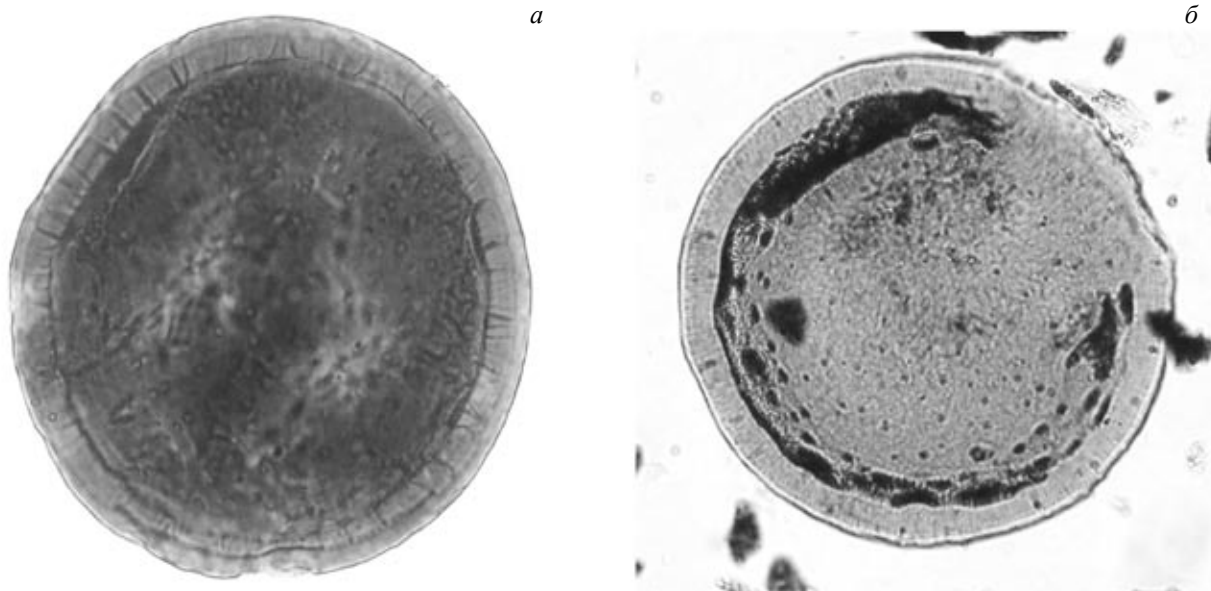


Рис. 1. *Tasmanites medius* Eisenack: а – скв. 265 Лободинская, инт. гл. 5708–5721 м, обр 10, № 1/1015, саргинский горизонт, х500; б – скв. 2 Ракушечная, гл. 1201.49 м, обр 2/30, № 2/209, апт, х500.

сгруппированы в цвет-индексы. Построенная таким образом цветовая шкала с 10 цвето-оттеночными индексами, разработанными для *Tasmanites medius* Eis с шагом 20–30 °С, позволила определить палеотемпературы в интервале 80–220 °С, при котором происходит изменение цвета от желтого до черного с рядом характерных переходных оттенков. При дальнейшем увеличении температуры они становятся пепельно-серыми, истончаются до полупрозрачности и, в конечном счете, разрушаются.

В цветовой шкале выделяются три основные зоны: в первой зоне, соответствующей зоне протодиagenеза, цисты остаются желтыми, в последней зоне – зоне апокатагенеза – стабильно черными и пепельно-серыми. Располагающийся между ними интервал температур 90–220 °С характеризует зоны мезокатагенеза и частично – апокатагенеза, соответствующие основным фазам нефтеобразования и частично газообразования.

Изучение изменения цвета цист тасманацей под действием палеотемператур проведено на большом количестве образцов, содержащих спектры микрофоссилий с *Tasmanaceae* из нижнепермских и нижнемеловых отложений Прикаспийской впадины и Северного Каспия. Палинологические данные сопоставлены с определениями палеотемператур и степени преобразованности ОБ по плотности пород (Степанов, 1984) и результатами отражательной способности витринита (ОСВ), соотношенными с основными грациями по шкале катагенеза (Амосов, 1979; Вассоевич, 1976).

При изучении одного и того же образца отмечаются разноцветные водоросли *Tasmanites*, которые отличаются разной степенью преобразованности. Обычно такие спектры характерны для слоев вблизи границ размыва, часто приуроченные к границам стратонев. Это свидетельствует об огромном поступлении вместе с терригенным материалом органического вещества разной степени преобразованности.

В изученных отложениях, вскрытых бурением, отмечен постепенный рост палеотемператур сверху вниз, выраженный в равномерном цветовом изменении интенсивности цвета от желтого до оттенков коричневого, подтвердил стратиграфически наиболее полные разрезы.

В других разрезах палеотемпературные скачки, установленные по резкому изменению цвета тасманацей, подтверждены стратиграфически несогласием. Резкие изменения (непоследовательная смена цветов в ряду цвет-индексов по шкале тасманацей) в разрезе соответствуют скачкам палеотемператур, характеризующих катагенетические несогласия.

В разрезах палеозойских отложений Волгоградского Заволжья палеотемпературные скачки определены по резкому изменению цвета цист тасманацей на границе нижнепермских и каменноугольных отложений. Максимальный скачок палеотемператур 40 °С зафиксирован в скважине-1 Упрямовская на границе саргинских (артинских) и подольских (московских) отложений. Мощность эрозионного среза по расчетному геотермическому градиенту в отложениях данной скважины составляет 1.6 км (Здобнова, 2011б).

Изучение степени преобразованности водорослей *Tasmanites* Newton с определением палеотемператур в разрезах позволяют расширить возможности палинологического метода, который успешно применяется для решения задач стратиграфии и нефтяной геологии:

- установить толщи переотложения;
- подтвердить перерывы в осадконакоплении, обусловленные размывами;
- рассчитать геотермический градиент и мощность эрозионного среза;
- выделить вертикальную (палеотермоглубинную) и латеральную зональность палеопрогрева в изученных отложениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ефремова Г.Д. 1987. Верхнепалеозойские прازیнофиты востока и юго-востока Русской плиты // Стратиграфия и палеонтология палеозоя Прикаспийской впадины. М.: ВНИГНИ. С. 93–102.
- Здобнова Е.Н. 2011а. Новые виды тасманецей из нижнепермских отложений Волгоградского Заволжья // Геология и разработка месторождений Нижнего Поволжья и Северного Каспия Тр. «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ВолгоградНИПИморнефть». Волгоград. Вып. 70. С. 46–51.
- Здобнова Е.Н. 2011б. Водоросли *Tasmanites* Newton, 1875 нижнепермских подсолевых отложений Волгоградского Заволжья и их значение для стратиграфии и нефтяной геологии // Изв. Саратовского ун-та, сер. Науки о Земле. Вып. 2. С. 57–63.
- Здобнова Е.Н., Остроухов С.Б. 2008. Палинологические исследования для оценки катагенеза пород Прикаспийской впадины в комплексе геолого-геохимических исследований // Палинологические исследования для оценки катагенеза пород Прикаспийской впадины. Тр. «ЛУКОЙЛ-ВолгоградНИПИморнефть». Волгоград. Вып. 67. С. 145–151.
- Ровнина Л.В. 1984. РД-39-11-1142-84. Определение исходного типа и уровня катагенеза рассеянного органического вещества палинологическим методом. М.: ИГиРГИ. 18 с.
- Ровнина Л.В. 2005. Палинологический метод в оценке катагенеза органического вещества // Мат-лы 11 Всерос. палинол. конф. «Палинология: теория и практика». М.: ПИН РАН. С. 90–91.
- Степанов А.Н. 1984. Геохимические и термодинамические критерии прогноза фазово-генетических типов углеводородных скоплений на больших глубинах (на примере западной части Терско-Каспийского прогиба. Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Л.: ВНИГРИ. 23 с.
- Correia A. 1969. Contribution a la recherche de zones Favorables a la genese du petrole par l'observation microscopique de la matiere organique figure // Rev. de l'Inst. Francais Petrol. № 24. P. 1417–1454.
- Eisenack A. 1963. Mittelungen zur Biologie der Hystrichosphaeren und über neue Arten // Neues J. Geol. Paleontol. Abhand. Bd. 118. P. 207–216.
- Gutjahr C.C.M. 1966. Carbonization measurements of pollen grains and spores and their application // Leidse Geol. Mededelingen. № 38. P. 1–29.
- Ragozina A., Mokri V., Ostrouchkov S., Chaouche A. 1986. Les Tasmanites du Paleozoique Saharien et Leur Contribution dans la Fomation des Hydrocarbures // Division Hydrocarbures, Direction Laboratoire Central des Hydrocarbures, Boumerdes Fevrier. P. 50.
- Staplin F.L. 1969. Sedimentary organic, organic metamorphist, and oil and gas occurrence // Canadian Petrol. Geol. Bull. V. 17. № 1. P. 47–66.
- Tappan H. 1980. The Paleobiologi of Plant Protist. San Francisco: W.H. Freeman and Company. 1028 p.
- Taugourdeau-Lantz J. 1979. Les Tasmanacees, kystes de Prasinophyceae fossiles // 2 Intern. Symp. Fossil Algae. Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine. V. 3. № 2. P. 833–841.

ЦИАНО-БАКТЕРИАЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА КАК НАЧАЛЬНЫЙ ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ

Г.М. Зенова¹, А.И. Кузнецова¹, Е.А.Иванова¹, К.Р. Напольская¹, А.С. Манучаров¹,
В.К. Орлеанский², Н.В. Шадрин³, Г.А. Карпов⁴, Л.В. Зайцева⁵, Е.А. Жегалло⁵

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, zenova38@mail.ru

²Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, Москва, annacyano@gmail.com

³Институт биологии южных морей НАН Украины им. А.О. Ковалевского,
Севастополь, snickolai@yandex.ua

⁴Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, karpovga@kscnet.ru

⁵Палеонтологический институт им. А.А. Борисьяка РАН, Москва, ezheg@paleo.ru

CYANO-BACTERIAL COMMUNITIES AS THE INITIAL FACTOR OF SOILS FORMATION

G.M. Zenova¹, A.I. Kuznetsova¹, E.A. Ivanova¹, K.R. Napolskaya¹, S.A. Manucharov¹,
V.K. Orleansky², N.V. Shadrin³, G.A. Karpov⁴, L.V. Zaitseva⁵, E.A. Zhegallo⁵

¹Lomonosov Moscow State University, zenova38@mail.ru

²Winogradsky Institute of microbiology RAS, Moscow, annacyano@gmail.com

³Kovalevsky Institute of biology of the southern seas NAS of Ukraine, Sevastopol, snickolai@yandex.ua

⁴Institute volcanology and seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, karpovga@kscnet.ru

⁵Borisiak Paleontology Institute RAS, Moscow, ezheg@mail.ru

Цель сообщения показать, что циано-бактериальное (альгобактериальное) сообщество является начальным этапом образования и формирования наземного субстрата, называемого почвой, являющегося основой наземной жизни на нашей планете.

Принято считать, что вода основа биологической жизни и микроорганизмы (бактерии и водоросли) живут в водной среде, формируя циано-бактериальные сообщества. На дне мелководных водоемов они образуют пленку. Со временем эта пленка может образовать слоистую структуру (циано-бактериальный мат). В геологических отложениях эти слоистые маты сохранились в виде слоистых структур, которые получили название строматолиты.

Самые древние строматолиты датируются возрастом более 3.5 млрд. и более лет назад. Бактериальные палеонтологи считают, что в это самое время на планете Земля произошла своеобразная «экологическая революция» и микроорганизмы, в частности представители цианобактерий – *Cyanobacteria* (*Cyanoprokaryota*) «вышли из воды на сушу» и адаптировались к жизни в газовой среде. Надо думать, что на такой «подвиг» их вынудила сама Природа, поскольку мелкие водоемы, в которых существовали эти микроорганизмы, в то время постоянно пересыхали и бактериальные организмы, чтобы выжить, вынуждены были приспосабливаться.

Современные полевые и лабораторные наблюдения показали, что один из основных методов приспособления – это образование слизи вокруг клеток организма. Данное явление отмечается микробиологами в виде слизистых чехлов около бактерий на твердых средах.

Цианобактерии также имеют слизистые чехлы. Отмечается, что некоторые из этих организмов выделяют слизь в таких количествах, что по объему она значительно превосходит массу самих цианобактерий. Некоторые организмы пошли еще дальше (например, актиномицеты, постоянные компоненты сообщества) и начали формировать субстратный и воздушный мицелий. Образование споронного воздушного мицелия дало возможность актиномицетам, а затем и грибам, активно распространять по воздуху споры и занимать большую территорию.

Для тех, кто работает с нитчатными осцилляториевыми цианобактериями, это явление «выход из воды на сушу» сейчас постоянно отмечается в экспериментальных сосудах, когда стенки колб (выше уровня жидкой среды) постоянно зарастают нитями осцилляториевых (рис. 1).

В природе факт роста водорослей по твердой поверхности камней отмечается постоянно. В городских условиях это можно видеть на стенах зданий и камнях (рис. 2).

Таким образом, поселение фотосинтезирующих организмов (водорослей) с бактериальным, а затем с грибным сообществом, авторы рассматривают как начальный этап образования специфического органоминерального субстрата земной поверхности, то есть почвы. В учебниках по почвоведению начальный почвообразовательный процесс, как правило, рассматривается именно через стадию коры выветривания под влиянием физических, химических и биологических факторов. Такой путь получил название почвообразование через «рухляк». Принципиально важно то, что экзометаболиты этих поселенцев, реагируя с минеральной структурой горных пород, активно разрушают эту структуру, способствуя образованию «рухляка» с обогащением его органикой. К настоящему времени накопился обширный литературный материал, подтверждающий это явление.

Авторы данной работы также изучали этот процесс. Выяснилось, что циано-бактериальное сообщество, вырастающее на вулканических пеплах, получает из них нужные для их роста вещества. На основе полученных данных, проведена аналогия между процессами, которые проходят в настоящее время в вулканических областях с процессами биогенного выветривания на вулканическом грунте на планете Земля, в начальный период развития жизни. Другие наши экспериментальные исследования показали, что порода каолин под влиянием жизнедеятельности цианобактерий разрушается и изменяется. Наиболее сильно идет преобразование хлорита, минерала богатого элементами минерального питания.

Полевые экспедиционные наблюдения на Кавказе показали, что в новообразующихся микролужицах на гигантских валунах поселялись цианобактерии и актиномицеты, которые создавали биопленку. В последующие годы (через 5–7 лет) в ряде таких ванночек, на образовавшейся органике, уже отмечались цветковые растения. На основе многочисленных данных сейчас разрабатывается международный проект, суть которого – закрепление песков, в Китае и во Внутренней Монголии, путем индуцирования на поверхности этих подвижных песков, образования циано-альго-бактериальной пленки.

Показано, что кроме циано-альго-бактериального сообщества поверхность горных пород (скалы, валуны) постоянно заселена другим водорослевым биоценозом: актинолишайниками (цианобактерии и актиномицеты), лишайниками (водоросли и низшие грибы), мхами (цианобактерии, зеленые водоросли и растения).

Авторами этого сообщения наиболее детально изучено взаимоотношение цианобактерий и актиномицетов. Такое сообщество получило название актинолишайник. В экспериментально сформированных цианобактериально-актиномицетных ассоциативных талломах показан симбиотический характер взаимодействия компонентов. Зафиксированы морфологические изменения в клетках цианобактерии и актиномицета в ассоциативном талломе по сравнению с монокультурами в контрольных условиях – изменение клеток цианобактерий, образование новых морфо-



Рис. 1. Экспериментальный сосуд с культурой осцилляториевых цианобактерий.



Рис. 2. Поселение фотосинтезирующих микроорганизмов на камнях.



Рис. 3. Подсохшие водорослевые корочки, выросшие на поверхности мелководного водоема.

бактерий по сравнению с монокультурой (концентрация хлорофилла *a* в монокультуре составила 34.7 мг/л, в ассоциации – 43.1 мг/л).

Имеется другой – параллельный – путь формирования почвы, особенно почв платформенного типа. В учебниках второй путь практически не освещается. Предполагается, что почва образуется как результат морской регрессии. Известно, что материка планеты Земля находятся в постоянном движении. В те периоды, когда часть материка поднимается (скорость такого поднятия по современным данным 1–20 мм в год), дно моря обнажается с образованием болот.

Авторы данной работы, вслед за своими российскими предшественниками-почвоведом (одним из которых был ученый-почвовед В.А. Ковда), поддерживают эту версию и считают, что современные платформенные почвы формировались на месте мелководных морских лагун, образовавшихся при регрессии моря или в условиях заболачивания речных долин, а также мелководных водоемов, оставшихся после таяния ледника во время последнего Валдайского оледенения, то есть через болотистую стадию. Фактический материал по геологической истории Русской равнины показывает, что почвы на ней расположены в основном на морских отложениях. По мере подъема территории и понижения базиса эрозии шли эрозионные процессы с образованием речных террас, меандр, мелководных речных плесов. Имеются данные о гидроморфном характере черноземовидных почв Западной Сибири, Дальнего Востока и других территорий. Наши наблюдения показали, что и в этом случае циано-альго-бактериальное сообщество является начальным звеном колонизации поверхности литорально-песчанно-илистой территории с образованием илесто-органического субстрата.

Полевая экспедиционная работа по этой научной теме была проведена авторами на территории Крыма (Украина), где имеется много водоемов (лагун) глубиной несколько десятков сантиметров, отгороженных от моря песчаными барами. Периодическое пополнение водой происходит во время дождей или штормов. В лагунах отмечается активный рост водорослей (зеленых и цианобактерий), образующих слоистые циано-альго-бактериальные маты. Это довольно мощные пленки с созданием до 3.5 кг и более сырого веса на кв. м. При высыхании такие пленки образуют корочки, на которых при повторном смачивании появляются новые пленки, накладывающиеся на предыдущие, с образованием новых слоев (рис. 3).

В результате вышеизложенных процессов в профиле накапливается органика, созданная водорослями, которая является благодатным субстратом для дальнейшего поселения высших растений (солянки, камыши, осоки и т. д.). С появлением высшей растительности водная поверхность водоемов затеняется, и ареал роста водорослей уменьшается. Они продолжают свой рост в окнах без высшей растительности, но так же продолжают накапливать биомассу и своими экзометаболитами продолжают разрушать структуру геологических пород дна водоема.

Органика водорослей способствует плодородию и урожайности сельскохозяйственных культур. Убедительно показано, что количество органического вещества в почве в результате активного роста почвенных водорослей (за период 3 месяца) увеличивается на порядок. Эксперименты, проведенные нами на рисовых полях, которые периодически затопляются для выращивания рисовой сельскохозяйственной культуры, также показали, что в период затопления полей водой там могут активно развиваться водоросли, органика которых затем может способствовать увеличению урожайности риса.

Таким образом, с течением времени, на территории, где обитали и существуют в настоящее время циано-альго-бактериальные сообщества (практически начиная с докембрия), и там, где «рухляк» или дно мелководных водоемов обогащается органикой (гумусом), поселяются высшие растения, при этом процесс формирования почв значительно усиливается. Но фотосинтезирующие бактериальные организмы и сформированные ими сообщества являются «пионерами» этого процесса и вносят (и вносили ранее) первый вклад в этот важный для планеты Земля процесс.

Работа выполнена при поддержке Программы РАН «Проблемы происхождения жизни и становления биосферы», грантов РФФИ №№ 10-04-01475, 11-05-00572, 11-04-92202-Монг_а.

логических структур в талломе в виде слизистого матрикса, в который погружены контактирующие клетки цианобактерий и гифы актиномицета, в ассоциативном талломе обнаружены L-подобные клетки актиномицетов. Проведенные эксперименты убедительно показали изменение структуры глинистых минералов под влиянием развития наших модельных цианобактериально-актиномицетных ассоциаций. В модельных ассоциациях цианобактерий и актиномицетов отмечено достоверное увеличение количества хлорофилла *a* у циано-

О ВОЗМОЖНОЙ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ПРИРОДЕ ОДНОГО ДОКЕМБРИЙСКОГО «КИШЕЧНОПОЛОСТНОГО»

А.Ю. Иванцов

Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, ivancov@paleo.ru

THE POSSIBLE BACTERIAL NATURE OF A PRECAMBRIAN «COELENTERATE»

A.Yu. Ivantsov

Borissiak Palaeontological Institute of RAS, Moscow, ivancov@paleo.ru

Интерпретация докембрийских макроископаемых часто представляет собой трудно решаемую задачу, что объясняется с одной стороны отсутствием явных аналогов древним организмам в современной биоте, а с другой – избирательным сохранением лишь отдельных частей тел вымерших существ, их органов или тканей. Очевидно, например, что при фоссилизации только покровных образований самые простые ископаемые могут быть остатками организмов любой степени сложности. В морских поздневендских отложениях почти всех континентов распространены «мешковидные» отпечатки, определяемые как *Beltanelliformis brunsae* Menner, *Nemiana simplex* Palij и *Medusinites paliji* Gureev. Обычно они имеют вид полусферических или в разной степени уплощенных округлых желваков с концентрическими складками смятия по краям и образуют обширные скопления на нижней поверхности слоев песчаников или обломочных карбонатов. Диаметр их варьирует от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Они могут располагаться очень тесно, соприкасаясь и даже взаимно деформируясь, но никогда не разрезают друг друга и не сливаются. Для *Beltanelliformis* характерны общий положительный, но относительно невысокий рельеф и четкая концентрическая складчатость (Келлер и др., 1974), экземпляры *Nemiana* чаще всего высокие с гладкой поверхностью (Палий, 1976), *Medusinites paliji* отличается наличием обособленного бугорка в центре (Гуреев, 1987). Найдены похожие на конкреции полностью отделенные от вмещающей породы экземпляры немиян со слабой депрессией на апикальном конце. В эту же группу можно добавить торообразные отпечатки с выполненной аргиллитом серединой и довольно глубокие негативные отпечатки с центральным бугорком или без него. Отпечатки этой группы обычно признаются остатками стрекающих кишечнополостных – слепками с внешних сторон глубоко погруженных в осадок полипов, или с их гастральных полостей. Эти гипотетические квидарии были лишены щупалец и мезентериальных перегородок; они обитали на гидродинамически активном мелководье, где образовывали обширные моновидовые поселения (Палий, 1976; Палий и др., 1979; Гуреев, 1985; Федонкин, 1981, 1987). В микрофациях, характеризующихся более или менее спокойным осадконакоплением, в слоях аргиллитов или тонкослоистых микрозернистых карбонатов встречаются ископаемые остатки иной морфологии. Это плоские округлые отпечатки, часто покрытые пленкой обугленного исходного органического материала. В отложениях хатыспытской свиты Оленекского поднятия обнаружены экземпляры со следами легкой синдиогенетической фосфатизации этого вещества. С ископаемыми первой группы их сближают похожие размеры, концентрическая складчатость краевой зоны и способность формировать плотные скопления с аналогичной взаимной деформацией находящихся рядом экземпляров; и те, и другие могут располагаться в два или более близко расположенных слоев, иногда вообще не разделенных осадком. В отечественной традиции эти ископаемые обычно определяются как *Beltanelloides sorichevae* Sokolov. Белтанеллоидес считается планктонным организмом, относящимся к неопределенной группе эукариотических водорослей; все его захоронения являются, очевидно, аллохтонными (Соколов, 1976; Гниловская и др., 1988; Леонов, 2007; Leonov, 2007).

Однако многими исследователями отмечается или неявно принимается близкое сходство и даже тождество перечисленных таксонов; при этом они сближаются во всех возможных сочетаниях. Так, Ю.А. Гуреев (1985, 1987), относит *Beltanelliformis brunsae* и *Nemiana simplex* к роду *Beltanelloides*, интерпретируя последний как группу кишечнополостных животных. Г. Нарбонн и Х. Хофман объединяют под одним названием *Nemiana* и *Beltanelliformis*, считая их формами сохранности одного вида округлых биологических объектов неясной природы (Narbonn, Hofmann, 1987). Ископаемые, известные на Восточно-Европейской платформе под названием *Beltanelloides sorichevae*, описываются в Китае как *Beltanelliformis brunsae*, но сопоставляются с цианобактериями или зелеными водорослями (Steiner, 2001; Xiao, Dong, 2006). М.В. Леонов предполагает, что низкорельефные отпечатки из песчаников усть-пинежской свиты побережья Белого моря представляют собой особую разновидность сохранности *Beltanelloides* (Леонов, 2007; Leonov, 2007). Действительно, ярко выраженных различий между такими остатками и отпечатками из аргиллитов нет, за исключением отсутствия следов органического вещества, сохранение которого в песчаном осадке проблематично. Но каким образом легчайшие тела планктонных форм могли быть зафиксированы в наиболее грубозернистых породах оснований осадочных ритмов, Леонов не объясняет. Однако этот факт очень важен. Для того чтобы сформировать отпечатки на подошвах песчаных слоев, органические тела должны были быть каким-то способом закреплены на поверхности грунта в момент тафономического события. Значит, «белтанеллоидес» из песчаников был бентосным организмом. Недавно на Зимнем берегу Белого моря были обнаружены полиморфные захоронения, где в одном скоплении собраны отпечатки с признаками как *Beltanelliformis brunsae*, так и *Nemiana simplex*, и *Medusinites paliji*. Это дает основание заключить, что все виды первой группы являются разновидностями сохранности *Beltanelliformis*. Различия между ними могут быть объяснены неодинаковым

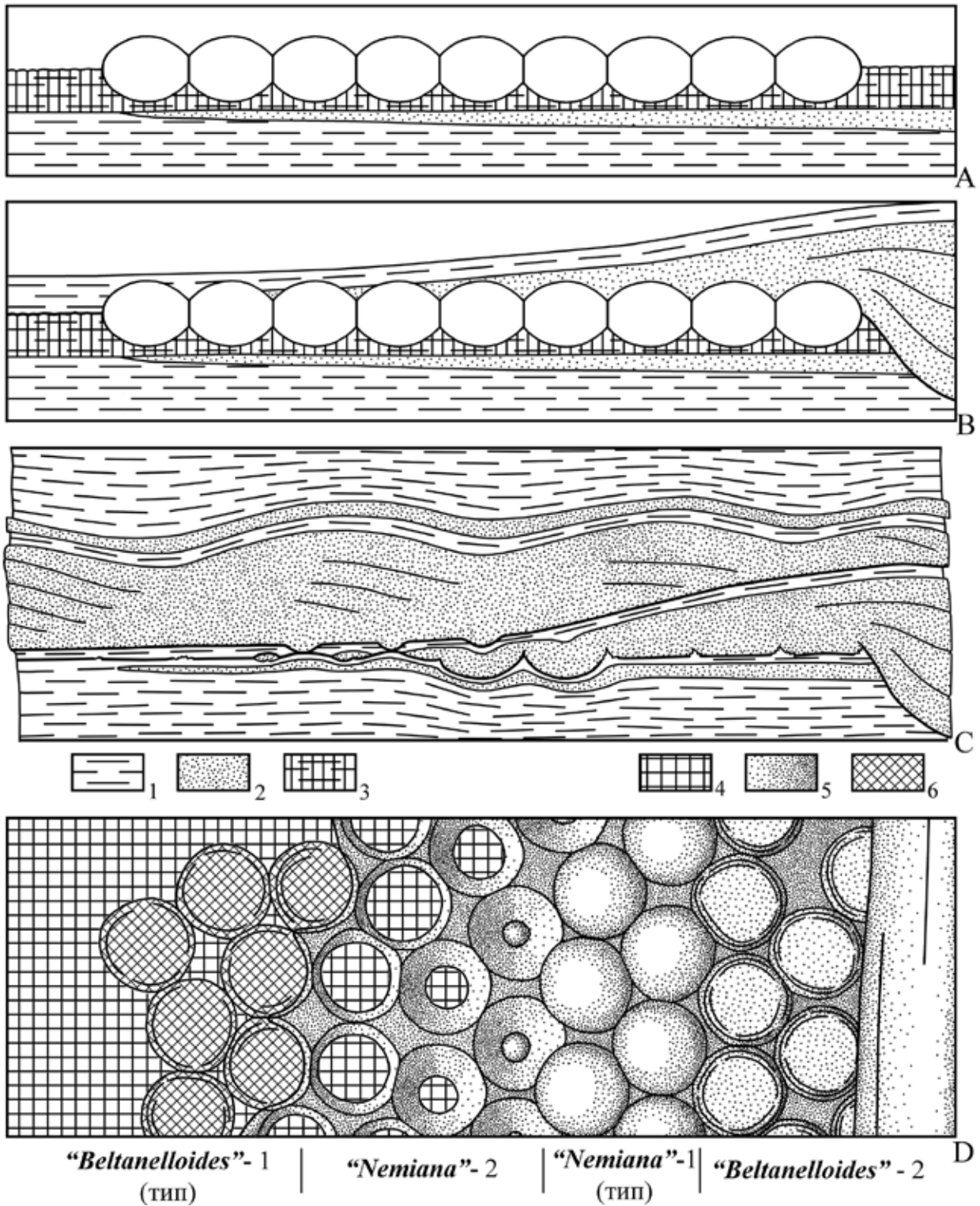


Рис. 1. Предполагаемый сценарий образования полиморфного захоронения *Beltanelliformis brunsaе*: А–С – последовательные тафономические события, D – разновидности сохранности ископаемого (подшва литифицированных осадков события В); условные обозначения: 1 – глина, 2 – песок, 3 – микробный мат с глинистыми частицами, 4 – аргиллит, 5 – песчаник, 6 – углефицированное органическое вещество.

замещением ископаемого песчаным осадком. На прилагаемом рисунке представлена реконструкция тафономических событий, приведших к образованию гипотетического полиморфного захоронения (рис. 1). Все показанные варианты сохранности реально наблюдаются в едином захоронении, за исключением типичной разновидности «*Beltanelloides*» – углистых пленок на аргиллите. Однако ее формирование здесь представляется вполне вероятным в случае засыпания части поселения глинистым шлейфом мутьевого потока.

Несмотря на то, что отпечатки *Beltanelliformis* могут сохраняться в песчаниках, организм обитал на илистом грунте, скорее всего, скрепленном микробным сообществом. Достоверных сведений о поселении не-

посредственно на песчаных грунтах нет. Даже в случае «*Nemiana simplex*» из крупнозернистых ямпольских песчаников Подолии субстрат обитания был глинистым, о чем свидетельствует тонкий прослой аргиллита, облегающий слепки тел снизу (Заика-Новацкий, Палий, 1968; Палий и др., 1979). Песчаник, выполняющий эти слепки, по своему составу и гранулометрическим свойствам идентичен песчанику несущего их слоя и составляет с ним единое целое; следовательно, формирование слепков и их засыпание песком происходило синхронно. Этот факт, а также отсутствие песка в субстрате обитания, противоречит гипотезе (Seilacher, 1992; Гражданкин и др., 2010) о самостоятельном поглощении «немианой» песчинок в течение жизни. С увеличением размеров *Beltanelliformis* форма его тела менялась от сферической до сплюснуто-линзовидной и даже корковидной. Об этом свидетельствует прогрессирующее выполаживание рельефа слепков, точная взаимная подгонка контуров у расположенных рядом даже самых крупных экземпляров и сосредоточение складок смятия у них непосредственно на краях. Апикального отверстия у *Beltanelliformis* не было, и песчаный слепок формировался только после частичного или полного разложения тела, возможно, путем заполнения полости, оставшейся в толще субстрата обитания.

Отдельные особи *Beltanelliformis* каким-то способом, возможно, за счет слизистых выделений, прикреплялись как друг к другу (иногда располагаясь слоями), так и к субстрату обитания и даже несколько вращались в него. Эпизодическое взмучивание и перемыв осадка, характерные для мелководий, приводили к отрыву тел *Beltanelliformis* от субстрата обитания и переносу их в более глубокие районы моря. Здесь, но уже преимущественно в глинистых отложениях, образовывались аллохтонные захоронения типичной разновидности сохранности «*Beltanelloides*».

Анализ изложенных наблюдений позволяет утверждать, что *Beltanelliformis* не мог быть кишечноплостным животным. Более вероятно предположение (Steiner, 2001; Xiao, Dong, 2006) о его принадлежности к зеленым водорослям или колониальным цианобактериям, близким к современному роду *Nostoc*. Изучение при помощи СЭМ фосфатизированных экземпляров *Beltanelliformis*, происходящих из хатыспытской свиты, показало присутствие в них массового количества палочковидных объектов длиной 1.5 и шириной около 0.4 мкм. Если удастся доказать, что эти фосфатизированные тельца являются остатками строителей колонии, а не ее деструкторов, бактериальная природа ископаемого будет доказана. Однако размеры обнаруженных телец на порядок меньше, чем у клеток современных гормогониевых цианобактерий. Это, вместе с выявленной у *Beltanelliformis* тенденцией глубоко вращаться в субстрат и образовывать состоящие из нескольких уровней поселения, может означать, что создававшие колонии микроорганизмы принадлежали к какой-то иной группе бактерий, не использовавших фотосинтез.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гниловская М.Б., Ищенко А.А., Колесников Ч.М. и др. 1988. Вендотениды Восточно-Европейской платформы. Л.: Наука. 142 с.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. 2010. Осадочные системы сълвицкой серии (верхний венд Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН. 280 с.
- Гуреев Ю.А. 1985. Vendia – примитивные докембрийские Radialia // Б.С. Соколов, И.Т. Журавлёва (ред.). Проблематики позднего докембрия и палеозоя. Тр. ИГиГ СО АН СССР. Вып. 632. М.: Наука. С. 92–103.
- Гуреев Ю.А. 1987. Морфологический анализ и систематика вендиат // Киев: ИГН АН СССР. 54 с.
- Заика-Новацкий В.С., Палий В.М. 1968. Новые данные относительно проблематических отпечатков из вендских отложений Подолии // Палеонтол. сб. № 5. Вып. 1. С. 130–135.
- Келлер Б.М., Меннер В.В., Степанов В.А., Чумаков Н.М. 1974. Новые находки Metazoa в вендомии русской платформы // Изв. АН СССР. Сер. геол. № 12. С. 130–134.
- Леонов М.В. 2007. Макроскопические растительные остатки основания усть-пинезской свиты (верхний венд Архангельской области) // Палеонтол. журн. № 6. С. 89–96.
- Палий В.М. 1976. Остатки бесскелетной фауны и следы жизнедеятельности из отложений верхнего докембрия и нижнего кембрия Подолии / П.Л. Шульга (ред.). Палеонтология и стратиграфия верхнего докембрия и нижнего палеозоя юго-запада Восточно-Европейской платформы. Киев: Наукова думка. С. 63–77.
- Палий В.М., Пости Э., Федонкин М.А. 1979. Мягкотелые метазоа и ископаемые следы животных венда и раннего кембрия / Б.М. Келлер, А.Ю. Розанов (ред.). Палеонтология верхнедокембрийских и кембрийских отложений Восточно-Европейской платформы. М.: Наука. С. 49–82.
- Соколов Б.С. 1976. Органический мир Земли на пути к фанерозойской дифференциации // Вестн. АН СССР. № 1. С. 126–143.
- Федонкин М.А. 1981. Беломорская биота венда (докембрийская бесскелетная фауна севера Русской платформы) // Тр. ГИН АН СССР. Вып. 342. М.: Наука. 99 с.
- Федонкин М.А. 1987. Бесскелетная фауна венда и ее место в эволюции Metazoa // Тр. ПИН АН СССР. Т. 226. М.: Наука. 174 с.
- Leonov M.V. 2007. Comparative taphonomy of Vendian genera Beltanelloides and Nemiana: taxonomy and lifestyle // P. Vickers-Rich, P. Komarower (eds). The rise and fall of the Ediacaran Biota. L.: Geol. Soc. London Spec. Publ. V. 286. P. 259–267.
- Narbonne G.M., Hofmann H.J. 1987. Ediacaran Biota of the Wernecke Mountains, Yukon, Canada // Palaeontology. V. 30. Pt 4. P. 647–676.
- Seilacher A. 1992. Vendobionta and Psammocorallia: lost construction of Precambrian evolution // J. Geol. Soc. L. V. 149. P. 607–613.
- Steiner M. 2001. Evidence of organic structures in Ediacara-type fossils and associated microbial mats // Geology. V. 29. № 12. P. 1119–1122.
- Xiao S., Dong L. 2006. On the Morphological and Ecological History of Proterozoic Macroalgae // S. Xiao, L. Dong (eds). Neoproterozoic Geobiol. Paleobiol. Springer. P. 57–90.

**КОЛЛЕКЦИЯ СТРОМАТОЛИТОВ
ГОСУДАРСТВЕННОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ**

М.В. Касаткин

Государственный биологический музей им. К.А. Тимирязева, Москва, kmv@gbmt.ru

STROMATOLITES COLLECTION OF THE STATE MUSEUM OF BIOLOGY

M.V. Kasatkin

Timiryazev' States Museum of Biology, Moscow, kmv@gbmt.ru

Изучение самых ранних, прокариотных этапов эволюции биосферы Земли является одной из наиболее актуальных проблем современной биологической науки (Бактериальная палеонтология, 2002; Заварзин, 2011). Одним из важнейших свидетельств существования древнейших живых организмов являются строматолиты, возникшие в результате жизнедеятельности цианобактерий.

В Биологическом музее хранится тематическая коллекция строматолитов и онколитов, представляющая значительный научный и музейный интерес. Коллекция, насчитывающая более сотни экспонатов, весьма представительна и разнообразна. В ее составе имеется несколько необработанных геологических образцов, дающих представление о том, как выглядит в природе внешняя поверхность строматолитовых биогермов. Однако в большинстве своем это аншлифы (пришлифовки), представляющие собой строматолитовые блоки, распиленные на пластины толщиной 1–2 см. На срезах хорошо видна их слоистая структура. В коллекции представлены самые разные формы наслоений, являющиеся основой для классификации строматолитовых построек.

География сборов очень широка и охватывает большую часть Евразии. В коллекции имеются строматолиты из самых разных регионов нашей страны, а также из некоторых соседних государств: с Кольского полуострова и из Крыма, из Карелии и Якутии, с южного Урала и полуострова Таймыр, с берегов Лены и низовий Енисея, из Прибайкалья и южного Казахстана. Есть также образцы из Монголии, Индии, Саудовской Аравии.

Геологический возраст коллекционных образцов находится в интервале от более чем двух миллиардов лет (ранний протерозой) и до современности. Самый древний образец – *Protorivularia onega* Butin, 1960 из сборов Р.В. Бутина в Карелии, имеющий возраст 2.3 млрд. лет. Особенно активно процессы образования строматолитов шли в протерозое, когда цианобактерии играли главенствующую роль во всех живых сообществах мелководных водоемов, поэтому большинство предметов относится именно к этому времени. Однако в коллекции есть также строматолиты из более поздних отложений: кембрия, ордовика, карбона, перми, неогена.

Основу музейного собрания составляют экспонаты из личной коллекции одного из крупнейших отечественных специалистов в этой области, доктора геолого-минералогических наук Игоря Николаевича Крылова (1932–1990 гг.). Он изучал геологические разрезы рифея и раннего палеозоя Южного Урала и Сибири, проследил закономерности направленных морфологических изменений водорослевых построек и внес большой вклад в разработку систематики строматолитов. Крыловым были выделены роды *Baicalia*, *Jugusania*, *Inzeria*, *Kussiella*, *Minjaria*, *Linella*, *Iliella*, *Gaia*, *Patomia*, *Vetella*, *Nordia* и другие, сделаны их монографические описания (Крылов, 1963, 1967, 1975). Часть своих сборов он передал в дар музею в 1969–1972 гг. В последующие годы коллекция продолжала пополняться. В нее поступило несколько ценных образцов из личной коллекции И.К. Королюк и А.Д. Сидорова, вместе с первоописаниями (Королюк, 1959, 1960, 1963; Королюк, Сидоров, 1971, 1973). Ряд предметов был передан музею вдовой Крылова – М.Н. Ильинской, а также В.Н. Сергеевым (Геологический институт РАН) и Л.М. Герасименко (Институт микробиологии РАН).

Ценность музейного собрания существенно повышает наличие в нем типовых экземпляров. В составе коллекции имеется 7 голотипов, то есть экземпляров, по которым были сделаны первоописания новых родов или видов и им присвоены научные названия, а также 8 паратипов – дублетных образцов из собранных авторами описаний серий и 15 топотипов – образцов, собранных в месте первой находки позднее другими исследователями. Так, например, есть образцы, относящиеся к видам, впервые описанным Сидоровым (1960), но собранные позднее в том же месте Крыловым, или описанным Крыловым (1963), но собранные Келлером или другими коллекторами.

Следует отметить, что большой вклад в изучение докембрийских геологических слоев и определение их возраста с помощью строматолитов внесли российские ученые. Проведенные ими в 1950–1970-х гг. исследования позволили разграничить протерозойскую эру, продолжительностью около двух миллиардов лет, на более мелкие подразделения и уточнить их границы во времени (Раабен, 1975; Семихатов, 1974; Семихатов, Комар, 1989; Семихатов, Раабен, 1993 и др.).

Хотя строматолиты – одни из самых распространенных окаменелостей, они редко встречаются в музейных экспозициях. Во всем мире относительно немногие естественно-научные музеи располагают достаточно представительными коллекциями. В нашей стране такие коллекции имеются в нескольких научно-исследовательских институтах Москвы, С.-Петербурга, Петрозаводска, Иркутска, Уфы, Екатеринбурга, но, как правило, они доступны только для узкого круга специалистов. В Москве строматолиты можно увидеть в экспозициях ряда музеев: Геологического им. В.И. Вернадского, Биологического им. К.А. Тимирязева, Землеведения МГУ им. М.В. Ломоносова. В Биологическом музее предметы из этой коллекции используются в ряде постоянных экспозиций для иллюстрации таких профильных для нас тем как «Растения, грибы и бактерии», «Развитие жизни на Земле», раздел «Протерозой», ранее демонстрировались в теме «Происхождение жизни». Кроме того, в 2012 г. часть коллекции впервые экспонировалась на выставке, посвященной

докембрийским формам жизни (цианобактериям и вендобрионтам). Выставка была организована совместно с сотрудниками Палеонтологического института РАН. Помимо проведения групповых экскурсий, для одиночных посетителей была разработана программа ее индивидуального осмотра и знакомства с экспонатами с помощью аудиогuida. Благодаря этому посетители смогли получить представление о самых ранних этапах эволюции, на долю которых приходится преобладающая часть времени существования нашей планеты.

В 2009 г. издательство «Акварель» выпустило цветной двуязычный (на русском и английском языках) альбом-каталог коллекции строматолитов (Касаткин, 2009). Это первое иллюстрированное издание такого рода в нашей стране. В ходе работы над каталогом была заново проведена атрибуция всех предметов, уточнены научные названия, места находок и геологический возраст каждого из них. В качестве консультантов привлекались ведущие специалисты по данной группе ископаемых из ряда учреждений Российской академии наук. Особенно ценную помощь при атрибуции оказали М.Е. Раабен, З.А. Журавлёва и А.Д. Сидоров, принимавшие непосредственное участие в исследованиях, сборах и научном описании ряда образцов, хранящихся в этой коллекции (Сидоров, 1960; Журавлёва, 1964; Раабен, 1969). Поскольку в каталоге приведены цветные изображения всех коллекционных предметов, была проделана большая работа по их фотографированию, сканированию и оцифровке. Задача издания – не только дать информацию о коллекции отечественным и зарубежным специалистам, но и привлечь внимание более широкой аудитории, в особенности молодежи к необходимости дальнейшего изучения этой группы окаменелостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бактериальная палеонтология. 2002. А.Ю. Розанов (ред.). М.: ПИН РАН. 188 с.
- Журавлёва З.А. 1964. Онколиты и катаграфии рифея и нижнего кембрия Сибири и их стратиграфическое значение // Тр. ГИН АН СССР. Вып. 114. М.: Наука. 74 с.
- Заварзин Г.А. 2011. Эволюция прокариотной биосферы: микробы в круговороте жизни. 120 лет спустя: чтение им. С.Н. Виноградского / Н.Н. Колотилова (ред.). М.: Макс-Пресс. 144 с.
- Касаткин М.В. 2009. Строматолиты. Каталог коллекции Государственного биологического музея имени К.А. Тимирязева. М.: Акварель. 96 с.
- Королюк И.К. 1959. Волнисто-слоистые пластовые строматолиты (Stratifera) кембрия юго-восточной Сибири // Бюл. МОИП, отд. геол. Т. 34. Вып. 3. С. 75–95.
- Королюк И.К. 1960. Строматолиты нижнего кембрия и протерозоя иркутского амфитеатра // Тр. ИГГИ АН СССР. Т. 1. С. 112–161.
- Королюк И.К. 1963. Строматолиты верхнего докембрия // Стратиграфия СССР. Верхний докембрий. М.: Госгеолтехиздат. С. 479–498.
- Королюк И.К., Сидоров А.Д. 1971. Строматолиты южного Прибайкалья // Изв. АН СССР. Сер. геол. № 11. С. 112–123.
- Королюк И.К., Сидоров А.Д. 1973. Строматолиты нижнепермского биогермного массива Шахтау (Башкирия) // Докл. АН СССР. Т. 208. № 4. С. 920–923.
- Крылов И.Н. 1963. Столбчатые ветвящиеся строматолиты рифейских отложений Южного Урала и их значение для стратиграфии верхнего докембрия // М.: Изд-во АН СССР. Тр. ГИН АН СССР. Вып. 69. 133 с.
- Крылов И.Н. 1967. Рифейские и нижнекембрийские строматолиты Тянь-Шаня и Каратау // М.: Наука. Тр. ГИН АН СССР. Вып. 171. 76 с.
- Крылов И.Н. 1975. Строматолиты рифея и фанерозоя СССР // М.: Наука. Тр. ГИН АН СССР. Вып. 274. 240 с.
- Раабен М.Е. 1969. Строматолиты верхнего рифея (гимносолениды) // М.: Наука. Тр. ГИН АН СССР. Вып. 203. 100 с.
- Раабен М.Е. 1975. Верхний рифей как единица общей стратиграфической шкалы. М.: Наука. 247 с.
- Семихатов М.А. 1974. Стратиграфия и геохронология протерозоя // М.: Наука. Тр. ГИН АН СССР. Вып. 256. 300 с.
- Семихатов М.А., Комар В.А. 1989. Строматолиты докембрия: биологическая интерпретация, классификация и стратиграфическое значение // М.: Наука. Тр. ГИН АН СССР. Вып. 431. С. 13–31.
- Сидоров А.Д. 1960. Новый нижнекембрийский строматолит восточной Сибири // Палеонтол. журн. № 4. С. 104–107.

ИЗ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ЛИТОФИЛЬНЫХ АЛЬГО-БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

Н.Н. Колотилова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, kolotilovan@mail.ru

ON THE HISTORY OF THE STUDY OF LITHOPHYLIC ALGO-BACTERIAL COMMUNITIES

N.N. Kolotilova

Moscow State University, kolotilovan@mail.ru

Изучение литофильных (литобионтных) альго-бактериальных и других микробных сообществ представляет интерес, как для познания их экологии и экофизиологии, так и для развития знаний об участии микроорганизмов в выветривании горных пород, в процессах почвообразования, а также – в антропогенных условиях – в процессах биокоррозии, обрастании инженерных сооружений, разрушении каменных памятников архитектуры и исторических зданий. К числу важнейших проблем относится роль микроорганизмов в образовании минералов, а также освоение микробными сообществами суши (Заварзин, 1993, 2011). Круг вопросов, затронутых темой «жизнь и камень», очень широк; они значимы и активно обсуждаются в ходе ряда симпозиумов, посвященных биокосным взаимодействиям (С.-Петербург, 2002, 2004, 2007, 2011). По словам В. Крумбайна, микробная биопленка, как своеобразная патина, покрывает всю поверхность континентов, активно взаимодействуя с литосферой и атмосферой, причем в силу фрактальности площадь этого взаимодействия значительно превышает площадь поверхности суши. Условия жизни литобионтов рассматриваются как экстремальные, и для их характеристики предложен термин «пойкилотрофный» (Gorbushina, Krumbain, 2000). В коротком обзоре, охватывающем преимущественно работы отечественных ученых, будут затронуты лишь некоторые из перечисленных вопросов.

Одни из первых наблюдений о роли микроорганизмов (железобактерий, затем диатомовых водорослей и др.) в образовании горных пород были сделаны в первой трети XIX в. немецким естествоиспытателем Х.Г. Эренбергом и изложены в 1854–1856 гг. в монографии с символично звучащим названием «Микробиологи – почва и скалы, создающие невидимую крошечную жизнь на земле» (Шлегель, 2002). Геологическая деятельность микроорганизмов оказалась в центре внимания многих русских микробиологов (Виноградский, 1897; Надсон, 1967а; Исаченко, 1951б; Омелянский, 1953; Таусон, 1936, 1948; Кузнецов и др., 1962). В первой половине XX в. среди работ по образованию биолитов (термин Я.В. Самойлова) обращают внимание исследования Б.Л. Исаченко по бактериальному осаждению карбоната кальция и биогенному образованию травертинов и ряда других карбонатных минералов, позволившие сформулировать тезис «*Omne calx e vivo*» (Исаченко, 1951б, в). О масштабах отложения микроорганизмами карбонатов наиболее ярко свидетельствуют многометровые толщи строматолитов, образованные, согласно имеющимся гипотезам, в результате жизнедеятельности циано-бактериальных сообществ (Заварзин, Крылов, 1983; Zavarzin, 1994; Орлеанский, Раабен, 1998). Современные представления о механизмах биоминерализации кальция, железа, марганца и др. изложены в обзоре А.В. Пиневиича (Фаламин, Пиневиич, 2006). Наиболее глубоко роль микробов в цикле кальция обсуждается Г.А. Заварзинным (Заварзин, 2002).

Разрушительная деятельность микроорганизмов, «вовлекающих кальций в великий круговорот» была отмечена еще в 1901 г. Г.А. Надсоном при изучении сверлящих водорослей (в том числе, цианобактерий), растворяющих, часто в ассоциации с грибами, известняки, меловые скалы, известковые раковины моллюсков и других животных (Надсон, 1967а). Разрушение горных пород в значительной части случаев является биологически опосредованным процессом (Заварзин, 2001), в котором первостепенная роль принадлежит микроорганизмам. Роль водорослей, в образовании кор выветривания была показана в классических работах Б.Б. Польшовой, М.А. Глазвской и др. Исследования В.О. Таусона, Н.А. Красильникова, Д.М. Новогрудского, М.М. Голлербаха, А.А. Еленкина и многих других биологов выявили роль водорослей как «пионеров растительности» на минеральных субстратах, в образовании «горного загара», корочек, пленок на скалах Кавказа, Памира, Тянь-Шаня, на выходах суши Антарктиды (Таусон, 1936; Глазвская, 1950; Красильников, 1956; Новогрудский, 1956). Участие водорослей в процессах почвообразования рассмотрено Голлербахом и Э.А. Штиной (Голлербах, Штина, 1968) и др. Обсуждается возможность использовать эти представления для воссоздания сценария завоевания микробами суши и формирования первых палеопочв (Заварзин, Рожнов, 2010). Важно подчеркнуть и роль цианобактерий в восстановлении нарушенных экосистем, в заселении загрязненных и отравленных территорий, мест, мало пригодных для развития высшей растительности (пустыни, солончаки, северная тундра), где особо важная роль принадлежит колониальным формам рода *Nostoc* (Еленкин, 1936).

Отдельное направление изучения литобионтных микробных сообществ представляет их развитие на поверхности зданий и архитектурных памятников, построенных из природного камня или искусственных строительных материалов (кирпич, бетон и т. д.) (Gomes-Alarcon et al., 1995; Ortega-Morales et al., 1995). Разные материалы по-разному колонизируются микроорганизмами, что отражено в понятии «bioreceptivity», означающем «подверженность» материала колонизации (Guillitte, 1995). Разработаны схемы мониторинга (Сомова, 1999; Горбушина и др., 2002; Петушкова и др., 2002), создана классификация видов нарушений каменных зданий в городской среде (Власов, Франк-Каменецкая, 2006, 2011). Колонизаторами камня являются микромицеты (Горбушина, 2001), цианобактерии и водоросли (Петушкова, Кортяева, 1984; Ortega-Calvo et al., 1995) как эдификаторы микробных сообществ, нередко хемолитотрофные бактерии. Развитие микробных сообществ ведет к разрушению (выветриванию) строительного материала или изменению его внешнего вида (эстетический аспект).

Основные механизмы разрушения микроорганизмами поверхности каменных сооружений, как и в случае скальных выходов, связаны с образованием неорганических (азотной, серной, угольной) и органических кислот (Petushkova, Lyalikova, 1993). Например, с давних времен отмечалось значительное накопление селитры в стенах старых каменных домов. При изучении микробиоты на стенах некоторых каменных зданий Петрограда Исаченко одним из первых (1915) выявил наличие в них нитрифицирующих бактерий, вызывающих характерную по виду коррозию камня, обусловленную его растворением под действием азотной кислоты (Исаченко, 1951а). Есть данные о присутствии на стенах некоторых домов тионовых бактерий, образующих серную кислоту (Громов, 1959). Выделение органических кислот осуществляется многими грибами, а угольной кислоты – подавляющим большинством микроорганизмов.

Наиболее заметные изменения внешнего вида камня обусловлены жизнедеятельностью грибов (потемнение за счет пигмента меланина), цианобактерий и водорослей («позеленение»). Фототрофы играют большую роль как первичные продуценты и эдификаторы микробных сообществ (прежде всего, за счет обильного образования слизи цианобактериями). Для предотвращения их развития в некоторых случаях (в реставрации) предпринимается обработка поверхности камня биоцидами, консервирующими составами, специальными покрытиями. Для изучения их эффективности проводились модельные опыты на кубиках из мячковского известняка (основной строительный материал белокаменной Москвы) и других карбонатных пород (мела), которые обрабатывали тестируемыми соединениями, увлажняли и засевали музейными культурами цианобактерий и зеленых водорослей, либо фототрофными сообществами, выделенными непосредственно с поверхности архитектурных памятников. Засеянные кубики, полупогруженные в воду, инкубировали при освещении в течение нескольких недель. Несмотря на мозаичный характер роста микроорганизмов, эти опыты позволили установить действующие концентрации тестируемых соединений, оценить их эффект как биоцид-

ный или препятствующий росту (например, гидрофобный), проследить за сменой состава доминантов эпилитного сообщества в присутствии биоцидов (Петушкова, Колотилова, 1999; Kolotilova, Petushkova, 2000).

Постановка аналогичных опытов (в соответствующей модификации), возможно, может оказаться полезной для моделирования процессов заселения суши циано- и альгобактериальными сообществами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Виноградский С.Н.* 1897. О роли микробов в общем круговороте жизни. СПб. 27с.
- Власов Д.Ю., Франк-Каменецкая О.В.* 2006. Разрушение природного камня в условиях городской среды / Е.Г. Панова, В.В. Гавриленко (ред.). Биокосные взаимодействия: жизнь и камень. СПб: СПбГУ. С. 156–169.
- Власов Д.Ю., Франк-Каменецкая О.В.* 2011. Биокосные взаимодействия в литобионтных системах. Биокосные взаимодействия в природных и антропогенных системах. СПб: ВВМ. С. 36–41.
- Глазовская М.А.* 1950. Влияние микроорганизмов на процессы выветривания первичных минералов // Изв. АН Каз. ССР, сер. почвоведение. Вып. 6. С. 79–100.
- Голлербах М.М., Штина Э.А.* 1969. Почвенные водоросли. Л.: Наука. 228 с.
- Горбушина А.А.* 2001. Кто живет на голом камне? // Природа. № 9. С. 27–44.
- Горбушина А.А., Ляликowa Н.Н., Власов Д.Ю., Хижняк Т.В.* 2002. Микробные сообщества на мраморных памятниках Санкт-Петербурга и Москвы: видовой состав (разнообразие) и трофические взаимоотношения // Микробиология. Т. 71. № 3. С. 409–417.
- Громов Б.В.* 1959. Микробиологические факторы разрушения фасадов и зданий // Вестн. Ленингр. ун-та. № 21. С. 146–155.
- Еленкин А.А.* 1936. Синезеленые водоросли СССР. М.-Л.: АН СССР. 684 с.
- Заварзин Г.А.* 1993. Эпиконтинентальные содовые водоемы как предполагаемые реликтовые биотопы: формирование наземной биоты // Микробиология. Т. 62. С. 789–800.
- Заварзин Г.А.* 2001. Роль микробиоты в образовании пород // Изв. РАЕН, сер. наук о Земле. № 7. С. 131–137.
- Заварзин Г.А.* 2002. Микробный геохимический цикл кальция // Микробиология. Т. 71. № 1. С. 5–22.
- Заварзин Г.А., Крылов И.Н.* 1983. Циано-бактериальные сообщества – колодец в прошлое // Природа. № 3. С. 59–68.
- Заварзин Г.А., Рожнов С.В.* 2010. Выветривание и палеопочвы / Палеопочвы и индикаторы континентального выветривания в истории биосферы. С.В. Рожнов (ред.). М.: ПИН РАН. С. 4–9.
- Исаченко Б.Л.* 1951а. О нитрификации на стенах и разрушении вследствие этого кирпича / Исаченко Б.Л. Избранные труды. Т. 1. М.: АН СССР. С. 101–105.
- Исаченко Б.Л.* 1951б. О биогенном образовании карбоната кальция / Исаченко Б.Л. Избранные труды. Т. 2. М.: АН СССР. С. 226–233.
- Исаченко Б.Л.* 1951в. О биолитогенезисе травертина / Исаченко Б.Л. Избранные труды. Т. 2. М.: АН СССР. С. 234.
- Красильников Н.А.* 1956. Микрофлора высокогорных скальных пород и азотфиксирующая ее деятельность // Успехи совр. биол. Т. 41. № 2. С. 177–192.
- Кузнецов С.И., Иванов М.В., Ляликowa Н.Н.* 1962. Введение в геологическую микробиологию. М.: АН СССР. 238 с.
- Ляликowa Н.Н., Петушкова Ю.П.* 1988. Микроорганизмы – разрушители архитектурных памятников // Природа. № 6. С. 31–37.
- Надсон Г.А.* 1967а. Сверлящие водоросли и их значение в природе / Надсон Г.А. Избр. труды. Т. 1. М.: Наука. С. 95–113.
- Надсон Г.А.* 1967б. Микроорганизмы как геологические деятели / Надсон Г.А. Избр. труды. Т. 1. М.: Наука. С. 114–184.
- Новогрудский Д.М.* 1956. Почвенная микробиология. Алма-Ата: АН Каз. ССР. С. 139–143.
- Омелянский В.Л.* 1953. Роль микроорганизмов в выветривании горных пород // Омелянский В.Л. Избр. труды. Т. 1. М.-Л.: АН СССР. С. 523–530.
- Орлеанский В.К., Раабен М.Е.* 1998. Строматолиты – живые буквы каменной летописи Земли // Природа. № 11. С. 68–85.
- Петушкова Ю.П., Кортяева Т.Ф.* 1984. Изучение зеленых водорослей и цианобактерий, повреждающих памятники архитектуры // Изв. АН СССР, сер. биол. № 2. С. 306–308.
- Петушкова Ю.П., Колотилова Н.Н.* Альгофлора памятников архитектуры и влияние на нее консервирующих составов // Альгология. 1999. Т. 9. № 2. С. 105–106.
- Петушкова Ю.П., Крупина М.В., Колотилова Н.Н., Гусев М.В.* 2002. Биогеохимическое исследование «Грота» – памятника архитектуры XVIII–XIX веков дворцово-паркового ансамбля «Архангельское» // Биокосные взаимодействия: жизнь и камень. Мат-лы I междунар. симпоз. 25–27 июня 2002 г., Санкт-Петербург. СПб: СПбГУ. С. 233–237.
- Сомова Н.Г.* 1999. Структура микробных сообществ, развивающихся на поверхности каменных памятников архитектуры // Автореф. дисс. канд. биол. наук. М. 28 с.
- Таусон В.О.* 1936. Материалы по микробиологии Памира // Тр. Среднеазиатск. гос. ун-та. Вып. 32. С. 3–17.
- Таусон В.О.* 1948. Великие дела маленьких существ. М.: АН СССР. 114 с.
- Фаламин А.А., Пиневич А.В.* 2006. Биоминерализация с участием бактерий // Биокосные взаимодействия: жизнь и камень / Е.Г. Панова, В.В. Гавриленко (ред.). СПб: СПбГУ. С. 98–106.
- Шлегель Г.Г.* 2002. История микробиологии. М.: УРСС. С. 267.
- Gomes-Alarcon G., Munoz M., Arino X., Ortega-Calvo J.J.* 1995. Microbial communities in weathered sandstones: the case of Carrascosa del Campo church, Spain // The Science of the Total Environment. V. 167. P. 249–254.
- Gorbuschina A.A., Krumbein W.E.* 2000. Subaerial microbial mats and their effects on soil and rock / R.E. Riding, S.M. Awramic (eds). Microbial sediments. Berlin: Springer-Verlag. P. 161–170.
- Guillitte O.* 1995. Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies // Sci. Total Environment. V. 167. P. 215–220.
- Kolotilova N.N., Petushkova Y.P.* 2000. Experimental colonization of limestone by cyanobacteria: susceptibility to biocides and protective coatings // 10 Int. Symp. Phototrophic Procarvates. Barcelona, Spain, 2000. Abstr. P. 222.
- Ortega-Calvo J.J., Arino X., Hernandez-Marine M., Sais-Jimenez C.* 1995. Factors affecting the weathering and colonization of monuments by phototrophic microorganisms // Sci. Total Environment. V. 167. P. 329–341.
- Ortega-Morales B.O., Gaylarde C.C., Englert G.E., Gaylarde P.M.* 2005. Analysis of salt-containing biofilms on limestone buildings of the Mayan culture at Edzna, Mexico // Geomicrobiology J. V. 22. P. 261–268.
- Petushkova J., Lyalikova N.* 1993. The microbial deterioration of historical buildings and mural paintings // K.L. Gard et al. (eds). Recent advances in Biodeterioration and Biodegradation. V. 1. Calcutta: Naya Prokash. P. 145–171.
- Zavarzin G.A.* 1994. Cyanobacterial mats in general biology // L.J. Stal, P. Gamette (eds). / Microbial mats. Berlin: Springer-Verlag.

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАК ОБЪЕКТ ИЗОТОПНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА КОТОКЕЛЬ, БУРЯТИЯ)

С.С. Кострова¹, Х. Майер², Б. Чаплыгин², Е.В. Безрукова¹, П.Е. Тарасов³

¹Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, kostrova@igc.irk.ru

²Институт полярных и морских исследований Альфреда Вегенера, Потсдам, hanno.meyer@awi.de, bernhard.chapligin@awi.de

³Свободный университет, Берлин, ptarasov@zedat.fu-berlin.de

LACUSTRINE DIATOMS AS THE OBJECT OF ISOTOPE ANALYSIS (A CASE STUDY OF LAKE KOTOKEL, BURYATIA)

S.S. Kostrova¹, H. Meyer², B. Chapligin², E.V. Bezrukova¹, P.E. Tarasov³

¹A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SO RAS, Irkutsk, kostrova@igc.irk.ru

²Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Potsdam, hanno.meyer@awi.de, bernhard.chapligin@awi.de

³Free University, Berlin, ptarasov@zedat.fu-berlin.de

Возможность исследования створок диатомовых водорослей изотопно-кислородным методом с целью получения палеоинформации впервые показана Л. Лабейре (Labeurie, 1974). Установлено, что их изотопный состав ($\delta^{18}\text{O}_{\text{диат}}$), отражает изменение температуры и изотопного состава воды ($\delta^{18}\text{O}_{\text{в}}$) в период формирования. Величина $\delta^{18}\text{O}_{\text{в}}$ определяется изотопным составом атмосферных осадков ($\delta^{18}\text{O}_{\text{атм}}$) и гидрологическими особенностями водоема (Leng, Barker, 2006). Получаемые изотопные данные позволяют воссоздать гидрологический режим и реконструировать картину климатических изменений в регионе.

Изучены вариации $\delta^{18}\text{O}$ в створках диатомовых водорослей, экстрагированных с помощью многостадийной методики (Калмычков и др., 2005) из голоценовой части керн донных отложений (КТК2: 52°47' с.ш., 108°07' в.д., глубина ~3.5 м) оз. Котокель. Полученные препараты были пригодны для изотопных исследований. Согласно данным сканирующей электронной микроскопии и энерго-дисперсионной спектроскопии, они не содержали видимые примеси терригенного материала, содержание Al_2O_3 не превышало 1.61 %.

Разложение створок для изотопного анализа проводилось с помощью лазера в атмосфере BrF_5 после предварительной дегидратации образцов в потоке гелия при температуре 1100 °С (Chapligin et al., 2010). Определение $\delta^{18}\text{O}$ осуществлялось на масс-спектрометре PDZ Europa 2020 (Изотопная лаборатория Института полярных и морских исследований Альфреда Вегенера (АВИ), Потсдам, Германия). Результаты измерений $\delta^{18}\text{O}$ представлены в отношении к международному стандарту VSMOW. Ошибка определения $\delta^{18}\text{O}$ (1 σ) оценивается в ± 0.25 ‰. Правильность полученных значений $\delta^{18}\text{O}$ контролировалась регулярными измерениями рабочего стандарта BFC (диатомит из графства Шаства, Калифорния).

Значения $\delta^{18}\text{O}$ ископаемых створок диатомовых водорослей оз. Котокель за последние 11 500 лет варьируют от 23.7 до 30.3 ‰. Полученные величины сопоставимы со значениями $\delta^{18}\text{O}$ озерных диатомовых (15–36 ‰) (Shemesh et al., 2001; Morley et al., 2005; Калмычков и др., 2007; Swann et al., 2010). Снизу вверх по разрезу наблюдается монотонное уменьшение величин на 6.6 ‰.

Вариации $\delta^{18}\text{O}$ створок сопровождаются изменением видового состава диатомовых сообществ. Так, в раннем голоцене (~11.5–11.2 тыс. л.н.) доминирует планктонная *Aulacoseira granulata*, тогда как бентосные диатомовые (например, *Staurosira construens* agg.) содержатся в незначительном количестве. Указанный интервал характеризуется максимальными величинами $\delta^{18}\text{O}$ (29.2–30.3 ‰). Период относительно стабильных значений $\delta^{18}\text{O}$ (около 28 ‰) зарегистрирован 9.5–3 тыс. л.н. Диатомовые сообщества также имеют довольно стабильный видовой состав: *Aulacoseira granulata* является доминирующим видом, в умеренном количестве присутствуют *Staurosira construens* agg. и *Staurosirella pinnata* agg. *Ellerbeckia arenaria* var. *arenaria* и *Staurosirella pinnata* agg. отсутствуют в интервале ~3–0 тыс. л.н., тогда как *Aulacoseira granulata*, *Staurosira construens* agg. и *Ellerbeckia arenaria* var. *teres* содержатся в значительных количествах. Этот интервал характеризуется пониженными значениями $\delta^{18}\text{O}$ створок (23.7–27.5 ‰). Вопрос о влиянии видового состава диатомового комплекса на величину сигнала $\delta^{18}\text{O}$ створок до сих пор остается не решенным, и механизм, вызывающий эти изменения, неясен (Swann et al., 2008). Поскольку четкой зависимости между изотопным и видовым составами створок диатомовых водорослей из осадков оз. Котокель не наблюдается, видовой состав диатомового комплекса не рассматривается в качестве параметра, определяющего величину изотопного сигнала в створках.

На протяжении ряда лет *Aulacosira granulata* является основным первичным продуцентом среди диатомовых, образуя максимальную биомассу (до 9.8 г/м³) в конце июля – начале августа, когда озеро свободно ото льда, и питательные вещества могут свободно поступать в бассейн (Антипова, Помазкова, 1971; Полонных, 1988). Данный вид, доминирует по всей голоценовой части керн КТК2, его концентрация в отложениях достигает 98 % (Bezrukova et al., 2010). Логично предположить, что полученные значения $\delta^{18}\text{O}$ створок диатомовых водорослей оз. Котокель, главным образом, отражают условия цветения вида *Aulacosira granulata*.

Средний изотопный состав озерной воды, отобранной в период цветения диатомей, характеризуется значениями: $\delta^{18}\text{O} = -12.0$ ‰, $\delta\text{D} = -106.3$ ‰. Данные величины меньше, чем средневзвешенные значения $\delta^{18}\text{O}_{\text{атм}} = -16.2$ ‰ и $\delta\text{D}_{\text{атм}} = -124.1$ ‰ (база данных GNIP) для атмосферных осадков, выпадающих в Байкальском регионе, и значительно отличаются от $\delta^{18}\text{O} = -19.8$ ‰ и $\delta\text{D} = -145.9$ ‰, характеризующих изотопный состав речной воды, поступающей в озеро. Абсолютные величины $\delta^{18}\text{O}$ и δD , характеризующие изотопный состав воды рек, впадающих в озеро, предполагают наличие существенной (возможно подавляющей) доли

воды, образованной в результате таяния сезонного льда и снега. Изотопный анализ показывает, что питание оз. Котокель осуществляется метеорными водами. Испарение оказывает существенное влияние на изотопный состав озерной воды.

Зарегистрированные на изотопной кривой минимумы 10.8; 9.3; 6.0 и 1.2 тыс. л.н., приблизительно соответствуют максимумам концентрации диатомей в осадке. Резкое падение значений $\delta^{18}\text{O}$ створок, сопровождаемое увеличением концентрации диатомовых, на наш взгляд, связано с притоком значительного объема талых вод в результате повышения температуры воздуха. Максимальные значения $\delta^{18}\text{O}$ створок (около 29–30 ‰), зафиксированные в начале голоцена, по всей видимости, обусловлены малым количеством атмосферных осадков, выпадавших в бассейне озера, и интенсивным испарением, которому подвергалась озерная вода.

Проведенные исследования свидетельствуют, что изотопный состав озерной воды является основным параметром, определяющим величину изотопного сигнала в створках диатомовых водорослей из донных осадков оз. Котокель. Вариации $\delta^{18}\text{O}$ створок в период голоцена преимущественно отражают изменение $\delta^{18}\text{O}$ озерной воды, которые вызваны: (1) вариациями в изотопном составе атмосферных осадков, (2) уровнем испарения воды из озера, и (3) количеством талой воды, поступающей в озеро с реками.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект РФФИ № 12-05-00476 и Германского научного фонда (DFG), проекты Me-3266-3-1 и Me-3266-5-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антипова Н.Л., Помазкова Г.И.* 1971. О планктоне оз. Котокель. Исследования гидробиологического режима водоемов Восточной Сибири. Иркутск: БГНИИ. С. 27–39.
- Калмычков Г.В., Кострова С.С., Гелетий В.Ф.* и др. 2005. Способ выделения створок диатомовых водорослей из донных осадков для определения их кислородного изотопного состава и реконструкции палеоклимата // Геохимия. № 12. С. 1358–1360.
- Калмычков Г.В., Кузьмин М.И., Покровский Б.Г., Кострова С.С.* 2007. Изотопный состав кислорода створок диатомовых водорослей из осадков оз. Байкал: изменение среднегодовых температур в Центральной Азии за последние 40 тыс. лет // Докл. РАН. Т. 412. № 5. С. 675–678.
- Полонных А.К.* 1988. Фитопланктон озера Иркана, Котокель и его продукция / В.Н. Кузьмич (ред.). Биопродуктивность евтрофных озер Иркана и Котокель бассейна озера Байкал. Л.: Промрыбвод. Вып. 279. С. 18–24.
- Bezrukova E.V., Tarasov P.E., Solovieva N.* et al. 2010. Last glacial–interglacial vegetation and environmental dynamics in southern Siberia: Chronology, forcing and feedbacks // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* V. 296. P. 185–198.
- Chapligin B., Meyer H., Friedrichsen H.* et al. 2010. A high-performance, safer and semi-automated approach for the $\delta^{18}\text{O}$ analysis of diatom silica and new methods for removing exchangeable oxygen // *Rapid Communications in Mass Spectrometry.* V. 24. P. 2655–2664.
- Leng M.J., Barker P.A.* 2006. A review of the oxygen isotope composition of lacustrine diatom silica for palaeoclimate reconstruction // *Earth-Sci. Rev.* V. 75. P. 5–27.
- Morley D.W., Leng M.J., Mackay A.W., Sloane H.J.* 2005. Late glacial and Holocene environmental change in the Lake Baikal region documented by oxygen isotopes from diatom silica // *Glob. Planet. Change.* V. 46. P. 221–233.
- Shemesh A., Rosqvist G., Riitti-Shati M.* et al. 2001. Holocene climatic change in Swedish Lapland inferred from an oxygen-isotope record of lacustrine biogenic silica // *The Holocene.* V. 11. № 4. P. 447–454.
- Swann G.E.A., Leng M.J., Sloane H.J., Maslin M.A.* 2008. Isotope offsets in marine diatom $\delta^{18}\text{O}$ over the last 200 ka // *J. Quatern. Sci.* 2008. V. 23. P. 389–400.
- Swann G.E.A., Leng M.J., Juschus O.* et al. 2010. A combined oxygen and silicon diatom isotope record of Late Quaternary change in Lake El'gygytyn, North East Siberia // *Quatern. Sci. Rev.* V. 29. P. 774–786.

СООТВЕТСТВИЕ ВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ КАРБОНАТОВ, НЕКОТОРЫХ ФОСФОРИТОВ И ЦИАНЕЙ – СЛУЧАЙНОЕ СОВПАДЕНИЕ ИЛИ ГЕНЕТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННОЕ ЯВЛЕНИЕ?

В.Г. Кузнецов

Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва, vgzkuz@yandex.ru

CORRESPONDENCE IN THE CHRONOLOGICAL DEVELOPMENT OF MAGNESIUM CARBONATES, SOME PHOSPHORITES, AND CYANOBACTERIA – CASUAL OR GENETIC PHENOMENA?

V.G. Kuznetsov

Gubkin State University of Oil and Gas, Moscow, vgzkuz@yandex.ru

В геологической истории Земли наблюдается определенный параллелизм временного распространения магнезиальных карбонатов – магнезитов и особенно доломитов и развития цианобактериальных сообществ. Это соответствие не имеет абсолютного характера, существуют определенные смещения, но в целом картина достаточно определенная. При этом намечаются определенные рубежи относительно одновременного изменения состава карбонатных пород и развития цианей.

Первый рубеж – граница раннего и среднего протерозоя – становление и бурное развитие цианей, в том числе, строматолитообразующих, сокращение накопления известняков и начало массового накопления доломитов и самого крупного в истории Земли – магнезитов. Справедливости ради следует отметить, что на фоне преобладания в архее кальциевых карбонатов (ныне кальцифиры и мраморы) имелись и доломиты, а древнейшие магнезиты известны в образованиях нижнего протерозоя; одновременно в этот период имелись и цианобактериальные образования, в частности строматолиты. Проблема именно в массовом распространении магнезитов и доломитов, которые отчетливо связаны со средним и верхним протерозоем – временем расцвета цианобактериальных сообществ.

Второй рубеж – сокращение и распад строматолитобразующих сообществ в венде, который обусловил первое снижение интенсивности накопления доломитов на границе рифей-венд, а затем и венд-кембрий, и практически полное исчезновение магнезитов.

Третий рубеж – это граница раннего и позднего палеозоя – время выхода растительности на сушу. Новая экосистема оказалась более результативной с точки зрения усвоения углекислоты и продуцирования кислорода и вытеснила строматолитобразующие сообщества. В мелководных морских обстановках геохимические функции последних частично перешли к известковым цианеям – кальцибионтам, которые в значительной степени способствовали раннепалеозойскому доломитообразованию в этих палеогеографических обстановках.

Четвертый рубеж – середина мезозоя. С юры и особенно мела карбонатонакопление в значительной мере сместилось в пелагиаль и стало планктоногенным, среди морских автотрофов ведущее значение приобрел фитопланктон. Параллельно с практически полным исчезновением цианей в морских экосистемах, исчезли и доломиты.

Подобное направленное развитие несколько нарушается в верхнем карбоне – перми, когда отмечается повышенное доломитообразование, вновь появляются магнезиты и несколько возрастает значение микробиальных сообществ. Не исключено, что подобная аномалия, определенный регресс и отклонение от направленной эволюции биоты обусловлен специфической глобальной тектонической обстановкой. Это было время существования суперконтинента Гондвана, глобального похолодания и оледенения. Подобные обстоятельства мало благоприятствовали развитию относительно высокоорганизованной биоты и соответствующие экологические ниши оккупировали менее требовательные микробиальные сообщества.

Во второй половине мезозоя и особенно кайнозойе существенно ослабленное доломитообразование и резко редуцированное магнезитообразование сместилось в крайне неблагоприятные для жизни области засоленных лагун, аридных побережий, пресноводных, но резко щелочных озер.

Подобный параллелизм – сокращение или почти полное исчезновение фауны, развитие цианей и появление доломитов – наблюдается и в конкретных разрезах фанерозоя.

Одной из причин подобного параллелизма может быть влияние цианей на геохимическую обстановку водоемов и создание такой среды, которая как раз и способствует преимущественному осаждению карбонатов магния. Дело в том, что цианеи, массово усваивая CO_2 , создавали щелочную среду водоема, которая как раз и определяет садку магнезиальных соединений – карбонатов и даже гидроксидов, из которых в диагенезе и формируются доломиты и магнезиты.

В определенной степени со стратиграфическим распределением микробиальных сообществ, включая цианеи, коррелируется стратиграфическое положение некоторых видов фосфоритов, хотя временные рамки менее четко очерчены. В настоящее время показано, что так называемые микрозернистые и частично зернистые (пеллетовые) фосфориты имеют микробиальную природу. Именно эти фосфориты, равно как и фосфориты строматолитовые, развиты в рифее – венде – нижнем кембрии и перми, правда, последние только в одном, но уникальном объекте – в бассейне Фосфория.

Более подробно временные соотношения пород и биоты, а также возможные механизмы воздействия последней на распределение пород описаны в серии работ, часть из которых приведена в списке литературы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Герасименко Л.М., Заварзин Г.А., Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. 1999. Роль цианобактерий в образовании фосфатных минералов // Журн. общ. биологии. Т. 60. № 4. С. 415–430.
- Зайцева Л.В., Орлеанский В.К., Герасименко Л.М., Ушатинская Г.Т. 2006. Роль цианобактерий в кристаллизации магнезиальных кальцитов // Палеонтол. журн. № 2. С. 14–20.
- Кузнецов В.Г. 2003. Эволюция карбонатонакопления в истории Земли // М.: ГЕОС. 262 с.
- Кузнецов В.Г. 2004. Связь эволюции цианофитов и стратиграфического размещения магнезитов // Геология и разведка. № 4. С. 30–36.
- Кузнецов В.Г. 2005. Эволюция доломитообразования и ее возможные причины // Бюл. МОИП. Отд. геол. Т. 80. Вып. 4. С. 49–66.
- Лучина В.А. 1986. Кембрийские водорослевые постройки и фосфатогенез / Б.С. Соколов (ред.). Фанерозойские рифы и кораллы СССР. М.: Наука. С. 211–215.
- Bontognali T.R.R., Vasconcelos C., Warthmann R.J. et al. 2010. Dolomite formation within microbial mats in the coastal sabkha of Abu Dhabi, (United Arab Emirates) // Sedimentology. V. 57. № 3. P. 824–844.
- Braithwaite C.J.K., Zedef V. 1996. Hydromagnesite stromatolites and sediments in an alkaline lake, Salda Goelue, Turkey // J. Sediment. Res., Sect. A. V. 66. № 5. P. 991–1002.
- Vasconcelos C., McKenzie J.A. 1997. Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil) // J. Sediment. Res. V. 67 A. № 3. P. 378–390.
- Vasconcelos C., McKenzie J., Brnasconi S. et al. 1995. Microbial mediation as a possible mechanism for dolomite formation at low temperatures // Nature. V. 377. P. 220–222.
- Walter M.R., Golubic S., Preiss W.V. 1973. Recent stromatolites from hydromagnesite and aragonite depositing lakes near the Coorong lagoon, South Australia // J. Sediment. Petrol. V. 43. № 4. P. 1021–1030.
- Warthmann R., van Lith, Vasconcelos C. 2000. Bacterially induced dolomite precipitation in anoxic culture experiments // Geology. V. 28. № 12. P. 109–1094.
- Wright D.T., Wacey D. 2005. Precipitation of dolomite using sulphate-reducing bacteria from Coorong region, South Australia: significance and applications // Sedimentology. V. 52. P. 978–1008.

**АЛЬГОФЛОРА В ФОРМИРОВАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА
ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ВОЛЖСКО-БЕРРИАССКОЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Н.К. Куликова, Е.Г. Раевская, О.В. Шурекова

ФГУНПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург, lena.raevskaya@mail.ru

**ALGAE AS A SOURCE OF ORGANIC MATTER OF THE HIGH-CARBON VOLGIAN-BERRIASSIAN
BAZHENOV FORMATION OF THE WEST SIBERIA**

N.K. Kulikova, E.G. Raevskaya, O.V. Shurekova

FGUNPP «Geologorazvedka», Saint-Petersburg, lena.raevskaya@mail.ru

Интерес к истории и условиям формирования уникальных по своей природе отложений баженовского горизонта Западной Сибири связан с аномально высоким содержанием в их составе органического углерода, который, по мнению многих исследователей, является основным продуцентом углеводородов большинства нефтяных и газовых месторождений богатейшего в стране нефтегазоносного региона. При весьма обширной площади распространения (более 1 млн. км²) в центральной части Западно-Сибирского бассейна конденсированные высокобитуминозные баженовские осадки имеют сравнительно выдержанную мощность от 10 м (в краевых частях) до 40, в отдельных случаях до 60 м (в депоцентре), залегая на глубинах от 1 до 3–3.5 км. Среднее содержание $C_{\text{орг}}$ в кремнисто-глинисто-карбонатных породах баженовской свиты составляет 5 % и может превышать 10 % в наиболее обогащенных глинисто-кремнистых интервалах.

Взгляды на первичную природу органического вещества менялись на протяжении всей полувекковой истории изучения баженовских отложений. Было установлено, что $C_{\text{орг}}$ слагается сапропелевым планктонным материалом, источником которого могли служить микроорганизмы с кремнистым скелетом, такие как радиолярии и, возможно, диатомовые водоросли. Однако исследования Ю.Н. Занина и др. (2008а, б) показали отсутствие значимой корреляции между содержанием $C_{\text{орг}}$ и свободного кремнезема, имеющего в свите преимущественно аутигенный характер. Это явилось косвенным подтверждением другой, высказанной прежде, идеи о преобладающей роли бесскелетных организмов. Точка зрения, согласно которой основная доля органического вещества баженовской свиты образовалась «в результате смены поколений зеленых водорослей, скорее всего прازیнофицей (*Pterospermella* и др.)» (Брадучан и др., 1986) нашла свое развитие в работах многих специалистов. На сегодняшний день представление о том, что происхождение органического вещества баженовской свиты связано с макро- и микроводорослями, преимущественно микрофитопланктоном (Маринов и др., 2006), является наиболее признанным и широко цитируется в литературе.

Вместе с тем, в процессе проводимых нами палинологических исследований толщ баженовского горизонта, выявились некоторые, противоречащие этому представлению факты, которые потребовали более пристального внимания и отдельного рассмотрения.

Значительную территорию распространения баженовского горизонта в бассейне занимает баженовская свита, которая сформировалась в течение волжского-начале берриасского веков. Возраст баженовской свиты определен по аммонитам и детализирован по сопутствующим группам фауны: двустворкам и радиоляриям (Брадучан и др., 1986; Захаров, 2006 и др.). Свита залегают на абалакской и георгиевской свитах верхней юры и перекрывается фроловской и мегионской свитами нижнего мела. С запада к баженовской свите примыкает более или менее однородная по битуминозности тутлеймская свита, а по внешнему контуру на северо-западе, северо-востоке и юго-юго-востоке отложения баженовской свиты замещаются небитуминозными породами одновозрастных с ней частей даниловской, яновстанской и марьяновской свит соответственно, имеющих скользящие границы (рис. 1). Анализируемый в данной работе материал (более 25 образцов) происходит из тутлеймской, баженовской и яновстанской свит ряда скважин, расположенных в условно субширотном направлении, секущем баженовский осадочный бассейн с запада на восток.

Палинологи, изучавшие альгофлору баженовской свиты, всегда отмечали явное преобладание прازیнофит, редкую встречаемость миоспор и цист динофлагеллят при общем исключительно низком содержании палиноморф в целом в большинстве опробованных интервалов (Федорова в: Киричкова и др., 1999; Pijina et al., 2005 и др.). В изученных нами образцах баженовская альгофлора также хорошо узнается по скудному видовому разнообразию и малочисленности встречаемых экземпляров. На фоне исключительно обильного темно-коричневого аморфного органического вещества присутствуют оболочки прازیнофитовых водорослей, представленные родами *Pterospermella*, *Tasmanites*, реже *Cymatiosphaera* (рис. 2), а также единичные миоспоры и диноцисты. Высокое содержание прازیнофит (около 80 %) было установлено лишь на одном уровне в скважине Ташинская-4 в тутлеймской свите на западе бассейна, в то время как практически все проанализированные препараты из баженовской свиты характеризовались крайне низкими количествами микрофитофоссилий, включая прازیнофитовые водоросли. В связи с этим возникают следующие вопросы.

Прежде всего, если считать, что источником ОВ баженовской свиты служили преимущественно зеленые прازیнофитовые водоросли, то почему их количество в осадках так невелико? А если их основная масса уже преобразована в аморфное вещество, то, как объяснить наличие в препаратах отдельных неизменных форм превосходной сохранности? Кроме того, цвет присутствующих в баженовской свите микрофитофоссилий характеризуется преимущественно светлыми зеленовато-желтыми и желто-оранжевыми оттенками, отвечающими стадии протокатагенеза (условно 90–150 °С), тогда как главная фаза нефтеобразования при-



Рис. 1. Схема распространения отложений баженковского горизонта (на основе схемы: Кручиков и др., 2012).

ходится на стадию мезокатагенеза (150–200 °С), которая коррелируется с более «зрелыми» коричневыми и темно коричневыми оттенками керогена по шкале градаций цвета палиноморф (Ровнина, 1987).

Вопросы возникают и в части экологической интерпретации анализируемого материала. Двойственность местообитания прازیнофит общеизвестна. Эти водоросли способны выдерживать значительные колебания солености, поэтому их массовое присутствие обычно приурочено либо к осадкам глубоководных частей бассейна, либо к прибрежным осадкам со следами сильного опреснения (Лебедева, 2008). Но, так или иначе, их повышенное содержание в палиноспектрах относительно нормального микрофитопланктона всегда указывает на отклонение от нормально-морских условий. Вместе с тем, согласно палеоэкологическим данным, формирование баженовской свиты происходило в нормально морском бассейне богатом разнообразной жизнью (Захаров, 2006 и др.). И, как показывают имеющиеся на сегодняшний день данные, присутствие прازیнофит в исследуемых отложениях характеризуется скорее фоновыми, а не аномальными значениями.

Феномен высокой концентрации $C_{орг}$ в баженовских отложениях связывается с сложившимися на рубеже юры и мела стабильными палеогеографическими, гидрологическими и геодинамическими условиями полузамкнутого обширного бассейна, обрамленного низкой пенепленизированной сушей, которые определили некомпенсированные условия осадконакопления на значительной территории внутренних областей, куда почти не доносился терригенный материал. Существовавшая на дне бассейна впадина, с эпизодически возникавшими анаэробными и дизаэробными условиями в придонных водах и под поверхностью осадок-вода, обусловила специфические условия накопления и захоронения органического материала (Захаров, 2006 и др.). Однако эти условия не объясняют причины отсутствия остатков нормального микрофитопланктона (если учесть, например, что в одновозрастных частях, примыкающей с востока яновстанской свите, диноцисты представлены сравнительно высоким разнообразием), так же как и не дают ответ на вопрос о генезисе ОВ. Из чего же образовалась биомасса, которая так обогатила баженовские отложения, если количество микрофитопланктона ничтожно мало, а на долю кремнистой (скелетной) органики, по данным Ю.Н. Занина и др. (2008а, б), приходится не более 1 %?

Наиболее значимой, на наш взгляд, видится роль не микро-, а макроводорослей, в частности бурых, что может быть подкреплено целой серией аргументов.

В некоторых публикациях (Варламов, Ухлова, 2005) упоминается о находках в баженовской свите в юго-восточной части бассейна псевдовитринита – микрокомпонента РОВ и ОВ, исходным материалом которого служили остатки донных бурых водорослей. Установленный молекулярными методами возраст бурых водорослей (155–200 млн. лет) указывает на то, что в юрских морях они уже не были редким компонентом морских сообществ.

Известно, что бурые водоросли являются важным, если не основным, источником органического вещества в прибрежной зоне, особенно в морях умеренных и приполярных широт (Жизнь растений, 1977). Будучи сорванными с субстрата они могут продолжать свое существование, поддерживаемые на плаву за счет

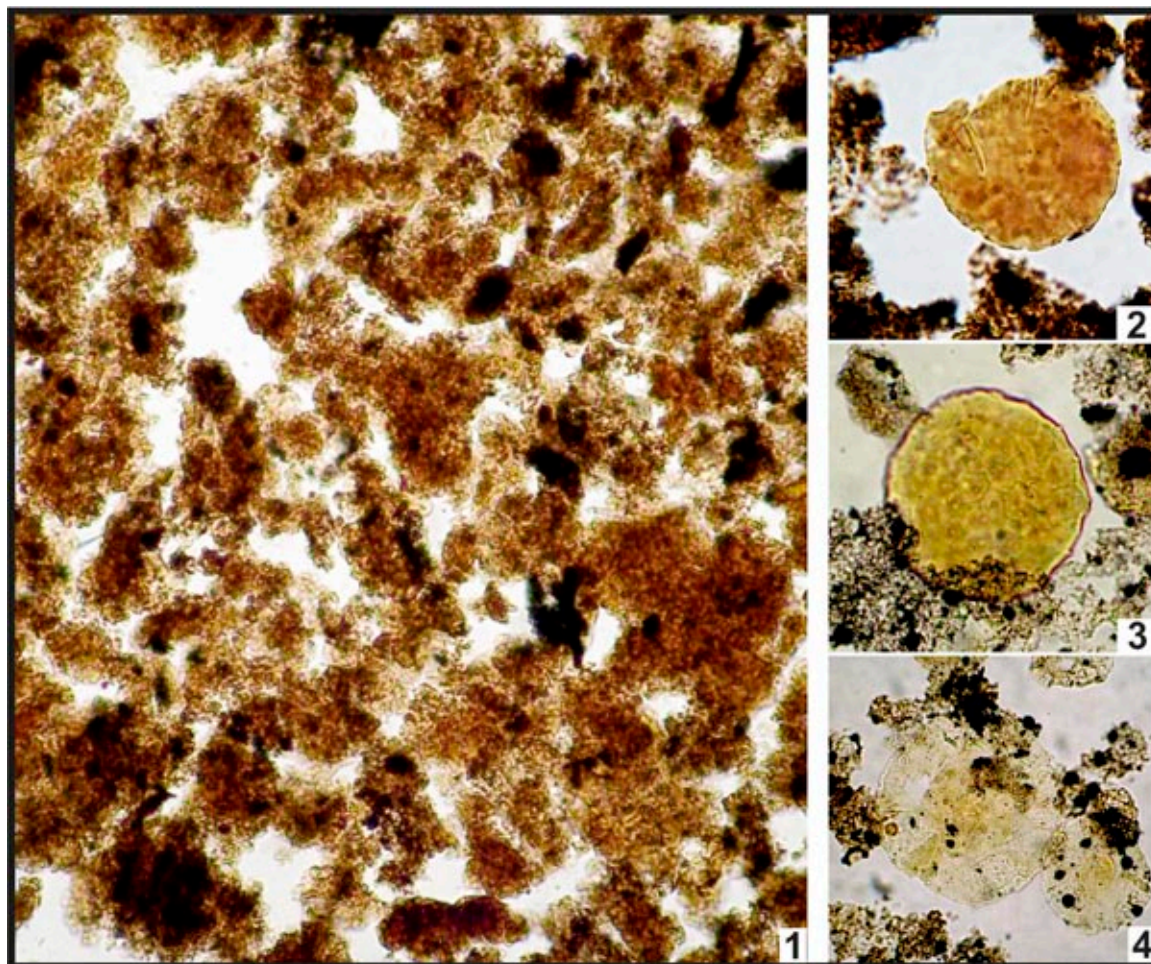


Рис. 2. Характерный состав органимацерата баженовской свиты. 1 – аморфное органическое вещество, палиноморфы (празинофиты): 2 – *Tasmanites* sp., 3 – *Cymatiosphaera* sp., 4 – *Pterospermella* sp.

собственных многочисленных воздушных пузырьков. Способность жить в неприкрепленном виде позволила некоторым видам бурых водорослей вторично перейти к планктонному образу жизни. В современном Саргассовом море эти водоросли образуют обширные плавучие поля, стабильно удерживаемые в однородном жизненном пространстве специфической конфигурацией омывающих круговых течений. Саргассовые заросли служат питанием и местом обитания чрезвычайно разнообразной фауны, обеспечивая высокую биологическую продуктивность сложившегося здесь морского биоценоза.

Гидрологические, экологические и палеогеографические условия баженовского бассейна подробно освещались во многих публикациях. Согласно имеющимся сведениям и проведенному обобщению в бассейне существовала сложная система течений: вдольбереговых, циклонических, конвекционных, апвеллинговых, которые, создавая завихрения и круговые течения в эпипелагиали, могли образовывать режим, близкий к таковому в Саргассовом море (Захаров, 2006).

Принимая во внимание, что бурые водоросли бывают многолетними, достигают крупных размеров (десятки метров) и способны использовать все формы размножения, включая вегетативное, возможно предположить, что в благоприятных теплых поверхностных водах баженовского моря, с регулярным привнесением питательных веществ, они могли сформировать в поздней юре густые плавучие заросли со своей замкнутой экосистемой, оттеснившей микрофитопланктон. Возможно, это может служить объяснением отсутствия нормального микрофитопланктона в нормально морском баженовском бассейне.

Обнаруженные недавно в аргиллитах баженовской свиты центральной части бассейна неминерализованные пластинчатые и лентовидные остатки водорослей с анатомической структурой, связанной с многоклеточностью (Лучинина в: Маринов и др., 2006) являются документальным свидетельством существования в бассейне развитой альгофлоры. Макроводоросли, по нашему мнению, более, чем микрофитопланктон были способны образовать ту внушительную биомассу, которая явилась главным источником органического вещества, продуцировавшего углеводороды уникальной нефтематеринской и нефтеносной баженовской толщи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брадучан Ю.В., Гольберт А.В., Гурари Ф.Г. и др. 1986. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). Новосибирск: Наука. 217 с.
- Варламов С.Н., Уклова Г.Д. 2005. Проблемы палеогеографии и стратиграфии баженовской свиты (граница юры и мела, центральная часть Западной Сибири) / Мат-лы 1 Всеросс. совещ. «Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии». С. 14–16.

- Жизнь растений. 1977. Т. 3. Водоросли и лишайники / М.М. Голлербах (ред.). М.: Просвещение. С. 143–192.
- Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. 2005. Некоторые аспекты формирования баженовской свиты в центральных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна // Литосфера. № 4. С. 118–135.
- Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Лившиц В.Р., Эдер В.Г. 200а. К вопросу о роли радиолярий как продуцента органического вещества в баженовской свите // Новости палеонтологии и стратиграфии. Вып. 10–11. Прилож. к журн. «Геология и геофизика». Т. 49. С. 214–216.
- Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Лившиц В.Р., Эдер В.Г. 2008б. О роли скелетного и бесскелетного биогенного материала в формировании органического вещества баженовской свиты // Геология и геофизика. № 4. Т. 49. С. 357–366.
- Захаров В.А. 2006. Условия формирования волжско-берриасской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии / Эволюция биосферы и биоразнообразие. М. С. 552–568.
- Киричкова А.И., Куликова Н.К., Овчинникова Л.Л. и др. 1999. Биостратиграфическое расчленение мезозойских отложений, вскрытых Тюменской сверхглубокой скважиной // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 7. № 1. С. 71–85.
- Курчиков А.Р., Кислухин В.И., Кислухин И.В. и др. 2012. Литолого-фациальная характеристика верхнеюрских отложений Западной Сибири // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. № 6. С. 4–10.
- Лебедева Н.К. 2008. Диноцисты и биостратиграфия верхнемеловых отложений Севера Сибири. Дисс. докт. геол.-мин. наук. 396 с.
- Маринов В.А., Меледина С.В., Дзюба О.С. и др. 2006. Биофациальный анализ верхнеюрских и нижнемеловых отложений центральных районов Западной Сибири // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 14. № 4. С. 81–96.
- Ровнина Л.В. 1987. Катагенез нерастворимого органического вещества. Методические аспекты палинологии. М.: Недра. С. 194–207.
- Ilyina V.I., Nikitenko B.L., Glinskikh L.A. 2005. Foraminifera and dinoflagellate cyst zonation and stratigraphy of Callovian to Volgian reference section in the Tyumenskaya superdeep well (West Siberia, Russia) // Micropalaeontol. Soc., Spec. Publ. P. 109–144.

ОСОБЕННОСТИ ФЛОРЫ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ПУТИ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ В АЗИИ

М.С. Куликовский, Е.С. Гусев, И.В. Кузнецова

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок, max-kulikovsky@yandex.ru

DIATOM FLORA PECULIARITIES AND ITS FORMATION IN ASIA

M.S. Kulikovskiy, E.S. Gusev, I.V. Kuznetsova

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters of RAS, Borok, max-kulikovsky@yandex.ru

Несмотря на длительное изучение диатомовых водорослей, данная группа остается в Азии наименее изученной. Причиной послужила точка зрения о космополитизме диатомовых водорослей и их широкой морфологической изменчивости. Такой подход лег в основу повсеместного использования определителей, подготовленных для Европы, в первую очередь, монографий F. Hustedt. Большинство таксонов, описанных из Азии, например, Б.В. Скворцовым, были затем сведены в синонимику или просто не учитывались рядом отечественных систематиков и флористов.

Для выявления ископаемой и современной флоры диатомовых водорослей нами начаты исследования разнотипных водоемов России, Монголии и Вьетнама с использованием современных методов световой и сканирующей электронной микроскопии, монокультур и молекулярно-генетических методов, посредством анализа последовательностей 18S, *rbcL* и ITS.

Изучение флоры диатомовых водорослей на современном уровне с использованием общепринятой систематики организмов позволяет рассмотреть вопрос формирования флоры с учетом современных взглядов на биогеографию диатомовых и протистов в целом (Verleyen et al., 2009; Vyverman et al., 2007). Изучение флоры в древних водоемах, таких как озера Байкал и Хубсугул, несомненно, является необходимым вследствие их древности и особенностей формирования сообществ *in situ*. Нами показано, что флора диатомовых Байкала включает большое количество новых родов диатомовых, некоторые из которых, тем не менее, характерны и для других водоемов Азии (Kulikovskiy et al., 2012). Анализ флор таких водоемов – ключ к пониманию особенностей биогеографии водорослей азиатского региона.

В презентации мы постараемся дать обзор первых результатов и обсудить следующие проблемы:

- особенности азиатской флоры диатомовых водорослей и ее отличие от европейской на уровне родов и/или отличительных видов (flagship taxa);
- формирование флоры в историческом аспекте при сравнении ископаемой диатомовой флоры с современной;
- биогеография современных водорослей посредством сравнения последовательностей ITS;
- выявление криптических и псевдокриптических таксонов с использованием сравнения последовательностей 18S и *rbcL*.

Работа поддержана грантами Фонда Президента РФ, № МК-5681.2012.4 и РФФИ, № 12-04-33078 мол_а_вед).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Kulikovskiy M.S., Lange-Bertalot H., Metzeltin D., Witkowski A. 2012. Lake Baikal: hotspot of endemic diatoms I // Iconographia Diatomologica. V. 23. P. 7–608.
- Verleyen E., Vyverman W., Sterken M. et al. 2009. The importance of dispersal related and local factors in shaping the taxonomic structure of diatom metacommunities // Oikos. V. 118. P. 1239–1249.
- Vyverman W., Verleyen E., Sabbe K. et al. 2007. Historical processes constrain patterns in global diatom diversity // Ecology. 88(8). P. 1924–1931.

СИМБИОТИЧЕСКИЕ ПОСЕЛЕНИЯ ВОДОРОСЛЕВО-БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ
НА *BOLBOPORITES* (EOCRINOIDEA, ECHINODERMATA)
ИЗ ОРДОВИКА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Б. Кушлина

Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, vkush@paleo.ru

SYMBIOTIC ALGAL-BACTERIAL COMMUNITIES ON *BOLBOPORITES* (EOCRINOIDEA,
ECHINODERMATA) FROM THE ORDOVICIAN OF LENINGRAD REGION

V.B. Kushlina

Borissiak Paleontological Institute of RAS, Moscow, vkush@paleo.ru

Большопориты представляют собой небольшие конусовидные образования, целиком состоящие из кальцита. Боковая поверхность большопорита ячеистая, а основание конуса гладкое, на нем расположена фасетка из сдвоенных ямок. Внутри проходит узкий продольный канал, который начинается порой на фасетке, проходит сквозь все тело большопорита и открывается наружу на его заостренном конце. Раньше их считали частями других иглокожих, например морских звезд, но после находок экземпляров с сохранившимися члениками на фасетке (рис. 1) эти представления изменились. Сейчас они трактуются как крайне специализированные бентосные иглокожие, отнесенные к классу эокриноидей, которые имели единственный пищеворный отросток (брахиолу), отходящую от конусовидной теки, сросшейся со стеблем (Рожнов, Кушлина, 1994) (рис. 2). Конусовидное тело большопорита было погружено в грунт. Все внутренние органы и целомическая полость располагались на верхней поверхности животного и были покрыты сверху лишь кожной пленкой.

Имеющаяся в нашем распоряжении коллекция большопоритов из отложений волховского горизонта востока Ленинградской области насчитывает около 2.5 тыс. экземпляров, из них 33 экземпляра несут на себе тонкий нарост светло-коричневого цвета. Последний частично или полностью покрывает аборальную ячеистую часть большопорита, но никогда не присутствует на его оральной гладкой поверхности. Вещество оболочки может плотно прилегать к телу большопорита, выполняя все его ячейки, а может образовывать поверхностную корочку толщиной 0.5–1.5 мм и образовывать морщины и складки.

В ряде случаев (9 из 33-х) эта оболочка значительно толще в верхней части ячеистой поверхности, где она образует морщины и «карнизы», параллельные плоскости оральной стороны (рис. 3, 4). При этом нижняя часть ячеистой поверхности либо вовсе свободна от оболочки, либо плотно покрыта тонким ее слоем с наименьшей толщиной близ базального конца (в этом случае вещество оболочки полупрозрачно и сквозь него просвечивает скелет большопорита). Базальный конец свободен от оболочки почти всегда, даже в тех случаях, когда большая часть вещества оболочки присутствует в нижней части ячеистой поверхности (7 случаев из 33-х).



2 мм

Рис. 1. *Bolboporites* (*Ambliporites*) *triangularis* Pander, 1830, экз. ПИН, № 4125/494; восток Ленинградской обл., р. Лынна, средний ордовик, верхняя часть волховского горизонта.

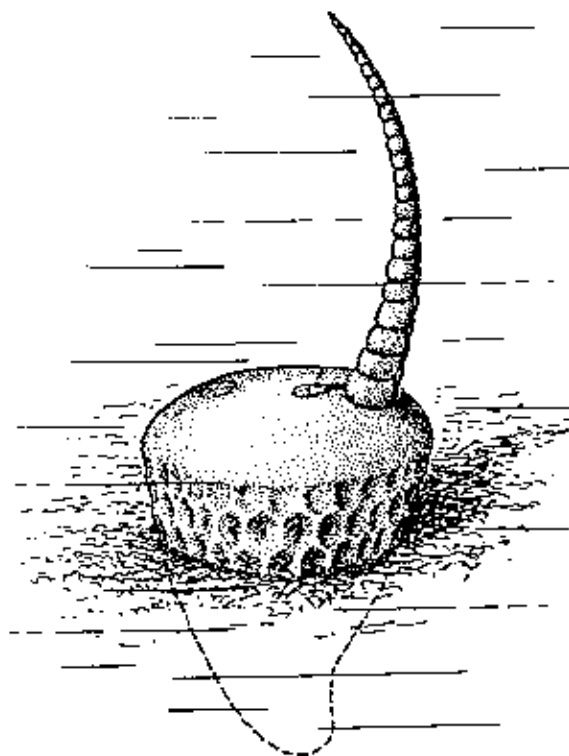


Рис. 2. Реконструкция образа жизни *Bolboporites* Pander.

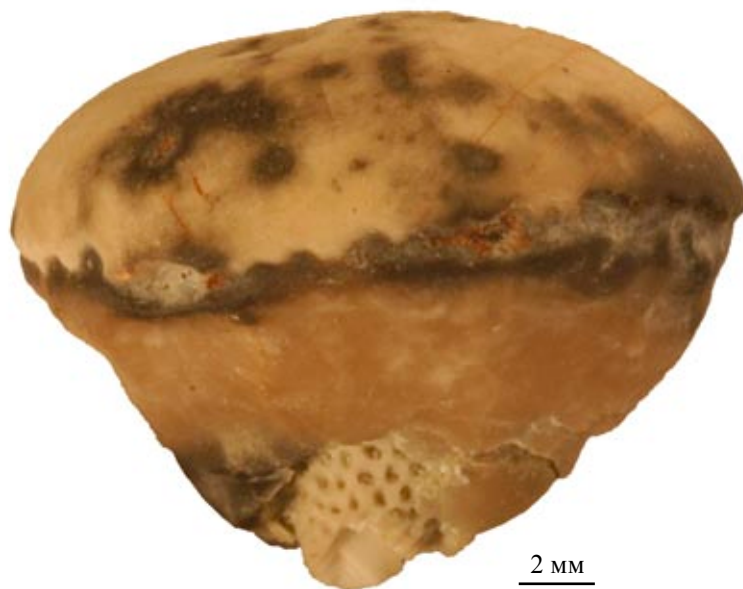


Рис. 3. *Volboporites (Bolboporites) mitralis* Pander, 1830, экз. ПИН, № 4125/512; восток Ленинградской обл., р. Лынна, средний ордовик, верхняя часть волховского горизонта.

В 9-ти случаях оболочка распределена по ячеистой стороне более-менее равномерно, в 7-ми она сконцентрирована преимущественно на одном из боков больбопорита (рис 5). Последний случай может указывать на прижизненное положение «на боку».

На одном экземпляре (рис. 3) (самом большом из несущих обрастания) на поверхности оболочки видны морщины, параллельные оральной стороне больбопорита, которые могут рассматриваться как ритмичность ее нарастания. На одном из шлифов больбопорита с подобной оболочкой прослеживаются слабо выраженные более темные дугообразные параллельные друг другу линии, идущие от внешней поверхности оболочки вверх к краям ячеек больбопорита (рис. 6). На фотографиях поверхности, сделанных с помощью сканирующего электронного микроскопа, видна резкая граница между телом больбопорита с характерным стереомным строением (рис. 7, левая часть) и веществом оболочки, имеющим чешуйчатую структуру (рис. 7, правая часть). Мы предполагаем, что этот тонкий нарост представляет собой водорослевое или бактериально-водорослевое поселение, по своей микроструктуре (рис. 7, 8) сходное с известковыми зелеными водорослями (Тихомирова, 1988).

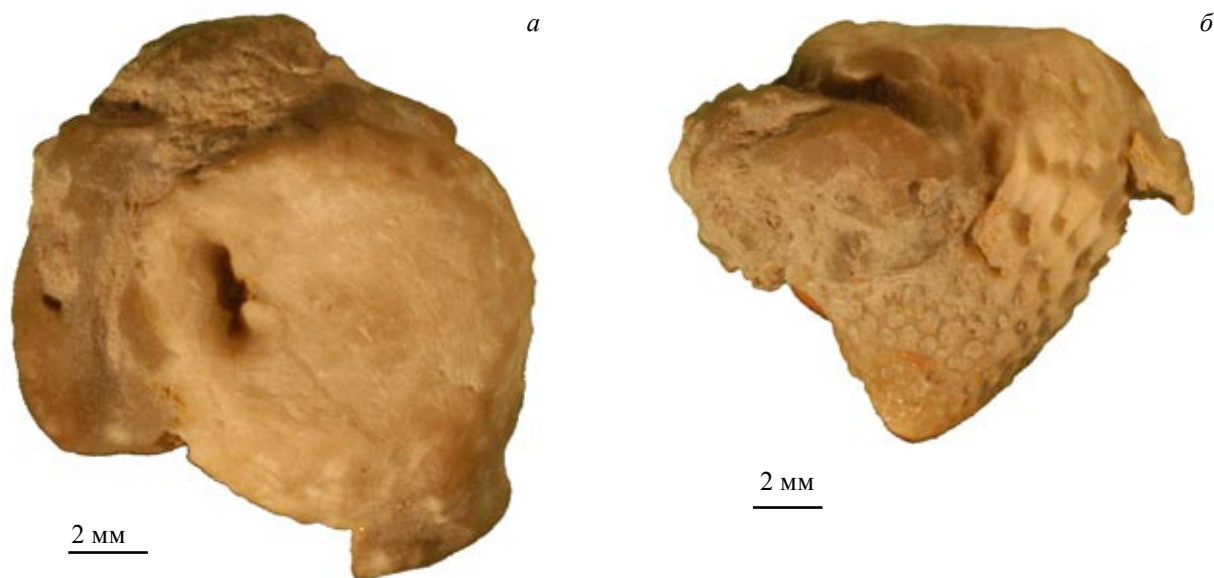


Рис. 4. *Volboporites (Bolboporites) uncinatus* Pander, 1830, экз. ПИН, № 4125/742: *a* – вид сверху, *б* – вид сбоку; восток Ленинградской обл., карьер Бабино, средний ордовик, верхняя часть волховского – нижняя часть кундаского горизонта.



Рис. 5. *Volboporites* sp., экз. ПИН, № 4125/744; восток Ленинградской обл., карьер Бабино, средний ордовик, верхняя часть волховского горизонта.

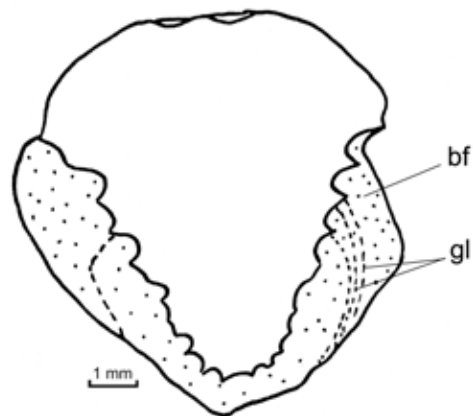


Рис. 6. Прорисовка продольного сечения *Volboporites* sp.; экз. ПИН, № 4125/809 (bf – обрастание, gl – линии роста).

Расположение этих тонких обрастаний обладает следующими особенностями.

1. Гладкая, или оральная, сторона больбопорита всегда свободна от оболочки; даже если последняя тяготеет к одному боку больбопорита, на гладкой стороне ее нет. В случае прижизненного развития водоросли на теле больбопорита это хорошо объяснимо, так как именно на оральной стороне, по нашему предположению, располагалась основная масса мягких органов животного. Это хорошо иллюстрируется также тем, что два уникальных экземпляра больбопоритесов, несущие сохранившиеся основания брахиол, также заключены в подобную оболочку (рис. 1). Исходя из того, что в подавляющем большинстве случаев все брахиолярные членики утрачивались вскоре после отмирания организма, их присутствие указывает на то, что захоронение было быстрым, и в момент гибели больбопорита водорослевая оболочка уже присутствовала на больбопорите.

2. В одном случае наблюдается реакция тела больбопорита на поселение водоросли. На одном больбопорите, не достигшем размера взрослого (высота 0.9 см, ширина оральной поверхности 0.5 см), наблюдается очень мощное нарастание водоросли со всех сторон, кроме оральной; при этом толщина оболочки соизмерима с шириной больбопорита и составляет 0.15 см. Видимо, такое воздействие неблагоприятно сказалось на больбопорите: его оральная поверхность деформирована, как бы сдавлена с боков (рис. 9). Вероятно, в этом случае интенсивное разрастание водоросли препятствовало нормальному развитию больбопорита.

В целом же представляется, что взаимоотношения организма оболочки и больбопорита были скорее нейтральными (эпибионт) или даже рождали взаимную выгоду. Так, организм оболочки, используя больбопорит в качестве твердого субстрата на мягком грунте, в то же время помогал ему противодействовать чрезмерному погружению в этот грунт, образуя опоясывающие больбопорит карнизы.

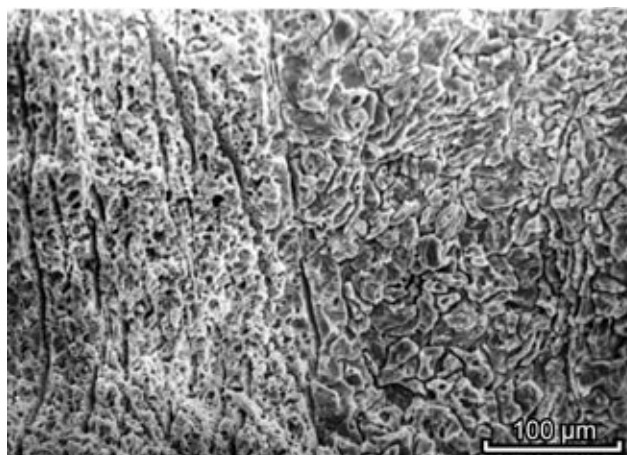


Рис. 7. *Volboporites* sp., экз. ПИН, № 4125/808; микроструктура больбопорита (левая часть) и обрастания (правая часть), СЭМ; восток Ленинградской обл., верхняя часть волховского горизонта.

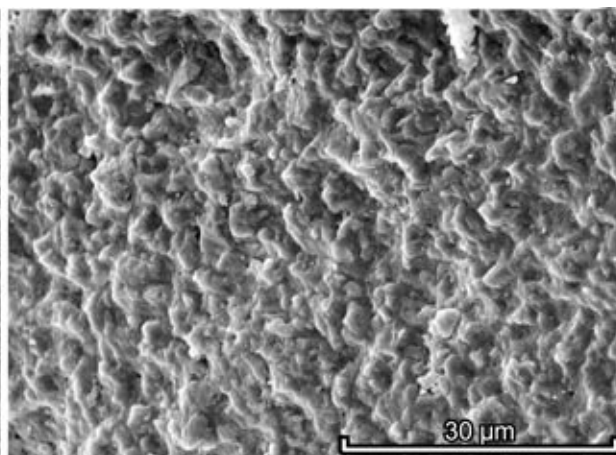


Рис. 8. *Volboporites (Volboporites) uncinatus* Pander, 1830; тот же экземпляр, что на рис. 4; микроструктура обрастания (СЭМ).



Рис. 9. *Volboporites (Bolboporites) uncinatus* Pander, 1830; экз. ПИН, № 4125/743: *а* – сверху, *б* – сбоку; восток Ленинградской обл., р. Лынна, средний ордовик, нижняя часть кундаского горизонта.

Начало роста оболочки могло быть приурочено к ранним стадиям развития больбопорита (в коллекции имеется ювенильный экземпляр с подобной оболочкой), тогда водоросль и больбопорит могли расти синхронно. В подобных случаях водоросль охватывает почти всю ячеистую поверхность. Если поселение происходило на более поздних стадиях роста, основная масса оболочки приурочена к верхней части ячеистой поверхности.

Судя по тому, что обрастания на больбопоритах были приурочены к уровню близ поверхности осадка или над ним, можно предположить, что организмы-обрастатели были фототрофными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Рожнов С.В., Кушлина В.Б. 1994. Новая интерпретация больбопоритов (Echinodermata, Eocirinoidea) // Палеонтол. журн. № 2. С. 59–66.
 Тихомирова Н.С. 1988. Микроструктура некоторых палеозойских известковых водорослей // Известковые водоросли и строматолиты (систематика, биостратиграфия, фациальный анализ) / В.Н. Дуботолов, Т.А. Москаленко (ред.). Новосибирск: Наука. С. 14–18.

РОЛЬ ВОДОРΟΣЛЕЙ PEDIASTRUM ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ БЕЛОГО МОРЯ

Н.Б. Лаврова¹, В.В. Колька², О.П. Корсакова²

¹ ИГ КарНЦ РАН, Петрозаводск, lavrova@krc.karelia.ru

² ГИ Кольского НЦ РАН, Апатиты, kolka@geoksc.apatity.ru, korsak@geoksc.apatity.ru

THE ROLE OF THE ALGAE PEDIASTRUM IN STUDY OF A TRANSLOCATION OF THE WHITE SEA COAST LINE

N.B. Lavrova¹, V.V. Kolka², O.P. Korsakova²

¹ IG KarRC of RAS, Petrozavodsk, lavrova@krc.karelia.ru

² GI of Kola of SC RAS, Apatity, kolka@geoksc.apatity.ru, korsak@geoksc.apatity.ru

Целью проведенных исследований было изучение относительного перемещения уровня Белого моря в голоцене на основе литологических и микропалеонтологических исследований донных осадков в котловинах малых озер, расположенных на разных гипсометрических уровнях, а также радиоуглеродного датирования интервалов переходных зон между морскими и континентальными пресноводными осадками. Ранее (Колька и др., 2005) в разрезах донных отложений в озерных котловинах беломорского побережья выделены пять генетических фациальных разновидностей донных осадков, отражающих различные условия их накопления, существовавшие в позднеледниковое время и в голоцене. Это осадки фации позднеледниковой приледниковой озера (фа́ция I); осадки переходной зоны от пресноводных условий к морским условиям седиментации (фа́ция II); морские осадки (фа́ция III); осадки переходной зоны от морских к озерным отложениям (фа́ция IV); континентальные осадки пресноводного озера (фа́ция V). Используя комплекс сопряженных микропалеонтологических методов для изучения осадков позднеледниковой трансгрессии от перигляциального озера (фа́ция I) до морских (фа́ция III) и голоценовой последовательности от морских (фа́ция III) до озерных (фа́ция V) осадков в разрезах донных отложений в котловинах малых озер северной части Прибеломорской низменности, удалось установить особенности спорово-пыльцевых комплексов в осадках, соответствующих разным фа́циям (Лаврова и др., 2011). Изучены разрезы безымянного озера с отметками 57.3 м над уровнем моря (н.у.м), оз. Рыбное (5.7 м н.у.м) в районе пос. Энгозеро (разрезы Энгозеро 1 и 2), оз. Малое Коржино (66.9 м н.у.м), оз. Коржино (72 м н.у.м) в районе поселка Кузема (разрезы Кузема 1 и 2, соответственно), Чу́па (81.5 м н.у.м).

Фа́ция I – пресноводные осадки перигляциального озера. Отложения обнаружены в озерах, находящихся на наиболее высоких гипсометрических уровнях. Концентрация пыльцы и спор довольно низкая, но их содержание в отложениях вполне достаточно для расчетов процентных соотношений компонентов спектров. Среди пыльцы древесных преобладает *Betula* sect. *Albae* (*Betula pubescens*, *B. czerepanovii*), среди травянистых – *Artemisia*, спор – *Bryales* и *Polypodiaceae*. В группе трав и кустарничков выделяется пыльца *Betula nana* и *Ericales*. Отмечена пыльца таксонов, свойственных позднеледниковым отложениям

Карелии: *Ephedra*, *Hyppophae rhamnoides*, *Helianthemum*, *Pleurospermum*, *Chenopodium album*, *Ch. rubrum*, *Ch. polyspermum*, *Eurotia ceratoides*, *Salsola kali*, *Atriplex nudicaulis*, *Salicornia herbacea*, *Artemisia*, *Dryas octopetala*, *Diphasiastrum alpinum*, *Cryptogramma crispa*. Зафиксированы единичные колонии водорослей *Pediastrum* (*P. kawraiskyi*), но чаще встречаются обрывки колоний.

Фацция II – осадки переходной зоны от пресноводных условий седиментации к морским. Спорово-пыльцевые спектры отличаются нарастающей долей пыльцы *Betula* sect. *Albae*, *Ericales*, *Betula nana*, уменьшением количества пыльцы *Artemisia*, *Chenopodiaceae*. Среди травянистых преобладает пыльца *Cyperaceae* и *Poaceae*, в группе разнотравья доминирует пыльца *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Rumex*, среди споровых – *Bryales* и *Polypodiaceae*. В осадках фацции отмечена пыльца *Ephedra*, *Hyppophae rhamnoides*, *Helianthemum*, *Pleurospermum*, *Chenopodium album*, *Ch. rubrum*, *Ch. polyspermum*, *Eurotia ceratoides*, *Salsola kali*, *Atriplex nudicaulis*, *Salicornia herbacea*, *Artemisia*, *Dryas octopetala*, *Diphasiastrum alpinum*. Как и в осадках фацции I здесь единично встречаются обрывки колоний водорослей *Pediastrum*.

Фацция III – морские осадки. Для спорово-пыльцевых спектров всех изученных разрезов характерно доминирование пыльцы древесных пород. В донных отложениях озер, расположенных на высоких гипсометрических отметках отмечается некоторое увеличение вверх по разрезу пыльцы *Betula* sect. *Albae*, вклад пыльцы других древесных пород весьма скромнен. Свои позиции в той или иной степени теряет пыльца *Betula nana*, *Ericales*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae*. Примечательно, что в морских отложениях встречена пыльца типичных представителей перигляциальной флоры: *Hyppophae rhamnoides*, *Ephedra*, *Helianthemum*, *Pleurospermum*, *Chenopodium album*, *Ch. rubrum*, *Ch. polyspermum*, *Eurotia ceratoides*. В спорово-пыльцевых спектрах донных отложений озер, расположенных на более низких гипсометрических отметках преобладает пыльца древесных (*Betula* sect. *Albae*, *Pinus*). В группе травянистых возрастает количество пыльцы *Cyperaceae* и *Poaceae*. Галофиты *Atriplex nudicaulis*, *Salicornia herbacea* - зафиксированы в осадках фацции всех разрезов. Интересно отметить, что в отложениях некоторых разрезов единично встречается пыльца *Myriophyllum*, обрывки колоний водорослей *Pediastrum*. Вероятно, это связано с привнесением их из пресноводных водоемов или с процессами переотложения.

Фацция IV – осадки переходной зоны от морских к озерным отложениям. При регрессии Белого моря в депрессиях рельефа на побережье образовывались озера, в которых некоторое время (пока уровень моря располагался близко к порогу стока из этой депрессии) формировались осадки переходной зоны (фацция IV). Палинологический анализ этих отложений позволил выявить особенности спорово-пыльцевых спектров. В них преобладает пыльца древесных (*Betula* sect. *Albae*, *Pinus*). Объединяющим фактором для спорово-пыльцевых спектров палинозон, соответствующих осадкам фацции IV в изученных разрезах, являются именно локальные компоненты спектров: пыльца *Atriplex nudicaulis*, *Salicornia herbacea*, *Aster-type*, *Plantago*, кривые содержания которых выклиниваются к верхней границе палинозон. Заметные изменения происходят с пыльцой *Cyperaceae* и *Poaceae*, которые образуют пик в осадках этой фацции. Редко, но с большей частотой, чем в осадках предыдущей фацции, встречаются пыльца водных и некоторые виды *Pediastrum*.

Фацция V – континентальные осадки пресноводного озера. Смена морских обстановок осадконакопления на пресноводные озерные произошла несколько ранее 10 000 ¹⁴C л.н. в озерах, расположенных на наиболее высоких гипсометрических отметках. В процессе опреснения водоемов уменьшается и засоленность грунтов, делая местообитания непригодными для галофитов. По мере полного опреснения водоемов появляется пыльца водных и прибрежно-водных растений пресноводных водоемов. Полученные данные свидетельствуют о незначительном видовом и количественном составе этих растений, что, вероятно, определяется северным положением разрезов. Добавим, что и в настоящее время одной из характерных черт малых озер Прибеломорской низменности является бедность видового состава высшей водной растительности. При этом в палинозонах, соответствующих осадкам данной фацции, начинает формироваться и четко выделяется кривая содержания *Pediastrum*. Видовой состав зеленых водорослей зависит от времени обособления пресноводного водоема от моря. В осадках пресноводных озер (фацция V), расположенных на наиболее высоких гипсометрических отметках и освободившихся от влияния моря в пребореале-бореале, помимо космополита *Pediastrum boryanum* var. *boryanum* отмечены *Pediastrum kawraiskyi*, *P. integrum* var. *integrum*, что свидетельствует о формировании осадков в условиях холодного, олиготрофного водоема (Komarek, Jankovska, 2001). Затем к ним присоединяется *P. boryanum* var. *cornutum* и *Pediastrum duplex* var. *rugulosum*. В осадках данной фацции, выделенной в озерах, расположенных на низких гипсометрических отметках и обособившихся от моря в позднем голоцене почти безраздельно господствует *Pediastrum boryanum* var. *boryanum*.

Отделение малых озер северной части Прибеломорской низменности от морского бассейна фиксируется не столько по присутствию в осадках пыльцы водных и прибрежно-водных видов, характерных для пресных водоемов, сколько по массовому появлению водорослей *Pediastrum*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лаврова Н.Б., Колька В.В., Корсакова О.П. 2011. Особенности спорово-пыльцевых комплексов различных литологических фацций донных осадков озер на побережье Белого моря // Проблемы современной палинологии. Мат-лы 13 Рос. палинол. конф. Т. 2. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2011. С. 130–134.
- Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.Й., Корнер Д.Д. 2005. Последлениковские гляциоизостатические поднятия на северо-востоке Балтийского щита / Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова. Апатиты: КНЦ РАН. С. 15–25.
- Komarek J., Jankovska V. 2001. Review of the green algal genus *Pediastrum*: implication for pollenanalytical research // Bibliotheca phycologica. Bd 108. Berlin, Stuttgart. Cramer. 127 p.

НОВЫЙ ПОДХОД К МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДОКЕМБРИЙСКИХ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ ВОДОРΟΣЛЕЙ

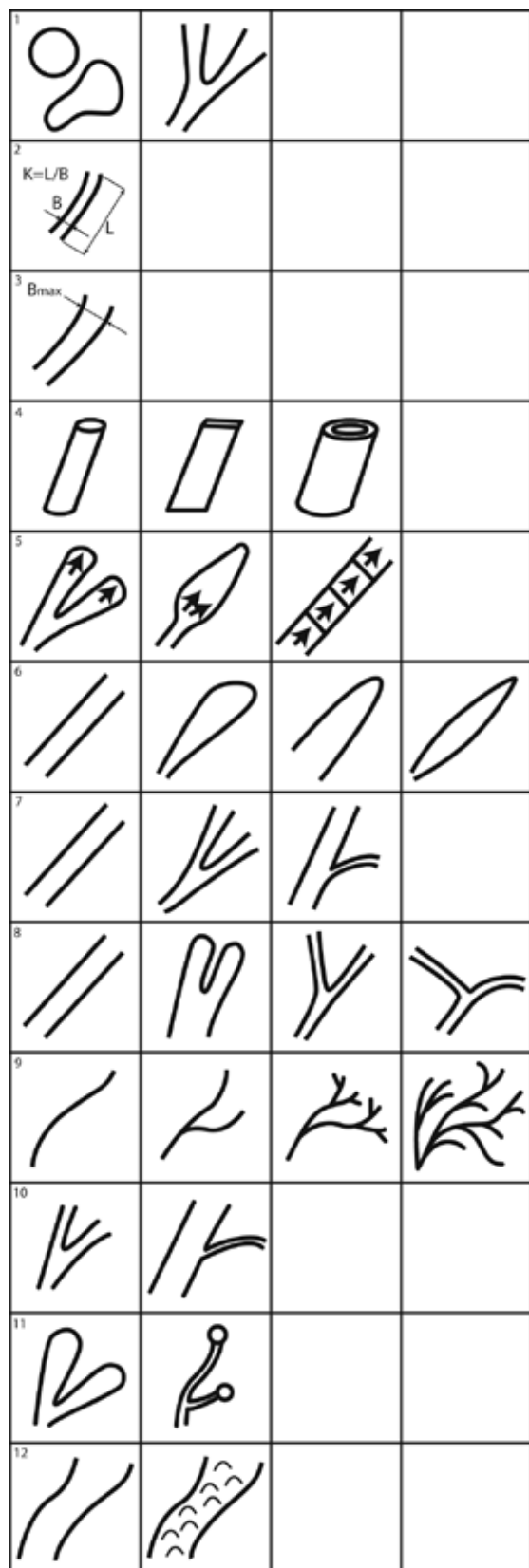
М.В. Леонов

Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, maxleon@narod.ru

A NEW APPROACH TO THE MORPHOLOGIC CLASSIFICATION OF THE PRECAMBRIAN MACROSCOPIC ALGAE

M.V. Leonov

Borissiak Paleontological Institute of RAS, maxleon@narod.ru



В настоящее время число описанных таксонов макроскопических водорослей достигает почти сотни. В то же время характер описаний многих таксонов при публикации затрудняет соотнесение таксонов друг с другом и, тем более, построение устойчивой непротиворечивой систематики этих остатков, даже формального плана.

Систематика для вендских таксонов макроскопических водорослей изначально строилась на формальных основах, также как и классификация дисперсных акритарх. М.Б. Гниловская (1974) в первый раз употребляет название группы Vendotaenides, в которую отнесла роды Vendotaenia и Tyrasotaenia, а также «кустистые вендотениды». Позднее (Гниловская, 1986) была разработана формальная классификация вендотенид, включающая два порядка Vendotaeniales Gnil. (формы с лентовидным талломом) и Eoholyniales Gnil. (формы с кустистым талломом). Эта классификация послужила основой для более обобщенной таксономической схемы, включающей 15 таксонов родового уровня, 5 таксонов семейственного уровня и 4 порядка, объединенных в два класса Chuariophyceae и Vendophyceae.

Г. Хофман (Hofmann, 1992, 1994) разработал более общую формальную классификацию протерозойских углистых остатков, в которой насчитывается 11 морфологических групп. Позднее этим группам он придал ранг порядков. При этом два из этих порядков – Vendotaeniales и Eoholyniales, ранее выделенные Гниловской. Эта схема гораздо более формализована, так, наряду с фитолеймами в нее вошли хитиновые остатки сабеллитид, поэтому в настоящей работе кажется более уместным использовать измененную с учетом современных данных схему Гниловской (1988). Она

Рис. 1. Морфологические признаки, используемые при новом подходе к формальной классификации докембрийских макроскопических водорослей: 1 – наличие или отсутствие осей – частей таллома, образованных линейным ростом; 2 – относительное удлинение отдельных частей таллома, для фрагментов – максимальное относительное удлинение; 3 – ширина таллома (абсолютное значение, максимальное); 4 – сечение осей – цилиндрическое, пластинчатое, трубчатое; 5 – характер роста осей – апикальный, базальный, дифференцированный; 6 – выдержанность сечения вдоль оси таллома – оси выдержанной ширины, расширяющиеся к апикальному концу оси, сужающиеся к апикальному концу оси, веретеновидные оси; 7 – характер ветвления – отсутствует, дихотомический, моноподиальный; 8 – угол ветвления – отсутствует, субпараллельный, под острым, прямым или тупым углом; 9 – частота ветвления – отсутствует, одиночное, множественное ограниченное, множественное неограниченное; 10 – наличие или отсутствие осей разных порядков; 11 – наличие или отсутствие апикальных структур, отличных от основной части оси; 12 – наличие или отсутствие рельефной поверхности фитолеймы.

должна быть дополнена новым порядком Archyfasmales Gnilovskaya, 2003 в составе класса Vendophyceae. Кроме того, многочисленные макроводоросли из китайских местонахождений, имеющие разнообразные морфологические и анатомические признаки, также должны занять подобающее им место в общей схеме формальной систематики докембрийских метафитов.

Эта схема строится преимущественно на морфологических критериях, достаточно бедных при описании докембрийских макроскопических водорослей, характеризующихся простым строением и представленными зачастую лишь незначительными фрагментами слоевищ. Кроме того, отсутствие единой системы морфологической характеристики остатков усложняет процедуру сравнения описаний, сделанных в разное время разными авторами.

В настоящее время представляется возможным уточнить основы этой классификации на основании более детального анализа общей морфологии вегетативной части таллома, основанной на характеристике талломов, выполненных на основе исчерпывающего списка формальных признаков. При новом подходе предлагается учитывать, как минимум, 12 формальных морфологических признаков строения таллома (рис. 1).

Для большинства форм ископаемых водорослей такие данные по морфологическому соответствию новым критериям могут быть достаточно достоверно получены на основании анализа публикаций и изображений, не прибегая к дополнительному изучению коллекций. Все признаки, кроме отмеченных в пунктах 2 и 3, являются качественными критериями. Для данных по пунктам 2 и 3 предполагается формальная категоризация для приведения массива числовых данных к нескольким градациям.

Полученный массив формализованных данных предлагается разделить на группы, пользуясь методами кластерного анализа (иерархическая кластеризация, метод Чекановского). В результате мы получим упорядоченную, логически стройную схему формально-морфологической классификации верхневендских макроостатков и, одновременно, единую систему морфологического их описания с иерархией признаков, наиболее важных для различения таксонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гниловская М.Б. 1974. Вендотениды запада Русской платформы / Тез. докл. совещ. по верхнему докембрию (риффею) Русской платформы (27 мая – 1 июня 1974 г.). М. С. 29–31.
- Гниловская М.Б. 1986. Тканевая многоклеточность древнейших растений // Актуальные вопросы современной палеоальгологии. Киев. С. 22–24.
- Гниловская М.Б., Ищенко А.А. и др. Вендотениды Восточно-Европейской платформы. Л.: Наука. 1988. 143 с.
- Hofmann H. 1994. Proterozoic carbonaceous compressions (“metaphytes” and “worms”) // Early Life on Earth. Nobel Symposium № 84. Columbia University Press, NY.
- Hofmann H. 1992. Proterozoic and selected Cambrian megascopic carbonaceous films / J.W. Schopf, C. Klein (eds). The Proterozoic Biosphere, a multidisciplinary study. Cambridge University Press, Cambridge. P. 957–998.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ПРИ ИЗУЧЕНИИ БАКТЕРИАЛЬНЫХ И ВОДРОСЛЕВЫХ ПОСТРОЕК

Л.В. Леонова¹, А.А. Галеев², С.Л. Вотяков¹, М.Т. Крупенин¹, Е.И. Сорока¹

¹Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, lvleonova@yandex.ru

²Институт геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, Казань, akhmet.galeev@ksu.ru

USE OF ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE TO STUDY THE STRUCTURE OF BACTERIAL AND ALGAL DEPOSITS

L.V. Leonova¹, A.A. Galeev², S.L. Votyakov¹, M.T. Krupenin¹, E.I. Soroka¹

¹Institute of Geology and Geochemistry of UB RAS, Ekaterinburg, lvleonova@yandex.ru

²Institute of Geology and Petroleum Technologies Kazan Federal University, akhmet.galeev@ksu.ru

В геологии большинство физических методов исследования предназначено для изучения минералов и их структурных особенностей. Однако биоминералы (макро- и микрофоссилии; биохеогенные образования) важны тем, что могут нести двойную информацию, имея, во-первых, кристаллическую структуру определенных минералов и, во-вторых, являясь результатом жизнедеятельности ископаемой биоты. Особенно актуальна адаптация некоторых методов исследования вещества при изучении биохеогенных и древнейших осадочных отложений, в которых фоссилии крайне редки. В данной работе мы хотим показать возможности метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), использовавшегося при изучении рифейских карбонатных строматолитов и кремневых обособлений. Работы выполнялись на кафедре минералогии, в лаборатории физики минералов Казанского университета.

Применение метода ЭПР с целью установления остатков ископаемых органических веществ (ОВ) базируется на том, что при деструкции молекулы белков и целлюлозы (лигнина) фрагменты аминокислот и полисахаридов способны к образованию и стабилизации в молекулярной структуре нескомпенсированных связей – радикалов органического углерода (Rc-org). Катализируя процесс минералообразования, остатки ОВ могут сохраняться в биоминеральных матрицах. При лабораторном или природном прогреве в опреде-

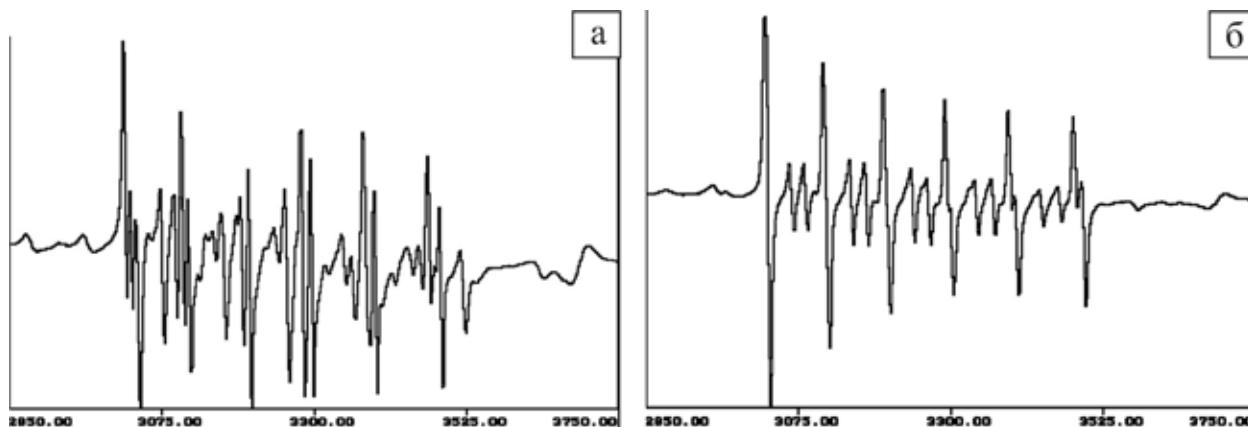


Рис. 1а, б. Типовые спектры ЭПР в области марганца проб рифейских строматолитов и кремневых обособлений: а – ионы Mn^{2+} в доломите; б – в кальците (известняке).

ленном температурном диапазоне активируются парамагнитные свойства радикалов органического углерода. При этом наблюдаемые на спектрах ЭПР резонансные линии Rс-org характеризуются: положением (безразмерный параметр g), шириной (ΔH , Гс) и формой (преимущественно Лоренцева), а также температурным максимумом. Специфика этих характеристик позволяют различать остатки ископаемых ОВ растительного и животного происхождения, что для наших исследований особенно важно.

Согласно ранее полученным характеристикам спектров ЭПР углеродных радикалов наиболее типичных остатков ископаемых органических веществ, резонансные линии Rс-org растительного происхождения (лигнин) имеют параметры: $g \sim 2.0030 \div 2.0038$ и $\Delta H \sim 4 \div 7$ Гс, максимум активизации сигнала $350^\circ C$. Для остатков животного (белкового) происхождения, включая бактерий – $g = 2.0026 - 2.0028$, $\Delta H \sim 0.5 \div 4$ Гс, температурный максимум – $600^\circ C$ (Муравьев, 2007). При высокой степени природной углефикации сигналы могут наблюдаться в исходных пробах (Conard, 1984; Хасанов и др., 2008).

Кроме того, наличие в карбонатах парамагнитных примесей Mn и Fe, изоморфно замещающих собственные катионы в структуре кальцита и доломита (рис. 1а, б), могут служить дополнительной палеоэкологической информацией. Так, изоморфная примесь Fe^{3+} наблюдается в карбонатах, образовавшихся в среде с преобладающей окислительной обстановкой.

Присутствие на спектрах ЭПР в области радикалов радиационных центров свидетельствует о том, что исследуемые биоминералы не подвергались существенным изменениям со времени их формирования, поскольку при разрушении минеральных агрегатов уничтожаются и структурные дефекты.

Радиационные центры возникают под влиянием ионизирующей радиации, на собственных анионных комплексах CO_3^{2-} структуры карбонатов образуются зарядовые дефекты. Непосредственно в процессе облучения создаются электронно-дырочные центры $CO_3^{\cdot-}$, CO_3^{3-} и, частично $CO_2^{\cdot-}$. Со временем избыточные заряды перераспределяются в системе примесных анионных дефектов и образуют стабильные центры $SO_2^{\cdot-}$, $SO_3^{\cdot-}$, $PO_2^{\cdot-}$ (или PO_2^0) и $CO_2^{\cdot-}$, регистрируемые в мезозойских, палеозойских и протерозойских карбонатах. Минералы диоксида кремния, подвергавшиеся ионизирующей радиации, характеризуются наличием кислородных центров (группа O^- и E') (рис. 2а, б, в).

В нашу рабочую коллекцию входило более 200 образцов строматолитов рифея из стратотипического разреза и 2 образца черных кремневых обособлений. Рифейские строматолиты, описанные и изученные в биостратиграфических целях (Козлов, 1986), в отложениях нижнего рифея (нижне-, верхнекусинская и нижне-саткинская подсвиты, бакальская свита) представлены: *Conophyton garganicus* Kor., *Paniscollenia satka* Kom., *Gongylina diferenciata* Kom., *Kussiella kussiensis* Kryl., *Con. punctatus* Kom., *Con. lituus* Masl., *Con. cylindricus* Masl., *Gaya ircuskanica* Kryl. Среднерифейские строматолиты из карбонатов авзянской свиты включают: *Baicalia aborigena* Schap., *Svetliella* Kom., *Conophyton kusha* Kom., *Con. culindricus* Masl., *Con. metula* Kirich., *Baicalia nova* Kryl. et Schap., *Colonella formosa* Kul., *Cryptophyton convolutum* Kom. В отложениях верхнего

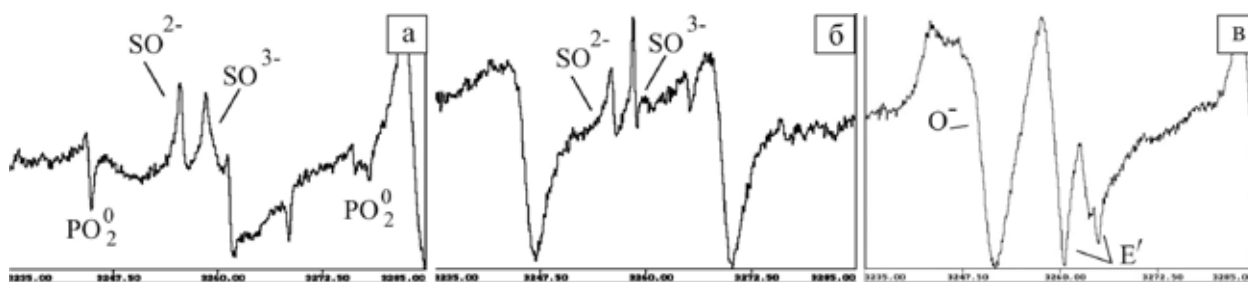


Рис. 2а, б, в. Спектры ЭПР в области радикалов исследуемых образцов: а – сигналы радиационных центров $SO_2^{\cdot-}$, $SO_3^{\cdot-}$, PO_2^0 в доломите; б – $SO_2^{\cdot-}$, $SO_3^{\cdot-}$ в кальците; в – радиационные центры O^- и E' в кремневой компоненте.

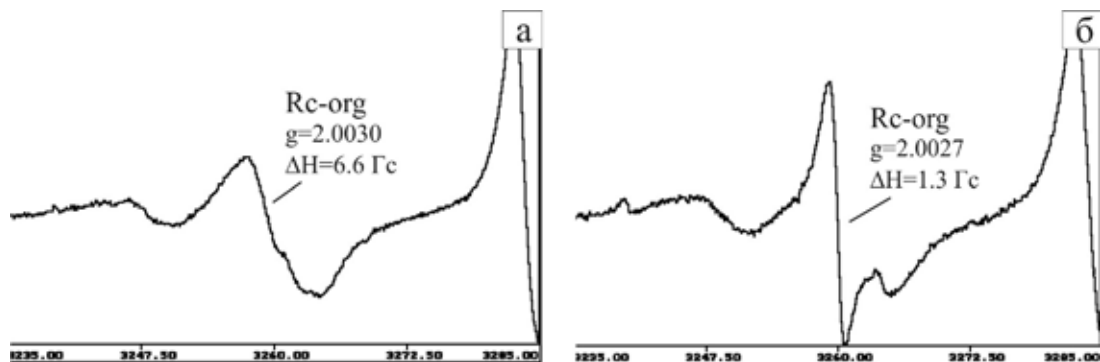


Рис. 3а, б. Спектры ЭПР в области радикалов проб верхнерифейских строматолитов; сигналы органического углерода Rc-org: а – характерные для остатков органических веществ растительного ряда (прогрев 350 °С); б – типичные для остатков животного происхождения (прогрев до 600 °С).

рифей (катавская, инзерская и миньярская свиты) строматолиты представлены: *Inzeria tjomusi* Kril., *Con. reticulatus* Kom., *Gymnosolen giganteus* Kril., *Katavia karatavica* Kryl., *Gym. ramsayi* Steinm. А также: *Parmites meridionalis* Raab., *Con. miloradoviči* Raab., *Con. asymmetricus* Raab., *Parmites concrescens* Raab., *Minjaria uralica* Kryl., *Heterostilia zilimica* Raab., *Patomella kelleri* Raab., *Linella ukka* Kryl., *Tungussia bassa* Kryl.

Результаты их изучения методом ЭПР (Вотьяков и др., 2006) показали, что строматолиты из нижнерифейских толщ, как и вмещающая порода, сложены преимущественно доломитом (62 пробы из 100) (рис. 1а). На спектрах ЭПР в области радикалов остатки ископаемого органического вещества растительного происхождения ($g=2.0030$ и $\Delta H=4$ Гс) установлены в четырех пробах. В восьми пробах наблюдаются сигналы углеродных радикалов ($g=2.0027$, $\Delta H=1.4$ Гс), типичные для остатков ископаемых ОБ белкового типа. Они отмечаются как в спектрах исходных проб, так и прогретых до 350 °С или 600 °С. Радиационные центры $SO_2^{\cdot-}$, $SO_3^{\cdot-}$ (рис. 2а, б) сохранились в десяти пробах. Кремневая компонента, фиксируемая по наличию сигналов $O^{\cdot-}$ и E' (рис. 2в), присутствует в трех пробах. Строматолиты среднего рифея (30 проб) сложены доломитом, изредка кальцитом (рис. 1б). На спектрах ЭПР в пяти пробах установлены сигналы органического углерода, характерные только для остатков ископаемых ОБ белкового типа. Они прослеживаются в исходных пробах, прогретых до 350 °С и 600 °С. Центры $SO_2^{\cdot-}$, $SO_3^{\cdot-}$ отмечаются в восьми пробах, а E' – в четырех. Строматолиты из отложений верхнего рифея (84 пробы) имеют доломитовый и (или) кальцитовый состав, причем имеются образцы доломитовых построек в кальцитовом субстрате. Сигналы углеродных радикалов, типичные для растительных остатков (рис. 3а), установлены в двух пробах, характерные для ОБ белкового происхождения (рис. 3б) – в сорока восьми.

Радиационные центры $SO_2^{\cdot-}$, $SO_3^{\cdot-}$ установлены на спектрах ЭПР сорока образцов в доломите (рис. 2а) и кальците (рис. 2б), а в трех пробах обнаружен радиационный центр PO_2^0 (рис. 2а), свидетельствующий о высоких скоростях образования минеральных агрегатов. На спектрах ЭПР резонансные линии Rc-org появлялись, в основном, после отжига 600 °С, указывая на низкую степень метаморфизма.

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что наличие остатков ископаемых органических веществ растительного и животного происхождения в рифейских строматолитах само по себе представляет научный интерес, поскольку свидетельствует о высокой активности циано-бактериально-водорослевых сообществ при формировании строматолитовых построек. Кроме того, на спектрах ЭПР проб строматолитов из толщ нижнего и среднего рифея сигналы Rc-org наблюдаются в исходных пробах и угасают при последующих прогревах, а в образцах строматолитов из верхнерифейских отложений – появляются преимущественно только после лабораторных отжигов. Скорее всего, мы наблюдаем следствие природного прогрева нижне- и среднерифейских пород, обусловленного внедрением магматических тел (Козлов и др., 1989) в районе отбора образцов, тогда как в позднем рифее тепловое влияние интрузий оказалось уже не столь существенным.

Результаты изучения методом ЭПР рифейских черных кремневых обособлений подтверждают это предположение. Первый образец содержит кремнистую компоненту, доломит и немного кальцита. На спектрах ЭПР проб темноцветной части наблюдаются сигналы Rc-org остатков сильно метаморфизованного органического вещества животного типа. Несимметричность линии сигнала связана с присутствием фосфатов. Пробы из светлой зоны обособления содержат только изоморфную примесь Fe^{3+} . Вмещающая порода сложена кальцитом, на спектрах ЭПР, еще в исходных пробах, присутствуют сигналы Rc-org, типичные для углей. Органическое вещество сильно метаморфизовано, т.к. исчезает при нагреве до 600 °С. В пробах другого образца, сложенного преимущественно кальцитом, остатков ископаемых ОБ не установлено, но наблюдаются сигналы радиационных центров $SO_2^{\cdot-}$, $SO_3^{\cdot-}$ и PO_2^0 .

Для сравнения можно привести результаты исследований методом ЭПР черных кремневых пород из палеозойских отложений. В частности, в рудовмещающей толще Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) установлены кремнисто-углеродистые прослои мощностью 0.1–1.5 м, чередующиеся с песчаниками и измененными вулканогенно-осадочными и вулканокластическими породами (Ярославцева, 2008) и брекчии с кремнистым цементом. Относительный геологический возраст кремне-

державших толщ определен как девонский по находкам в них фоссилий радиолярий (Сорока и др., 2010) и фораминифер (Чувашов и др., 2011).

На спектрах ЭПР в области радикалов кремнисто-углеродистых пород, в исходных пробах и после отжига до 350 °С, кроме радиационных центров (O^- и E'), появлялся сигнал Rс-org ($g=2.0031$; $\Delta H=5.4$ Гс), характерный для остатков ОВ растительного типа, метаморфизованного в относительно низкотемпературных условиях (не выше 300 °С). При последующем лабораторном прогреве до 600 °С появлялся слабый сигнал Rс-org белкового типа. Присутствие в одном и том же образце сигналов ЭПР двух типов объясняется тем, что в обугленных растительных остатках может присутствовать вещество животного ряда за счет деятельности гнилостных микроорганизмов на ранних стадиях седиментогенеза.

Еще один пример – результаты изучения парамагнитных свойств черных кремневых обособлений из верхнепермских биохомогенно-осадочных доломитов (правый берег р. Волги, Республика Татарстан). В исходных пробах (15 образцов) на спектрах ЭПР в области радикалов отмечались только радиационные центры (O^- и E'). Остатков ископаемых органических веществ растительного происхождения не установлено, хотя во вмещающих доломитах иногда встречаются (Муравьев, 2007). Сигналы Rс-org ($g=2.0027$ и $\Delta H=0.8-1.0$ Гс), характерные для ископаемых ОВ животного ряда наблюдались только после лабораторного отжига до 600 °С, указывая на низкую степень метаморфизма ОВ.

Подводя итог, можно отметить, что возможности метода ЭПР при изучении карбонатных и кремнистых образований позволяют установить присутствие остатков ископаемых органических веществ, захороненных в минеральных матрицах биоминералов; различать тип ископаемого ОВ (животный, включая бактерий или растительный). Наличие устойчивых радиационных центров свидетельствует о степени сохранности минеральных агрегатов со времени их формирования. А отсутствие сигналов органического углерода на спектрах ЭПР в области радикалов исходных проб и появление их только после лабораторного прогрева, указывает на низкую степень метаморфизма самих ОВ, произошедших до захоронения их в минеральных матрицах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вотьяков С.Л., Галеев А.А., Леонова Л.В. и др. 2006. ЭПР как метод исследования органической компоненты биогенных карбонатных пород (на примере строматолитсодержащих пород рифей Южного Урала) // Ежегодник-2005. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. С. 39–47.
- Козлов В.И. 1986. Стратотип рифей Южного Урала // Стратиграфия, литология и геохимия верхнего докембрия Южного Урала и Приуралья. Уфа: БФАН СССР. С. 6–15.
- Козлов В.И., Краснобаев А.А., Ларионов Н.Н. и др. 1989. Нижний рифей Южного Урала. М.: Наука. 208 с.
- Муравьев Ф.А. 2007. Литолого-минералогическая характеристика пермских маркирующих карбонатных горизонтов Республики Татарстан // Автореф. канд. геол.-мин. наук. Казань. 24 с.
- Сорока Е.И., Молошаг В.П., Леонова Л.В. и др. 2010. Кремнисто-углеродистые отложения рудовмещающей толщи Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) // Ежегодник-2009. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. С. 250–254.
- Хасанов Р.Р., Галеев А.А. 2008. Эволюция сингенетического органического вещества в палеозойских отложениях центральной части Волго-Уральской антеклизы // Уч. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. Т. 150. Кн. 3. С. 152–161.
- Чувашов Б.И., Анфимов А.Л., Сорока Е.И., Ярославцева Н.С. 2011. Новые данные о возрасте рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения (Средний Урал) на основе фораминифер // Докл. АН. Т. 439. № 5. С. 648–650.
- Ярославцева Н.С. 2008. Характеристика рудовмещающей тощи Сафьяновского медноколчеданного месторождения, Средний Урал (на примере кремнисто-углеродистых отложений) // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли. Мат.-лы Всерос. литол. совещ. Т. 2. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. С. 476–479.
- Conard J. 1984. E.P.R. in fossil carbonaceous materials / M.L. Petrakis, J.P. Fraissard (eds). Magnetic Resonance. Introduction Hingham: D. Reidel Publ. Comp. P. 441–459.

БИОМИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПЕРМСКИХ СТРОМАТОЛИТОВ (КАЗАХСТАН)

Т.В. Литвинова¹, Г.В. Сонин²

¹ Геологический институт РАН, Москва, litvinova-geo@rambler.ru

² Казанский университет, g.sonin@mail.ru

BIOMINERALISATION OF PERMIAN STROMATOLITES (KAZANSTAN)

T.V. Litvinova¹, G.V. Sonin²

¹ Geological Institute of RAS, Moscow, litvinova-geo@rambler.ru

² University of Kazan, g.sonin@mail.ru

В Актюбинской области в основании кунгурского яруса нижней перми на протяжении 180 км прослеживается так называемая актастинская пачка (Сонин, 1998) строматолитовых известняков мощностью около 2 м. Она залегает на отложениях верхней части артинского яруса, представленного характерными цефалоподовыми известняками. Наиболее детально разрез исследовался в районе горы Жиль-Тау, где общая мощность пачки может достигать 5 м (Сонин, 1972), здесь были описаны пластовые и столбчатые строматолиты. Первые представляют собой купола, максимальная мощность которых 0.5 м. Они сложены грубослоистыми серыми известняками, и получили название *Stratifera cortinata* Sonin, 1972 (Сонин, 1972). Вторые, столбчатые строматолиты *Colonella jiltau* Sonin, 1972, представлены желтобурыми пелитоморфными известняками

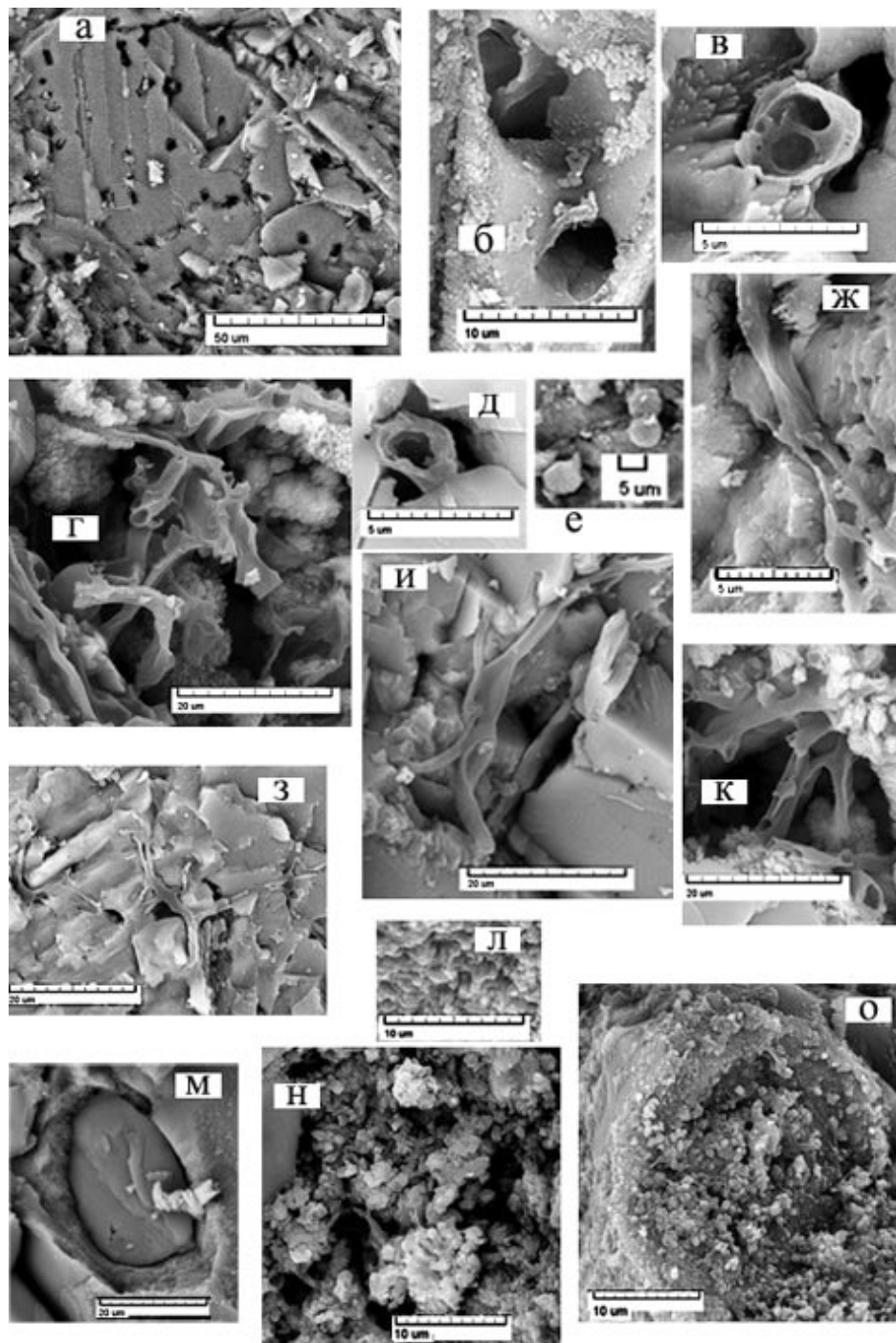


Рис. 1. Биоминерализация биогенных частиц в пластовом строматолите *Stratifera cortinata*.

с корковидной текстурой и слабо выраженной микростроистостью. И те, и другие были изучены с помощью электронного микроскопа. Исследования показали, что на свежем сколе образца пластовых строматолитов *Stratifera cortinata* распространены многочисленные отверстия размером 2–7 мкм (рис.1, а), в каждом из которых находятся полые округлые трубочки (рис.1, б, в, д) диаметром 1–4 мкм, толщина стенок составляет 0.5–1 мкм. Трубочки могут соприкасаться со стенками отверстий, но чаще между ними остается полое пространство, иногда можно увидеть две тесно соприкасающиеся трубочки (рис.1, в). Обнаружены не только поперечные, но и продольные срезы этих частиц (рис.1, ж), длина их составляет 5–20 мкм. Они могут иметь сложное строение, ветвиться или иметь отростки (рис.1, г, з, и). Обычно наблюдаются места скопления подобных образований, чередующихся со слоями пелитоморфного известняка. Как вмещающая порода, так и биогенные частицы-трубочки сложены исключительно известняком. Иногда встречаются округлые образования вытянутой формы размером 20x40 мкм (рис.1, м), содержание углерода в них существенно повышено, в качестве примеси присутствуют также O, K, Na, Cl. Практически аналогичный состав имеют круглые шарики (рис.1, е), размер которых составляет не более 5 мкм. Кроме того, выявлены заросли бактериально-водорослевых образований, напоминающих по внешнему облику цветную капусту (рис.1, н, о, л), высота отростков у них до 1.5 мкм, они также обогащены углеродом и другими обычно сопутствующими биосу элементами (O, Ca, Mg, Na, K, Cl).

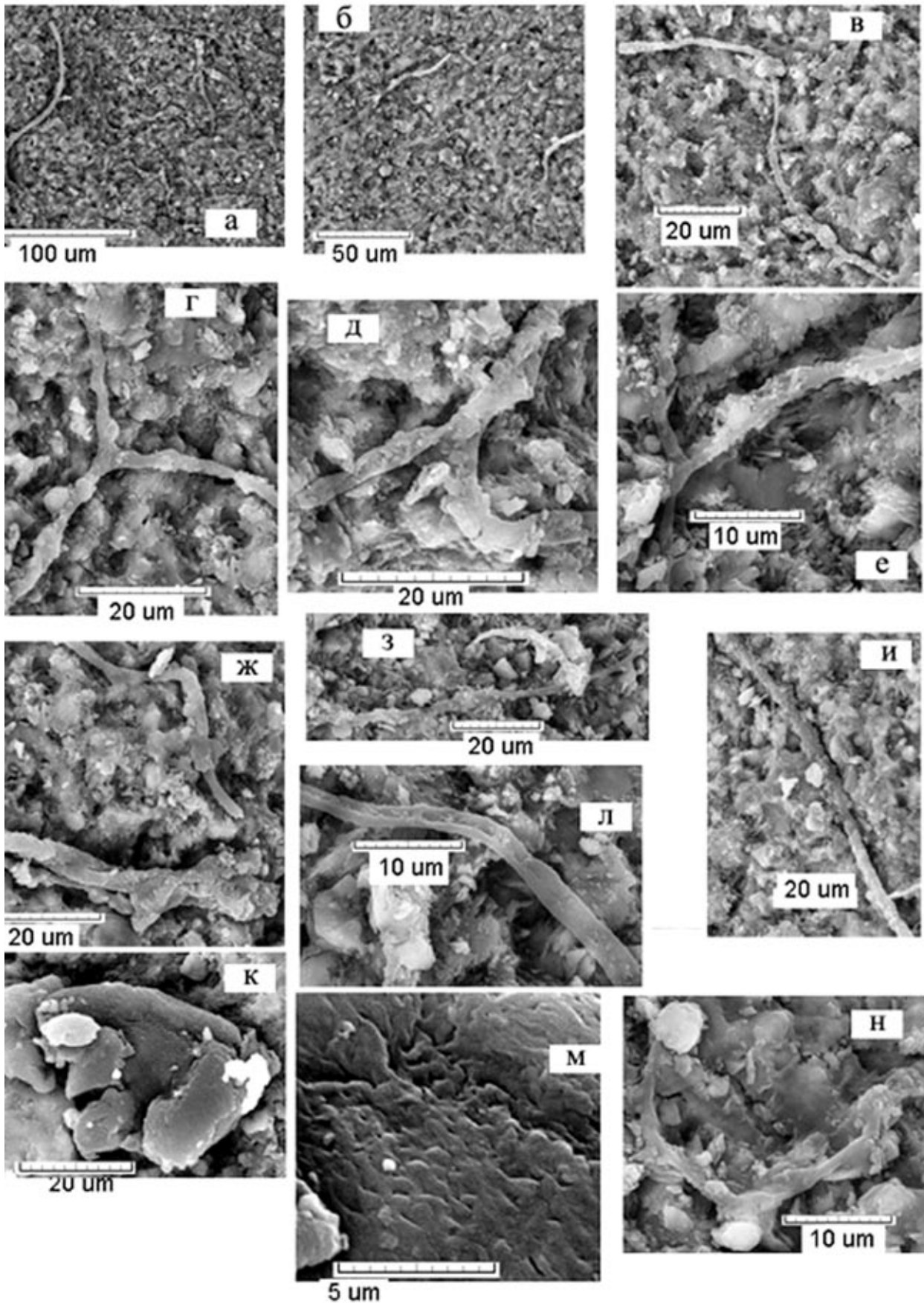


Рис. 2. Биоминерализация биогенных частиц в столбчатых строматолитах *Colonella jiltai*.

В столбчатых строматолитах *Colonella jiltai* широко распространены нитевидные частицы (рис.2, а, б, в). Они могут раздваиваться (рис.2, д, е), в некоторых из них сохраняется центральный канал (рис.2, л). Эти образования характеризуются повышенным содержанием углерода и кислорода, а также в них присутствуют кальций, кремнезем, магний и некоторые другие элементы, натрий, иногда хлор и калий. В таблице 1 показан их обычный химический состав. Вмещающая порода сложена карбонатным материалом с

небольшой, но постоянной примесью кремнезема. Округлые образования в этом таксоне встречаются очень редко, но они достаточно крупные – до 40 мкм, характеризуются сложной формой, их состав существенно не отличается от состава нитевидных частиц. Во вмещающей породе отсутствуют какие-либо сопутствующие элементы, за исключением кремнезема.

Из полученного материала можно сделать следующие выводы.

1. Если вмещающие породы имеют чисто карбонатный состав, углерод и другие элементы в них часто не сохраняются, как это наблюдается в первом случае, то есть в пластовых строматолитах. Вокруг нитевидных бактерий достаточно быстро вырастала известковая корка, повторяющая их форму. Такое «заключение» не давало возможности для жизнедеятельности организма и его дальнейшего развития. Лишь немногим из них удавалось выбраться из этой каменной тюрьмы и попытаться создать новую колонию, но большинство погибло. Организмы разлагались, и их останки были вынесены, поэтому сохранились лишь полые трубочки. В обычных условиях бактерии способны самостоятельно извлекать из воды углерод, кремнезем, магний и другие элементы, но в данной ситуации они не имели такой возможности. Однако округлым бактериям это удавалось, возможно, благодаря их форме, размерам и способу передвижения, что позволило им продлить свое существование и сохранить химический состав в процессе фоссилизации.

2. Совершенно иная картина возникла при формировании столбчатых строматолитов *Sundusia mira*, обогащенных кремнеземом. Морфология нитевидных бактерий в этом случае частично или полностью сохранилась, они постепенно замещались карбонатно-кремневым материалом. Кремнезем играл роль фиксатора, замедляя процессы разложения бактерий, замещение живой ткани происходило после отмирания организма. Следует отметить, что наши исследования по древним строматолитам также показали хорошую сохранность формы и элементарного состава бактерий и водорослей при наличии кремнезема в породе (Литвинова, 2009).

3. В первом случае нитевидным бактериям, составляющим заметное большинство в обоих таксонах строматолитов, приходилось пробираться для построения новой колонии ни на поверхность осадка – они просто не успевали этого сделать, а по его горизонтальной плоскости. Поэтому возникали пластовые строматолиты. Строителям столбиков было удобнее передвигаться на поверхность вновь выпадающего осадка, их тесное содружество и ни столь интенсивные процессы карбонатной минерализации, замедляемые кремнеземом, позволяли организмам быстро восстанавливать колонию и достраивать ее вертикально вверх.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Литвинова Т.В. 2009. Микро- и наноминеральные объекты в строматолитах и их ассоциации / Минералогическая интервенция в микро- и наномир / Мат-лы междунар. минералог. семина. 9–11 июня. Рос. минералог. общество. Сыктывкар: Геопринт. С. 213–215.
- Сонин Г.В. 1972. Водоросли и строматолиты Актюбинского Приуралья и их стратиграфическое значение. Дис. канд. г.-м. н. Казань. 173 с.
- Сонин Г.В. 1998. Водоросли Актюбинского Приуралья. Изд. КГУ. 71 с.

СТРОМАТОЛИТОСТРОИТЕЛИ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ СТРОМАТОЛИТОВ КАРЕЛИИ

Т.В. Литвинова

Геологический институт РАН, Москва, litvinova-geo@rambler.ru

STROMATOLITE-BUILDERS AND THEIR ROLE IN FORMATION OF STRUCTURES OF KARELIAN STROMATOLITES

T.V. Litvinova

Geological Institute of RAS, Moscow, litvinova-geo@rambler.ru

В нижнепротерозойских отложениях центральной Карелии, в верхней части ятулийского надгоризонта (Магницкая и др., 1993) выделяется толща строматолитовых известняков (Макарихин, Кононов, 1983). С помощью электронного микроскопа нами были изучены три таксона: *Sundusia mira*, *Butinella boreal*, *Collenia olenica* из этих отложений, собранных в районе озера Сундозера и на Южном Оленьем острове в Онежском озере.

Sundusia mira (оз. Сундозеро) представлен тесно расположенными субцилиндрическими столбиками размером 5–7х1–1.5 см. Форма поперечного сечения овальная концентрически слоистая, нечеткая. Изучение его с помощью электронного микроскопа выявило достаточно широкое распространение тонких длинных образований размером 200х20 мкм (рис.1, а) с высоким содержанием углерода, круглых в поперечном разрезе (рис. 1, б), а также с целым рядом сопутствующих обычно биосу элементов, состав двух из них продемонстрирован в таблице 1.

Таблица 1. Элементарный состав нитевидных частиц.

Элемент	Весовая%	Атомная%
C	54.06	64.51
O	33.50	30.01
Na	2.57	1.60
Si	1.88	0.96
Cl	1.36	0.55
Ca	6.63	2.37
Итоги	100.00	

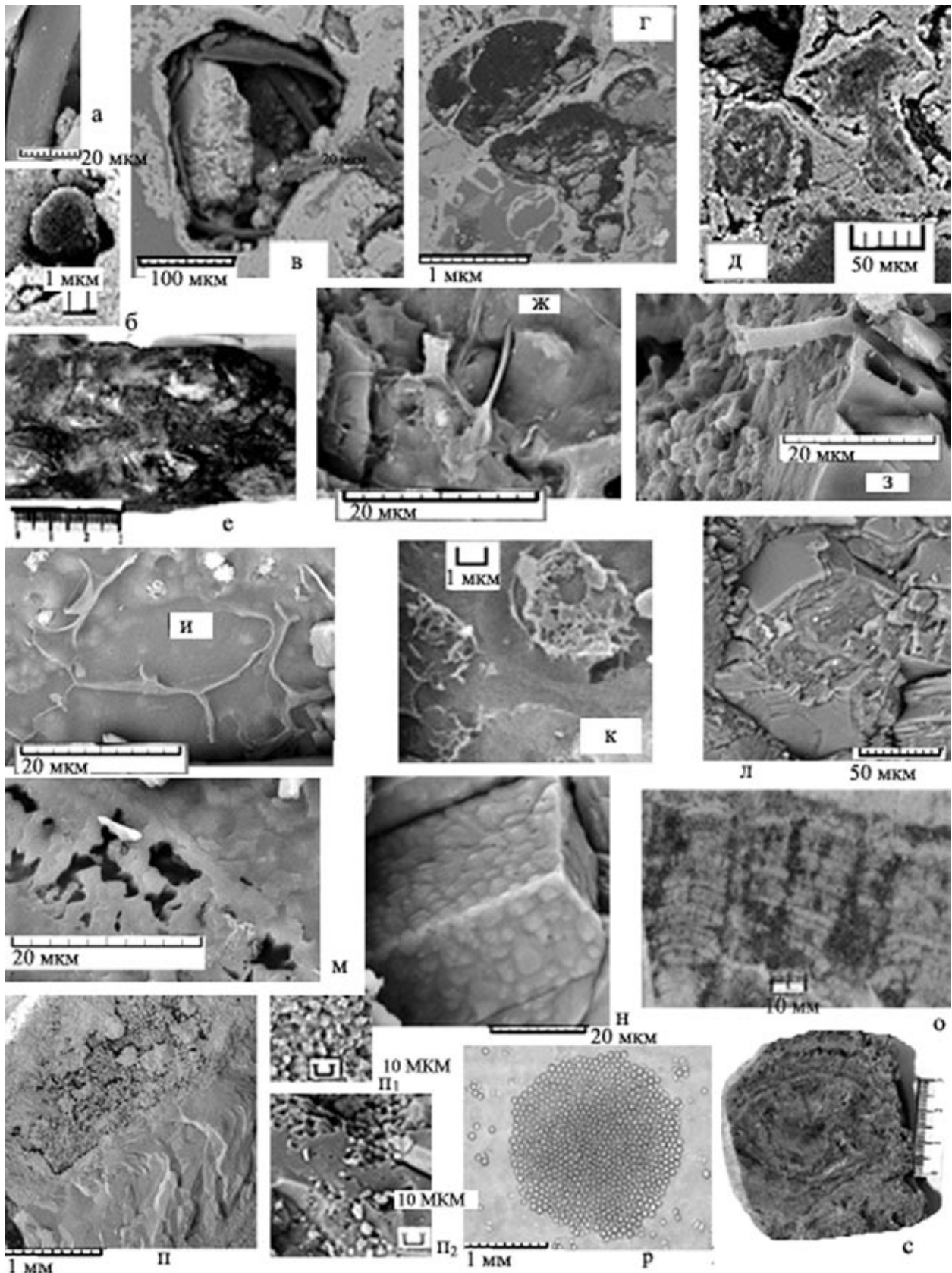


Рис. 1. Структуры и ультрамикроструктуры строматолитов Карелии.

Они часто заполняют овальные отверстия, опоясывая его стенки (рис. 1, в), скручиваясь в два, в три раза или даже многократно, иногда полностью заполняя пространство отверстия (рис. 1, г). По размеру, внешнему облику и составу эти частицы можно отнести к бессосудистым споровым растениям – водорослям, у которых еще не существовала проводная система. В морфологическом отношении они отличаются от многоклеточных растений отсутствием корней и стеблей и являются неклеточными доядерными образованиями, то есть имеют прокариотическое строение, характерное для синезеленых водорослей. Размещение водорослей в «норках», по-видимому, указывает на то, что они являлись эндолитами, то есть сверлящими

Таблица 1. Элементарный состав водорослевых объектов *Sundisia mira*.

Элементы	1. Массовые, %	1. Атомные %	2. Массовые, %	2. Атомные %
C	47.89	58.96	20.42	27.42
O	37.48	34.63	63.84	64.36
Mg	1.28	0.78		
Si	3.25	1.71	7.01	4.03
S	3.18	1.47		
Cl	1.51	0.63	4.05	1.84
K	0.65	0.25	1.78	0.73
Na			1.50	1.05
Ca	3.02	1.11	1.40	0.56
Fe	1.74	0.46		
Totals	100.00		100.00	

организмами, которые поселялись на поверхности субстрата, а затем внедрялись в него за счет выделения органических кислот, растворявших находящийся под ними известковый ил.

При этом первоначально водоросли не теряли связь с внешней средой: им были необходимы свет, определенная температура, содержание в воде биологически активных веществ, макро- и микроэлементов, а также они нуждались в неорганическом источнике углерода. Водоросли уже были способны к фотосинтезу, то есть ассимилировали на свету углекислый газ, а в качестве источника водорода использовали воду. Они добывали питание, поглощая из окружающей среды растворы минеральных солей и углекислоты и перерабатывая их в необходимые для жизни органические соединения – белки, углеводы, жиры, и получали таким образом энергию для роста и размножения. Следует отметить, что водоросли создавали как узкие длинные, так и округлые отверстия, но очевидный выбор для этих первых проб жизни был сделан в пользу последних, так как их гораздо больше. По-видимому, округлые отверстия оказались более рациональными и предоставляли оптимальные возможности для дальнейшей жизнедеятельности растений. Для водорослей имеет большое значение процесс поступления в слоевище биологически активных веществ, кислорода и неорганических источников углерода, что зависит не только от их концентрации в воде, но и от течения, которое выносило продукты распада и доставляло питательные вещества. Отверстия играли роль убежища, оберегая водоросли от слишком сильного течения, но не отгораживая их от него полностью, то есть создавали благоприятные условия для роста и размножения растений. Вода в отверстиях обогащалась органическим веществом и микроэлементами, освещения хватало, в то же время здесь водоросли были защищены, но не изолированы от течения, выносившего продукты разрушения и доставлявшего им питательные вещества.

Если плотно соприкасающиеся водоросли полностью занимали отверстие, возникали округлые образования с концентрическим строением и высоким содержанием углерода (рис.1, г). Но если в «норках» оставалось полое пространство между закрученным в несколько раз слоевищем, оно, в результате выпадения осадка, постепенно заполнялось карбонатным материалом, что приводило к возникновению округлых образований с концентрическим строением, в которых чередуются карбонатный и органический материалы. Происходящие события сопровождалась не только осадконакоплением, но и дальнейшей деструкцией литифицированного минерального осадка (рис.1, д). Последующие процессы обезвоживания, уплотнения и кристаллизации завершили формирование неясной концентрически слоистой структуры (рис.1, е).

Butinella boreal (Ю. Олений о-в) характеризуется субцилиндрическими столбиками размером 5–40 мм, высотой 20–50 мм, с карнизами и валиками. С помощью электронного микроскопа были выявлены разнообразные нитевидные частицы (рис.1, ж, и), полые трубочки диаметром около 40 мкм (рис.1, з), часто наблюдается распространение тончайшей «паутинки» с повышенным содержанием углерода (рис.1, к), а также отдельные округлые образования размером до 120 мкм, покрытые тонкой оболочкой (рис.1, л). Мелкие колонии коккоидных бактерий осваивали кристаллы кальцита (рис.1, н). Кроме того, на формирование структуры *Butinella boreal* оказало существенное влияние растворение частично литифицированного осадка, процессы выщелачивания затрагивали как органические (рис.1, з), так и минеральные (рис.1, м) микрослои породы. В результате совокупности этих событий возникла столь своеобразная структура породы (рис.1, о).

Collenia olenica (Ю. Олений о-в) представлен почковидными постройками высотой до 10–15 см, разделенными впадинами. Диаметр бугров составляет 3–3.5 см, причем они могут быть ориентированы почти перпендикулярно по отношению друг к другу. С помощью электронного микроскопа установлено, что центральная часть концентрически слоистой породы (далее – ядро) сложена округлыми карбонатными частицами с повышенным количеством углерода, кремния и магния (рис.1, п1). Вокруг ядра сформировался крупнокристаллический кремнезем (рис.1, п), на котором отмечаются отдельные частицы округлой формы с повышенным содержанием углерода и отверстиями неминерального происхождения (рис.1, п2). Кремневый слой, в свою очередь, окружен карбонатной породой, аналогичной по своему строению центральной части строматолита.

Таким образом, «круговая» текстура (рис.1, е), характерная для *Sundisia*, возникла в результате жизнедеятельности преимущественно водорослевой колонии при участии бактерий. Последующие процессы осадконакопления и вторичные изменения литифицированного минерального осадка завершили ее форми-

рование. Структура *Butinella boreal* возникла за счет сложного взаимодействия биохимических процессов, в которых растворение породы играло важную роль, по-разному выщелачивая органические и минеральные микрослои. Более того, уже литифицированная порода вторично использована бактериями, на что указывает их интенсивное развитие на отдельных кристаллах доломита (рис.1, н). Почковидная текстура *Collenia olenica* возникла за счет усилий бактерий, перерабатывавших карбонатный ил (рис.1, р). По мере обезвоживания осадка бактерии пытались осваивать территорию вокруг места их скопления, где уже властвовали вторичные процессы окремнения. Небольшая часть из них при передвижении к периферии и за пределы ядра погибала, на что указывают карбонатные частицы с повышенным содержанием углерода на крупнокристаллическом кремнеземе (рис.1, п2). Оставшиеся пытались обустроиться на затвердевшей породе, проделывая в ней норы (рис.1, п2). Как известно, бактерии способны переносить неблагоприятные условия среды при высыхании слизистой оболочки и дальнейшей потере воды, в разы уменьшая свои размеры в ожидании лучших времен. Однако осадконакопление не прекращалось, захоранивая их вместе с норами. Некоторым из них удавалось преодолеть окремненный участок, окружающий ядро, и создать новую колонию за его пределами. Таким образом, сформировалась концентрическая структура этого строматолита (рис.1, с). Большинство бактерий – гетеротрофы, они не способны синтезировать органическое вещество, но готовы использовать его. Предполагается, что резкое увеличение количества изотопно тяжелого $C_{\text{карб.}}$ характерного для этих пород, происходило за счет избирательного извлечения из воды легкого углерода в состав органического вещества (Schidlowski et al., 1975), что и могли осуществлять бактерии, осваивавшие наиболее мелководные участки себхи в Онежском бассейне. Предположение подтверждается тем, что в период стагнации (Ахмедов, 1993) именно в таких местах фиксировались наибольшие значения этой величины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ахмедов А.М., Крупеник В.А., Макарихин В.В., Медведев П.В. 1993. Изотопный состав углерода в карбонатах раннепротерозойских бассейнов (Балтийский щит). Петрозаводск. Карельский НЦ. 60 с. (Препринт доклада)
- Магницкая Т. Э., Макарихин В.В., Медведев П.В. и др. 1996. Опорный разрез ятулийского надгоризонта и вопросы корреляции / Тез. докл. на Междунар. конф. «Корреляция геологических комплексов Фенноскандии». СПб. С. 44–45.
- Макарихин В.В., Кононова Г.М. 1983. 1975. Фитоциты нижнего протерозоя Карелии. Л.: Наука. 180 с.
- Schidlowski M., Eichmann R., Junge C.E. Carbon isotope geochemistry of the Precambrian Lomagundi carbonates province, Rhodesia // Geochim. Cosmochim. Acta. V. 40. № 4. P. 449–455.

ЭВОЛЮЦИЯ АЛЬГОФЛОРЫ НА РУБЕЖЕ ПРОТЕРОЗОЯ И ФАНЕРОЗОЯ

В.А. Лучинина

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, luchininava@ipgg.sbras.ru

EVOLUTION OF ALGAL FLORA AT THE TURN OF THE LATE PROTEROZOIC AND PHANEROZOIC

V.A. Luchinina

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB RAS, Novosibirsk, luchininava@ipgg.sbras.ru

В конце вендского периода и в начале кембрия произошел переход от цианобактериальной (строматолитовой) экосистемы к водорослевой, повлекший за собой каскад эволюционных и экологических событий, случившихся при благоприятных палеогеографических условиях на территориях древних платформ и их обрамлений (Лучинина, 2011). Альгофлора предопределила «взрыв» первых раковинных организмов в начале томмотского века: для появившейся массы животных требовалось немалое количество пищи, основным источником которой, помимо бактерий и цианобактерий, являлись обрастания на известковых водорослях, их необычные части, макро- и микроскопические эластичные водоросли и акритархи. Продуценты и консументы, связанные обменом веществ, предпочитали места обитания вблизи органических построек, представляющих собой автономное сообщество с собственной первичной продукцией. Не меньший вклад в этот процесс вносила жизнедеятельность фототрофных и хемотрофных симбионтов альгофлоры и животных (The Vent..., 2010; Рожнов, Заварзин, 2011).

При исследовании кембрийских эволюционных процессов в центре внимания находился фактический материал со следующими ископаемыми организмами: бактерии, цианобактерии, акритархи, красные и зеленые водоросли как обызвествленные, окремненные, так и эластичные, несомненно обладавшие связями с фото- и хемосинтезирующими симбионтами.

Бактерии и цианобактерии встречаются повсеместно в массовых количествах в венд-кембрийских осадочных породах. Особенно хорошо они сохранились среди фосфоритов, кремнистых пород и в отложениях с высоким содержанием углерода (черные сланцы). Фиксация микробов в ископаемом состоянии связывается с их быстрой минерализацией, происходившей до начала деградации бактериальных тел. Бактериально-цианобактериальное сообщество продолжало выполнять те же функции, что и ранее у строматолитов: прежде всего оно ускоряло осаждение карбонатов. Среди бактерий доминировали фототрофные деструкторы, осуществлявшие регенерацию биогенных элементов, роль цианобактерий являлась более многообразной (Заварзин, 2003). Сложность пищевых цепей зависела от фото- и хемосинтезирующих бактерий, цианобактерий, водорослей и планктона (The Vent..., 2010).

Большой комплекс ископаемых проблематичных микроорганизмов был обнаружен на Сибирской платформе в черносланцевых породах синской свиты (нижний кембрий) в среднем течении р. Лены. Он представлен биоморфными структурами, трубочками, кокками и тонкими нитями, а также фрамбоидами пирита, образование которых явилось результатом деятельности сульфатредуцирующих бактерий (Бактериальная палеонтология, 2002). Е.А. Жегалло одна из первых систематизировала подобный материал по микроорганизмам из фосфатосодержащих пород нижнего кембрия Монголии (Жегалло и др., 1996; Zhegallo et al., 2000).

Нами в черных сланцах синской свиты ботомского яруса нижнего кембрия в скважинах, пробуренных вблизи стратотипических разрезов на р. Лене, были обнаружены неизвестные ранее многочисленные скопления известковых бактериально-цианобактериальных колоний, имеющих округлую, чаще всего концентрическую форму (Лучинина, 2013). По аналогии с современными микробными сообществами (Заварзин, Колотилова, 2001; Заварзин, 2003), можно заключить, что образование концентрических элементов вокруг центральной части бактериально-цианобактериальной колонии регулировалось разрастанием клеток по периметру, благодаря чему колония приобретала характерную для бактерий круглую, часто зональную форму. Формирование концентрических зон свидетельствовало о быстром развитии агрегации, в которой клетки, входящие в ее состав, секретировали внеклеточные вещества и покрывали колонию сплошной известковой оболочкой. Почти всегда вместе с микробными колониями отмечался пирит, связанный генезисом с органическими остатками, а также с деятельностью сульфатредуцирующих бактерий.

Акритархи. «Взрыв» раковинных организмов в начале кембрия был бы невозможен без источников питания для них – одноклеточных эукариот (акритархи). Это событие интерпретировалось в большей степени как экологическое, а не филогенетическое. Проблема заключалась в том, что мелкие (0.2–2 мкм) раннекембрийские акритархи (аналоги современного пикопланктона) могли потребляться мелкими формами многоклеточных животных, обеспечивающих в современных океанических водоемах наибольшее количество продукции, но указанные продуценты и их консументы в кембрии пока не обнаружены из-за своих малых размеров, что не означает, что их не было. Проблема заключается в мозаичности отметок ископаемого зоо- и фитопланктона из-за иллюзорного характера их покровов. В ископаемом состоянии сохранялись лишь цисты фитопланктона (динофлагеллат?), а это лишь незначительная часть (около 10 %) от общего количества фитопланктона.

Появление травоядных бентосных многоклеточных метазоо кембрия (пелагические формы пока не известны в это время) вызвало взрыв и быструю диверсификацию фитопланктона. Кембрийский травоядный зоопланктон более крупных размеров (мезозоопланктон от 200 мкм до 10 мм) был способен эффективно потреблять и перерабатывать быстро развивавшийся одноклеточный акантоморфный фитопланктон, относящийся по своим размерам к мезопланктону (менее 2 мм). Как указывает Н.Дж. Баттерфильд (Butterfield, 2001), именно взаимосвязь этих организмов вызвала каскад экологических и эволюционных событий, в настоящее время признаваемых основной причиной кембрийского «взрыва». Но, по словам того же Баттерфильда, не все однозначно принимают эту позицию и считают, что эколого-биогеохимические изменения на границе венда–кембрия, сопровождавшиеся осадочными экспрессиями (фосфориты, черные сланцы, смена изотопов углерода) были вызваны повышением уровня кислорода (Knoll, 1992) и питательных веществ (Brasier, 1992), что, по мнению Баттерфильда, является последствиями, а не причиной кембрийского «взрыва».

Известковые водоросли с конца венда и в кембрийском периоде были основными каркасостроителями органогенных построек, вокруг которых концентрировались зоны обитания морской биоты (Лучинина и др., 2013). Как и в современных морских бассейнах обывествлялась лишь незначительная часть от общего количества водорослей. При этом отличительной чертой известковой альгофлоры являлся ее космополитизм. Доминировали представители рода *Epiphyton*, от которого в ископаемом состоянии сохранялся лишь многоосевой кустистый таллом без каких-либо других морфологических признаков. Поэтому долгое время природа рода оставалась невыясненной, пока не были обнаружены экземпляры с уникальной сохранностью клеток, спорангиев, а также плазмодесм и нематетий, позволившие уверенно поместить род в состав отдела Rhodophyta (Terleev, Luchinina, 2000; Терлеев, Лучинина, 2006; Luchinina, Terleev, 2008). Плохая сохранность элементов морфологии у *Epiphyton* объяснялась тем, что его представители подвергались обывествлению дважды: сначала выделение карбоната кальция самой водорослью происходило внутриклеточно, как это случается у современных представителей красных, например, у *Corallina*, а после отмирания организма поверхность талломов заселялась бактериально-цианобактериальными ассоциациями, активно осаждавшими карбонат кальция, образуя, таким образом, известковый чехол, полностью скрывающий и уничтожающий первичную структуру ранее при жизни обывествленной водоросли (Лучинина, Тихомирова, 1988).

Далее нами был сделан вывод о том, что жизненный цикл рода *Epiphyton* складывался из гетероморфных ступеней, состоящих сначала из временных фаз роста пальмеллоидных форм известковых водорослей *Renalcis (Izhella)*, *Chabakovia (Shuguria)*, *Gemma* и дендроидной формы *Korilophyton*. К этому заключению мы пришли благодаря уникальной сохранности «моноспор» внутри колонии рода *Gemma*, перераставших за ее пределами сначала в *Korilophyton*, а затем в *Epiphyton* (Лучинина, 2009). Помимо *Epiphyton*, не менее распространенным был род *Proaulopora*, по мнению А.А. Терлеева и автора тезисов, относящийся к отделу Chlorophyta, представители которого иногда имели органостенный тип сохранности.

Органостенные макроводоросли. Органостенные (неминерализованные, эластичные), лентовидные макроводоросли с многоклеточным строением, несомненно, появились в рифее, пережили расцвет в венде (вендотениды) и благополучно пересекли границу венда–кембрия. В кембрии уменьшился их количествен-

ный объем и качество фоссилизации: от большинства сохранились лишь отпечатки, в то время как находки первичного органического вещества отмечались гораздо реже. Систематика этих водорослей находится в стадии разработки и в настоящее время весьма противоречива.

На Сибирской платформе среди обогащенных органическим веществом прослоев черносланцевых пород синской и куонамской свит нижнего- среднего кембрия обнаружено большое количество фрагментов органостенных нитчатых водорослей, подвергшихся сильному разложению. Нами они были обнаружены в иниканской свите амгинского яруса (средний кембрий) р. Чабды (приток р. Алдан) (Коровников, Лучинина, 2005). Именно оттуда А.Н. Криштофович в 1953 г. впервые описал их под названием *Aldanophyton* и определил как плаунообразное растение. Но оказалось, что гораздо раньше, в 1931 г. Ч. Уолкотт нашел идентичные отпечатки в среднекембрийских сланцах Спенс и Уиллер в штате Юта (США) и, принимая их за фауну, выделил новый род *Margaretia*. Позже Б. Вагонер, К. и Дж. Хагадорн (Waggoner, Hagadorn, 2004) добавили новый вид *Margaretia chamblessi* из кровли нижнего кембрия (Latham Shale) юго-востока Калифорнии и рассматривали род *Margaretia* как древнейшие зеленые водоросли, сравнивая его с современным родом *Caulerpa*.

Далее В.А. Красилов (Иванцов и др., 2005), исследуя идентичные отпечатки синских водорослей нижнего кембрия р. Лены с применением электронного микроскопа, обнаружил в них фрагменты углистой пленки (фитолеймы). На этом основании он впервые описал, помимо ранее известных органостенных цианобактерий рода *Marpolia*, красные водоросли рода *Lechampia* и несколько видов новых родов зеленых водорослей – *Lenodesmia*, *Lenocladium*, *Laenigma*. Что же касается таксономических связей между *Aldanophyton* и *Margaretia*, то Красилов отметил необходимость дальнейшего изучения их систематического положения.

Версия о симбиотических связях водорослей. Последние исследования симбиотических связей различных организмов вблизи гидротермальных источников в современных океанах показали, что симбиоз между беспозвоночными и фото-хемосинтезирующими микробами являлся основной формой образования некоторых продуктивных морских сообществ. Филогенетическое разнообразие бактериальных эпи- и эндосимбионтов связано с такими организмами как сидячие трубчатые черви (вестиментиферы), креветки, моллюски, ракообразные процветающие в некоторых областях морского дна благодаря способности организма-хозяина поставлять бактериям, размещенным в его тканях, чрезвычайно высокую биомассу питательных веществ, предоставляя таким образом симбиотическим организмам возможность активно развиваться, используя защитные свойства приобретенного хозяина (The Vent. ..., 2010).

В кембрии пока не найдены достоверные остатки симбиотных бактерий и эндозойных одноклеточных водорослей, но об их присутствии как на поверхностях пористых талломов известковых водорослей, так и в поровом пространстве археоциат, свидетельствуют карбонатные хлопьевидные образования, наблюдаемые в шлифах в непосредственной близости от этих организмов. Не раз высказывалось предположение, что хлопья являлись продуктом жизнедеятельности известковых водорослей, археоциат и их бактериальных-цианобактериальных симбионтов: органические вещества усваивались, а минеральная часть выбрасывалась фильтраторами наружу, в виде фекальных пеллет, оседавших вокруг организмов-хозяев (Журавлёва, Мягкова, 1987; Pratt, 1995; Luchinina, Terleev, 2008). Подобные связи должны были быть и у другой кембрийской фауны: хиолитов, брахиопод, трилобитов и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бактериальная палеонтология. 2002. А.Ю. Розанов (ред.). М.: ПИН РАН. 188 с.
- Жегалло Е.А., Замирайлова А.Г., Занин Ю.Н., Писарева Г.М. 1996. Акритархи в нижнекембрийских горючих сланцах куонамской свиты Сибирской платформы (р. Молодо) // Докл. АН. Т. 347. № 1. С. 69–71.
- Журавлёва И.Т., Мягкова Е.И. 1987. Низшие многоклеточные фанерозоя. М.: Наука. 220 с.
- Заварзин Г.А. 2003. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука. 348 с.
- Заварзин Г.А., Колотилова Н.Н. 2001. Введение в природоведческую микробиологию. М.: Книжный дом «Университет». 256 с.
- Иванцов А.Ю., Журавлёв А.Ю., Красилов В.А. и др. 2005. Уникальные Синские местонахождения раннекембрийских организмов (Сибирская платформа). М.: Наука. 140 с.
- Коровников И.В., Лучинина В.А. 2005. Древнейшие скелетные организмы, прокариоты и водоросли нижнего кембрия востока Сибирской платформы / Происхождение и эволюция биосферы. Тез. докл. Междунар. совещ. Новосибирск. С. 226–227.
- Лучинина В.А. 2009. Renalcis и Eriphyton – различные формы единого жизненного цикла известковых водорослей // Палеонтол. журн. 2009. № 4. С. 101–105.
- Лучинина В.А. 2011. Палеоальгология при переходе от циано-бактериальной (строматолитовой) к водорослевой экосистеме на примере кембрийских отложений Сибирской платформы / С.В. Рожнов, Г.А. Заварзин (ред.). Рифогенные формации и рифы в эволюции биосферы. М.: ПИН РАН. С. 26–37.
- Лучинина В.А., Коровников И.В., Новожилова Н.В., Токарев Д.А. 2013. Биофашии раннего кембрия Сибирской платформы по бентосу (хиолиты, мелкораквинная проблематика, археоциаты, трилобиты и известковые водоросли) // Стратиграфия. Геол. корреляция. № 2. С. 1–19.
- Лучинина В.А., Тихомирова Н.С. 1988. О новой форме сохранности раннекембрийских водорослей и их ультраструктуре / В.Н. Дубатов, Т.А. Москаленко (ред.). Известковые водоросли и строматолиты. Новосибирск: Наука. С. 140–145.
- Рожнов С.В., Заварзин Г.А. 2011. Рифы в эволюции гео-биологических систем. Постановка проблемы / С.В. Рожнов, Г.А. Заварзин (ред.). Рифогенные формации и рифы в эволюции биосферы. М.: ПИН РАН. С. 4–25.
- Терлеев А.А., Лучинина В.А. 2006. Новые морфологические элементы у рода Eriphyton Bornemann, 1886 / Эволюция биосферы и био-разнообразия. С.В. Рожнов (ред.). М.: КМК. С. 147–151.

- Butterfield N.J.* 2001. Ecology and Evolution of Cambrian plankton / The Ecology of the Cambrian Radiation. A.Yu. Zhuravlev, R. Riding (eds). Columbia Univ. Press. N-Y. P. 200–216.
- Zhegallo E.A., Rozanov A.Yu., Ushatinskaya G.T.* et al. 2000. Atlas of Microorganisms from Ancient Phosphorites of Khubsugul (Mongolia). Huntsville, Alabama. USA. NASA. 167 p.
- Knoll A.H.* 1992. The early evolution of the eukaryotes: a geological perspective // *Science*. 256. P. 622–627.
- Luchinina V.A., Terleev A.A.* 2008. The morphology of the genus *Epiphyton* Bornemann // *Geologia Croatica*. V. 61. № 2–3. P. 105–111.
- Pratt B.* 1995. The origin, biota and evolution of deep-water mud-mounds // Carbonate mud mounds; their origin and evolution / C.L.V. Monty, D.W.J. Bosence, P.H. Bridges, B.R. Pratt (eds). Intern. Ass. Sedimentologists. Spec. Publ. 23, 1995. Blackwell. P. 49–123.
- Terleev A.A., Luchinina V.A.* 2000. New facts to establish the nature of genus *Epiphyton* Bornemann, 1886 // *News of paleontology and stratigraphy*. Is. 2, 3. Suppl. Journ. Geol. Geoph. P. 173–177.
- The Vent and Seep Biota. Aspect from Microbes to Ecosystems. 2010 / S. Kiel (ed.). Springer. 487 p.
- Waggoner B.C., Hagadorn J.W.* 2004. An unmineralized alga from the Lower Cambrian of California, USA // *N. Jb. Geol. Palaont. Abh.* V. 23.1 № 1. Stuttgart. P. 67–83.

БИОМИНЕРАЛИЗАЦИЯ И ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ ОРГАНИЗМЫ ЮРСКИХ МИКРОБИАЛЬНЫХ ПОСТРОЕК РУССКОЙ ПЛИТЫ

С.Ю. Маленкина

Геологический институт РАН, Москва, maleo@mail.ru

BIOMINERALIZATION AND ROCK-FORMING ORGANISMS OF THE JURASSIC MICROBIAL BUILDINGS OF THE RUSSIAN PLATE

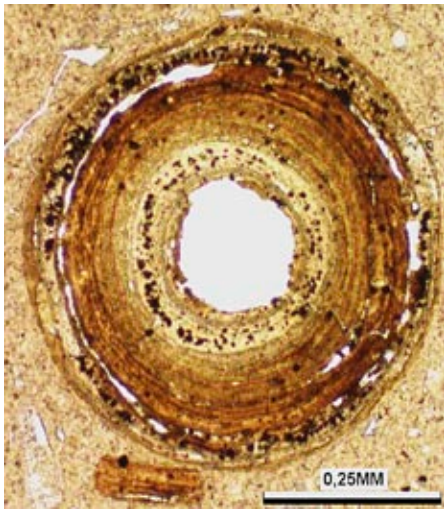
S.Yu. Malenkina

Geological Institute of RAS, Moscow, maleo@mail.ru

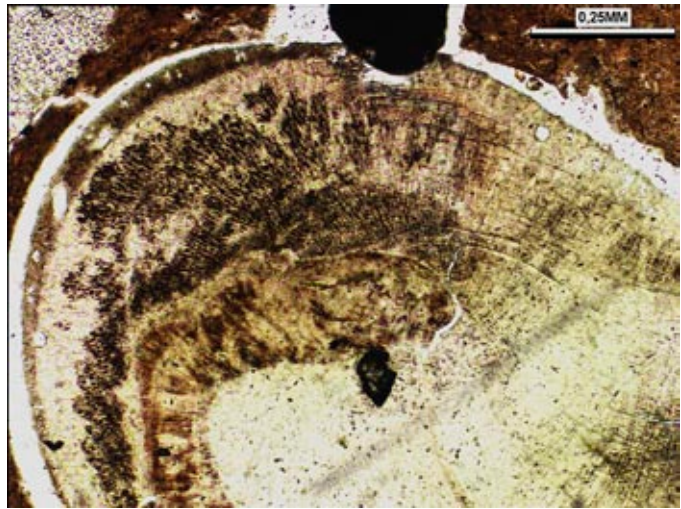
В юрских отложениях Русской плиты, как показали наши исследования (Маленкина, 2009, 2011), довольно широко представлены различные микробийальные постройки. По составу чаще всего карбонатные, но бывают также железистые, глауконитовые и фосфатные. Они образуют как одиночные тела разнообразной формы и размеров, так и многочисленные скопления. По форме выделяются пластообразные, линзовидные, куполовидные, столбообразные и округло-шаровидные постройки. Среди них различаются: тромболиты – ступчатые аккреционные, лишенные четко выраженной слоистости биогермы, строматолиты – слоистые биоседиментационные структуры, онколиты – округлые слоистые, но лишенные связи с субстратом и лейолиты – бесструктурные постройки. Все они представляют собой литифицированные альго-бактериальные и циано-бактериальные маты. Продуцентами являются преимущественно цианобактерии в сообществе с различными бактериями. Однако в постройках часто встречаются и водоросли, особенно красные. Сообщество, состоит из различных групп бактерий и имеет вполне характерное строение. Верхний слой занят тонкой пленкой аэробных флексибактерий (например, *Aphanocapsa*, *Dunaliella*). Ниже идет фотосинтезирующий слой цианобактерий, выделяющих O_2 , поглощающих CO_2 с резким подщелачиванием. Под ним располагаются отмирающие цианобактерии, развиваются микроаэрофильные организмы (например, *Beggiatoa*) и происходит использование кислорода. Еще ниже идет слой пурпурных анаэробных фотосинтезирующих бактерий (например, *Ectothiorhodospira*). Под ним располагается слой организмов, продуцирующих сероводород. Такая структура многократно повторяется. Таким образом, цианобактериальное сообщество представляет собой серию геохимических барьеров – окислительного, щелочного, сероводородного (Заварзин, 1987). В результате в нем происходит последовательное осаждение различных минералов, образующих слои. Кроме того, помимо бактериального осаждения, происходит захват и связывание осадочного материала и остатков макрофауны, поступающих на поверхность бактериального мата. Отмершее сообщество затем легко литифицируется. Красные водоросли, нередко присутствующие в постройках или же сами создающие их, также легко обызвествляются, путем внутриклеточного выделения извести, особенно в хорошо освещенных местах. При этом обычно очень хорошо сохраняются детали внутреннего строения слоевища, хотя иногда они подвергаются сильным диагенетическим изменениям.

Наши последние исследования юрских конкреций Русской плиты (различных разрезов Москвы, Московской, Костромской, Нижегородской и Оренбургской областей) выявили, что часть из них имеют отчетливо выраженное строматолитовое строение, другие, вероятно, являются тромболитами (преимущественно фосфатные и карбонатно-фосфатные), а в келловейских отложениях широко распространены так называемые железистые оолиты, по существу являющиеся онколитами.

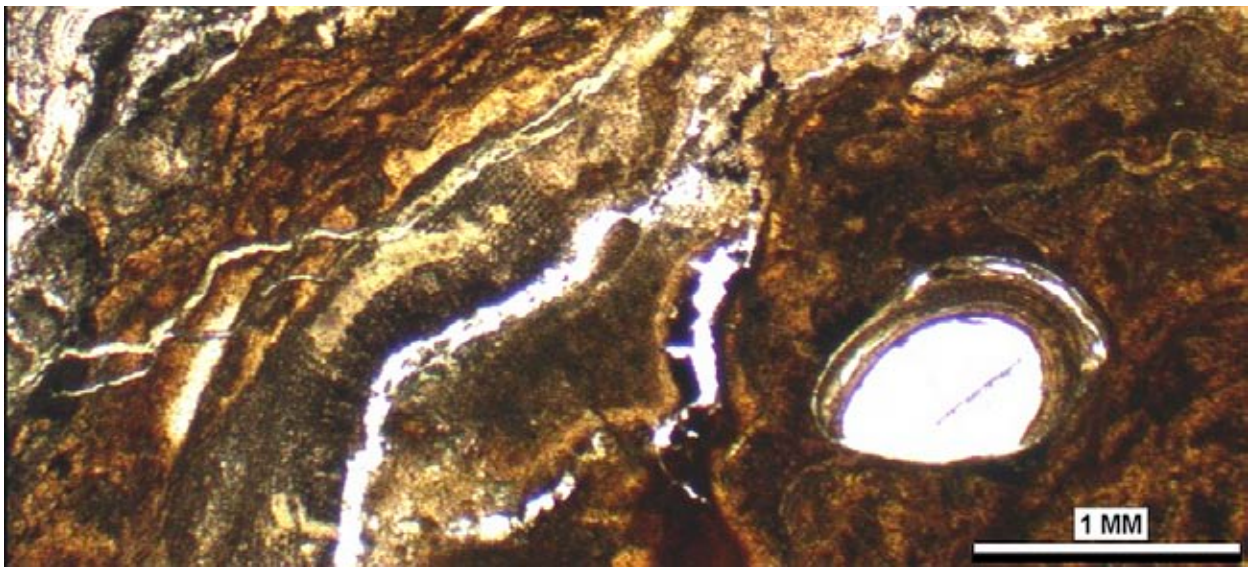
Келловейские онколиты представлены ооидами с тонкопереслаивающимися концентрическими слоями (2–10 мкм) карбонатного вещества, шамозита, гетита, гидрогетита с подчиненными количествами фосфата и кремнезема (рис. 1а). Ядром служат различные минералы, биокласты и обломки самих онколитов. Их размеры колеблются от долей миллиметра до 2 мм. Вмещающими породами служат буро-желтые и серые песчаные неравномерно известковистые глины. Эти отложения часто лежат непосредственно на расчлененных, подвергшихся интенсивному выветриванию и карсту, каменноугольных отложениях, которые и были источником железа для них. Онколиты, являясь продуктом бентосных микробийальных сообществ, формировались в крайне мелководных обстановках близ поверхности раздела вода-осадок в изменчивых окислительно-восстановительных условиях при достаточно активном гидродинамическом режиме.



a



б



в

Рис. 1. Юрские микробиолиты Русской плиты: *a* – келловейский известковисто-шамозитовый онколит; *б* – оксфордский водорослевый микрожелвак (соленопоровый); *в* – келловейский строматолит с инкрустирующей красной водорослью (слева).

Тромболитами вероятно можно считать многие из фосфатных и карбонатно-фосфатных конкреций, обнаруживающих лишь при микроскопическом изучении явные слои нарастания, не такие четкие и менее правильной формы, чем у строматолитов или онколитов. Ранее это считалось всего лишь признаком их многостадийного роста. Исследование в сканирующем микроскопе выявило, что они образованы преимущественно коккоидными бактериями, что и придает комковатость их текстурам, а не нитчатые формы, создающими слои в строматолитах. Тромболиты и лейолиты остаются в России самыми неизученными микробиолитами, хотя, возможно, и наиболее широко распространенными в юре.

Юрские строматолиты Московской синеклизы, обнаруженные лишь недавно (Малёнкина, 2009), относятся, согласно классификации (Раабен, 2002), к морфологическим типам желваковых и пластовых строматолитов и приурочены к различным свитам верхнего келловей-оксфорда. Они образуют корки, иногда сложнопостроенные комплексы (до 0.35 м), а также желваки (до 15–25 см), часто захороненные в осадке в опрокинутом положении (благодаря активной гидродинамике). На постройках присутствует различная бентосная стеногайальная фауна, свидетельствующая об условиях нормальной солености. Постройки сложены тонкими слоями известкового вещества (от микрона до 1–2 мм), ожелезненного или пиритизированного, глауконита и фосфата, иногда распадающимися на короткие микростолбики (диаметром 0.05–0.5 мм). В некоторых присутствует примесь терригенного материала, фауна и ее фрагменты. В постройках часто присутствуют красные водоросли (соленопоровые). Иногда они заполняют сверления или же образуют микрожелвачки (рис. 1б, в). Верхнеоксфордские строматолиты представляют собой своеобразные комплексы глауконитовых желваков и пластовых образований – «зеленый прослой» (0.05–0.2 м), являющийся региональным стратиграфическим репером для всей Московской синеклизы.

Анализируя как морфологию построек, так и фациальные особенности вмещающих отложений, можно предположить, что келловейские строматолиты формировались в нижней части литоральной зоны с перио-

дически активной гидродинамикой и частично в сублиторальной зоне с более спокойными условиями: ранне-среднеоксфордские – в литоральной зоне с изменчивой гидродинамикой бассейна на нестабильном субстрате, среднеоксфордские – в постоянно тиховодных условиях нижней сублиторали, в режиме замедленного осадко-накопления на ровном достаточно стабильном субстрате. В это время происходило очень медленное погружение территории (Хаин, 2001), что способствовало росту биогермов и лишь в конце позднего оксфорда, вероятно, все приподнятые участки дна оказались ниже фотической зоны и строматолитообразование прекратилось.

Совершенно уникальными являются столбчатые и пластовые строматолиты долины р. Сухой Песчанки (50 км к западу от г. Соль-Илецка) (Силантьев, 1989). Их уникальность в том, что минеральной основой служат не карбонаты, как у большинства известных строматолитов, а фосфаты. Оба слоя залегают на песках келловеев в составе оксфорд-кимериджской фосфоритоносной пачки (2 м). Строматолитовые постройки из нижнего слоя (оксфорд) субгоризонтально слоистые, реже выпуклые вверх волнистые, мощностью 15–20 см, относятся по классификации (Раабен, 2002) к пластовым. Строматолитовые постройки из верхнего слоя (верхний киммеридж) относятся к столбчатым неветвящимся строматолитам (Раабен, 2002) и представляют собой субцилиндрические вертикальные столбики диаметром 5–20 см, высотой 20–35 см, с шероховатой бугорчатой, реже ровной гладкой поверхностью, четко отделяющиеся от вмещающего песка и венчающиеся пористыми грибовидными светло-серыми «шапочками» (3–10 см), со сверлениями, комковато-слоистой текстурой (тромболиты) и вертикальными бороздками. Оба слоя прослеживаются на десятки метров и переполнены различной макрофауной с карбонатным скелетом и фосфатными ядрами. В промежутке между слоями во вмещающих породах содержатся округлые фосфоритовые желваки (1–12 см), чаще всего со слоистыми строматолитовыми текстурами, а выше них – с тромболитовыми. Сечения строматолитов с четкой слоистостью, неравномерной толщины 0.1–1 см, подчеркнутой цветом слоев. Они на 40–50 % сложены скрытокристаллическим фосфатным веществом (карбонат-фторапатит), в различной степени ожеженным и загрязненным тонкодисперсными включениями органического вещества и терригенным материалом алевритовой и мелкозернистой размерности, среди которого преобладает глауконит (до 50 %), размерами 0.05–0.2 мм. Среди биокластов присутствуют спикулы губок, скелетные элементы иглокожих, известковые водоросли, копролиты, реже планктон. Наблюдается микроритмичность: нижний ритм сложен светлым слоем, верхний – темным (за счет органики), более плотным и с меньшей примесью.

В среднеюрское время с юго-востока через Прикаспийскую синеклизу со стороны океана Тетис начала развиваться широкая трансгрессия (Хаин, 2001), и данная территория оказалась на перегибе склона. Вероятно, в оксфорд-кимериджское время здесь существовали локальные выступы рельефа, на которых и формировались строматолиты. Строматолитовые постройки нижнего слоя формировались в достаточно тиховодных условиях сублиторали на ровном стабильном субстрате, что обусловило их пластовую форму. Столбчатые строматолиты верхнего слоя, вероятно, возникли на границе литоральной и сублиторальной зон в условиях периодически активной гидродинамики, с существенными поставками терригенного осадочного материала, возможно эолового происхождения, поступавшего в бассейн и отлагавшегося одновременно с нарастанием строматолитов. Режим постепенного медленного погружения и постоянное поступление осадочного вещества благоприятствовало росту биогермов до определенного момента, затем оно прекратилось, вероятно, из-за резкого обмеления. Слои обоих слоев сразу после отложения фосфатизировались, видимо, путем бактериально опосредованного осаждения аморфного фосфата кальция. Этот процесс минерализации происходил синседиментационно или во время самой ранней стадии диагенеза сразу после дегградации и переработки органического вещества предшествующего микробиального мата и, захваченных распадающихся макрофаунистических остатков, нарастающим сверху матом. Это увеличивало концентрацию фосфатов и других ионов в иловых водах, что приводило к пересыщению и осаждению аморфного вещества, подвергнувшегося в дальнейшем раскристаллизации до микрокристаллитов апатита и более крупных кристаллов франколита. Вероятно, этому также благоприятствовали жаркий аридный климат (способствовавший повышению концентрации фосфатов во время отлива), близость относительно глубоководной части бассейна (Прикаспийской синеклизы) и связь с открытым океаном, что способствовало периодическим береговым апвеллингам.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 12-05-00246-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Заварзин Г.А. 1987. Особенности эволюции прокариот / Л.П. Татарин, А.П. Расницын (ред.). Эволюция и биоценоотические кризисы. М.: Наука. С. 144–158.
- Маленкина С.Ю. 2009. Юрские строматолиты Восточно-Европейской платформы: новые местонахождения, морфология построек и среда их формирования / Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Мат-лы 3 Всерос. совещ. Саратов: Изд. центр «Наука». С. 129–132.
- Маленкина С.Ю. 2011. Осадочные процессы в юрских микробиальных сообществах Русской Плиты / Б.Н. Шурыгин, Н.К. Лебедева, А.А. Горячева (ред.). Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя бореальных районов. Мат-лы науч. сес. (18–22 апреля 2011 г.) в 2 т. Новосибирск: ИНГГ СО РАН. Т. 1. С. 157–162.
- Раабен М.Е. 2002. Строматолиты / Бактериальная палеонтология. А.Ю. Розанов (ред.). М.: ПИН РАН. С. 52–58.
- Силантьев В.Н. 1989. Фосфатные столбчатые строматолиты из верхней юры Оренбургского Приуралья // Докл. АН СССР. М. Т. 308. № 5. С. 1197–1199.
- Хаин В.Е. 2001. Тектоника континентов и океанов (2000). М.: Научный мир. 606 с.

ФАЦИИ МИКРОФИТОЛИТОВЫХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ЧЕНЧИНСКОЙ И ТОРГИНСКОЙ СВИТ НЕОПРОТЕРОЗОЯ ЮГО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

М.М. Мыреева, П.Н. Колосов, И.Н. Троегубова

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, p_kolosov@diamond.ysn.ru

FACIES OF MICROPHYTOLITHIC CARBONATE ROCKS OF THE NEOPROTEROZOIC CHENCHI AND TORGO FORMATIONS OF THE SOUTH-EASTERN SIBERIAN PLATFORM

M.M. Myreeva, P.N. Kolosov, I.N. Troegubova

Diamond and Precious Metal Geology Institute SO RAS, Yakutsk, p_kolosov@diamond.ysn.ru

Помимо породообразующих известковых водорослей и строматолитов в ченчинской свите Предпатомского прогиба и торгинской свите Березовской впадины карбонатные породы весьма насыщены микрофитолитами – органогенно-седиментационными образованиями.

Термин «фация» нами используется в описательном смысле (Селли, 1981; Хэллем, 1983): под фацией микрофитолитовых (онколитовых и катаграфиевых) известняков и доломитов понимается та часть осадочной толщи, для которой характерно наличие онколитовых и катаграфиевых известняков и доломитов.

Онколиты и катаграфии представляют собой неприкрепленные ко дну морского бассейна образования. Концентрически – слоистые именуется онколитами, а узорчатые – катаграфиями (Маслов, 1953; Рейтлингер, 1959). Эти названия удобны при использовании их как индикаторов гидродинамических условий карбонатного осадконакопления. По М. Шульжевскому (Szullzewski, 1966), онколиты – неприкрепленные или оторванные структуры (detached structures).

Шаровидной формы онколиты внешне похожи на оолиты, считающиеся хемогенными образованиями. Если слоистость онколитов обусловлена определенными соотношениями бактериально-водорослевого и крип-токристаллического материалов, то это можно считать доказательством их органогенно-седиментационного происхождения. Плавные очертания внутренних элементов онколитов (например, наблюдаемые в шлифе 352-68) также отличают их от оолитов. Исследования некоторых онколитов (например, обр. 208-68 и др.) ченчинской свиты под растровым электронным микроскопом показало, что они имеют (как и строматолиты) глобулярную или колломорфную ультраструктуру. Для перекристаллизованных форм свойственна в основном кристалломорфная ультраструктура (Ушакова, 1979). В природе, видимо, существуют оолиты первичные (хемогенные) и вторичные (диагенетические по онколитами). При плохой сохранности материала также сложно отличить катаграфии от хемогенных и диагенетических микрокомковатых структур.

При образовании строматолитов и микрофитолитов, формировании их формы помимо биогенного фактора значительно влияние фациальных условий (Вологдин, 1962; Logan et al., 1964; Колосов, 1970; Головенок, 1984). Катаграфии указывают на слабую гидродинамическую активность и, возможно, на относительно большую глубину бассейна. В отличие от них онколиты служат показателями высокоэнергетической водной среды осадконакопления. Их конфигурация зависит не только от формы ядра, но и от стабильности и энергии движения воды. При постоянном перекачивании образуются шаровидные онколиты, имеющие равномерную концентрическую слоистость. Прекращение перекачивания онколитов ведет к их неравномерному росту, возникновению уплощенных и других форм (Чувашов, 1988).

Фация онколитовых известняков присутствует во всех частях ченчинской свиты Предпатомского прогиба и торгинской свиты Березовской впадины. Мощность пачек онколитовых серых известняков до 10–30 м. В разрезах они переслаиваются со строматолитовыми известняками. Онколитовые известняки иногда имеют линзовидную форму. По простиранию местами они переходят в песчанистые косослоистые известняки. В верхненченчинской подсвите в районе Уринского поднятия присутствуют пачки онколитовых доломитизированных известняков мощностью до 10 м. В них онколиты размерами до 0.5 мм составляют 70–90 % породы (например, в шлифах 636-638, 646, 648/68). Отличительной особенностью онколитов ченчинской свиты является то, что они подвергнуты сильным вторичным изменениям, в результате чего стали шаровидными радиально-лучистыми (типа «астеросфаероидес») или зональными с концентрической слоистостью (типа «радиозус») (Хабаров, 1985). Здесь в шлифах четко наблюдается оолитообразование по онколитами. Онколитовые доломиты верхней части торгинской свиты Березовской впадины в результате полной перекристаллизации сложены крупнокристаллическим вторичным доломитом.

Судя по строению округлых с концентрической слоистостью онколитов различных размеров (иногда крупных, до 2.0–2.8 мм), а также по присутствию в разрезе ченчинской свиты фации оолитовых известняков, осадконакопление на территории современного Уринского поднятия в неопротерозое времени происходило в высокоэнергетической водной среде. Возможно, в ту эру данный район представлял собой пролив, соединявший осадочные бассейны Патомского и Вилуйского прогибов. Это предположение согласуется с мнением Е.Е. Милановского (1987), допускавшего, что до середины палеозоя существовали Ангаро-Анабарская и Алданская платформы, разделенные узкой Байкало-Каледонской складчатой зоной. В соседней с Предпатомским прогибом Березовской впадине фация микрофитолитовых доломитов характеризуется преобладанием сравнительно мелких сгустково-пузырчатых, мозаичных и сгустково-комковатых катаграфий, указывающих на низкоэнергетическую обстановку. По характеру затронувших их диагенетических процессов эти микрофитолиты отличаются от таковых Уринского поднятия. Они в значительной мере доломитизированы.

На юго-востоке Сибирской платформы микрофитолиты весьма широко распространены не только в ченчинской и торгинской свитах, но и в других подразделениях неопротерозоя. Поэтому считаем весьма необходимым проведение в регионе планомерных структурно-текстурных, биолого-экологических и литолого-геохимических исследований, направленных на выяснение фациального значения микрофитолитов. На условия среды карбонатного осадконакопления могут указывать как участвующие в их образовании микроорганизмы, так и форма, размеры, строение самих форм. Указанные исследования будут иметь большое практическое значение. Так, с фациями микрофитолитовых карбонатных пород ченчинской и торгинской свит связаны коллекторы нефти и газа. Постседиментационные преобразования этих пород в сторону Березовской впадины и Вилючанско-Ыгыаттинской структурно-фациальной зоны усиливаются, что повышает их коллекторские свойства (Колосов, 2011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Володин А.Г. 1962. Древнейшие водоросли СССР. М.: Изд-во АН СССР. 656 с.
- Головенко В.К. 1984. Строматолиты и микрофитолиты в стратиграфии докембрия: надежды и реальность // Советская геология. № 8. С. 43–54.
- Колосов П.Н. 1970. Органические остатки верхнего докембрия юга Якутии / А.К. Бобров (ред.). Стратиграфия и палеонтология протерозоя и кембрия востока Сибирской платформы. Якутск: Якут. кн. изд-во. С. 57–70.
- Колосов П.Н. 2011. Органогенные породы и потенциальные коллекторы нефти и газа в неопротерозоя Предпатомского прогиба // Отечественная геология. № 5. С. 43–49.
- Маслов В.П. 1953. Принципы номенклатуры и систематики строматолитов // Изв. АН СССР. Сер. геол. № 4. С. 105–112.
- Милановский Е.Е. 1987. Геология СССР. Ч. 1. М.: МГУ. 416 с.
- Рейтлингер Е.А. 1959. Атлас микроскопических органических остатков и проблематика древних толщ Сибири // М.: Изд-во АН СССР. 61 с.
- Селли Р.К. 1981. Введение в седиментологию // М.: Недра. 370 с.
- Ушакова А.И. 1979. Атлас структур и ультраструктур карбонатных пород Сибири // Новосибирск: Наука. 175 с.
- Хабаров Е.М. 1985. Сравнительная характеристика позднедокембрийских рифогенных формаций // Новосибирск: Наука. 125 с.
- Хэллем Э. 1983. Интерпретация фаций и стратиграфическая последовательность: Пер. с англ. // М.: Мир. 328 с.
- Чувашов Б.И. 1988. Строматолиты и онколиты девона, карбона перми / В.Н. Дубатовол, Т.А. Москаленко (ред.). Известковые водоросли и строматолиты. Новосибирск: Наука. С. 158–174.
- Logan B.W., Rezak R., Ginsburg R.N. 1964. Classification and environmental significans of algal stromatolites // J. Geol. V. 72. № 1. P. 68–83.
- Szullzewski M. 1966. Klasyfikacja onkolitow // Roczn. Polskiego towarz. Geol. I. 36. № 3. P. 325–326.

ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОЛЕДЕНЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ БИОГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ АНТАРКТИКИ

З.Б. Намсараев

Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, Москва, zorigto@gmail.com

POSSIBLE ROLE OF CONTINENTAL GLACIATIONS IN THE FORMATION OF THE BIOGEOGRAPHIC DISTRIBUTION OF ANTARCTIC TERRESTRIAL CYANOBACTERIA

Z.B. Namsaraev

Winogradsky Institute of Microbiology RAS, Moscow, zorigto@gmail.com

Цианобактерии являются одними из доминирующих организмов в полярных и высокогорных областях Земли, образуя поверхностные корки на литорали озер и на поверхности почвы (Fernández-Carazo et al., 2012). Особенно заметно доминирование цианобактерий в континентальной части Антарктиды, где они обнаруживаются вплоть до 86°30'S (~420 км от Южного полюса) (Cameron, 1972).

Нами был проведен биоинформационный анализ цианобактериального разнообразия наземных корок Антарктики (насколько нам известно – первое в мире биогеографическое исследование бактерий в масштабах континента) (Namsaraev et al., 2011). В результате было показано возможное существование «пояса высокого разнообразия цианобактерий» между 70 и 80 градусами южной широты. К югу и к северу от этой зоны разнообразие цианобактерий резко снижалось. Это противоречит традиционному представлению о том, что в полярных областях разнообразие организмов снижается. Существование этого «пояса» может объясняться большей толерантностью цианобактерий к низкой температуре и снижением конкуренции между цианобактериями и мхами с лишайниками за свет, воду и биогены. Таким образом, в данных широтах цианобактерии совместно с лишайниками занимают экологическую нишу наземных растений.

Большинство Антарктических наземных цианобактерий (79 % – 33 из 42 операционных таксономических единиц) имело космополитное распространение и встречалось также в регионах расположенных за пределами Антарктики. Их существование в Антарктике может быть объяснено устойчивостью к замораживанию данных групп цианобактерий, а также локальным нагревом поверхности скал в Антарктиде (летом до +25 °C на северных поверхностях. 21 % антарктических цианобактерий являются потенциально эндемичными для Антарктики. Исследование накопительных культур потенциально эндемичных антарктических цианобактерий группы *Cyanothece aeruginosa* показывает, что они являются психрофилами и приспособлены к существованию при низкой температуре. Имеющиеся данные не объясняют происхождения высокоэндемичных антарктических групп цианобактерий. Если принять за основу скорость «молекулярных часов» гена 16S рРНК в 1 % за 50 млн. лет, то формирование данных групп произошло более чем 150 млн. лет т. н. (Ochman, Wilson, 1987). В этот период (поздний юрский) климат Антарктики, скорее всего, был умеренно теплым и сравнимым с современным климатом Южной Европы.

Наличие «пояса высокого разнообразия цианобактерий» уникально для Антарктики и не встречается в Арктике. Это связано с более жесткими климатическими условиями Антарктиды и существованием континентального ледникового щита. Выживание цианобактерий в данных условиях и их высокое разнообразие показывает возможный механизм переживания наземной микробиотой низкоширотных оледенений, например Неопротерозойских, когда континентальные ледники возможно распространялись вплоть до приэкваториальных областей Земли (5–10°) (Чумаков, Сергеев, 2004; Macdonald et al., 2010).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Чумаков Н.М., Сергеев В.Н. 2004. Проблема климатической зональности в позднем докембри. Климат и биосферные события / Климат в эпохи крупных биосферных перестроек. М.: Наука. С. 271–289.
- Cameron R.E. 1972. Farthest south algae and associated bacteria // *Phycologia*. V. 11. № 2. P. 133–139.
- Fernández-Carazo R., Namsaraev Z., Mano M.J. et al. 2012. Cyanobacterial diversity for an anthropogenic impact assessment in the Sor Rondane Mountains area (Antarctica) // *Antarctic science*. V. 24. P. 229–242.
- Macdonald F.A., Schmitz M.D., Crowley J.L. et al. 2010. Calibrating the Cryogenian // *Science*. V. 327. P. 1241–1243.
- Namsaraev Z., Mano M.J., Fernandez R., Wilmotte A. 2011. Biogeography of terrestrial cyanobacteria from Antarctic ice-free areas // *Ann. Glaciol.* V. 51. № 56. P. 171–177.
- Ochman H., A.C. Wilson. 1987. Evolution in bacteria: evidence for a universal substitution rate in cellular genomes // *J. Molec. Evol.* 26. P. 74–86.

РОЛЬ ВЕНД-КЕМБРИЙСКИХ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В ФОРМИРОВАНИИ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ НА ТЕРРИТОРИИ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТИКЛИЗЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

О.В. Омельченко

РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва, olgaouliya@gmail.com

THE ROLE OF VENDIAN-CAMBRIAN CYANOBACTERIAL COMMUNITIES IN THE FORMATION OF THE RESERVOIR ROCKS IN THE NEPA-BOTUOVA ANTECLISE OF SIBERIAN PLATFORM

O.V. Omelchenko

Gubkin Russian State University of oil and gas, Moscow, olgaouliya@gmail.com

Объектом данного исследования являются карбонатные венд-кембрийские отложения на территории Непско-Ботуобинской антеклизы юга Сибирской платформы, которые являются главным перспективным объектом поиска нефти и газа на территории Сибирской платформы.

Изучаемые отложения представлены карбонатными породами органогенного генезиса – известняками и доломитами. Основными породообразующими организмами являются цианобактерии, которые формировали биоценозы различного типа (Постникова, 1985). В венд-кембрийских отложениях Непско-Ботуобинской антеклизы присутствуют два типа цианобактериальных сообществ – строматолитовые сообщества и сообщества кальцибионтов.

Эти сообщества различаются по способу обызвествления, в результате чего формируются различные типы пустотного пространства. В строматолитах осаждение слоя CaCO_3 на слизистой оболочке происходит механическим и биохимическим путем при резком изменении pH в зоне фотосинтеза и с удалением CO_2 из воды на мелководье (Кузнецов, Постникова, 1985). Кальцибионты же при повышении температуры воды в бассейне и увеличении концентрации солей в воде выработали инструмент для образования карбонатной оболочки биохимическим путем (Лучинина, 1985). Таким образом, в строматолитах пустотное пространство в основном представлено межслойковыми пустотами, а в сообществах кальцибионтов – пустотами каркасными, между карбонатными оболочками веточек и кустиков построек.

Тип цианобактериального каркаса во многом влияет на характер проявления вторичных процессов, так, например, в исследованных строматолитах реже проходили процессы доломитизации. В целом каркасы кальцибионтов сложены более крупными кристаллами доломита и кальцита, чем строматолиты. Выщелачивание характерно для обоих типов каркаса, и происходило по первичным межкаркасным и внутрикаркасным пустотам. Однако иногда в кальцибионтах встречается «инверсное» выщелачивание, когда полностью выщелочены сами кустики построек, а внутрикаркасное пустотное пространство полностью заполнено.

Также в некоторых скважинах отмечаются многочисленные «пузырьковые» пустоты, размером до нескольких сантиметров, частично или полностью заполненные галитом. Генезис таких пустот до конца не ясен, однако можно предположить, что они так же являются результатом деятельности цианобактериальных комплексов. Цианобактериальные маты являются фильтром газов, в естественных местах их обитания под матом или между слоями часто образуются пузыри газа (метана). В галофильных сообществах эти газы продуцируются самим сообществом (Бактериальная палеонтология, 2002). Помимо этого, ряд минералов в матах осаждается хемогенным путем. В галофильных матах это галит и гипс, чем и объясняется засоление «пузырьковых» пустот.

При сопоставлении структуры современных и древних цианобактерий отмечается их высокая степень сходства, в результате чего можно сделать вывод о том что, современные искусственно выращенные цианобактериальные сообщества могут являться объектом для моделирования первичного пространства карбонатных пород-коллекторов имеющих цианобактериальную природу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

Кузнецов В.Г., Постникова О.В. 1985. Особенности строения природного резервуара органогенных построек нижнего кембрия Непско-Ботубинской антеклизы // Бюл. МОИП, отд. Геол. Т. 60. № 4. С. 118–119.

Лучинина В.А. 1985. Водорослевые постройки раннего палеозоя севера Сибирской платформы / Среда и жизнь в геологическом прошлом. Новосибирск: Наука. С. 45–50.

Постникова О.В. 1985. Органогенные постройки осинского горизонта Непско-Ботубинской антеклизы и их нефтегазоносность / Геология рифов и их нефтегазоносность. Тез. докл. Всесоюзн. совещ. Карши: Узбекнефтегазгеология.

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ И СИЛИКОФЛАГЕЛЛАТЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ГЛОБАЛЬНОГО БИОТИЧЕСКОГО КРИЗИСА НА ГРАНИЦЕ ПАЛЕОЦЕНА–ЭОЦЕНА

Т.В. Орешкина, Э.П. Радинова

Геологический институт РАН, Москва, oreshkina@ginras.ru, radionova@ginras.ru

DIATOMS AND SILICOFLAGELLATES AS INDICATORS OF GLOBAL BIOTIC CRISIS AT THE PALEOCENE–EOCENE BONDARY

T.V. Oreshkina, E.P. Radionova

Geological Institute of RAS, Moscow, oreshkina@ginras.ru, radionova@ginras.ru

В контексте современной проблемы глобального потепления климата большой интерес представляет изучение реакции морского планктона и, в частности, фотосинтезирующих протистов с кремневой секрецией – диатомовых и силикофлагеллат на кризисы геологического прошлого, среди которых особенно ярким и уже достаточно хорошо изученным является так называемое событие PETM (Paleocene–Eocene Thermal Maximum). С этим событием, зафиксированным на изотопных кривых (CIE=Carbon Isotopic Excursion; 2.5–6 ‰) и палеотемпературных кривых, как резкое, но кратковременное (~200 тыс. лет) повышение глобальной температуры (до 6 °C), связаны значительные изменения в наземной и морской биоте. Для морских микроорганизмов – это вымирание глубоководных бентосных фораминифер, появление специфических экофенотипов у планктонных фораминифер, наннопланктона и динофлагеллат, а также миграция тепловодных видов в средние и высокие широты. Диатомовые и силикофлагеллаты, начиная с работ А.П. Жузе 60-х гг. прошлого века, успешно используются для реконструкции изменений климата с использованием метода актуализма, главным образом для голоцена и квартера. В частности, предложены коэффициенты теплопроводности, основанные на соотношении тепловодных и холодноводных видов, используются различные модификации факторного анализа для определения зависимости состава диатомей (в том числе высоких таксонов) от типа водной массы и т. д.

Мы проанализировали (Орешкина, Александрова, 2007; Орешкина и др., 2008; Александрова и др., 2012; Khokhlova, Oreshkina, 1999; Iakovleva et al., 2000; Radionova et al., 2001; Oreshkina, Oberhansli, 2003; Oreshkina et al., 2004; Aleksandrova, Radionova, 2006; Oreshkina et al., 2009; Radionova et al., 2009; Oreshkina, 2012) изменения комплексов диатомей и силикофлагеллат для интервала перехода от палеоцена к эоцену на материале 14 разрезов Центральной России, Зауралья и прилегающих районов, где переход от палеоцена к эоцену представлен биокремнистыми отложениями с высоким содержанием и прекрасной сохранностью биокремнистого планктона. Следует отметить, что для рассматриваемых регионов хорошо известен состав более древней флоры – позднемиоценовых и раннепалеоценовых комплексов диатомовых. Более слабоизученным является состав флор средней части палеоцена (зеландий), известный лишь по единичным местонахождениям. В Центральной России наиболее полные последовательности диатомовых изучены в камышинской свите (мощностью около 30 м) разреза Сенгилей (Ульяновская область), где прослежены изменения в интервале диатомовых зон *Trinacria ventriculosa* и *Hemiaulus proteus*. Дополнительная информация по таксономическому составу верхней части зоны *Trinacria ventriculosa* получена при изучении разрезов Балашейка, Кузькино, Дюпа, скв. 38, 50 Саратовской и Ульяновской областей. Представления о составе зоны *Moissevia uralensis* в этом регионе имеется лишь для более южного региона – в разрезе P-321 в Воронежской области (неопубликованные данные Т.В. Орешкиной) и скв. Каранино, пробуренной в районе г. Сенгилей по данным З.И. Глезер и др. (1977). Изменения диатомовых также были прослежены в ряде разрезов Западной Сибири и сопредельных регионов – Печорской низменности (скв. 228/Инта), южного Урала (Бака), Тургая (Соколовский карьер в Северном Казахстане). Переход от палеоцена к эоцену наиболее полно представлен в разрезах Среднего Зауралья (серовско-ирбитские отложения в карьерах Камышлов, Коркино и Чумляк).

Полученные данные показывают, что изменения в составе и структуре ассоциаций диатомовых и силикофлагеллат во время события PETM можно подразделить на три этапа. Первый этап (зона *Trinacria ventriculosa* (верхняя часть)) отличается значительным обогащением таксономического состава на видовом и родовом уровнях. В составе диатомовых водорослей зафиксировано появление новых родов *Podosira*, *Moissevia*, *Solium*, *Cylindropsyra*, *Craspedodiscus*, *Fenestrella*, *Pseudotriceratium*, а также нового вида *Naviculocha* у силикофлагеллат (Александрова и др., 2012), значительного количества новых видов, включая виды с атипичной морфологией и сверхкоротким интервалом стратиграфического распространения (*Anaulus weyprechtii*, *Eunotogramma fugei*, *Hemiaulus proteus*, *H. incurvus*, *H. inaequilaterus*), повторного появления ряда таксонов, характерных для позднего мела и раннего палеогена (*Lepidodiscus*, *Ratrayella*, *Kentrodiscus*, *Gyrodiscus*, *Thalassiosiropsis*) с их последующим вымиранием в подошве эоцена. Отмечено появление первых навикуло-

идных таксонов – представителей нового класса диатомовых Pennatophyceae. Максимум таксономического разнообразия приходится на верхнюю часть зоны *Trinacria ventriculosa*.

Второй этап, который мы параллелизуем собственно с эпизодом изотопной аномалии CIE (=Carbon Isotopic Excursion), также характеризуется появлением новых элементов, в том числе со сверхкоротким интервалом распространения и атипичной морфологией. Новые элементы диатомовой флоры события PETM состоят из эндемиков и мигрантов из тетической области. Типичными для Центральной России, но не обнаруженными в Зауралье, являются *Cylindropsyra simsii*, *Trinacria cancellata*, представители пеннатных. Только в Зауралье встречены *Pseudotriceratium* (*P. fallax*, *P. chenevieri*, *P. exornatum*), *Fenestrella rossica* и *F. barbadensis*, *Grunowiella* sp. A, B, *Pseudostictodiscus nowaezelandiae*. Различия в структуре «европейских» и «сибирских» ассоциаций проявляется в отчетливом доминировании группы доли тихоокеанских *Paralia/Anuloplicata* в ассоциациях Центральной России, тогда как в Западной Сибири преобладающими компонентами помимо упомянутой *Paralia/Anuloplicata* являются представители порядков *Stephanoripales*, *Hemiaulales*, *Coscinodiscales*. По-видимому, это связано с различиями в параметрах водных масс, конфигурации шельфа обоих бассейнов, относительной замкнутости региональных круговоротов. Вопрос о миграции тепловодных видов диатомей в северные широты во время PETM, как это было установлено для динофлагеллат, нуждается в дальнейшем изучении. Высокая степень сходства таксономического состава диатомовой флоры внутриконтинентальных бассейнов Западной Сибири и Русской платформы с комплексами из тропических широт центральной части Индийского океана, Капской впадины юго-восточной Атлантики, Фолклендского плато в юго-западной Атлантики отмечалась ранее В.В. Мухиной, А.П. Жузе, З.И. Глезер, Н.И. Стрельниковой. Кроме сходства таксономического состава, можно отметить близкие тренды в развитии диатомовых окраинных морей и океанических бассейнов для интервала PETM. Это аспе *Trinacria cancellata* (= *Trinacria heibergii* sensu Gombos) в Капской впадине (Gombos, 1984), диверсификация *Anaulus* (Fourtanier, 1991) и *Grunowiella* (Fenner, 1991). Аналогичные тенденции наблюдаются и в развитии сиикофлагеллат, где для рассматриваемого интервала характерны короткоживущие таксоны с атипичной морфологией – *Dictyocha elongata* Gleser, *Naviculopsis danica* Perch-Nielsen, *Naviculopsis robusta* Deflandre, варианты *Corbisema disymmetrica* Bukry.

Заключительный, третий этап (PostPETM) связан с вымиранием значительной части палеоценовой флоры и переход к раннеэоценовой флоре со значительно более низким таксономическим разнообразием. Среди новых элементов – *Coscinodiscus argus*, *C. decrescenoides*, *C. payeri*, *Cestodiscus denarius*, *Naviculopsis constricta*.

Таким образом, диатомовые на границе палеоцена-эоцена, совпадающей с глобальным событием PETM, развивается по сценарию, установленному для других групп микропланктона, в частности для диноцист и наннопланктона (Aubry et al., 2007). Это эволюция на видовом и родовом уровнях, кратковременное появление таксонов с атипичной морфологией (экофенотипы), проникновение тепловодных мигрантов из Центрального и Южного Тетиса. Кроме того, для диатомовых наблюдается вспышка численности раннепалеоценовых и меловых реликтов с их последующим вымиранием в подошве эоцена. Эти биособытия происходят на фоне квазипродуктивности краевых частей внутриконтинентальных бассейнов. Хотя в Западной Сибири биогенное кремненакопление сохраняется и даже расширяет свой ареал на протяжении большей части ипра, комплексы диатомовых характеризуются относительно низким таксономическим разнообразием, постепенно утрачивая последние элементы палеоценовой флоры. Некоторое увеличение биоразнообразия наблюдается во второй половине ипра и, предположительно, связывается с очередным, но не столь значительным как на границе палеоцена-эоцена, эпизодом потепления климата (Oreshkina, 2012).

Грант РФФИ, № 11-05-00431 (Т.В. Орешкина).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова Г.Н., Орешкина Т.В., Яковлева А.И., Радионова Э.П. 2012. Диатомеи и диноцисты в интервале позднего палеоцена-раннего-эоцена в биокремнистых фациях Среднего Зауралья // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 20. № 4. С. 68–94.
- Глезер З.И., Кузнецова Т.А., Афанасьева Н.И. 1977. О возрасте и фациальной принадлежности диатомитов Среднего Поволжья // Сов. геология. № 8. С. 113–119.
- Орешкина Т.В., Александрова Г.Н. 2007. Терминальный палеоцен среднего Поволжья: биостратиграфия и палеообстановки // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 15. № 2. С. 93–118.
- Орешкина Т.В., Яковлева А.И., Александрова Г.Н. 2008. Прямая корреляция зональных шкал бореального палеогена по диатомеям и диноцистам (по материалам скв. 19-У, пос. Усть-Манья, Восточный склон Северного Урала) // Геология и геофизика. Т. 49. Вып. 10–11. С. 347–350.
- Aleksandrova G.N., Radionova E.P. 2006. On the late Paleocene stratigraphy of the Saratov Volga Region: Micropaleontological characteristics of the Kamyshin Formation, Dyupa Gully section // Paleontol. Journ. V. 40. № 5. P. 543–557.
- Aubry M.P., Ouda K., Dupuis C., Van Couvering J.A. and the members of the working group on Paleocene/Eocene boundary. 2007. The Global Standard Stratotype-section and Point (GSSP) for the base of the Eocene Series in the Dababiya section (Egypt) // Episodes. V. 30. № 4. P. 271–286.
- Fenner J. 1991. Taxonomy, stratigraphy, and paleoceanographic implications of Paleocene diatoms / P.F. Ciesielski, Y. Kristoffersen et al. (eds). Proc. ODP Sci. Res., College Station, Texas. V. 114. P. 123–154.
- Fourtanier E. 1991. Paleocene and Eocene diatom stratigraphy and taxonomy of eastern Indian ocean site 752 // J. Weissel et al. (eds.). Proc. ODP Sci. Res., College Station, Texas. V. 121. P. 171–187.
- Gombos A.M. 1984. Late Paleocene diatoms in the Cape basin // K.J. Hsu, J.L. La Breque et al. (eds.). Initial Rep. DSDP, Washington. V. 73. P. 495–512.
- Iakovleva A.I., Oreshkina T.V., Alekseev A.S., Rousseau D-D. 2000. A new Paleogene micropaleontological and palaeogeographical data in the Petchora Depression, northern European Russia // Earth and Planetary Sciences. V. 330. P. 485–491.
- Khokhlova I.E., Oreshkina T.V. 1999. Early Paleogene Siliceous Microfossils of the Middle Volga Region: Stratigraphy and Paleogeography // Geodiversitas. V. 21. № 3. P. 429–451.

- Oreshkina T.V., Aleksandrova G.N., Kozlova G.E. 2004. Early Eocene marine planktonic record of the East Urals margin (Sverdlovsk region): biostratigraphy and palaeoenvironments // *N. J. geol. paleontol.* V. 234 (X/X). P. 201–222.
- Oreshkina T.V. 2012. Evidence of Late Paleocene–Early Eocene hyperthermal events in biosiliceous sediments of Western Siberia and adjacent areas // *Austrian Journ. Earth Sci.* V. 105/1. P. 145–153.
- Oreshkina T.V., Oberhansli H., 2003. Diatom turnover in the early Paleogene diatomites of the Sengiley section, Middle Povolzhie, Russia: A response to the Initial Eocene Thermal maximum? // S.L. Wing et al. (eds). *Causes and Consequences of Globally Warm Climates in the Early Paleogene.* Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. Boulder, Colorado. V. 369. P. 169–179.
- Radionova E.P., Aleksandrova G.N., Gavtadze T.T. et al. 2009. Analyses of Late Paleocene – Early Eocene microplankton from the Kheu river section, West Pre-Caucasus / *Climatic and Biotic Events of the Paleogene (CBEP 2009)*, extended abstracts from an international conference in Wellington, New Zealand, 12–15 January 2009. GNS Science Miscellaneous Series. V. 18. P. 111–116.
- Radionova E.P., Khokhlova I.E., Beniamovskiy V.N. et al. 2001. Paleocene/Eocene transition in the Northeastern Peri-Tethys area: Sokolovskiy key section of the Turgay passage (Kazakhstan) // *Bull. Soc. Geol. France.* V. 172. № 2. P. 245–256.

**ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫЕ МАТЫ
(ПОЛЕВЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ)
В.К. Орлеанский¹, Е.А. Жегалло², Н.Н. Колотилова³, Л.В. Зайцева²,
Л.М. Герасименко¹, Г.Т. Ушатинская²**

¹ *Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, Москва, orleanor@mail.ru*

² *Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, ezheg@paleo.ru*

³ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, kolotilovan@mail.ru*

CYANOBACTERIAL MATS (FIELD AND EXPERIMENTAL RESULTS)

V.K. Orleansky¹, E.A. Zhegallo², N.N. Kolotilova³, L.V. Zaitseva², L.M. Gerasimenko¹, G.T. Ushatinskaya²

¹ *Winogradsky Institute of Microbiology of RAS, Moscow, orleanor@mail.ru*

² *Borissiak Paleontology Institute of RAS, Moscow, ezheg@mail.ru*

³ *Lomonosov Moscow State University, Moscow, kolotilovan@mail.ru*

В настоящее время в различных природных экологических условиях наблюдаются слоистые образования, формируемые альго-бактериальным сообществом. Эти слоистые образования принято называть матами. Термин «альго-бактериальный» или «цианобактериальный» мат широко используется в современной научной литературе, обозначая, что состоит из водорослей, как правило, цианобактерий (по бактериологической классификации) и сопровождающих их рост многочисленных как по числу, так и по видовому разнообразию бактерий. Термин «мат» в переводе с английского «mat» – это ковер, матрац, покрывало. Слоистые маты встречаются в морских заливах, лагунах, солоноватых водоемах и горячих источниках (рис. 1–2). Внимание к современным слоистым цианобактериальным матам, помимо экологического интереса, связано еще и с тем, что аналогичные окаменевшие ископаемые слоистые структуры, называемые строматолитами, часто встречаются в осадочных породах раннего возраста нашей планеты и датируются порой более трех миллиардов лет назад (рис. 3).



Рис.1. Слоистый циано-бактериальный мат на дне солоноватого озера (Крым).

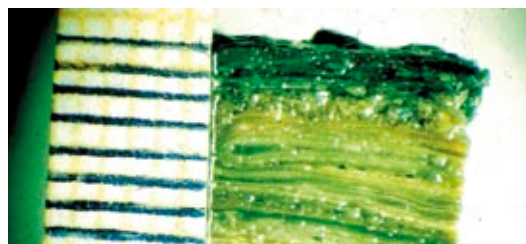


Рис.2. Циано-бактериальный мат в потоке гидротермального источника (вертикальный срез)..

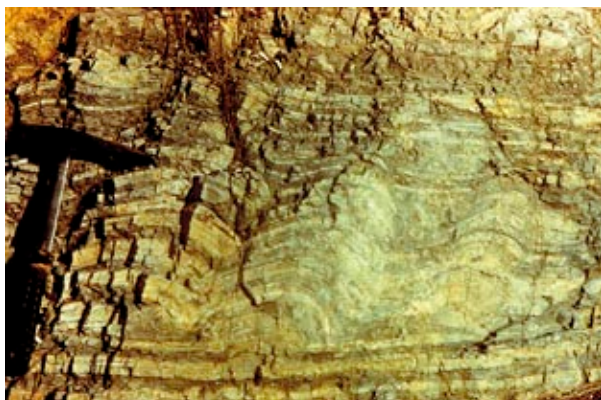


Рис.3. Строматолитовое обнажение древнего цианобактериального мата.

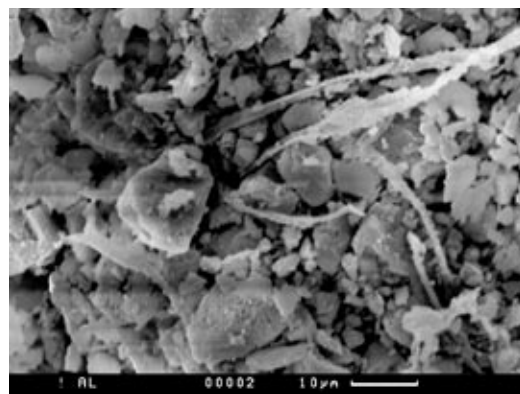


Рис.4. Проникновение нитей осцилляториевых цианобактерий между частицами осадка.

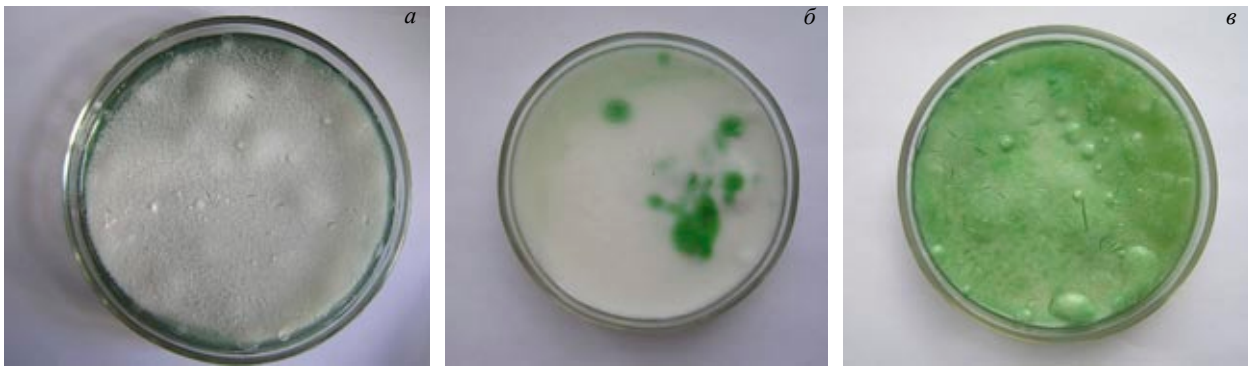


Рис. 5. Эксперимент по скорости зарастания минерального осадка: *а* – чашка Петри, где газон засыпан минеральным осадком (CaCO_3); *б* – недельный рост ностоковой культуры (слабое проникновение между частицами осадка); *в* – активное (суточное) зарастание минеральной поверхности осадка осцилляториевыми цианобактериями.

Задача работы – получить в лабораторных условиях слоистые цианобактериальные структуры с целью выяснения механизма образования их в современных природных условиях и, по аналогии, в древних образцах.

В работе использовались культуры цианобактерий, взятые из музейных коллекций (коллекция кафедры микробиологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и коллекция рабочего музея Института микробиологии РАН), и цианобактерии, непосредственно выделенные из природных местообитаний. В опытах использовался ряд представителей следующих родов: *Synechococcus*, *Gloeothoece*, *Nostoc*, *Gloeocapsa*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Mastigocladus (Fischerella)*, *Anabaena*, *Microcoleus*. При проведении экспериментов, культуры рассеивались газоном на агаровые питательные среды. Выросший материал затем засыпался минеральным осадком (обычно карбонатом кальция – мелом).

Полевые наблюдения на термальных источниках Камчатки и в соленых водоемах Крыма показали, что в таких природных условиях, в биопленках и в слоистых матах, доминируют представители осцилляториевых цианобактерий. Чтобы решить вопрос, какие еще цианобактерии могут формировать слоистые структуры, нами были поставлены опыты с представителями других различных родов.

Эксперименты показали, что лабораторные слоистые структуры могут образовываться при условии активного роста осцилляториевых цианобактерий, когда чашка Петри, диаметром около 8 см, может зарости газоном в течение одних суток. При засыпании цианобактериального газона минеральным осадком, подвижные трихомы представителей осцилляториевых проникали в промежутки между минеральными кристаллами и начинали колонизировать имеющийся покров новым ростом (рис. 4). К таким организмам в наших опытах относились *Oscillatoria teribriformis*, *Phormidium tenue*, *Microcoleus chthonoplastes*. Эти циклы можно повторять вновь и вновь.

Другие, менее подвижные цианобактерии (не осцилляториевые – в нашем эксперименте ностоковые), проявляли рост на меловой поверхности лишь к концу недели. Степень позеленения была разной (рис. 5). Используя методику периодического засыпания сформированной биопленки осцилляториевых минеральным осадком, нами получена слоистая структура, аналогичная тому, что можно наблюдать в природе (рис. 6). В противоположность проникающему росту через минеральный осадок, в наших опытах наблю-

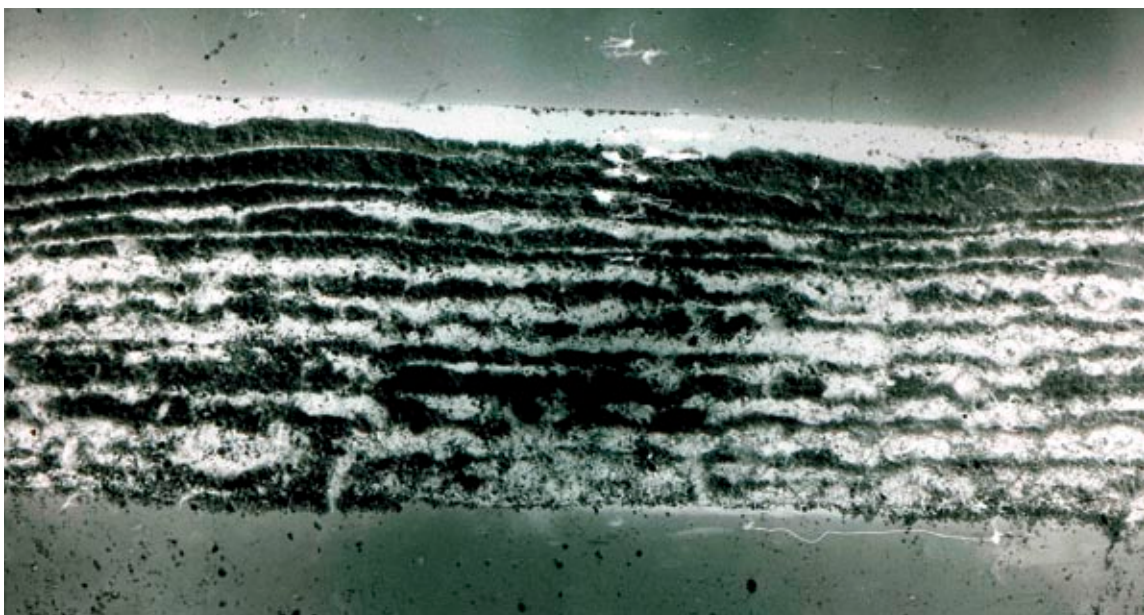


Рис.6. Слоистый лабораторный циано-бактериальный мат.

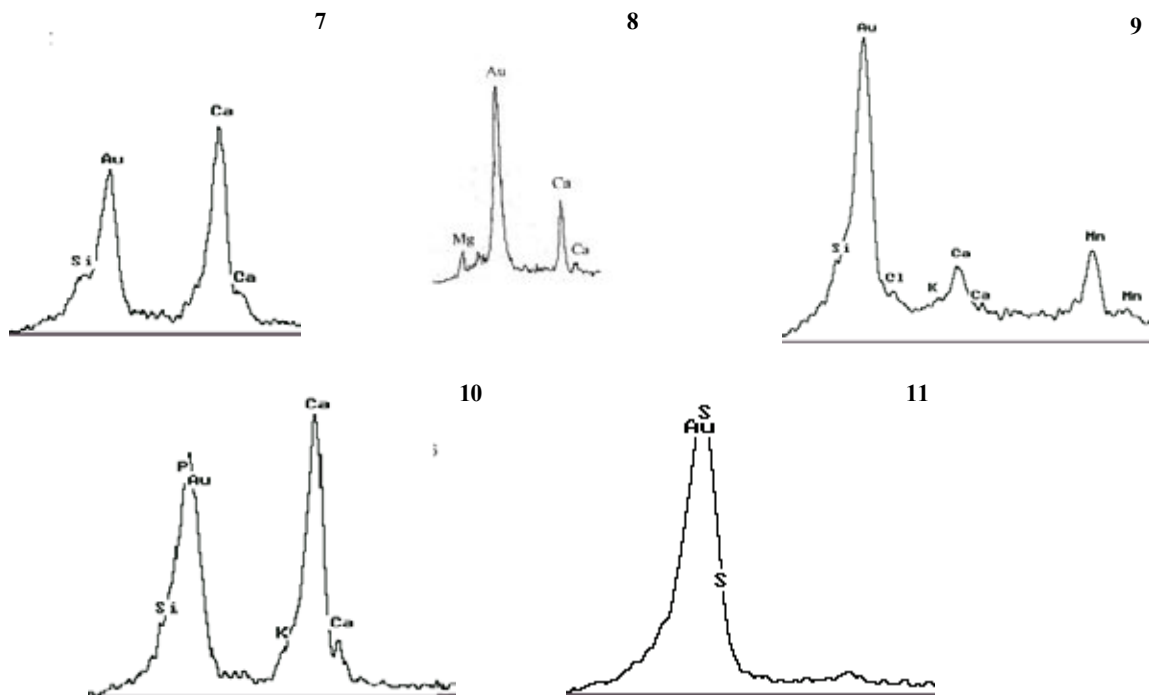


Рис. 7–11. Энергодисперсионные спектры минеральных прослоев: 7 – прослой карбоната кальция; 8 – прослой доломитового осадка; 9 – прослой марганцевого осадка; 10 – прослой фосфата кальция; 11 – прослой серы.

дался вариант поведения одноклеточных цианобактерий, которые не обладают подвижностью, но легко разносятся механически водными потоками, заражая поверхность минерального покрытия. Малоподвижные цианобактерии могут сформировать биопленку и создать даже определенную слоистость, при засыпании их слоем минерального осадка, но на это потребуется достаточно долгое время (несколько недель), а не часы.

Аналогичный эксперимент был поставлен в природных условиях. В гидротермальном потоке источника «Термофильный» (Камчатка) на поверхность выросшей биопленки осцилляториевых был также нанесен слой кристалликов карбоната кальция. Так же, как и в лаборатории, на поверхности осадка уже через 30 минут отмечался активный рост нитей.

Таким образом, результаты лабораторных экспериментов и полевых наблюдений согласуются с предположением, что ископаемые строматолиты также являются результатом жизнедеятельности активно растущих цианобактерий и, по всей вероятности, представителей именно осцилляториевых.

Для нас был интересен вопрос, какие минеральные прослои могут быть получены в лабораторной модели. В работе использовались различные минеральные вещества, образующие нерастворимые осадки: CaCO_3 , $(\text{Ca-Mg})\text{CO}_3$, FeCO_3 , MnCO_3 , CaHPO_4 , Al_2O_3 , TiO_2 , S^0 , Au, речной песок, различные глины (рис. 7–11). Наиболее обычный, то есть практически рабочий минеральный прослой – это был карбонат кальция (рис. 7). На следующем рисунке видны пики кальция и магния – доломитового осадка, который также активно использовался в наших экспериментах (рис. 8). Нами были получены минеральные прослои марганца (рис. 9). Отмечается, что осадок карбоната марганца выпадает в пределах первых часов в виде аморфного порошка, который быстро оплетается нитями осцилляториевых. В экспериментах получен был также и железомарганцевый прослой. Работы палеонтологов показали, что в фосфатных рудах так же встречаются слоистые строматолитовые структуры. В лаборатории были получены биомодели с фосфатной слоистостью. Чередование слоев есть результат чередования процессов осаждения минерального осадка и роста цианобактерий (рис. 10). Цианобактериальные маты с прослоями серы были нами обнаружены на некоторых гидротермальных источниках в кальдере вулкана Узон (Камчатка). Полевые наблюдения показали, что природные гидротермальные источники – это система с постоянными колебаниями параметров как по температуре, так и по химическому составу. На интересующих нас источниках это проявлялось как периодическое выделение серного флюида. В результате происходит то, что мы моделируем в лаборатории, а именно на период активного роста осцилляториевых накладывается период активного выделения и отложения самородной серы (рис. 11). Затем цикл повторяется снова и снова с получением слоистой структуры.

Получены биомодели с минеральными прослоями гипса, речного песка, глины каолина и монтмориллонита и техногенных оксидов титана и алюминия.

Техногенные соединения были взяты как известные в экологии, загрязняющие среду вещества. Однако в условиях наших опытов угнетение осцилляториевых не наблюдалось и, даже наоборот, оксид алюминия показал определенную стимуляцию роста.

В природе встречается минерализованная слоистость с включением соединений золота. В лабораторных условиях нам также удалось получить слоистость с включением золотого компонента.

Золотосодержащий осадок получался при внесении в среду и доведения раствора четыреххлористого золота до pH 7 и выше, то есть в условиях, где цианобактерии росли и на них выпадал золотосодержащий осадок. Далее, как обычно, процесс можно было повторять вновь и вновь. Подобная периодичность происходит и в гидротермальных источниках.

ВЫВОДЫ

Эксперименты с осцилляториевыми организмами показали, что слоистые структуры могут образовываться на любом минеральном осадке, но при этом необходимо наличие трех факторов:

а) минеральное вещество и физико-химические условия его образования не должны угнетать рост и развитие цианобактерий;

б) для получения четко выраженной слоистости этапы образования минерального осадка и последующий этап колонизации поверхности этого осадка должны быть во времени разделены;

в) периоды, разделяющие эти две последовательные минеральные садки, должны быть достаточны, чтобы цианобактерии успели проникнуть через осадок, что зависит еще и от толщины выпавшего слоя, вылезти на поверхность минерального субстрата, колонизировать эту новую поверхность и нарастить биомассу, достаточную для выживания популяции при последующем повторении цикла. При этом, как видно на природных и ископаемых образцах, а также и в лабораторных биомоделях, большая часть выросшей биомассы, тем не менее, остается засыпанной осадком и со временем отмирает, оставляя, однако, после себя прослой – территорию бывшего активного роста. Колонизируют новую поверхность лишь наиболее активные, подвижные нити, которые и проникают через осадок к свету, «к солнцу».

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН «Проблемы происхождения жизни и становления биосферы», грантов РФФИ, №№ 10-04-01475, 11-05-00462, НШ-5401.2012.4 «Древнейшие организмы докембрия и раннего палеозоя».

БИОСИЛИЦИТЫ – АЛЬГОБАКТЕРИАЛЬНАЯ ЖИЗНЬ ПРОШЛОГО, МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ СТРУКТУР

В.К. Орлеанский¹, Г.А. Карпов², Л.М. Герасименко¹, Е.А. Жегалло³

¹ *Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, Москва, orleanor@mail.ru*

² *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, karpovga@kscnet.ru*

³ *Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, ezheg@paleo.ru*

BIOSILICITES – AN ALGOBACTERIAL LIFE OF THE PAST, A MECHANISM OF STRUCTURES FORMATION

V.K. Orleansky¹, G.A. Karpov², L.M. Gerasimenko¹, E.A. Zhegallo³

¹ *Winogradsky Institute of microbiology of RAS, Moscow, orleanor@mail.ru*

² *Institute volcanology and seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, karpovga@kscnet.ru*

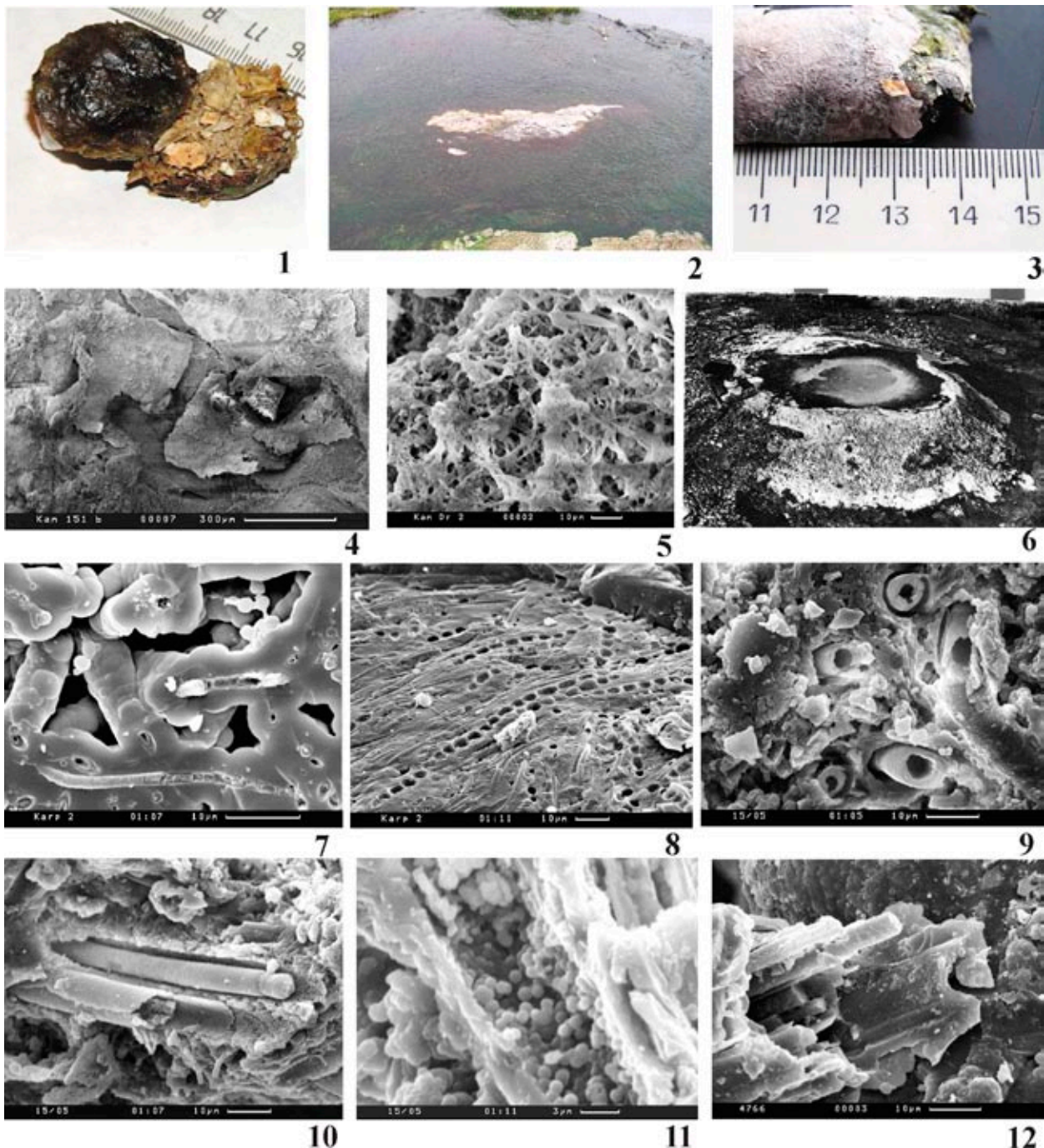
³ *Borissiak Paleontology Institute of RAS, Moscow, ezheg@paleo.ru*

Современные процессы на геотермальных площадках – это аналоги тех событий, которые происходили на ранней стадии развития планеты Земля. Поэтому, изучая современные процессы, можно понять условия, существовавшие в те далекие времена, а также расшифровать те палеонтологические находки, которые обнаруживаются в геологических отложениях соответствующих периодов.

Цель работы – изучение взаимодействия нитчатых *Cyanoprokaryota* (*Cyanobacteria*) с кремневым компонентом в гидротермальных источниках Камчатки (кальдера вулкана Узон и ряда гейзеров в Долине гейзеров).

Показано, что в гидротермальных источниках, на которых проводились исследования, содержание кремния достигает в ряде случаев до 400 мг/л (в пересчете на ортокремневую кислоту), постоянно отмечается минерализованная биота. Авторами изучен процесс окремнения биоты, как по потоку термальных ручьев, так и в районе действия ряда гейзеров (Жегалло и др., 2007, 2012).

Работа проведена на источнике Термофильный в кальдере вулкана Узон (Камчатка), где по стоку горячего ручья с температурой 57–35 °С обильно и постоянно развивается альгобактериальное сообщество, которое формирует слоистый водорослевый мат толщиной от 1 до 2.5 мм в растущей верхней зеленой части (рис. 1, растущая часть мата сдвинута). Определение в полевых условиях показало, что доминирующими водорослями, в изучаемых нами точках при температурах 55–45 °С, оказались осцилляториевые, а именно, *Phormidium molle* (Küts) Gom и *Oscillatoria terebriformis* (Ag.) Elenk. emend. (Голлербах и др., 1953). Водорослевый мат, структурообразующим компонентом которого являются представители названных выше осцилляториевых водорослей, развивается поверх слоя пластинок также толщиной 0.2–1 мм, представляющих собой слоистое осадочное образование. Рентгеноспектральный анализ, проведенный нами, показал в большинстве случаев наличие и доминирование пика кремния. Залегание пластинок горизонтальное, пластинки не скреплены между собой в монолит и легко отделяются друг от друга. Показано, что содержание кремнезема в термальных растворах современных гидротермальных систем, как правило, не достигает предела насыщения и произвольного осаждения кремния не должно происходить. Однако обследование потока ручья источника и растущего водорослевого мата показало непосредственную связь отложений таких слоистых осадков с жизнедеятельностью растущего альгобактериального мата. Это проявляется в том, что на поверхности мата данного источника,



- Рис. 1. Кремниевые пластины под слоем водорослевого мата (верхняя, растущая часть керна сдвинута).
 Рис. 2. Обсохшие бугры альгобактериального мата, приподнятые над поверхностью потока.
 Рис. 3. Участок подсохшего бугра крупным планом.
 Рис. 4. Вид кремниевых пластин мата в сканирующем микроскопе.
 Рис. 5. Участок пластины более крупным планом.
 Рис. 6. Образование кремниевой чаши излива – «вулканчика» при малом дебете воды термального источника.
 Рис. 7. Кремневые футляры по нитям водорослей.
 Рис. 8. Монолитный слой кремнезема с нитями водорослей.
 Рис. 9. Поперечный разлом кремниевых осцилляториевых нитей.
 Рис. 10. Сохранение и фоссилизация внутреннего содержимого трихома внутри слизистого чехла.
 Рис. 11. Скопление глобул внутри футляров разрушенных нитей.
 Рис. 12. Минерализация пучка нитей осцилляториевых водорослей.

растущего по шлейфу стока, часто можно видеть отдельные обсохшие бугорки высотой до 5 см, покрытые минерализованной коркой белого цвета толщиной до 3 мм (рис. 2, 3). Наши наблюдения показали, что образование таких бугров обусловлено активным выделением газов (из многочисленных точечных проколов) под альгобактериальным матом. Выходящий газ, концентрируясь в том или ином месте под водорослевым матом, а иногда именно над газовым проколом, способствует приподнятию растущей водорослевой биопленки над поверхностью потока воды. Микроскопирование материала приподнятого участка мата показало, что структура верхнего минерализованного слоя представляет собой пленки водорослей, в которых и происходит

отложение кремния, аккумулирующегося здесь за счет поступления воды с относительно высоким, как указывалось выше, содержанием кремния из протекающей рядом воды путем ее подсоса (принцип фитиля).

Слоистость водородного мата, на изучаемом источнике, имеет ту специфику, что слои не скрепляются друг с другом, а наоборот, относительно легко расслаиваются. Эта особенность далее генетически переходит и в осадочные образования, где, как уже указывалось, пластинки автономны и не скреплены в монолит.

Изучение окремненных пластинок под электронным микроскопом показало, что образцы состоят из пластинчатых образований, наложенных друг на друга (рис. 4). В просветах или непосредственно на поверхности пластинок хорошо видны окремненные нити водорослей, которые частично или практически полностью облекаются гелем кремнезема (рис. 5). С течением времени такие минеральные корочки могут образовать минеральные отложения мощностью до 30 см и более в районе потока ручья.

Обследование источников выявило, что воды обогащенные кремнием, на выходе источников, могут образовывать своеобразные структуры (вулканчики) размером от первых сантиметров до 0.5 м высоты и диаметром до 1.5 м. Принцип тот же – выпаривание раствора, но не в потоке, а при медленном высыхающем смачивании боков грифона источника, с образованием чаши, при участии тех же водорослей (рис. 6). В этом случае наблюдается минерализация с образованием каменного монолита.

Однако наиболее явный способ образования кремнистых биоформ – это окремнение растущей биоты вокруг периодические извергаемых выходов гейзерных вулканов. В основном они на 88–90 % состоят из SiO₂. Макроскопически отмечается их слоистость. Под электронным микроскопом структурно-текстурные особенности гейзеритов еще более отчетливы. Главная их особенность – наличие окремненных нитей *Cyanoprokaryota* (*Cyanobacteria*). Обнаруживаемая слоистость представлена двумя типами слоев: плотными и рыхлыми. Окремненная биота присутствует в обоих типах слоев, но в рыхлых слоях она всегда видна. Нити из рыхлого слоя довольно сильно облеплены выпавшим кремнеземом (рис. 7).

Очевидно, такое осаждение кремния в виде футляров вокруг нитей связано со слизистым покровом самих нитей, а выделяемый клетками экзогенный полисахарид является своеобразной «бактериальной матрицей», способствующей осаждению кремнезема

С увеличением количества кремнезема свободные полости исчезают, и формируется монолитный слой (рис. 8), а клетки в нитях минерализуются.

В поперечном сколе (рис. 9) представлена типичная картина окаменевших нитчатых образований, отнесенных нами к осцилляториевым водорослям, обнаруживаемых в термальных источниках. Поперечный скол нитей просматривается в виде колец. Просмотр живого материала в полевых условиях, а также в лабораторных экспериментах показал, что содержимое нитей у осцилляториевых может распадаться на отдельные участки и выходить из слизистой оболочки в виде клеток – гормогоний. В результате этого процесса остаются полые, пустые оболочки, облепленные силикатным футляром. В отдельных случаях содержимое нити может сохраниться целиком, пропитавшись кремнеземом (рис. 10).

Часто в разрушенных футлярах окаменевших нитей отмечается скопление своеобразных глобул (рис. 11). Очевидно, эти глобулы (порядка 1 мкм и менее) являются продуктом осаждения кремнезема. Такие глобулы (шарики) практически наблюдаются во всех пустотах. Образование глобул внутри пустого клеточного пространства обнаружено лишь в клетках диаметром более 3 мкм, и чем крупнее клетка, тем больше глобул, а в клетках диаметром 1–2 мкм такого явления не наблюдается. Образование силикатного футляра может происходить не только по единичным нитям, но и по пучку нитей (рис. 12).

Кроме fossilized нитевидных образований (2–10 мкм), которые, с нашей точки зрения, можно с уверенностью отнести к *Cyanoprokaryota*, в наших образцах постоянно присутствовали ветвящиеся нитевидные формы, которые схожи с низшими грибами и актиномицетами. Ветвистые формы с толщиной нитей около 1 мкм отнесены нами к актиномицетам, а более крупные – к низшим грибам. Наличие грибов и актиномицетов можно трактовать как вторичное явление развития этих организмов по разлагающей водородной органике.

ВЫВОДЫ

На гидротермальных источниках Камчатки имеется три варианта окаменения (фоссилизации) биоценоза – по принципу испарения и концентрации раствора при его выпаривании:

1) Самый яркий – это образование гейзеритовых построек, с включением в них термофильного биоценоза. Минеральная вода поступает в пульсирующем режиме.

2) Описываемый нами здесь способ – выпаривание и концентрация водного раствора в потоке источника, но при обязательном содействии выросшего биоценоза (мата).

3) Минерализация периферии грифонов источников с образованием бугров – «вулканчиков».

4) Осаждение кремния в виде футляров вокруг нитей связано со слизистыми покровом самих нитей, а выделяемые клетками экзогенный полисахарид является своеобразной «бактериальной матрицей», способствующей осаждению кремнезема.

Авторы считают, что в результате описываемых процессов формируется специфическая порода, которая в научной литературе, благодаря работам Лаборатории поствулканических процессов Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, получила термин биосилициты – органокремниевое (органосиликатное) формирование, включающее в себя биоформенные структуры. Подобные образования имеют большое значение при палеонтологическом изучении вулканогенных пород, а также зафиксированного в окремненном состоянии в них биологического разнообразия организмов.

Авторы полагают, что полученные данные дает ключ к пониманию природы и механизма образования ископаемых остатков микроорганизмов (микрофоссилий), встречаемых в отложениях древних пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН «Проблема происхождения жизни и становления биосферы», грантов РФФИ, №№ 10-04-01475, 11-05-00572 и 11-05-00462.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Голлербах М.М., Коссинская Е.К., Полянский В.И. 1953. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. М.: Сов. наука. 652 с.

Жегалло Е.А., Карнов Г.А., Лупкина Е.Г. и др. 2007. Суанophyta в гейзеритовых отложениях Камчатки // Альгология. Т. 17. № 1. С. 88–92.

Жегалло Е.А., Тембрел Е.И., Карнов Г.А. и др. 2012. Альгобактериальный мат и его роль в отложении кремнистого компонента (кальдера вулкана Узон, Камчатка) // Альгология. Т. 22. № 2. С. 166–174.

МИКРОТОМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД, ОБРАЗОВАННЫХ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫМИ СООБЩЕСТВАМИ

А.В. Пахневич

Палеонтологический институт имени А.А. Борисяка РАН, Москва, alvpb@mail.ru

MICRO-CT INVESTIGATION OF SEDIMENTARY ROCKS FORMED BY CYANOBACTERIAL COMMUNITIES

A.V. Pakhnevich

Borissiak Paleontological Institute of RAS, Moscow, alvpb@mail.ru

Методы рентгеновской микротомографии в палеонтологии используются уже более 30 лет. С каждым годом количество работ, выполненных с помощью данного метода, стремительно растет. Возможности рентгеновской микротомографии столь развиты, что их объектами становятся и микрофоссилии, например, фораминиферы (Baumgartner-Mora et al., 2006; Görög et al., 2012), радиолярии (см. <http://www.skyscan.be/applications/geology/geol005.htm>), конодонты (Журавлёв, Вевель, 2012). Разрешающая способность микротомографии такова, что специалистам удалось получить трехмерные модели замороженных клеток дрожжей и бактерий с разрешением примерно 60 нм (Le Gros et al., 2005). Появились исследования ископаемых водорослей. Коллектив исследователей во главе с П. Таффоро (Tafforeau et al., 2006) провел изучение ископаемых харовых водорослей, а М. Бертилсон и М. Де Жонг со своими коллегами (Bertilson et al., 2009; De Jonge, Vogt, 2010) – современных диатомовых. Большинство пионерных работ по микротомографии микрообъектов выполнялись на современных видах. Тяжелее проводить микротомографические исследования ископаемых микрообъектов, которые находятся в породе и для их визуализации необходима хорошая контрастность.

Мое исследование посвящено выявлению структуры осадочных пород, образованных в результате деятельности цианобактериальных сообществ: гейзеритов, строматолитов, шунгитов, замещенных тодорокитом цианобактериальных матов, бактериально-водорослевых образований в зоне выхода грунтовых вод. Образцы изучались с помощью рентгеновского микротомографа Skyscan 1172 (при U=103-104 kV, I=100µA, с фильтром Al). Разрешающая способность микротомографа такова, что можно идентифицировать на виртуальных срезах и 3D-моделях крупные структурные элементы и элементы строения размером около 10 мкм. В минимальный параметр попадают споры и пыльца растений, одноклеточные водоросли (диатомовые, динофлагелляты, хризофиты, акритархи), и раковинные простейшие (фораминиферы, радиолярии, тинтинни-

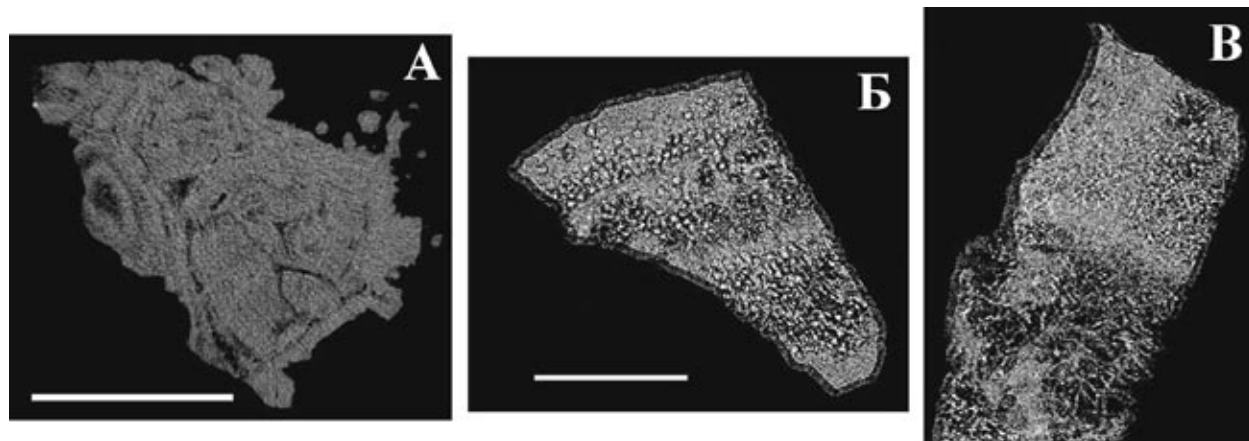


Рис. 1. Виртуальные срезы гейзерита: А – структура образца; Б – поперечный срез с чередующимися участками повышенной и пониженной плотности, белые точки – срезы нитей цианобактерий; В – коронарный срез гейзерита, на котором помимо плотных и рыхлых участков образца, видны нити цианобактерий. Масштабная линейка А – 10 мм, Б, В – 1 мм.

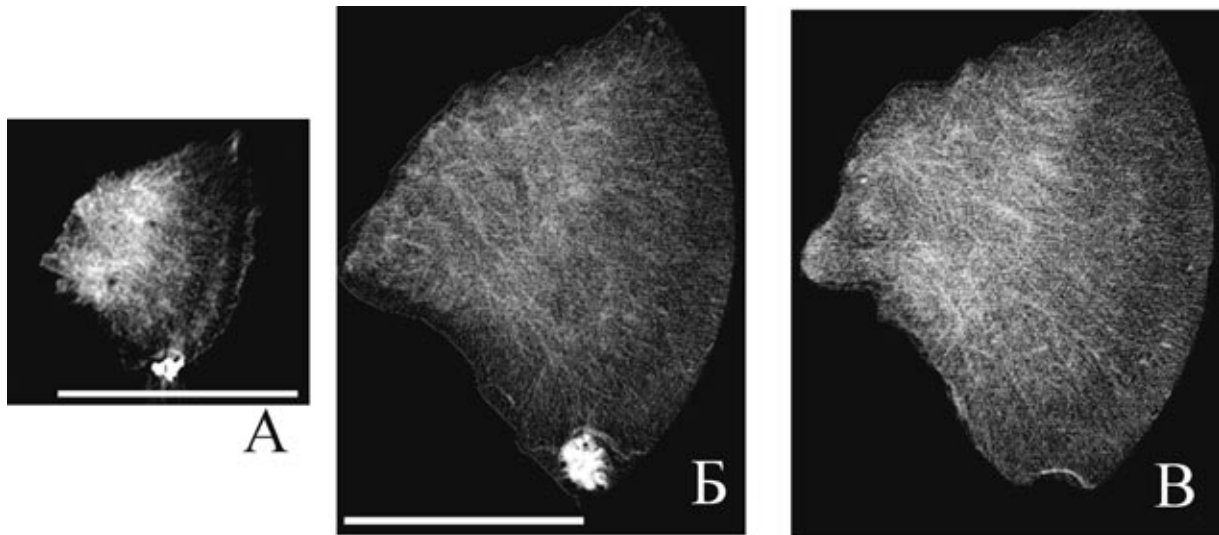


Рис. 2. Микротомография цианобактериального сообщества, замещенного тодорокитом: А – строение образца на поперечном виртуальном срезе; Б – строение рыхлой части образца с контрастным включением; В – строение рыхлой части образца, видны нити цианобактерий. Масштабная линейка А – 2 мм, Б и В – 1 мм.

ды) и мельчайшие многоклеточные животные и части их скелетов (например, остракоды, конодонты и т. д.), а также бактерии. Среди последних есть крупные нитчатые формы, такие как нитчатые цианобактерии, бактерии родов *Beggiatoa*, *Metallogenium*, *Thiodictyon*, *Thiothrix* и другие. Толщина первых увеличивается за счет формирования чехлов, которые, наряду с нитями цианобактерий, хорошо минерализуются.

При изучении гейзеритов местонахождения Узон (Камчатка) удалось выявить крупные элементы структуры образцов. Они представлены плотными и рыхлыми участками. Поэтому для гейзеритов характерна слоистая структура, наподобие строматолитов (рис. 1А). При большем увеличении видно, что в рыхлых секторах гейзеритов располагаются нити цианобактерий (рис. 1Б). Особенно хорошо они различимы на коронарных срезах (рис. 1В).

Образцы тодорокита происходят из местонахождения Банска Штявница (Словакия). Минерал заместил скопление нитей цианобактерий, образовав относительно плотную породу. При исследовании на микротомографе видны подробности структуры образцов. Они состоят из минерализованного рыхлого скопления нитей, отстающей от него корки и высококонтрастных плотных агрегатов минерала (рис. 2А). На этом примере видно, что контрастность образца падает из-за рыхлости объекта, ведь плотные высококонтрастные участки и скопления нитей замещены одним минералом (рис. 2Б). Заметны длинные цианобактериальные нити (рис. 2В).

При исследовании строматолитов не удается выявить мелкие структуры образца, например, сохранившиеся цианобактериальные нити, но хорошо заметны слоистые участки, образованные породой различной плотности (рис. 3А, Б). Хорошо выделяются и участки, замещенные минералами, образованными элементами с большим атомным номером, как в случае со строматолитом, частично замещенным минералами железа (рис. 3А). Некоторые подобные минералы, которые имеют светлую окраску, например, барит, стронцианит, церуссит, целестин, и плохо идентифицируются визуально в породе, будут прекрасно различимы при рентгеновской микротомографии.

Бактериально-водорослевые образования в зоне выхода грунтовых вод были обнаружены при обследовании Войскового карьера (Республика Коми) (Митюшева и др., 2011). В них выявлены нитчатые скопления диаметром 20–90 мкм, сцементированные в некоторых участках породой. Нити ожежены. По данным

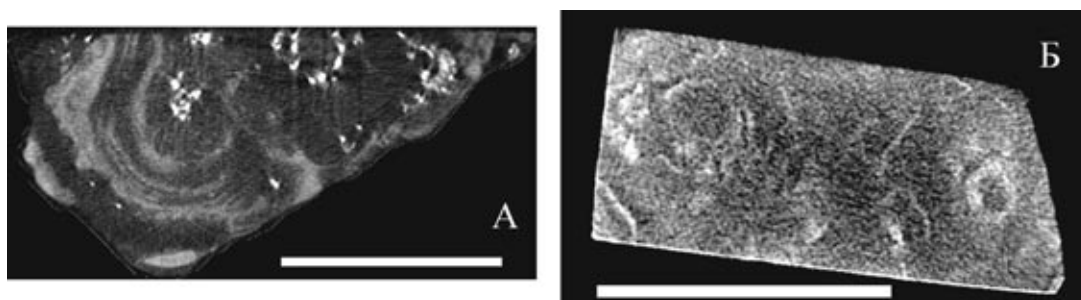


Рис. 3. Виртуальные поперечные срезы строматолитов: А – железосодержащий строматолит (Керчь, Крым); Б – карбонатный строматолит (Хоре-Гаол, Австралия). Масштабная линейка 10 мм.

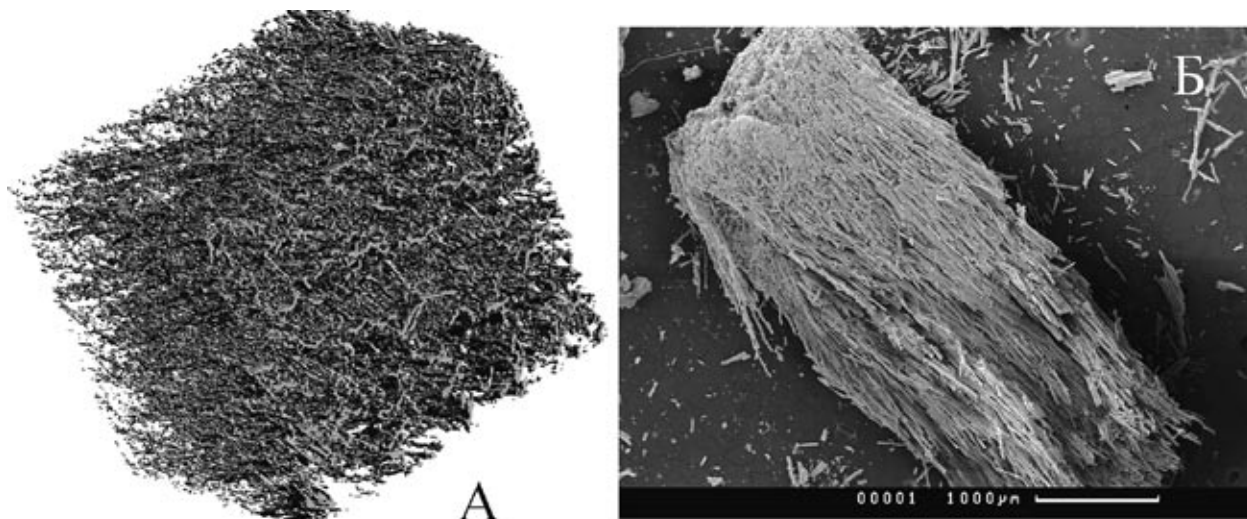


Рис. 4. 3D-модель (А) и фотография скоплений цианобактериальных нитей, выполненная на СЭМ (CamScan-4, ПИН РАН).

Т.П. Митюшевой (личное сообщение), данные структуры могут принадлежать мохообразным, но это вызывает сомнения. Скорее всего, они принадлежат цианобактериям. На дифрактограммах, полученных в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар), определен магнетит. Выявлены рентгеноаморфные соединения железа. Вероятно, из-за этого на виртуальных срезах и 3D-моделях (рис. 4А, Б) нечетко прослеживаются все стенки чехлов цианобактерий. Но на трехмерных моделях можно отметить, что нити переплетены.

Природа шунгитов до сих пор остается дискуссионной. Одна из точек зрения заключается в том, что они имеют неорганическое происхождение. С другой стороны, среди палеонтологов и микробиологов существует мнение, что они образовались в результате жизнедеятельности цианобактериальных сообществ (Розанов и др., 2002). В шунгитах встречаются веретеновидные включения, которые интерпретируются как фоссилизированные коккоидные цианобактерии. Иногда они пиритизированы. Помимо них есть игольчатые, кубические и другие кристаллы минералов-сульфидов, например, пирита. На рентгенограммах и виртуальных срезах и те, и другие, даже при высоком разрешении, выглядят одинаково. Коккоидные образования имеют диаметр первые микрометры. Хорошо распознаются только крупные кристаллы пирита. Преимущество микротомографии в том, что с ее помощью можно исследовать образец не только на поверхности, но и на разных уровнях с шагом несколько микрометров. Но и это разрешение не дает возможности отличить биоморфные структуры от достоверно неорганических. Выход для подтверждения бактериальной природы шунгитов – поиск нитевидных или палочковидных структур, которые будут отличаться от игольчатых кристаллов и, возможно, будут сохранять элементы клеточного строения. Это исследование находится только в начальной стадии осуществления. Тем не менее, в карельских шунгитах найдены некоторые возможные нитевидные и палочковидные образования (рис. 5,А–В). Их поиск возможно продолжить, поскольку шунгиты являются рентгеноаморфной породой, и все включения хорошо различимы при рентгеновской микротомографии (рис. 5Г).

Таким образом, с помощью рентгеновской микротомографии при изучении строматолитов, гейзеритов, шунгитов, бактериально-водорослевых образований, в том числе замещенных контрастными для микротомографии минералами, возможно выявить участки образцов, различающиеся по плотности, высококон-

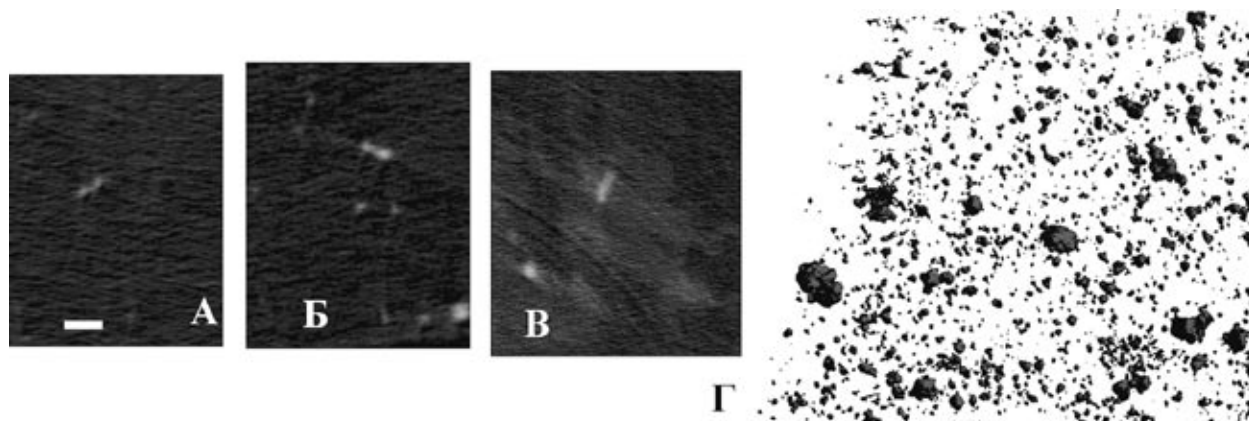


Рис. 5. Виртуальные срезы шунгитов с палочковидными образованиями (А–В) и 3D-модель включений в шунгите (Г, ширина образца 1 мм). Масштабная линейка 10 мкм.

трастные включения, в том числе представленные минералами с элементами имеющими большой атомный номер, отдельные нити цианобактерий и прочих нитевидных прокариот.

Автор выражает сердечную благодарность Е.А. Жегалло и Т.П. Митюшевой.

Исследование поддержано грантом РФФИ, № 10-04-01475-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Журавлёв А.В., Вевель Я.А. 2012. Возможности использования вычислительной микротомографии в микропалеонтологических и литологических исследованиях // Нефтегазовая геология. Теория и практика. Т. 7. № 2. С. 1–13 (http://www.ngtp.ru/rub/2/21_2012.pdf).
- Митюшева Т.П., Пахневич А.В., Симакова Ю.С. 2011. Биоминералообразование на Войском карьере битуминозных песчаников / Минералогические перспективы-2011. Мат-лы Междунар. минерал. семинара. Сыктывкар, Республика Коми, 17–20 мая 2011 г. С. 110–112.
- Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т., Жегалло Е.А. 2002. Шунгиты – модельный объект для изучения глобулизации / А.Ю. Розанов (ред.). Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН. С. 116–122.
- Baumgartner-Mora C., Baumgartner P.O., Baumgartner L. 2006. 3D-imaging of foraminifera by x-ray microtomography // Anuario do Instituto de Geociencias. V. 29. № 1. P. 323–324.
- Bertilson M., von Hofsten O., Vogt U. et al. 2009. High-resolution computed tomography with a compact soft x-ray microscope // Optics Express. V. 17. № 13. P. 11057–11065.
- De Jonge M.D., Vogt S. 2010. Hard X-ray fluorescence tomography – an emerging tool for structural visualization // Current Opinion in Structural Biology. V. 20. P. 606–614.
- Görög Á., Szinger B., Tóth E., Vizsok J. 2012. Methodology of the micro-computer tomography on foraminifera // Palaeontologia Electronica. V. 15. Iss. 1. 3T. P. 1–15.
- Le Gros M.A., McDermott G., Larabell C.A. 2005. X-ray tomography of whole cells // Current Opinion in Structural Biology. V. 15. P. 593–600.
- Tafforeau P., Boistel R., Boller E. et al. 2006. Some applications of X-ray Synchrotron microtomography for non-destructive 3D studies of paleontological specimens // Appl. Phys. A. V. 83. P. 195–202.

МИКРОБИАЛЬНЫЙ ФАКТОР В ФОРМИРОВАНИИ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОСАДОЧНЫХ СИСТЕМ ПРОТЕРОЗОЯ (МУКУНСКИЙ БАССЕЙН, НИЖНИЙ РИФЕЙ АНАБАРСКОГО ПОДНЯТИЯ СИБИРИ)

П.Ю. Петров

Геологический институт РАН, Москва, petrov@ginras.ru

A MICROBIAL FACTOR IN FORMATION OF THE PROTEROZOIC CONTINENTAL SEDIMENTARY SYSTEMS (MUKUN BASIN, EARLY RIPHEAN, ANABAR UPLIFT, SIBERIA)

P.Yu. Petrov

Geological Institute of RAS, Moscow, petrov@ginras.ru

Мукунский бассейн слагает мощная (более 750 м) толща кварцевых аренитов, залегающая на архей-нижнепротерозойских гранито-гнейсах кристаллического фундамента и представляющая собой наиболее древний (1.58 млрд. лет) горизонт осадочного чехла Сибирского кратона (Khudoley et al., 2007). В пределах Западного Прианабарья песчаники мукунской серии с глубокой корой выветривания перекрывают дорифейский пенепплен и согласно перекрываются глинисто-карбонатными, мощностью около 900 м, отложениями билляхской серии, на которой со значительным (продолжительностью более 950 млн. лет) стратиграфическим перерывом залегают венд-палеозойские толщи.

Как показал фациальный анализ (Петров, 2011), накопление мукунских кварцаренитов происходило исключительно в континентальных условиях в обстановках аллювиальной, эолово-флювиальной, а также флювиально-себховой седиментации. Аллювиальные плохосортированные гравийно-песчаные, иногда валунно-галечные осадки с крупными косослоистыми сериями были отложены на обширных аллювиальных равнинах в обстановках многоруловых переплетающихся речных систем постоянного стока. В процессе выработки их профиля равновесия аллювиальная седиментация постепенно сменялась эолово-флювиальной с повсеместным развитием хорошо сортированных горизонтально стратифицированных мелко-среднезернистых кварцевых песков с избытком разнообразных знаков ряби. Несмотря на доминирование эолового переноса, основные массы песков были отложены в водной среде, при этом процессы седиментации нередко балансировали на грани субаквальных и влажных субаэральных обстановок. Эти осадки накапливались в сверхмелководных и эфемерных водоемах – прудах и лужах с непостоянным, но явно выраженным площадным стоком. Палеогидрологические параметры, рассчитанные по данным статистического распределения длин волн и индекса волновой ряби, а также гранулометрического состава осадков, свидетельствуют о том, что преобладающая глубина таких водоемов составляла около 24 см, а обычная высота ветровых волн находилась в пределах 4–17 см.

Флювиально-себховые фации, завершающие последовательность мукунской серии, представлены разнотернистыми иногда полимиктового состава песчаными отложениями. Они формировались в тесной взаимосвязи аллювиальных и озерных обстановок с локальными областями микробиально индуцированного карбонатакопления. Очевидно такие обстановки существовали в пределах краевой области внутриконтинентального водоема конечного стока со смешанным типом седиментации.

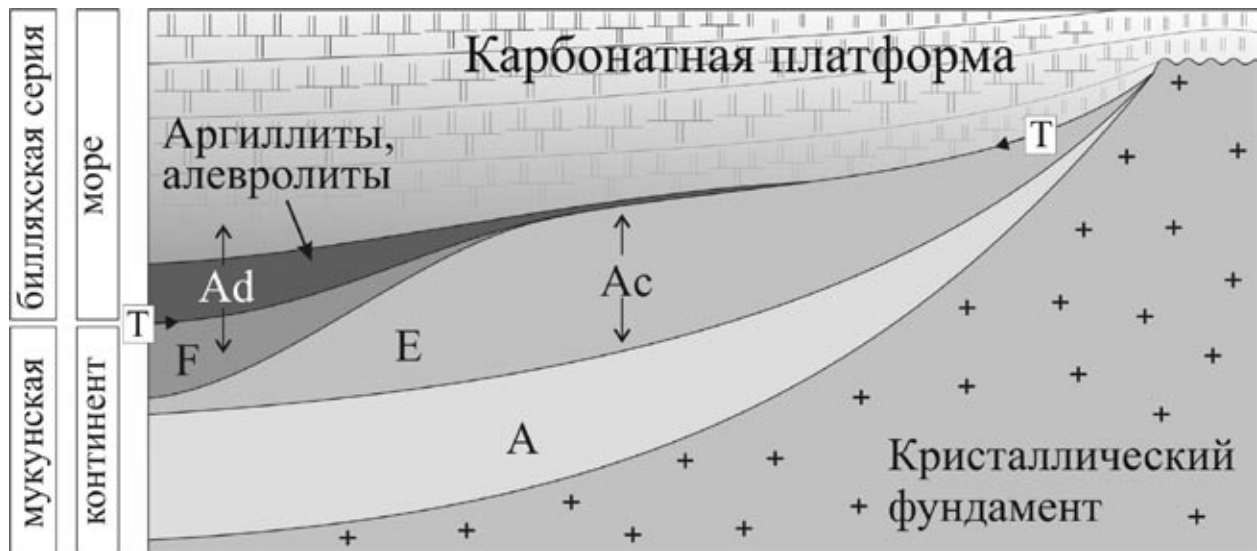


Рис. 1. Влияние эолово-флювиальной седиментации на архитектуру и последовательность отложений бассейна (принципиальная схема). Зоны осадконакопления: Ac – аккреционная, Ad – зона дополнительной аккомодации; континентальные отложения: А – аллювиальные, Е – эолово-флювиальные, F – флювиально-себховые (терминальные флювиальные и озерные фации); Т – граница морской трансгрессии.

В эолово-флювиальных и флювиально-себховых отложениях распространены разнообразные текстуры, связанные с присутствием микробных сообществ, известные как мат-образующие (Pflüger, 1999) или микробно-индуцированные осадочные текстуры ‘MISS’ (Noffke, 2010). Их появление в истории формирования осадочных слоев разграничены двумя основными этапами: ростом микробных сообществ и их последующей деструкцией, включающей первичную деструкцию биомассы и последующие процессы разложения остаточного органического вещества. Рассматриваемые отложения демонстрируют самый широкий спектр процессов – от отпечатков структур растущих микробных матов на поверхностях песчаных слоев до текстур, связанных с разложением захороненной в них органической субстанции. Однако максимальным распространением в мукунской серии пользуются текстуры, образованные в результате взаимодействия биопленок и микробных матов с физическими процессами среды седиментации. Такие текстуры приурочены почти исключительно к эолово-флювиальным отложениям и в той или иной мере связаны с развитием микробных сообществ, обитавших в самом поверхностном слое песчаного осадка. Происхождение таких текстур большей частью обусловлено эффектом биостабилизации – изменением механических свойств донного субстрата в результате связывания зерен осадка органической полимерной субстанцией.

Среди микробно-индуцированных текстур эолово-флювиальных отложений наиболее распространены модифицированные формы волновой ряби, включающие целый ряд текстур – от ряби с расщепленным гребнем до двухкомпонентной ряби, в строении которой наблюдается упорядоченное чередование двух генераций ряби различной амплитуды. Все эти формы представляют собой результат последовательного наложения однонаправленных волновых осцилляций на поверхность неравномерно колонизированного микроорганизмами осадка и, как следствие, избирательно подверженного эрозии. В этих осадках часто встречаются текстуры прямоугольно-ячеистого рельефа наложенной ряби (palimpsest ripples), где формирование ряби второй генерации происходило в трогах стабилизированного рельефа ряби первой генерации. Значительным распространением пользуются текстуры разнонаправленной ряби (multidirected ripple marks), а также текстуры мозаичной эрозии (erosional remnants and pockets), широко распространенные в осадках современных приливно-отливных равнин (Noffke, 2010).

Среди сравнительно крупных микробiallyно-осадочных образований в эолово-флювиальных песчаных распространены формы трехмерной ряби или куполообразные структуры с длиной волны 5–30 см, а также специфические аккреционные дюны высотой до 1 м (Петров, 2011). Трехмерная рябь, составленная из серий упорядоченных, волнообразно изгибающихся и строго унаследованных в разрезе песчаных слоев, по своему происхождению близка к строматолитам, растущим вверх в результате захвата обломочных частиц поверхностью нарастающего микробного мата. Аккреционные дюны, напротив, имели заметную горизонтальную составляющую роста, направленную навстречу потоку, из которого заселенные микроорганизмами фронтальные поверхности избирательно захватывали и связывали песчаные зерна. Миграция осадочного материала вниз по потоку прекращалась. Формировавшиеся дюнные поля перегораживали русла водотоков, образуя поперечно-грядовые формы рельефа.

Очевидно, с присутствием в песчаных осадках органической полимерной субстанции связано появление своеобразных мелкоскладчатых (1–5 см) текстур, близких к mat slump structures (Noffke et al., 2001), а также текстура astropolithon (Pflüger, 1999), происхождение которой связано с генерацией газов при разложении захороненного органического вещества. Появление редких групп одиночных песчаных трещин, наблюдае-

мых в кровле слоев песчаника, вероятно, было обусловлено дегидратацией колониальной микробной слизи, окружающей песчаные зерна, что вызывало сжатие и разрывы тонких (1–2 мм) песчаных слоев. Подобные проявления микробной активности характерны для современных биопленок, оккупирующих поверхностные слои тонкозернистых осадков (Noffke, 2010).

К весьма редким текстурам, наблюдаемым на поверхностях эолово-флювиальных отложений, относятся хорошо известные текстуры «слоновой кожи» и проблематичные веретеновидные отпечатки, напоминающие следы ползания организмов и, вероятно, представляющие отпечатки крупных эпибентосных матов.

Наиболее распространенным признаком микробной активности при формировании эолово-флювиальных отложений является аномально высокая сохранность разнообразных форм ряби, обязанная появлению уже на ранних стадиях седиментогенеза своеобразной «сэндвичевой» структуры – нижний слой с межзерновым органическим полимером и перекрывающий слой обычных водонасыщенных песков. Возникновение таких структур явилось достаточным условием для сохранения всего текстурного многообразия, включая и рассмотренные выше микробно-индуцированные текстуры, в наблюдаемых разрезах.

Во флювиально-себховых фациях локально распространены текстуры, связанные с процессами деструкции сравнительно крупных, главным образом, эпибентосных микробных матов. Полигональные текстуры «крокодиловой кожи» образуют крупные (3–7 см) и рельефные (1–3 мм) тетра- и пентагональные полигоны песчаника, разделенные широкими (1–3 см) трещинами, по центру которых развиты пологорельефные, иногда поперечно сегментированные валики. Такие текстуры формировались в результате неравномерного усыхания толстого микробного мата на поверхности увлажненного песка. В этих отложениях встречаются другие разнообразие текстуры подобного происхождения или текстуры, отражающие отдельные стадии роста наиболее крупных микробных матов: формы, близкие к «polygonal oscillation cracks», «petee ridges», текстуры синусоидальных трещин или «spindle-shaped cracks», а также «wrinkle structures» (Петров, 2002; Schieber et al., 2007; Noffke, 2010).

Таким образом, в процессах эолово-флювиальной биостабилизации принимали участие тонкие эндобентосные микробные маты и биопленки, роль которых сводилась к улавливанию и связыванию песчаного материала из флювиальных потоков. Напротив, в обстановках флювиально-себховой седиментации в условиях дефицита осадочного материала развивались толстые, длительно формировавшиеся эпибентосные маты.

Влияние биопленок вносило заметные коррективы в осадочную архитектуру всего бассейна. В результате непрерывного захвата и связывания осадочного материала в центральной части бассейна формировалась аккреционная зона эолово-флювиальных отложений, поглощавшая значительные объемы флювиального осадочного потока, питаемого реками областей сноса. При этом конечные водоемы стока испытывали резко выраженный дефицит поступающего туда осадочного материала. Процессы биостабилизации в центральной зоне бассейна, в первую очередь, блокировали развитие там речных систем. Их место занимали многочисленные эфемерные пруды, сообщавшиеся между собой изменчивыми водотоками с областями поперечно-рядового рельефа аккреционных дюн – характерного элемента эолово-флювиального ландшафта. Развитие таких ландшафтов явилось одной из главных причин формирования мощной толщи мукунских кварцаренитов, как результата смещения объемов седиментации в сторону континента. С другой стороны, некомпенсированность осадками континентальных водоемов стока обусловила появление зоны дополнительной аккомодации во время последующей морской трансгрессии. В условиях дефицита осадков, вовлекаемых в морской цикл седиментации, происходило существенное сокращение мелководно-шельфовых песчаных фаций и заполнение этой зоны тонкозернистыми осадками сравнительно глубоководных обстановок внешнего шельфа. В рифейской истории Прианбарья такие процессы привели к редукции мелководно-шельфовых обстановок в начале устьилинского времени (рис. 1). Таким образом, развитие микробных сообществ на суше кардинальным образом влияло на распределение масс песчаных осадков между континентом и шельфом, что отразилось в архитектуре осадочного бассейна и всей последовательности континентально-морских отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Петров П.Ю. 2002. Микробные маты и обстановки терригенной седиментации в докембрии: безыменная свита, средний рифей Туруханского поднятия // Литол. и полезн. ископ. № 6. С. 639–670.
- Петров П.Ю. 2011. Фациальная характеристика и особенности терригенной седиментации мукунской серии (нижний рифей Анабарского поднятия Сибири) // Литол. и полезн. ископ. № 2. С. 185–208.
- Khudoley A.K., Kropachev A.P., Tkachenko V.I. et al. 2007. Mesoproterozoic to Neoproterozoic evolution of the Siberian Craton and adjacent microcontinents: an overview with constraints for a Laurentian connection / P.K. Link, R.S. Lewis (eds). Proterozoic geology of western North America and Siberia. SEPM. Spec. publ. № 86. P. 209–226.
- Noffke N., Gerdes G., Klenke T. et al. 2001. Microbially induced sedimentary structures – a new category within the classification of primary sedimentary structures // J. Sed. Res. V. A71. P. 649–656.
- Noffke N. 2010. Microbial Mats in Sandy Deposits from Archean Era to Today. Geobiology // Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 194 p.
- Pflüger F. 1999. Mat ground structures and Redox Facies // Palaios. V. 14. P. 25–39.
- Schieber J., Bose P.K., Eriksson P.G. et al. 2007. Atlas of Microbial Mat Features Preserved Within the Siliciclastic Rock Record. Atlases in Geoscience 2. Amsterdam: Elsevier. 307 p.

ЭВОЛЮЦИЯ ВОЛЖСКО-ВАЛАНЖИНСКИХ СООБЩЕСТВ МИКРОФИТОПЛАНКТОНА НА СЕВЕРЕ СИБИРИ (ПО МАТЕРИАЛАМ РАЗРЕЗА НА Р. ОЛЕНЕК)

Е.Б. Пешевицкая

Институт нефтегазовой геологии и геофизики, Новосибирск, PeschevickayaEB@ipgg.sbras.ru

EVOLUTION OF VOLGIAN-VALANGINIAN MIKROPHYTOPLANKTON COMMUNITIES IN NORTH SIBERIA (A CASE STUDY OF THE OLENYOK RIVER SECTION)

Е.В. Pestchevitskaya

Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Novosibirsk, PeschevickayaEB@ipgg.sbras.ru

Сегодня наблюдается повышенный интерес к изучению палеонтологических последовательностей пограничного юрско-мелового интервала в связи с выбором точки глобального стратотипа границы этих систем. Изолированность бореальных и тетических морей, существовавшая в это время, и значительный эндемизм фауны не позволяют проводить прямую корреляцию удаленных разрезов с помощью высокоразрешающих биостратиграфических групп. Для решения этой проблемы пытаются использовать комплексный подход с применением данных по различным фаунистическим и флористическим группам.

Новые данные по эволюции динофлагеллатовых сообществ конца юры и начала мела на севере Сибири получены на основе изучения волжско-валанжинского разреза на р. Оленек. Здесь установлены почти все зоны бореального берриаса по аммонитам, а также зоны по фораминиферам в волжской и берриасской частях разреза, что обеспечивает дополнительный стратиграфический контроль динофлагеллатовых последовательности (Никитенко и др., 2012). Изменение таксономического состава комплексов цист динофлагеллат (диноцист) и их характерных компонентов на протяжении волжского, берриасского и валанжинского веков позволило выделить в изученном разрезе пять биостратонов.

В нижней части разреза в слоях с *Athigmatocysta glabra*, *Circulodinium compta*, *Cometodinium habibii* основу комплекса диноцист составляют таксоны, характерные для кимериджа и ранней волги северных районов Европы и Сибири. Здесь разнообразны диноцисты рода *Tubotuberella* и группы *Endoscrinium* – *Scriniodinium*, а также некаватные формы типичной гониаулякоидной морфологии. Пареодиниоидные диноцисты немногочисленны (*Pareodinia ceratophora* Deflandre, *Pareodinia arctica* Wiggins, *Pluriarvalium osmingtonense* Sarjeant). Присутствуют таксоны, которые позволяют проводить сопоставление с одновозрастными комплексами динофлагеллат Русской плиты, Америки и Западной Европы (Pestchevitskaya et al., 2011). Виды *Occisucysta ?monoheuriskos* Gitmez et Sarjeant, *Leptodinium subtile* Klement, *L. simplex* Burger, *L. mirabile* Klement типичны для ранневолжских комплексов диноцист на Русской плите. *Cometodinium habibii* Monteil и *Cometodinium whitei* (Deglandr et Courteville) Stover et Evitt появляются в раннем титоне в Северной Америке. Важно присутствие *Occisucysta balios* Gitmez и *Scriniodinium inritibile* Riley in Fisher et Riley, так как исчезновение этих видов наблюдается в Западной Европе в позднем кимеридже (фазы *fittoni*, *albani*).

Вышепоразрезу установлены слои с *Scriniodinium campanula*, *Trichodinium ciliatum*, *Occisucysta wiersbowskii*. Таксономический состав комплекса диноцист свидетельствует о переходном ранне-средневолжском возрасте вмещающих отложений. Здесь возрастает общее разнообразие диноцист, появляются новые таксоны в семействах *Gonyaulacaceae* и *Pareodiniaceae*. Эволюционные изменения в указанном комплексе позволяют проводить корреляцию с различными районами Западной Европы и с разрезом Нордвик на севере Сибири. Важно появление видов *Occisucysta wiersbowskii* Poulsen и *Scriniodinium campanula* Gocht, так как эти события наблюдаются в ранней волге (фаза *sokolovi*) в Польше (Pestchevitskaya et al., 2011). Исчезают *Scriniodinium inritibile* Riley in Fisher et Riley и *Occisucysta balios* Gitmez, что также отмечается в позднем кимеридже (фазы *fittoni*, *albani*) в Западной Европе и в начале средней волги (фаза *panderi*) на Русской плите (там же).

В слоях с *Gochteodinia villosa*, *Dingodinium ?spinosum*, *Bourkidinium* sp. разнообразие диноцист сокращается за счет исчезновения значительного количества характерных юрских таксонов: *Endoscrinium galeritum* (Deflandre) Vozzhennikova, *Scriniodinium anceps* (Raynaud) Jan du Chêne et al., *Pareodinia halosa* (Filatoff) Prauss, *Leptodinium subtile* Klement, *Leptodinium simplex* Burger, *Valensiella ovulum* (Deflandre) Eisenack, *Epiplosphaera gochtii* (Fensome) Brenner и др. Важно отметить исчезновение вида *Gonyaulacysta dualis* (Brideaux et Fisher) Stover et Evitt, так как он не прослеживается выше средней части средней волги в разрезе на п-ве Нордвик (Nikitenko et al., 2008). Появляются *Dingodinium ?spinosum* (Duxbury) Davey и *Gochteodinia villosa* (Vozzhennikova) Norris, наиболее молодые находки которых отмечаются в Западной Европе с середины портланда (фаза *kerberus*) (Pestchevitskaya et al., 2011). Вид *Gochteodinia villosa* (Vozzhennikova) Norris также появляется в средней волге (фаза *nikitini*) на Русской плите (Harding et al., 2011). Появление рода *Bourkidinium* отмечается в позднем титоне в центральных областях Западной Европы (Boogová et al., 1999) и в средней волге (фаза *virgatus*) на Русской плите (Riding et al., 1999). Таким образом, эволюционные изменения в составе комплекса диноцист дают основание определить возраст вмещающих отложений как средне-поздневолжский.

В пограничной волжско-берриасской части разреза в слоях с *Batioladinium varigranulosum*, *Circulodinium distinctum*, *Circulodinium colliveri* основу комплекса составляют диноцисты, характерные для портланда и волги северных районов Европы и Сибири. Однако здесь начинают постепенно появляться меловые таксоны, присутствие которых отмечается в раннемеловых комплексах диноцист в Западной Европе, Канаде, Антарктике и Сибири (Pestchevitskaya et al., 2011). Вид *Circulodinium colliveri* (Cookson et Eisenack) Helby

появляется в раннем берриасе в Канаде и Антарктике, *Circulodinium distinctum* (Deflandre et Cookson) Jansonius – в Сибири, Канаде, Гренландии и Англии. Наиболее древние находки *Tehamadinium dodekovaе* Jan du Chêne et al. отмечаются в берриасе Франции. Вид *Apteodinium maculatum* Eisenack et Cookson появляется в раннем берриасе на севере Сибири (разрез на п-ве Нордвик). Переходный волжско-берриасский возраст отложений в этой части разреза подтверждается также данными по аммонитам и фораминиферам (Никитенко и др., 2012).

Выше установлены слои с Pareodinioideae, Cassiculosphaeridia reticulata, Cyclonephelium cuculliforme, которые ранее были выявлены на севере Сибири в разрезах на п-ве Нордвик и Анабарском заливе, а также в разрезах скважин на территории Западной Сибири в верхнем берриасе – нижней части нижнего валанжина, аммонитовые зоны *Surites analogus* – нижняя часть *Neotollia klimovskiensis* (Пещевицкая, 2007; Пещевицкая, 2010). Здесь разнообразны диноцисты рода *Tubotuberella* и группа *Circulodinium* – *Cyclonephelium* – *Tenua*. Сокращается разнообразие рода *Dingodinium*. Важными признаками комплекса являются: 1) разнообразие пареодиниоидных диноцист и групп *Barbatocysta* – *Sentusidinium* и *Escharisphaeridia* – *Batiacasphaera*, что также прослежено на севере Сибири; 2) появление вида *Cassiculosphaeridia reticulata* Davey, который появляется в позднем берриасе на севере Сибири и Приполярном Урале; 3) появление *Cyclonephelium cuculliforme* (Davies) Aarhus, что характерно для позднего берриаса на севере Сибири и в Арктической Канаде. Интересно отметить исчезновение *Senoniasphaera jurassica* (Gitmez et Sargeant) Lentin et Williams в средней части слоев с Pareodinioideae, Cassiculosphaeridia reticulata, Cyclonephelium cuculliforme, так как исчезновение этого вида в конце берриаса также наблюдается на севере Сибири (разрез на п-ве Нордвик, фаза mesezhikovi) и в Англии (Hunt, 2004). В верхней части слоев с Pareodinioideae, Cassiculosphaeridia reticulata, Cyclonephelium cuculliforme разнообразны пареодиниоидные диноцисты. Важно присутствие вида *Paragonyaulacysta ?borealis* (Brideaux et Fisher) Stover et Evitt. Его исчезновение в разрезах Сибири наблюдается в кровле слоев с Pareodinioideae, *Batioladinium varigranulosum*, Cassiculosphaeridia reticulata, в средней части аммонитовой зоны *Neotollia klimovskiensis* (Пещевицкая, 2007, 2010).

Выше по разрезу диноцисты встречаются спорадически. Интересно отметить появление *Muderongia crucis* Neale et Sarjeant в кровле слоя 15 в верхней части разреза. Наиболее древние находки этого вида отмечаются на севере Западной Сибири в конце раннего валанжина (Пещевицкая, 2010).

Установленная биостратиграфическая последовательность и биофациальный анализ динофлагеллатовых сообществ позволили проследить развитие северосибирского палеобассейна в волге, берриасе и валанжине в районе р. Оленек. Судя по значительным изменениям в таксономическом составе комплексов диноцист и количественной динамике микрофитопланктона в целом, волжско-валанжинские отложения в изученном разрезе формировались в краевой зоне палеобассейна, где постоянно происходили трансгрессивно-регрессивные флуктуации. Существование мелководных палеообстановок в ранней волге подтверждается небольшим количеством микрофитопланктона (8 % по отношению к наземным палиноморфам). Однако значительное разнообразие диноцист свидетельствует о нормально морских условиях. В конце ранней волги происходит трансгрессия. Комплексы микрофитопланктона отличаются здесь большим обилием (56 %) и разнообразием, в них широко представлены диноцисты семейств *Gonyaulacaceae* и *Pareodiniaceae*, что считается характерным признаком неритовой зоны. Для средней-поздней волги и начала берриаса характерны нестабильные палеообстановки, что отражается в постоянном изменении таксономического состава динофлагеллатовых сообществ и количественных характеристик различных групп микрофитопланктона. Значительно варьирует общее количество микрофитопланктона (12–57 % по отношению к наземным палиноморфам). Разнообразие диноцист сокращается, но остается достаточно высоким, что характерно для менее глубоководных областей неритовой зоны. О возможном похолодании свидетельствует увеличение роли диноцист простой морфологии и семейства *Pareodiniaceae*. В это время в комплексах микрофитопланктона периодически доминируют прازیнофиты родов *Leiosphaeridia* и *Tasmanites*, что часто интерпретируется как свидетельство застойных стагнационных обстановок. В конце берриаса в Сибирских морях отмечается регрессия, ускорившаяся к началу валанжина. Это подтверждается и таксономическими изменениями в комплексах микрофитопланктона в изученном разрезе. С середины берриаса количество микрофитопланктона начинает постепенно сокращаться. Однако разнообразие диноцист пока не уменьшается, что свидетельствует о стабильном существовании нормально морских условий на данной территории. В раннем валанжине наблюдается резкое сокращение количества микрофитопланктона (3–9 %). Наиболее многочисленны здесь прازیнофиты *Leiosphaeridia* spp. Диноцисты встречаются, в основном, единично. Они представлены родами *Sentusidinium*, *Apteodinium*, *Cribroperidinium*, *Circulodinium*, *Batioladinium*.

Таким образом, палинологическое изучение волжско-валанжинской последовательности в разрезе на р. Оленек показало, что изменения в составе комплексов микрофитопланктона обусловлены как эволюционными событиями, которые синхронно прослеживаются и в других регионах мира (Европе, Канаде, Антарктике), так и местными фациальными особенностями. Это позволило установить биостратиграфическую последовательность слоев с цистами динофлагеллат, которая послужила основой для анализа местных трансгрессивно-регрессивных событий в волге, берриасе и валанжине и восстановления истории развития северосибирского палеобассейна в районе р. Оленек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Никитенко Б.Л., Пещевецкая Е.Б., Хафаева С.Н., Князев В.Г. 2012. Предварительные данные по биостратиграфии и биофациям волжско-валанжинского разреза на р. Оленек (Север Сибири) / В.С. Вишневская и др. (ред.). Современная микрорепалеонтология. Тр. 15 Всерос. микрорепалеонтолог. совещ. Геленджик: ФГБОУ ВПО Кубанский госуниверситет. 2012. С. 19–22.
- Пещевецкая Е.Б. 2007. Биостратиграфия нижнего мела Сибири по диноцистам // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 15. № 6. С. 28–61.
- Пещевецкая Е.Б. 2010. Диноцисты и палиностратиграфия нижнего мела Сибири. Новосибирск: Гео. 230 с.
- Boorová D., Lobitzer H., Skupien P., Vašíček Z. 1999. Biostratigraphy and facies of Upper Jurassic-Lower Cretaceous pelagic carbonate sediments (Oberalm-, Schrambach- and Roßfeld Formation) in the Northern Calcareous Alps, South of Salzburg // Abh. Geol. Bund. V. 56. № 2. P. 273–318.
- Harding I.C., Smith G.A., Riding J.B., Wimbeldon W.A.P. 2011. Inter-regional correlation of Jurassic/Cretaceous boundary strata based on the Tithonian-Valanginian dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Volga Basin, western Russia // Rev. Palaeobot. Palynol. V. 167. P. 82–116.
- Hunt C.O. 2004. Palynostratigraphy of the classic Portland and Purbeck sequences of Dorset, southern England, and the correlation of Jurassic-Cretaceous boundary beds in the Tethyan and Boreal realms / A.B. Beaudoin, M.J. Head (eds). The palynology and micropalaeontology of boundaries. Geol. Soc. London. Spec. publ. V. 230. P. 175–187.
- Nikitenko B.L., Pestchevitskaya E.B., Lebedeva N.K., Ilyina V.I. 2008. Micropalaeontological and palynological analyses across the Jurassic-Cretaceous boundary on Nordvik Peninsular, Northeast Siberia // Newslet. Stratigr. V. 42. № 3. P. 181–222.
- Pestchevitskaya E., Lebedeva N., Rybokon A. 2011. Uppermost Jurassic and lowermost Cretaceous dinocyst successions of Siberia, Subarctic Urals and Russian Platform and their interregional correlation // Geologica Carpathica. V. 62. № 3. P. 189–202.
- Riding J.B., Fedorova V.A., Ilyina V.I. 1999. Jurassic and lowermost Cretaceous dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Russian Platform and Northern Siberia, Russia // AAPG Contribution ser. V. 36. P. 1–184.

ВЛИЯНИЕ АНХИКОДИЕВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ НА СПЕЦИФИКУ ПАЛЕОСООБЩЕСТВ В НИЖНЕПЕРМСКИХ СКЕЛЕТНЫХ ХОЛМАХ СЕВЕРНОГО УРАЛА

Е.С. Пономаренко¹, Р.М. Иванова²

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, esponomarenko@geo.komisc.ru

²ИГГ УрО РАН, Екатеринбург, ivanovarm@igg.uran.ru

AN INFLUENCE OF ANCHICODIACEAE ALGAE ON SPECIFICITY OF PALAEOCOMMUNITIES IN LOWER PERMIAN SKELETAL MOUNDS OF THE NORTHERN URALS

E.S. Ponomarenko¹, R.M. Ivanova²

¹Institute of Geology, Komi Science Center, Ural Branch of RAS, Syktyvkar, esponomarenko@geo.komisc.ru

²Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, ivanovarm@igg.uran.ru

Одной из наиболее типичных и хорошо обнаженных органогенных построек Северного Урала является скелетный холм Писаный Камень на р. Унья, в строении которого значительное участие принимали зеленые анхикодиевые водоросли *Anchicodium*, реже *Eugenophyllum* (Пономаренко, Иванова, 2010). Скелетные холмы согласно классификации (James, Bourque, 1992) являются органогенными постройками, преимущественно развивавшимися ниже базиса действия волн. В них отсутствуют климаксные стадии экологической сукцессии (ЭС), характерные для классических рифов. Нижнепермские скелетные холмы западного склона Северного Урала представлены чередованием пионерных аутогенных стадий ЭС (стабилизация и колонизация), а также отмечается аллогенная стадия – деструкции (Пономаренко, 2010).

Как было установлено, в экологической сукцессии этих скелетных холмов анхикодиевые сообщества развиты только на стадии колонизации. Важно отметить, что в ассоциации с анхикодиевыми водорослями в качестве видов-эдификаторов присутствует своеобразный комплекс фоссилий. Для примера, на стадии стабилизации на поверхности осадка с обилием кальцимикробов развивались многочисленные и разнообразные мшанки, брахиоподы, криноидеи, фораминиферы, определявшие преимущественно фильтрационный тип гетеротрофной части трофической системы. На стадии деструкции основными видами-доминантами и эдификаторами, несомненно, являлись палеоаплизини, с которыми ассоциируются обильные фузулиноиды, криноидеи, брахиоподы, тубифитесы, цианобактерии *Girvanella*, зеленые дазикладиевые водоросли и др.

На стадии колонизации в ассоциации с зелеными анхикодиевыми водорослями в основном отмечаются разнообразные мелкие фораминиферы *Tolypammmina*, *Globivalvulina*, *Nodosaria*, *Ammodiscus*, *Eolasiiodiscus*, *Geinitzina*, *Bradyina*, *Glomospira*, *Earlandia*, *Eotubertina*, *Paleonubecularia*, *Tetrataxis*, *Tubertina*, *Bisphaera*, *Pachysphaerina*, *Archaeosphaera*. Последние четыре рода фораминифер характерны для девонского периода. В раннем и среднем карбоне они были обычными обитателями неблагоприятных фаций. Их сонахождение с филлоидными водорослями и практически полное отсутствие других групп метазойных организмов может свидетельствовать о неблагоприятности экологической среды, возможно, созданное анхикодиями.

Ранее другими исследователями отмечалось низкое разнообразие фауны в ассоциации с зелеными анхикодиевыми водорослями. Так, Дж. Уилсон (1980) связывал этот факт с большой плотностью водорослевых поселений. Другими авторами считается, что зеленые анхикодиевые водоросли могли выделять ядовитые вещества (Samankassou, 2003; Samankassou, West, 2003; Toomey, 1991), которые ограничивали существование других организмов в их сообществах. Объяснение причины низкого биоразнообразия токсичностью зе-

ленных анхикодиевых водорослей выглядит вполне логичным. Однако, как известно, к современной токсин-продуцирующей альгофлоре отнесены некоторые представители диатомовых водорослей, динофлагеллат, цианобактерий, а среди зеленых водорослей токсичные виды неизвестны.

Исследования основных компонентов (скелеты, цемент, матрикс) в породах скелетного холма Писаный Камень, взятых из уровней разных стадиях экологической сукцессии, показали относительно повышенное содержание фосфора в талломах анхикодиевых водорослей (таблица 1).

Таблица 1. Химический состав основных компонентов пород разреза Писаный Камень.

Стадия ЭС	Основные компоненты	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Н.О.
деструкция	палеоаплизины	53.91	0.61	0.005	0.16
	биоцемент	50.42	3.59	0.005	0.2
колонизация	водоросли	52.13	3.29	0.033	1.87
	биоцемент	54.06	0.68	0.005	0.28
стабилизация	мшанки	53.69	1.54	0.005	0.48
	биоцемент	52.83	1.86	0.008	0.6
	матрикс	53.46	1.3	0.014	1.05

Известно, что фосфор является важнейшим биоэлементом: без него невозможны функционирование механизма наследственности, метаболизма и само существование клеток. Поэтому биологическая продукция поверхностных вод напрямую связана с концентрацией фосфора. Например, живущий планктон изымает растворенный фосфат (PO₄³⁻) из воды, так что в фазы «цветения» поверхностных вод содержание (PO₄³⁻) может снижаться почти до нуля. Когда планктон отмирает и опускается в более глубокие слои океана, планктоногенное ОВ разлагается, и фосфор снова переходит в воду (Батулин, 1978).

Тогда что могло повлиять на сохранение части фосфора в обызвествленных слоевищах нижнепермских зеленых водорослей? Я.Э. Юдович (2006) выделяет два механизма образования сингенетичного фосфата: (а) непосредственное осаждение фосфата из морской воды и (б) метасоматическая фосфатизация карбонатного осадка. Если в первом случае садка фосфата была возможна только в диагенезе из поровых вод, откуда могла достигаться необходимая концентрация фосфора (на один-два порядка выше, чем в средней морской воде), то для метасоматической фосфатизации карбоната достаточно гораздо более низкой концентрации фосфатов. Экспериментальным путем было подтверждено, что осаждение фосфатов может происходить в среде, обогащенной органическим веществом, которое находится на стадии активного разложения под воздействием микроорганизмов (Батулин, 1978).

Таким образом, относительно повышенное содержание фосфора в талломах зеленых водорослей могло быть вызвано возрастанием щелочности в результате разложения ОВ водорослей редуцентами. Так как популяция анхикодиевых водорослей в пределах органогенных построек существовала в спокойноводных обстановках, то разложение их ОВ, а также обильное потребление кислорода при дыхании в ночное время, могло приводить к некоторой аноксии придонных вод. Этим может объясняться низкое биоразнообразие на стадии колонизации скелетного холма Писаный Камень.

Авторы сердечно благодарят Я.Э. Юдовича за консультации и рекомендации по геохимии фосфора. Исследования поддержаны Программой Президиума РАН №28/2 в рамках проекта № 12-П-5-1006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Батулин Г.Н. 1978. Фосфориты на дне океанов. М.: Наука. 232 с.
- Пономаренко Е.С. 2010. Эволюция экосистем нижнепермских скелетных холмов Северного Урала // Вестн. Ин-та геологии КНЦ УрО РАН. № 12 (192). С. 8–16.
- Пономаренко Е.С., Иванова Р.М. 2010. Генезис «червячковых известняков» в нижнепермской органогенной постройке Писаный Камень на р. Унья (Северный Урал) / Рифы и карбонатные псефитолиты. Мат-лы Всерос. литол. совещ. Сыктывкар: Геопринт. С. 142–144.
- Уилсон Дж.Л. 1980. Карбонатные фации в геологической истории. М.: Недра. 463 с.
- Юдович Я.Э. 2006. Семь генотипов фосфатогенеза // Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. № 6 (138). С. 2–6.
- James N.P., Bourque P.A. 1992. Reefs and Mounds / R.G. Walker, N.P. James (eds). Facies Model-Response to Sea-Level Change. Geol. Assoc. Can. P. 323–347.
- Samankassou E. 2003. Upper Carboniferous – Lower Permian buildups of the Carnic Alps, Austria–Italy / Ahr. W.M., P.M. Harris, W.A. Morgan, I.D. Somerville (eds). Permo–Carboniferous platforms and reefs. SEPM. AAPG. Spec. Publ. V. 78. P. 201–217.
- Samankassou E., West R.R. 2003. Constructional and accumulative modes of fabrics in selected Pennsylvanian algal-dominated buildups in eastern Kansas, Midcontinent, U.S.A // Ibid. P. 219–237.
- Toomey D.F. 1991. Late Permian reefs of southern Tunisia: facies patterns and comparison with the Capitan reef, south-western United States // Facies. V. 25. P. 119–146.

СФЕРОМОРФНЫЕ МИКРОФОССИЛИИ В ВЕНДСКИХ (ЭДИАКАРСКИХ) ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДА МОНГОЛИИ

А.Л. Рагозина¹, Д. Доржнамжаа², Е.А. Сerezникова¹, Л.В. Зайцева¹, Б. Энхбаатор²

¹ Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, ragoza@paleo.ru

² Палеонтологический центр Монгольской АН, Улан-Батор, ddorj2001@yahoo.com

SPHAEROMORPH MICROFOSSILS IN THE VENDIAN (EDIACARAN) DEPOSITS OF WESTERN MONGOLIA

A.L. Ragoza¹, D. Dorjnamjaa², E.A. Sereznikova¹, L.V. Zaitseva¹, B. Enkhbaator²

¹ Borissiak Paleontological Institute of RAS, Moscow, ragoza@paleo.ru

² Paleontological Center MAN, Ulaanbaatar, ddorj2001@yahoo.com

Вендо-кембрийские отложения Завханской структурной зоны запада Монголии представлены мощными терригенными и карбонатными свитами: майханульской, цаганоломской (венд) и баянгольской (кембрий). Подробные биостратиграфические исследования в Западной Монголии проводились ранее в рамках ССМПЭ и МПГК, проект 29 (Воронин и др., 1982), проект 303 (Khomentovsky, Gibsher, 1996). В разрезах Тайшер, Баян-Гол, Цаган-Гол установлены флювиогляциальные отложения (тиллиты, диамиктиты), выделенные в майханульскую свиту (Lindsay et al., 1996). Они коррелируются с диамиктитами Наньто (Nantuo) Южного Китая (Khomentovsky, Gibsher, 1996; Овчинникова и др., 2012), абсолютный возраст которых 635.23 ± 0.57 Ma (Condon et al., 2005). Диамиктиты майханульской свиты перекрываются мощной (до 1500 м), терригенно-карбонатной цаганоломской свитой (венд), которая связана с обширной постгляциальной морской трансгрессией. Во многих районах выше карбонатов накапливались кремнистые, углеродистые и обогащенные фосфором осадки. Для раннего венда характерно развитие крупных сферических и акантоморфных акритарх «пертататакского» типа (Grey, 2005; Zhou et al., 2007; Воробьева и др., 2006, 2008; Голубкова и др., 2010; Сергеев и др., 2010).

В верхней части цаганоломской свиты (разрезы Тайшер, Хевте-Цахир-Нуру, Баян-Гол), в кремнисто-фосфоритовой пачке (1.5–2 м), залегающей выше вендских строматолитовых биогермов с *Boxonia grumulosa* Komar, 1979 установлена «завханская» кремнистая микробиота (название от р. Завхан). Она представлена, в основном, крупными (от 100–300 μm) минерализованными сфероморфными и, в меньшей степени, акантоморфными микрофоссилиями, а также фрагментами слоевищ вендотениевых водорослей, спикулами губок класса Hexactinellida. Комплекс микрофоссилий включает характерные рода: *Archaeooides*, *Chuarina*, *Tasmanites*, *Tanarium*, *Echinosphaeridium*, *Leiofusa*, *Octoedrixium*. Крупные сфероморфные микрофоссилии с многослойной оболочкой, гладкие, с сетчатой или дырчатой структурой, возможно, относятся к зеленым водорослям Chlorophyta (цисты прازیнофицей).

Среди сфероморфных микрофоссилий выделяются несколько групп.

1) Группа *Tasmanites* (Sommer) Staplin, Jansonius, Росоцк, 1965. К ним относятся микрофоссилии *Tasmanites* sp. со сферической или эллипсоидальной толстой оболочкой, гладкие или с незначительной скульптурой, одно- или многослойные. Характерной особенностью является наличие у зрелых форм радиальных пор (каналов), которые у молодых экземпляров могут быть не выражены. Микрофоссилии рода *Tasmanites* Newton, 1875, emend. Eisenack, 1958 были отнесены к Chlorophyceae на основании сходства с современными зелеными водорослями (цистами прازیнофицей) (Taugourdeau-Lantz, 1979).

2) Группа Sphaeromorphitae Downie, Evitt, Sarjeant, 1963. Род *Chuarina* Walcott, 1899, *Chuarina* sp. Крупные микрофоссилии от 100–400 μm в диаметре, некоторые экземпляры достигают 800 μm . Поверхность оболочек гладкая или шагреневая, стенка утолщенная, в ископаемом состоянии – сплюснута, часто сильно корродированна, с морщинистыми или концентрическими складками, расположенными преимущественно по периферии оболочки. Микрофоссилии минерализованы (кремнистые или углефицированные).

3) Группа неопределенного систематического положения (Chlorophyta?). Микрофоссилии рода *Archaeooides* Qian, 1977, *A. granulatus* Qian, 1977. Шаровидные полые образования диаметром 100–200 μm . Оболочки гладкие или слабо орнаментированные, внутренняя полость сетчато-ячеистая. Широко распространенные микрофоссилии в верхнем докембрии – нижнем кембрии Китая, Монголии, Сибири, Казахстана, Австралии и др.

Сфероморфные микрофоссилии «завханской» микробиоты представлены минерализованными формами (кремнистыми, фосфатизированными или углефицированными). Органическое вещество полностью замещено, однако сохраняются некоторые характерные скульптурные элементы. Исследования на сканирующем электронном микроскопе SEM Leiss EVO50 с микроанализатором Oxford INCA (Energy 350) показали различие в спектрах вмещающих отложений и микрофоссилий (табл. 1, 2).

Таблица 1. Элементный состав микрофоссилий «завханской» микробиоты.

Элемент	Весовой %	Атомный %
O K	48.49	64.99
Si K	26.16	19.97
P K	9.36	6.48
Ca K	15.99	8.56

Таблица 2. Элементный состав пород, вмещающих микрофоссилии «завханской» микробиоты.

Спектр	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe	O	Итого
Спектр 1		56.05					43.95	100.00
Спектр 2	1.17	48.98		0.71	2.36	1.23	45.55	100.00
Спектр 3	1.35	28.88	1.03		1.77	4.68	62.29	100.00
Спектр 4		54.76					45.24	100.00
Спектр 5	1.13	35.50		0.46	0.56	0.97	61.37	100.00
Спектр 6	1.45	51.03	1.68		5.13		40.71	100.00

«Завханская» кремнистая микробиота отличается обедненным комплексом акантоморфных акритарх, в ее составе преобладают крупные сфероморфные микрофоссилии (рис. 1). Эта биота имеет некоторые черты сходства с ассоциацией микрофоссилий, выделенной в формации Доушаньто Южного Китая. Зональные комплексы эдиакарских акритарх Австралии, формация Пертататака (Грей, 2005), в общих чертах, сопоставляются с нижневендскими ассоциациями микрофоссилий формации Доушаньто, хотя в последних зоны не выделяются. Согласно биостратиграфическим данным по другим регионам (Вейс и др., 2006; Moczydlowska, 2005; Воробьева и др., 2006; Vorob'eva et al., 2009; Голубкова и др., 2010; Сергеев и др., 2010) «завханская» микробиота может рассматриваться как биота переходного типа (ранне-поздневендская).

Работа проведена по теме № 23 «Биогеография, фауна и флора позднего докембрия и палеозоя Монголии», при финансовой поддержке РФФИ, проекты №№ 08-05-90211-Монг-а, 11-05-00960, программ Президента РФНШ-5191.2012.5 и Президиума РАН П-15.

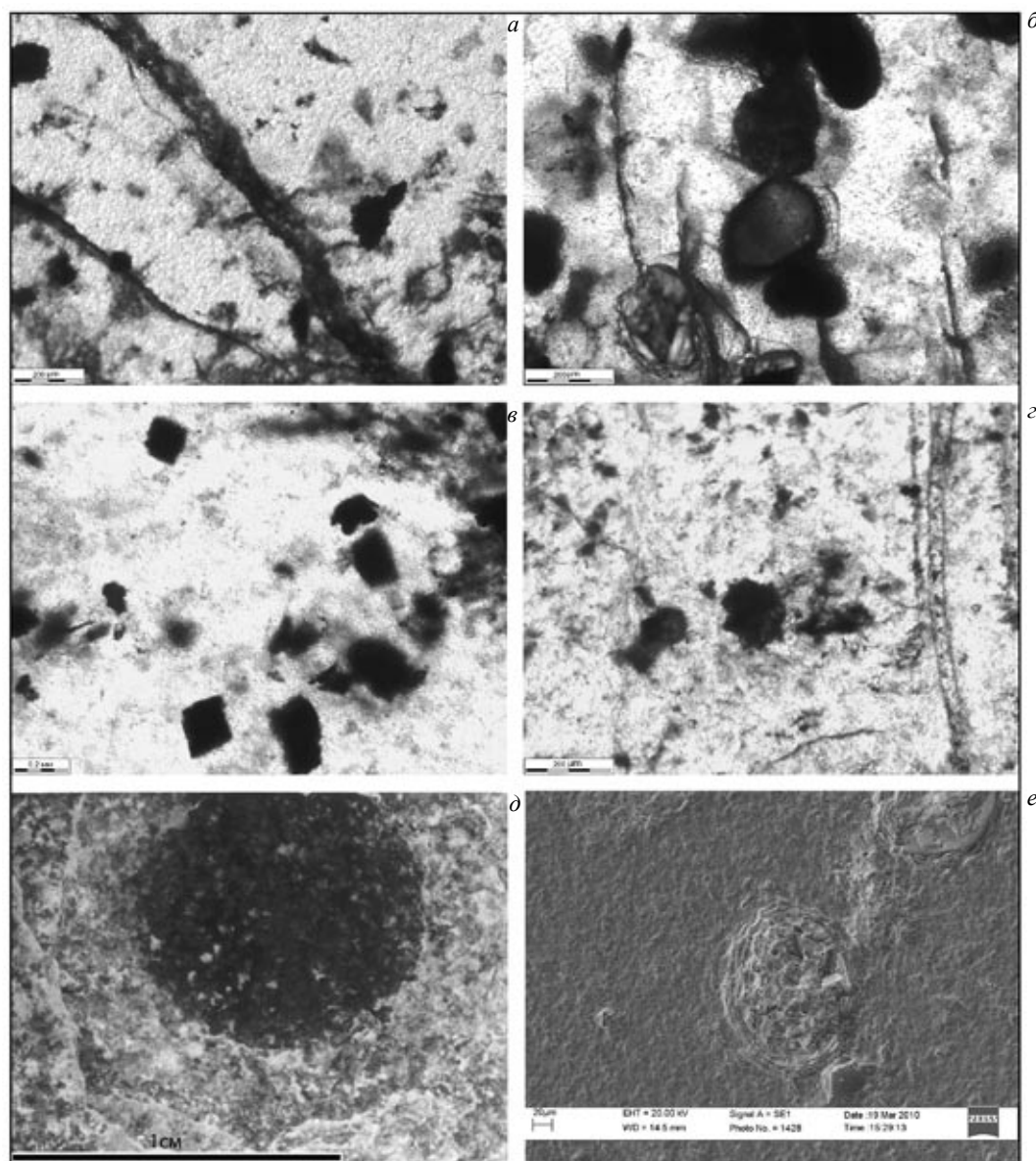


Рис. 1. а – *Vendotaenia* sp.; б – группа форм *Archaeooides* sp., *Echinospaeridium* sp.; в – *Octoedryxium truncatum* Rud., 1989; г – *Tanarium* sp., *Archaeooides* sp.; д – *Chuaria circularis* Walcott, 1899 emend. Vidal et Ford, 1985; е – *Tasmanites* sp.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вейс А.Ф., Воробьева Н.Г., Голубкова Е.Ю. 2006. Первые находки нижневендских микрофоссилий на Русской плите: таксономический состав и биостратиграфическое значение // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 14. № 4. С. 28–46.
- Воробьева Н.Г., Сергеев В.Н., Семихатов М.А. 2006. Уникальная нижневендская кельтминская микробиота Тимана: новые данные о палеонтологии венда и его глобальной характеристике // Докл. АН. Т. 410. № 3. С. 366–371.
- Воробьева Н.Г., Сергеев В.Н., Чумаков Н.М. 2008. Новые находки ранневендских микрофоссилий в уринской свите: пересмотр возраста патомского комплекса Средней Сибири // Докл. АН. Т. 419. № 6. С. 782–787.
- Воронин Ю.И., Воронова Л.Г., Григорьева Н.В. и др. 1982. Граница докембрия и кембрия в геосинклинальных областях (опорный разрез Саланы-Гол, МНР). Тр. ССМПЭ. Вып. 18. М.: Наука. 152 с.
- Голубкова Е.Ю., Раевская Е.Г., Кузнецов А.Б. 2010. Нижневендские комплексы микрофоссилий Восточной Сибири в решении стратиграфических проблем региона // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 18. № 4. С. 3–27.
- Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Васильева И.М. и др. 2012. U-Pb возраст и Sr-изотопная характеристика надтиллитовых известняков неопротерозойской цаганоломской свты, бассейн р. Дзабхан, Западная Монголия // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 20. № 6. С. 28–40.
- Сергеев В.Н., Семихатов М.М., Федонкин М.А., Воробьева Н.Г. 2010. Основные этапы развития докембрийского органического мира. Сообщение 2. Поздний протерозой // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 18. № 6. П. 3–33.
- Condon D., Zhu M., Bowring S. et al. 2005. U-Pb ages from the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China // Science. V. 308. P. 95–98.
- Grey K. 2005. Ediacaran Palynology of Australia // Memoir of the Association of Australasian Palaeontologists. V. 31. 439 p.
- Khomentovskiy V.V., Gibsher A.S. 1996. The Neoproterozoic – Lower Cambrian in northern Gobi-Altay, western Mongolia: regional setting, lithostratigraphy and biostratigraphy // Geol. Mag. V. 133. № 4. P. 371–390.
- Lindsay J.F., Brasier M.D., Shields G. et al. 1996. Glacial facies association in a Neoproterozoic back-arc setting, Zavkhan Basin, Western Mongolia // Geol. Mag. V. 133. № 4. P. 391–402.
- Moczyłowska M. 2005. Taxonomic review of some Ediacaran acritarchs from the Siberian Platform // Precambrian Res. V. 136. P. 283–307.
- Taugourdeau-Lantz J. 1979. Les Tasmanacees, kystes de Prasinophyceae fossils. 2 Intern. Symp. Fossil Algae // Bul. Centr. Rech. Exploration-Production Elf-Aquitaine. V. 3. № 2. P. 833–841.
- Vorob'eva N.G., Sergeev V.N., Knoll A.H. 2009. Neoproterozoic microfossils from the North-Eastern margin of the East European Platform // Journ. Paleontol. V. 83. № 2. P. 161–196.
- Zhou G., Xie G., McFadden K. et al. 2007. The diversification and extinction of Doushantuo-Pertatataka acritarchs in South China: Causes and biostratigraphic significance // Geol. Journ. V. 42. P. 229–262.

ПОЗДНЕРИФЕЙСКИЕ SIPHONOPHYCEAE СИБИРИ

Е.Г. Раевская¹, Т.Н. Герман²

¹ФГУНПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург, lena.raevskaya@mail.ru

²Институт геологии и геохронологии докембрия, РАН, Санкт-Петербург

LATE RINPEAN SIPHONOPHYCEAE FROM SIBERIA

E.G. Raevskaya¹, T.N. Hermann²

¹FGUNPP "Geologorazvedka", Saint-Petersburg, lena.raevskaya@mail.ru

²Institute of Precambrian Geology and Geochronology, RAS, Saint-Petersburg

К классу Siphonophyceae относятся зеленые водоросли, имеющие не клеточное строение слоевища, - так называемую сифональную структуру. Эта структура определяется тем, что даже сложно организованное по форме и причудливо ветвящееся слоевище крупных размеров представляет собой одну гигантскую клетку, содержащую от одного до множества ядер. Кроме обычных для зеленых водорослей пигментов хлоропласты сифонией содержат специфические пигменты из группы каротиноидов, придающие растительным тканям красную, желтую или оранжевую окраску. В процессе своего развития растение проходит несколько стадий роста, сопровождающихся обызвествлением большей или меньшей степени у разных таксонов. Считается, что эволюция сифоновых водорослей ведет свой отсчет с начала фанерозоя и наиболее ярко проявляется в течение палеозойской эры (Жизнь растений, 1977). Достоверные представители сифонией – известковые дазикладовые водоросли – встречаются в осадочных отложениях, начиная с нижнего кембрия (Кордэ, 1950; 1957; Гниловская, 1972). Однако есть основания полагать, что история возникновения сифоновых водорослей уходит корнями далеко в докембрий, а их «появление» в кембрии, скорее всего, связано с появлением у них иной формы сохранности, благодаря развитию способности обызвествляться.

Первые выводы о принадлежности некоторых позднерифейских не минерализованных микрофоссилий к сифоновым водорослям были сделаны еще в восьмидесятых годах прошлого столетия. Обнаруженные в лахандинской серии верхнего рифея Сибири своеобразные темноокрашенные органостенные остатки причудливого морфологического строения сильно отличались от всех известных в то время докембрийских микрофоссилий и вызывали большие трудности определения. Проблематичные остатки, описанные как *Palaevaucheria clavata*, были отнесены к ценоцитным водорослям и явились, по сути, первой находкой вероятной сифоновой альгофлоры в докембрии (Герман, 1987). Позднее еще три новых таксона *Archaeoclada grima*, *A. gamosa* и *Varioclada indefinita* с признаками сифонального строения слоевища были описаны в составе дазикладовых водорослей (Герман в: Микрофоссилии докембрия..., 1989). Последующие исследования лахандинских ископаемых водорослей позволили не только утвердиться в их принадлежности зеленым водорослям класса Siphonophyceae, но и распознать у них разные признаки строения, свойственные трем порядкам этого класса: Siphonales, Siphonocladales и Dasycladales (Герман, Раевская, 2008). Однако вплотную

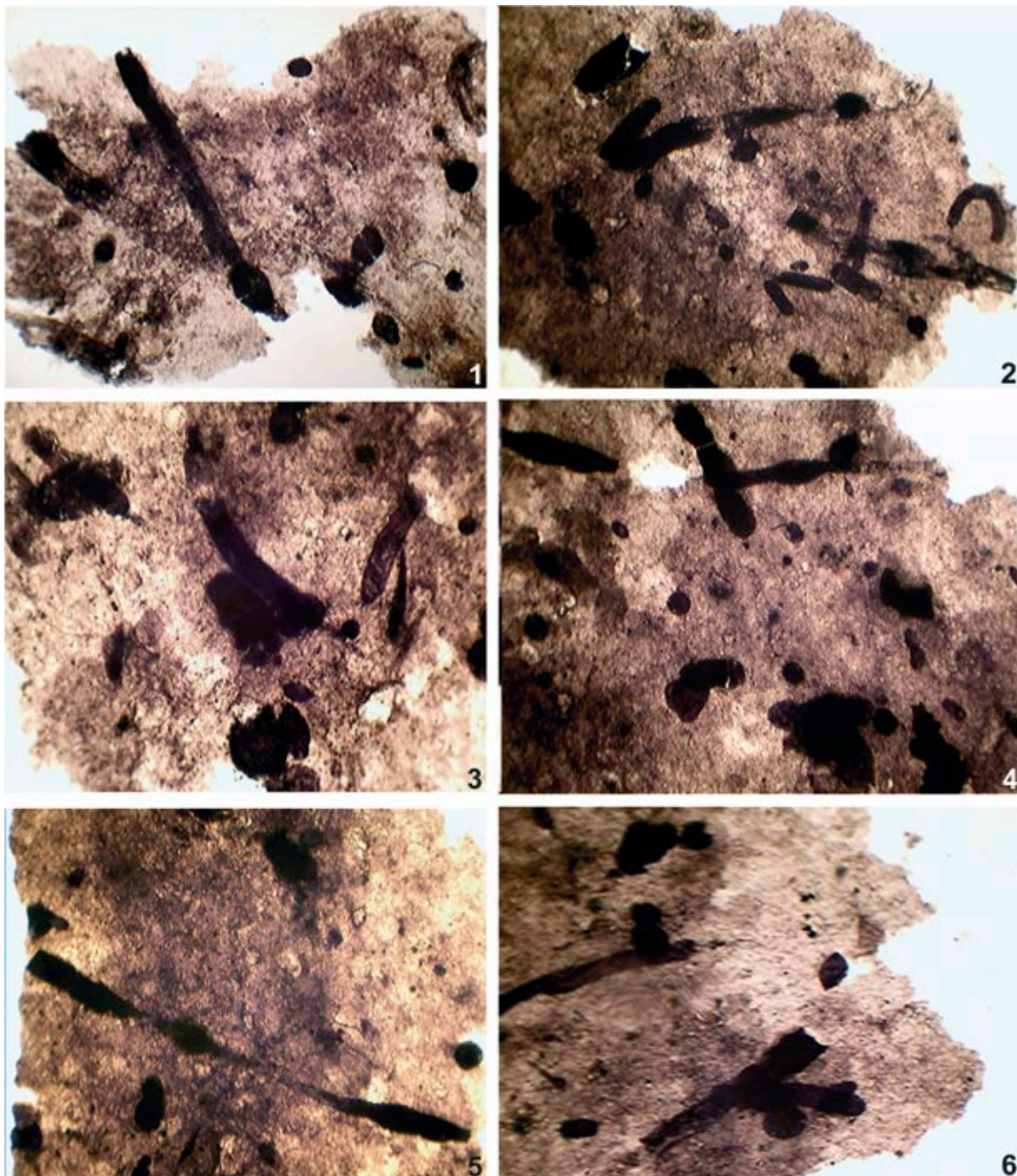


Рис. 1. Тип сохранности и морфологическое разнообразие фрагментов фитолейм сифоновых водорослей, сохранившихся на сапропелевидных пленках (x100). Нельканская подсвита нерюенской свиты лахандинской серии верхнего рифея, разрез р. Май, Учуро-Майский район, Юго-Восток Сибирской платформы. Возраст отложений 1015–1025 млн. лет (по: Семихатов и др., 2000).

к систематическому изучению и описанию, выявленной в лахандинской серии уникальной ископаемой альгофлоры, удалось подойти только в недавнее время.

Ввиду досадных обстоятельств рабочая коллекция препаратов, созданная в период первоначальных исследований лахандинской альгофлоры, была утрачена, но сохранилась рабочая документация, оригиналы многочисленных рисунков и фотографии. К счастью, сохранилась и небольшая часть каменного материала, не вошедшая в первичную химическую обработку. Образцы аргиллитов из нельканской подсвиты нерюенской свиты верхней части лахандинской серии были отобраны в обнажении № 34а (по полевым дневникам Б.В. Тимофеева 1976 г.), расположенном в 5 км ниже устья ручья Кюбю-Илз – левый приток р. Май. Подробное описание геологического разреза и стратиграфии лахандинской серии можно найти в работах С.В. Нужнова (1967), М.А. Семихатова, С.Н. Серебрякова (1983), М.А. Семихатова и др. (2000) и др.

Посредством растворения не дробленных плиточек аргиллитов фтористоводородной кислотой с последующим многократным деликатным отмыванием осадка в дистиллированной воде, были извлечены чрезвычайно тонкие и хрупкие сапропелевидные пленки, на которых в постмортальном состоянии остались зафиксированы фрагменты фитолейм (рис. 1). Хорошо сохранившиеся крупные остатки водорослей ните-

видного строения, часто несущие боковые ответвления разнообразной формы и размеров, встречаются в тесной ассоциации с многочисленными сферическими и цилиндрическими элементами, во всевозможных вариантах соединения их друг с другом и с талломами водорослей. В отличие от сопутствующих микрофитофоссилий, фитолеймы водорослей характеризуются темно-коричневым (до черного) цветом, что делает их слабо прозрачными в проходящем свете микроскопа и затрудняет изучение внутреннего строения талломов. Только боковые ветви местами немного светлее. Очевидно, темная окраска ископаемых водорослей свидетельствует не о степени их сохранности, а, скорее, о наличии в их клеточной стенке специфических пигментов, – возможно, каротиноидов.

Классификация современных сифоновых водорослей строится на основе строения клеток, их внутренних органелл, способов размножения, циклов развития и т.д. Только малая часть этих критериев может быть использована при классификации ископаемых Siphonophyceae. Поэтому даже на уровне порядков сопоставление современных и ископаемых таксонов весьма условно. Строение и форма слоевища сифоновых водорослей является пока основным критерием выделения фанерозойских семейств, родов и видов. Будучи единственно доступным, морфологический подход использовался нами и при установлении докембрийских таксонов.

Проведенные исследования всего имеющегося материала, в который вошли альбомы Тимофеева, фотографии, замеры и первые описания Герман, а также вновь изготовленные палеонтологические препараты, позволили систематизировать морфологическое разнообразие выявленной альгофлоры и выделить в ее составе 13 формальных таксонов: 8 видов, 5 родов и 1 семейство. Из них два вида и два рода переописаны и дополнены, остальные таксоны новые. Описанные морфотипы отличаются большой амплитудой морфологической изменчивости и нередко сочетают в себе характерные черты строения известных таксонов довольно высокого ранга, что объективно затрудняет определение их таксономического положения. По особенностям морфологии талломов, наличию и строению боковых ответвлений одного и более порядков, строению репродуктивных структур, а также по отдельным, сохранившимся фазам их жизненного цикла, установленные таксоны могут быть формально отнесены к трем порядками класса Siphonophyceae: Siphonales, Siphonocladales, Dasycladales.

К порядку Siphonales отнесены ископаемые водоросли, слоевища которых морфологически изменчивы, что, возможно, связано с различными стадиями онтогенеза. Так, например, отдельно выделяются длинные, пузыревидные пустотелые клетки, способные к прорастанию вытянутой несептированной нитью. Другой тип представлен подобными клетками, по центру которых вдоль длинной оси обозначается одиночная широкая трубка (сифон). Третий морфотип составляют фрагменты нитевидных талломов полисифонного строения (с несколькими параллельно расположенными внутри них узкими сифонами, способными к анастомозу). Многие из нитевидных форм несут латеральные ответвления разной формы и разных размеров.

В порядок Siphonocladales включены водоросли, слоевище которых состоит из многих ценоцитных сегментов, имитирующих клетки. Форма слоевища нитевидная, без перегородок, с нерегулярно повторяющимися сужениями и расширениями, от которых могут отходить короткие боковые ответвления, преимущественно первого порядка, или округлые бугорки похожие на выводковые почки. Периферические ветви расположены незакономерно и часто перпендикулярно по отношению к таллому.

В порядок Dasycladales отнесены водоросли с разнообразным строением талломов. Характерной особенностью дазикладовых водорослей является наличие боковых ветвей неодинаковых по размеру и форме одного и более порядков с разными типами их прикрепления к таллому, даже на одном и том же экземпляре.

Изученная ископаемая альгофлора из верхнерифейской лахандинской серии Сибири не только указывает на более древнее происхождение сифоновых водорослей, но и подводит к выводу о том, что уровень их появления мог быть намного ниже рубежа 1015–1025 млн. лет. Иначе трудно объяснить такое большое разнообразие и довольно высокую степень организации ископаемых находок. Понимание их биологической природы, морфологии, образа жизни, циклов и этапов развития дает основу не только для постижения начальных путей развития органического мира докембрия, но и для возможных построений филогении специфической группы сифоновых водорослей, которые, начиная с кембрия, обрели способность к обызвествлению и стали породообразующими организмами, широко распространенными в фанерозое на больших территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гниловская М.Б. 1972. Известковые водоросли среднего и позднего ордовика восточного Казахстана. Л.: Наука. 196 с.
- Герман Т.Н. 1987. О находках в докембрии дазикладовых водорослей / Тез. докл. 1 Всесоюз. конф. Черкассы. С. 183.
- Герман Т.Н., Раевская Е.Г. 2008. Находки неминерализованных представителей сифоновых водорослей в позднерифейской лахандинской серии Сибири // Мат-лы 54 Сес. Палеонтол. общества «Геосферные события и история органического мира». СПб. С. 52–53.
- Жизнь растений. 1977. Т. 3. Водоросли и лишайники / М.М. Голлербах (ред.). С. 297–308.
- Кордэ К.Б. 1950. Dasycladaceae из кембрия Тувы // Докл. АН СССР. Т. 73. № 2. С. 371–374.
- Кордэ К.Б. 1957. Новые представители сифониковых водорослей / Мат-лы к «Основам палеонтологии». Тр. ГИН. Вып.1. С. 67–75.
- Микрофоссилии докембрия СССР. 1989 / Т. Янкаускас и др. (ред.). Л.: Наука. С. 128–130.
- Нужнов С.В. 1967. Рифейские отложения Юго-Востока Сибири. М.: Наука. 175 с.
- Семихатов М.А., Серебряков С.Н. 1983. Сибирский гипостратотип рифея. М.: Наука. 223 с.
- Семихатов М.А., Овчинникова Г.В., Горохов И.М. и др. 2000. Изотопный возраст границы среднего и верхнего рифея: Pb – Pb-геохронология карбонатных пород лахандинской серии // Докл. РАН. Т. 372. № 2. С. 216–221.

АНАЛИЗ ТРАНСФОРМАЦИИ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПО ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Л.В. Разумовский

Институт водных проблем РАН, Москва, razum@aqua.laser.ru

ANALYSIS OF LAKE ECOSYSTEMS TRANSFORMATION BY TAXONOMIC STRUCTURE OF DIATOM ASSEMBLAGES

L.V. Razumovsky

Water Problems Institute of RAS, Moscow, razum@aqua.laser.ru

Первоначально метод графического сопоставления таксономической структуры диатомовых комплексов был разработан автором для донных комплексов из современных озерных осадков (Разумовский, 1998).

С 1993 по 2012 гг. были исследованы более 90 озер, расположенных на территории Европейской части России. В 5 озерах были отобраны колонки донных отложений, сформировавшиеся в позднем голоцене (Разумовский, 2008а, 2012; Разумовский, Гололобова, 2009; Разумовский, Моисеенко, 2009).

Сам способ построения графиков достаточно прост. Для каждого комплекса определяется относительная численность всех идентифицированных таксонов видового и более низких рангов (далее в тексте – таксонов). При построении графиков по оси абсцисс откладывается число, соответствующее числу идентифицированных таксонов, по оси ординат – относительная численность, присущая данному таксону в анализируемом комплексе. Таксоны ранжируются по изменению показателя относительной численности в сторону его уменьшения, начиная с самого массового и заканчивая самым редким таксоном. В результате получается график (или гистограмма) соотношения общего числа таксонов и их относительной численности в сторону убывания последней.

Анализ полученных графиков (гистограмм) проводится в линейной и логарифмической системе координат. В логарифмической системе координат анализируются не сами графики, а их тренды, представленные результирующими прямыми линиями.

В линейной системе координат было выделено три типа распределения таксономических пропорций, которые формируются под воздействием природных факторов: экспоненциальный, логистический и линейный (Шитиков и др., 2005). Два первых типа распределения соответствуют прижизненным таксономическим пропорциям, которые отражают естественную экологическую обстановку в озерах. Третий тип (линейный) соответствует комплексам, которые подверглись процессам переноса и переотложения.

Нелинейный характер распределения – признак многофакторного прижизненного воздействия. Линейный характер распределения – признак селективного воздействия одного фактора в посмертных условиях. Распознавание переотложенных комплексов позволило получить новую информацию о климатических изменениях в прошлом, выраженных в гидрологических перестройках (Разумовский, 2008б, 2012).

На территории Европейской части России, все озерные экосистемы были достоверно разделены на две группы или категории: «простые» системы и «сложные» системы. Эти категории всегда можно выделить в любой ландшафтно-климатической зоне по таксономической структуре диатомовых комплексов. При отсутствии антропогенной нагрузки, для «простых» экосистем характерно экспоненциальное распределение таксономических пропорций. Для «сложных» экосистем характерен логистический тип распределения, или переходное состояние между экспоненциальным и логистическим типом распределения.

«Простая» экосистема является целостной и неделимой структурой, у которой есть определенные морфометрические размеры в зависимости от той или иной ландшафтно-климатической зоны. Любую «сложную» экосистему можно достоверно разделить на «простые» экосистемы, из которых она состоит. При возникновении внешней негативной нагрузки природного или антропогенного генезиса «простые» и «сложные» экосистемы имеют различные сценарии трансформации таксономических пропорций в диатомовом

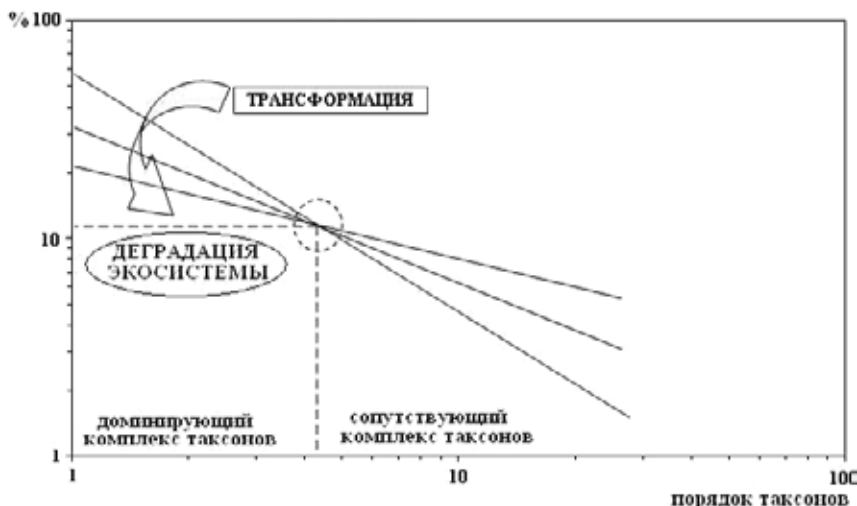


Рис. 1. Обобщенная модель трансформации диатомовых комплексов из озер малого размера.



Рис. 2. Обобщенная модель трансформации диатомовых комплексов из озер среднего размера.

комплексе. Это было достоверно продемонстрировано на примере Кольского п-ва, для малых озер (менее 1 км²) и озер среднего размера (1–4 км²) (Разумовский, 2012).

При проведении графического анализа в логарифмической системе координат, было установлено три сценария пространственно-временных трансформаций в структуре диатомовых комплексов под воздействием природных и антропогенных факторов (Разумовский, Моисеенко, 2009; Разумовский, 2012).

Первый сценарий представляет собой вращение некоей совокупности (генерации) результирующих линий во времени или пространстве вокруг единой области (центра вращения). Этот тип трансформации характерен для «простых» систем. Центр вращения определяется числом доминирующих таксонов (видов), которые поддерживают трофо-метаболическую целостность «простой» экосистемы (рис. 1).

Второй сценарий трансформации представляет собой веерообразный разворот совокупности (генерации) результирующих линий вокруг единой области. Этот тип трансформации характерен для «сложных» систем. В этом случае целостность экосистемы поддерживается совокупностью доминирующих и сопутствующих видов. Центр веерообразного разворота определяет их общую численность (рис. 2).

Третий тип сценария может развиваться в «сложной» и «простой» системе, если меняются физико-химические параметры самой среды обитания. При этом воздействие в равной степени затрагивает все три основные группы таксонов (доминирующие, сопутствующие и редкие). Анализируемые генерации не имеют единого центра, а результирующие линии занимают положение близкое к параллельному.

Два сценария (вращение и разворот) развиваются при прямом воздействии извне (природном или антропогенном). Их объединяет формирование генерации результирующих линий с единой областью или центром. При значительных негативных нагрузках, генерация распадается из-за утраты единого центра. Это свидетельствует об утрате трофо-метаболической целостности и деградации экосистемы.

Природно-климатическое воздействие, как правило, не приводит к деградации экосистемы, а сопровождается сменой доминирующих видов (сукцессия). В этом случае возникает длительное переходное состояние, для которого характерно постепенное формирование генерации из параллельных линий. Этот тип трансформации формируется путем не прямого, а опосредованного воздействия внешних факторов, через изменения самой среды обитания (t°С, рН, глубина водоема). По этим признакам воздействие природных факторов среды можно, почти всегда, отличить от антропогенного воздействия (Разумовский, 2012).

Разработанный метод графического сопоставления позволяет достоверно регистрировать процессы фазовых переходов (трансформаций) в озерных экосистемах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Разумовский Л.В. 1998. Оценка общего уровня антропогенной нагрузки методом графического сопоставления на примере диатомовых комплексов из озер Кольского п-в / Ю.А. Израэль (ред.). Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 17. СПб: Гидрометеиздат. С. 188–206.
- Разумовский Л.В. 2008а. Новейшая история озера Борое по результатам диатомового анализа // Водные ресурсы. Т. 35. № 1. С. 98–109.
- Разумовский Л.В. 2008б. Реконструкция температурных циклов и сукцессионных изменений по диатомовым комплексам из донных осадков на примере Галичского озера // Водные ресурсы. Т. 35. № 6. С. 595–608.
- Разумовский Л.В. 2012. Оценка трансформации озерных экосистем методом диатомового анализа. М.: Геос. 200 с.
- Разумовский Л.В., Гололобова М.А. 2009. Трансформация диатомовых комплексов озер Борое и Глубокое в конце позднего голоцена // Тр. Гидробиологической станции на Глубоком озере. Т. 10. М.: КМК. С. 195–207.
- Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. 2009. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа // Докл. РАН. Т. 429. № 2. С. 274–277.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. 2005. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. Кн. 1. М.: Наука. 281 с.

ФОССИЛИЗАЦИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В УСЛОВИЯХ СОДОВЫХ ОЗЕР

О.С. Самылина¹, О.И. Баулина², Л.М. Герасименко¹

¹Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, Москва, olga.samyлина@gmail.com

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, baulina@inbox.ru

FOSSILIZATION OF CYANOBACTERIA IN SODA LAKES ENVIRONMENTS

O.S. Samylyna¹, O.I. Baulina², L.M. Gerasimenko¹

¹Winogradsky Institute of Microbiology of RAS, Moscow, olga.samyлина@gmail.com

²Lomonosov Moscow State University, baulina@inbox.ru

Фоссилизация микроорганизмов сыграла огромную роль в эволюции биосферы, поскольку оказывала существенное влияние на седиментогенез (Розанов, 2003). Благодаря довольно крупным размерам и легко узнаваемой морфологии, сохраняемой в палеонтологической летописи, цианобактерии стали излюбленными объектами актуалистической бактериальной палеонтологии, которые позволяют не только ставить модельные эксперименты, но и проводить аналогии с ископаемыми фоссилиями.

Фоссилизация цианобактерий карбонатами кальция (кальцификация), при которой происходит образование микробиолитов, – обычное явление в различных экотопах: пресноводных, морских, гиперсоленых, почвенных (Dupraz et al., 2009). Известно, что, несмотря на различные экологические условия, первостепенную роль в осаждении CaCO₃ играют экзополисахариды, а также микробная активность, направленная в первую очередь на создание щелочного значения pH и повышение, таким образом, концентрации карбонат-иона в среде.

Процесс осаждения CaCO₃ в экзополисахаридах в настоящее время активно изучается. Механизм этого процесса для всех указанных выше местообитаний сходен. Роль экзополисахаридов состоит в том, что они могут адсорбировать катионы Ca²⁺ за счет связывания их с депротонированными группами: карбоксильными и другими. В зависимости от типа группы, связь эта может быть более или менее прочной. Таким образом, в слизи накапливается большее количество кальция, чем в окружающем растворе. Далее, благодаря микробной активности в мате может происходить деградация слизи с высвобождением бикарбоната, который в свою очередь связывается с иммобилизованным кальцием (Braissant et al., 2009).

Однако все изученные до настоящего времени экосистемы имеют одну общую черту: содержание карбонат- и бикарбонат-ионов в растворе невелико. Содовые озера, для которых характерно постоянно высокое вплоть до насыщения содержание карбонат-ионов, представляют, таким образом, совершенно отличную от изученных экосистему. Кальцификация в таких условиях может иметь место на границе смешения поверхностных вод озера с подземными водами, несущими кальций, поскольку при поступлении подземных питающих вод в содовое озеро на щелочном барьере происходит быстрое выпадение минералов. Кроме того, фоссилизация микроорганизмов в содовых озерах может быть обусловлена не только преципитацией CaCO₃, но также MgCO₃ и силицификацией. Все эти процессы имели место в прошлом и могут происходить в современных содовых озерах. Так, на обнаженных обрывистых берегах содового озера Магади (Кения), относящихся к четвертичному осадочному пласту «Высокого Магади» (9.1–12 тыс. лет), были описаны зеленые слои (Behr, Röhrlich, 2000), толщиной в несколько метров, содержащие более 90 % всех кремнистых известняков озера. Эти слои на 80–88 % состоят из SiO₂, но, кроме того, обогащены биоморфными структурами и кальцитом. Большая часть таких структур представлена слоистыми карбонатными строматолитами и округлыми биогермами до 25 см в диаметре, состоящими из минерализованных коккоидных цианобактерий, морфологически идентифицированных как *Pleurocapsa* и *Gloeocapsa*. Методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) показано, что карбонат кальция осаждался на слизистых капсулах клеток, не проникая внутрь, и консервируя их, таким образом, в виде негативных структур. Далее карбонат кальция мог либо замещаться опалом (SiO₂), либо обрастать новыми слоями CaCO₃, соединяя оболочки отдельных клеток и образуя губкоподобные структуры, которые и обнаруживаются сейчас электронно-микроскопическими методами (Behr, Röhrlich, 2000).

Развитие наиболее распространенных (плеврокапсовых) биогерм происходило на литорали, где был постоянный подток поверхностных вод, обогащенных не только кремнием, но и кальцием. В современных условиях окраинные и поверхностные эфемерные стоки, а также подземные грунтовые воды могут нести в содовые озера щелочноземельные катионы (Ca, Mg).

Озеро Петуховское, которое расположено в Ключевском районе Алтайского края (Россия), является хорошим примером ныне идущих процессов образования микробных фоссилий в содовом озере. Обнаруженные там нами слоистые фоссилии (строматолиты) подробнее описаны в данном сборнике (Самылина, Зайцева, 2013).

Для изучения особенностей кальцификации цианобактерий в условиях содового озера мы поставили модельный эксперимент, имитирующий поступление Ca-содержащих растворов в содовый рассол (см. рисунок), что позволило выявить последовательность этапов минерализации в условиях насыщенных содовых растворов (Самылина, Герасименко, 2011). В качестве объекта мы выбрали одноклеточную цианобактерию *Euhalotheca natronophila* Z-M001, выделенную из озера Магади, поскольку цианобактерии группы *Halotheca/Euhalotheca* являются типичными представителями эндоэвапоритовой биоты и развиваются обычно на заключительной стадии эвапоритового процесса в насыщенном растворе между кристаллами осаждающихся минералов. Представители этой группы обнаружены также во всех исследованных нами содовых озерах Алтайского края России, в т. ч. в озере Петуховском.

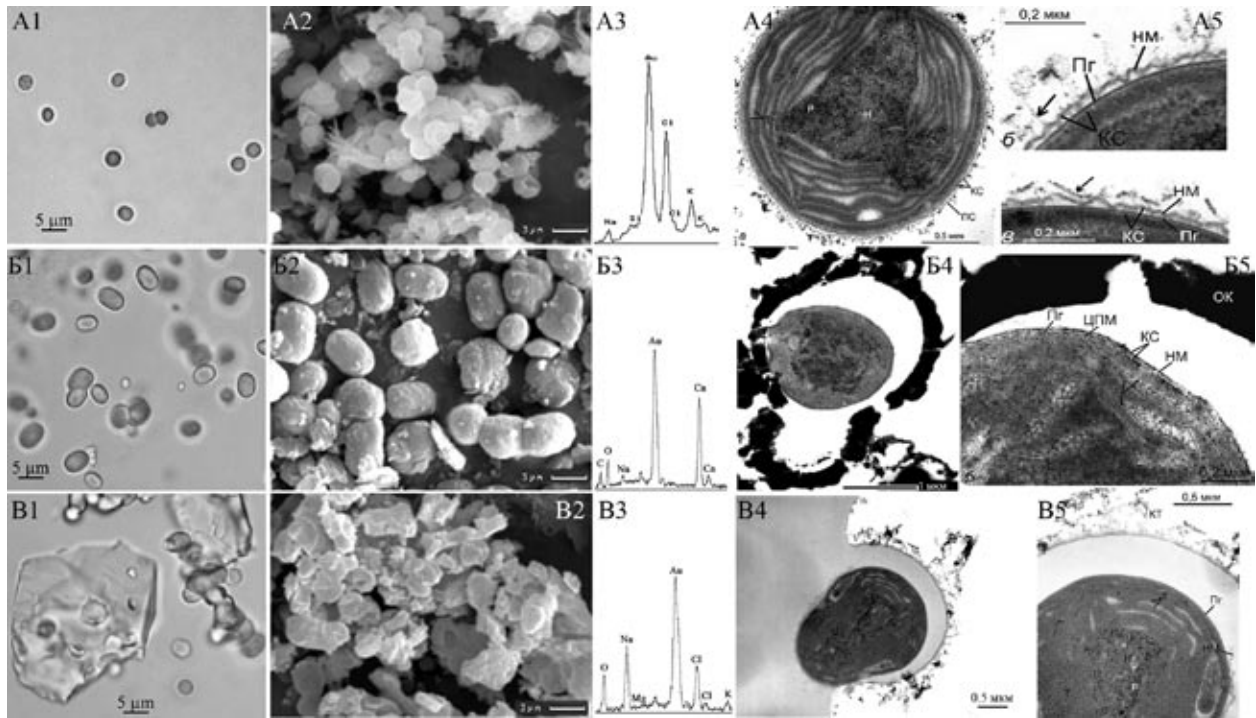


Рис. 1. Фоссилизация *'Euhalothese natronophila'* в модельной системе, имитирующей поступление Са-содержащего раствора в содовый рассол: А – свободные клетки, Б – кальцифицированные клетки, В – клетки, заключенные в кристалл троны; 1 – световая микроскопия, 2 – СЭМ, 3 – линк-анализ, 4, 5 – трансмиссионная микроскопия (ТЭМ); КС – клеточная стенка, КТ – кристалл троны ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ОК – CaCO_3 , Н – нуклеоид, НМ – наружная мембрана, Пг – пептидогликан, ПС – поверхностный слой, Р – рибосомы, Т – тилакоиды, ЦПМ – цитоплазматическая мембрана (по: Самылина, Герасименко, 2011; Баулина и др., 2011).

При внесении раствора CaCl_2 в синтетическую среду М (100 г/л Na_2CO_3), не содержащую клетки цианобактерий, мгновенно происходит химическая реакция осаждения карбоната кальция. CaCO_3 выпадает изначально в виде рыхлой белой взвеси. Образование гантелевидных кристаллов CaCO_3 начинается только через 20 минут. С течением времени эти кристаллы растут, собираются в конгломераты. Однако даже через 2 часа инкубирования в среде присутствует рыхлый аморфный CaCO_3 .

При добавлении CaCl_2 в культуру клеток цианобактерий на карбонатной среде, также выпадает взвесь белых и рыхлых хлопьев. В этот момент на клетках *'E. natronophila'* минеральный слой отсутствует. Таким образом, этот этап осаждения является исключительно химическим. Далее наблюдается преобразование аморфного CaCO_3 в кристаллы. Этот процесс может также проходить химически, но в него могут быть вовлечены и клетки цианобактерий, служащие центрами формирования кристаллов. Важно отметить тот факт, что морфология кристаллов, образованных в бесклеточной среде и при участии клеток – различается. В бесклеточных растворах образуются кристаллы карбоната кальция гантелевидной формы, в опытной суспензии осадок представляет собой овальные глобулы из минерализованных клеток.

Таким образом, в отличие от других местообитаний с низким содержанием карбонат-ионов, для карбонатизации цианобактерий в содовых условиях важно не столько наличие растворенного Ca^{2+} , сколько присутствие CaCO_3 . И кальцификация алкалофильных цианобактерий в условиях насыщения среды карбонат-ионами сводится к сорбции аморфного CaCO_3 (а не катионов Ca^{2+}) на клеточной поверхности с дальнейшей его кристаллизацией.

Взаимодействие клеток и минералов в эндоэвапоритовой содовой системе идет двумя путями. Часть клеточной популяции обрастает минералами, перестает фотосинтезировать и, по всей видимости, постепенно отмирает (рис. 1,Б, В), в то время как другая часть успешно «противостоит» заключению в минеральную скорлупу (рис. 1,А). Таким образом, эти клетки способны развиваться в содовых эндоэвапоритовых условиях между кристаллами минералов, обеспечивая первичную продукцию такой системы. Для того, чтобы ответить на вопрос, как на клеточном уровне происходит взаимодействие цианобактерий с минералами, мы изучили ультраструктурные изменения *'E. natronophila'* при взаимодействии с кристаллами (Баулина и др., 2011).

Ультраструктурная организация клеток этого вида типична для цианобактерий, но имеет некоторые особенности (рис. 1,А4-5). Клеточная оболочка включает клеточную стенку грамотрицательного типа и тонкий поверхностный слой (ПС) неидентифицированного химического состава, предположительно полисахаридной и/или (глико)протеиновой природы. Наружная мембрана у всех изученных клеток волнистая, с явно выраженной периодичностью локальных контактов с подлежащим слоем пептидогликана. *'E. natronophila'* свойственна необычная организация тилакоидов с расширенными внутритилакоидными пространствами, которые заполнены гранулированным материалом.

Исследование ультратонких срезов *'E. natronophila'*, подвергшихся кальцификации свидетельствует о том, что на начальных этапах этот процесс, по-видимому, сопряжен с взаимодействием аморфного CaCO₃ с компонентами поверхностного слоя, с параллельным изменением ультраструктурной организации клеточной стенки и внутритилакоидного пространства. На рис.1, Б5 видно, что наружная мембрана клеток уплотняется и перестает быть волнистой. Но вместе с тем целостность клеточной стенки не нарушается. Таким образом, на представленных фотографиях видно, что клетки внутри карбонатной «скорлупы» сохраняют свою морфологию и общий план строения. Однако такие клетки теряют способность к фотосинтезу и, следовательно, со временем погибают, но не разрушаются, а мумифицируются и сохраняются в осадке.

Напротив, при контакте цианобактерий с растущими кристаллами троны происходит отрыв и деградация наружной мембраны при сохранении структуры пептидогликанового слоя (рис. 1,Б4-5).

Методом ТЭМ удалось проследить различные этапы включения клеток в кристалл троны. Обнаружено, что в процессе роста кристалла минерал обрастает клетку вокруг, в конечном итоге заключая ее внутрь. Процесс начинается на живых клетках, внутренняя ультраструктура которых не изменяется даже при отрыве наружной мембраны, но, в отличие от минерализации кальцитом, осаждение троны не приводит к мумифицированию клеток. Вместе с тем, повреждение наружной мембраны в большинстве клеток может повлечь за собой перестройку или нарушение клеточного метаболизма, связанные с функциями клеточной стенки. Полностью замурованные в кристалле клетки погибают и подвергаются деградации, что видно при микроскопии (рис. 1,В1-2).

Таким образом показано, что начальный процесс осаждения карбоната кальция у алкалофильных цианобактерий осуществляется в результате химической реакции без их участия. На последующих этапах происходит сорбция и кристаллизация аморфного CaCO₃ на поверхности клеток части популяции цианобактерий, в результате чего клетка покрывается минеральным слоем в виде скорлупы. Клетки в этой же системе, но заключенные в трону, деформируются и разрушаются. Исследование ультраструктуры *'E. natronophila'* показало, что различные минералы по-разному взаимодействуют с поверхностными структурами клетки и это взаимодействие сопряжено с принципиально разными деградационными процессами, развивающимися как в клеточной стенке, так и в цитоплазме. Полученные данные дают основание полагать, что эти различия, а именно: мумифицирование клеток при карбонатизации и их глубокая деструкция при включении в трону – могут служить объяснением причины того, почему в массивных залежах троны озера Магади не обнаруживают фоссилизированных цианобактерий, которые в избытке содержатся в обогащенных кальцием зеленых слоях «Высокого Магади».

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баулина О.И., Самылина О.С., Герасименко Л.М. 2011. Изменение ультраструктуры клеток галоалкалофильной эндозапоритовой цианобактерии *'Euhalothese natronophila'* при фоссилизации // Микробиология. Т. 80. № 6. С. 787–795.
- Розанов А.Ю. 2003. Ископаемые бактерии, седиментогенез и ранние стадии эволюции биосферы // Палеонтол. журн. Т. 37. № 6. С. 600–608.
- Самылина О.С., Герасименко Л.М. 2011. Фоссилизация клеток натронофильной эндозапоритовой цианобактерии *'Euhalothese natronophila'* в модельной системе // Микробиология. Т. 80. № 4. С. 519–528.
- Самылина О.С., Зайцева Л.В. 2013. Фоссилизация цианобактерий в Петуховском содовом озере (Алтайский край, Россия) (наст. изд.).
- Behr H.-J., Röhrlich C. 2000. Record of seismotectonic events in siliceous cyanobacterial sediments (Magadi cherts), Lake Magadi, Kenya // Int. J. Earth Sci. V. 89. P. 268–283.
- Braissant O., Decho A.W., Przekop K.M. et al. 2009. Characteristics and turnover of exopolymeric substances in a hypersaline microbial mat // FEMS Microbiol. Ecol. V. 67. P. 293–307.
- Dupraz C., Reid R.P., Braissant O. et al. 2009. Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats // Earth Sci. Rev. V. 96. P. 141–162.

СОВРЕМЕННЫЕ СТРОМАТОЛИТЫ ИЗ ПЕТУХОВСКОГО СОДОВОГО ОЗЕРА (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ) О.С. Самылина¹, Л.В. Зайцева²

¹ Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, Москва, olga.samyлина@gmail.com

² Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, l.zaytseva@mail.ru

MODERN STROMATOLITES FROM PETUKHOVSKOYE SODA LAKE (ALTAI REGION, RUSSIA) O.S. Samyлина¹, L.V. Zaytseva²

¹ Winogradsky Institute of Microbiology of RAS, Moscow, olga.samyлина@gmail.com

² Borissiak Palaeontological Institute of RAS, Moscow, l.zaytseva@mail.ru

Озеро Петуховское, которое расположено в Ключевском районе Алтайского края (Россия), является хорошим примером ныне идущих процессов образования микробных фоссилий в содовом озере. Это бессточное озеро, подверженное периодическим высыханиям и обводнениям. Озеро образовалось в котловине выдувания и относится к озерам карбонатного типа. Донные отложения достигают 3-6 метров и представлены серыми илами и аркозовыми песками. Озеро окружают песчаные дюны с последующим переходом в лесной массив. Северный берег сложен бурными суглинками, юго-западный – илами.

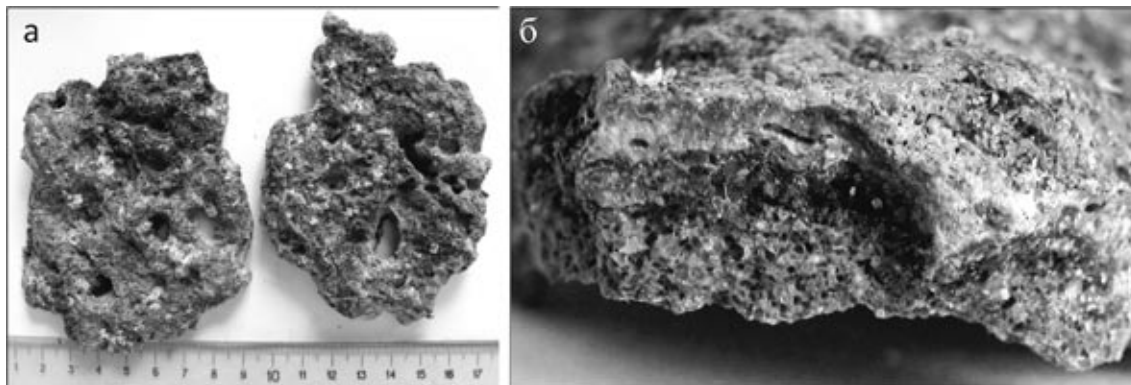


Рис. 1. Внешний вид строматолитов, обнаруженных в содовом озере Петуховское.

Во время экспедиций на озеро Петуховское в 2011–2012 гг. найдены окаменелые образования (рис. 1), которые представляют собой корки с чередованием тонких минерализованных слоев. Первое упоминание о данных структурах, обнаруженное нами в литературе, относится к 2008 г., когда они были описаны как донные отложения солей: «у края озера под водой очень плотная черная ноздреватая корочка, в ней диагностирован доломит» (Лебедева и др., 2008). Найденные корочки имеют макроструктуру с хорошо различимыми по цвету и структуре слоями. В различных корочках можно выделить от одного до нескольких чередований черных и светлых слоев. На их поверхности обнаружено развитие циано-альго-бактериального сообщества. При детальном изучении установлены обычные для содовых озер доминирующие морфотипы, выделенные нами в монокультуры: *Geitlerinema* sp. P-1104 и *Leptolyngbya* sp. P-1105. Альгологическая компонента сообщества представлена доминирующей зеленой нитчатой водорослью cf. *Stenocladus circinnatus*. Все это позволяет нам называть данные окаменелости **современными строматолитами**.

Изучение петуховских строматолитов, таким образом, актуально для реконструкции процессов осадкообразования с формированием доломитов, которые могли происходить в эпиконтинентальных содовых озерах в докембрии во времена массового развития циано-бактериальных сообществ.

В 2011 г. эти структуры находились под водой на песчаном дне озера недалеко от уреза воды. В 2012 г. водное зеркало озера значительно уменьшилось из-за высыхания, и строматолиты были обнаружены уже на берегу под тонкой содовой коркой. Для дальнейшего изучения методом электронной микроскопии с применением EDX (энергодисперсионного рентгеновского микроанализа) на СЭМ Zeiss EVO50 с микроанализатором INCA Oxford 350 найденные корочки высушивались и при необходимости обрабатывались раствором HCl («протравливались») для снятия верхнего слоя троны.

Послойные исследования показали, что данные строматолиты состоят из: 1) слоев, образованных минерализованными микроорганизмами и полисахаридным гликокаликсом, выделяемым ими в процессе жизнедеятельности, 2) преимущественно минеральных слоев и 3) слоев, включающих окатанные зерна кварца и полевого шпата. Исследование элементного состава петуховского строматолита показало наличие соеди-

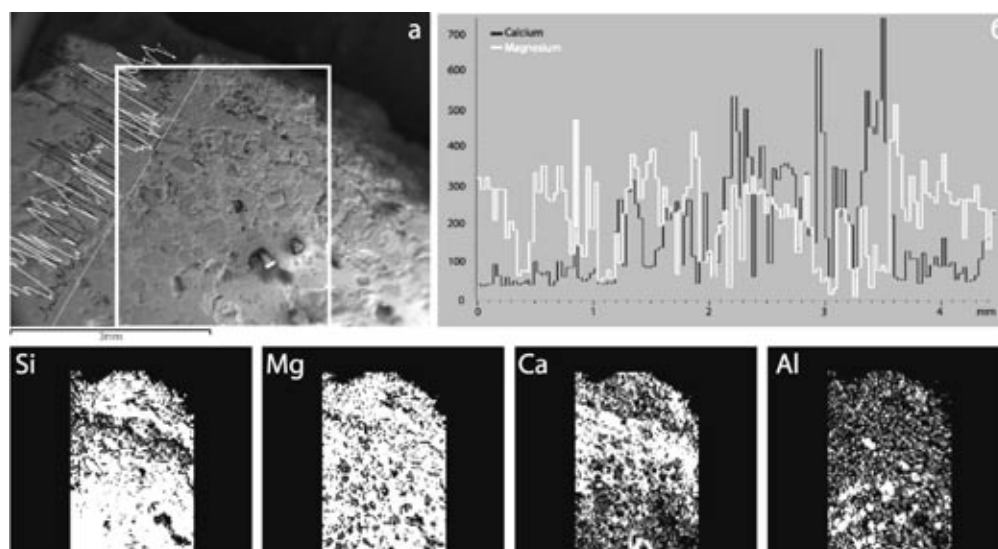


Рис. 2. Распределение Ca, Mg, Si и Al по площади и профилю поперечного разреза строматолита от 0 (низ) до 4.5 мм (верх): а) СЭМ фотография поперечного разреза с изображением исследованной площади и линии профиля, б) распределение Ca (черный) и Mg (белый) по профилю, Si, Mg, Ca, Al – распределение этих элементов по площади.

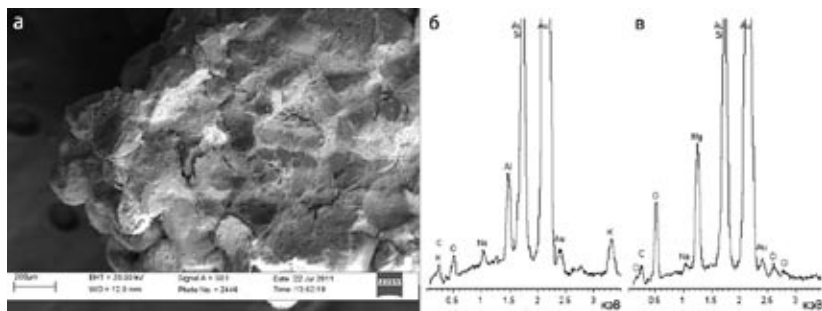


Рис. 3. Нижний слой строматолита из оз. Петуховского: а) песчаный субстрат, сцементированный минерализованным экзополисахаридным матриксом (СЭМ фотография), б) EDX спектр алюмосиликатной песчинки, в) EDX спектр минерализованного связующего (экзопалисахаридный матрикс+карбонатный осадок).

ний Ca, Mg, Si, а также в небольшом количестве Fe и Al, приуроченного к слою сцементированного песчаника. Кроме того, часто определялось большое содержание Na, что свидетельствует в первую очередь о садке троны: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Применение EDX анализа позволило рассмотреть распределение элементов в строматолите по профилю, захватывающему на этом участке все видимые слои, и по площади поперечного среза, также включающей все слои (рис. 2).

Полученные результаты позволили выявить некоторые закономерности распределения элементов. Наиболее интересным представляется распределение Mg и Ca. На рис. 2 видно, что Mg довольно равномерно распределен по всей исследуемой площади, в то время как Ca имеет четко выраженную «зону плотности» посередине строматолита, что примерно соответствует макроскопически определенному черному слою. Спектр распределения этих элементов по профилю также говорит о различии в слоях. Двигаясь по профилю снизу вверх (0–1 мм), сначала наблюдается преобладание Mg, что соответствует слою содержащему, алюмосиликатные песчинки, сцементированные минерализованным гликокаликсом (рис. 3). Ca либо отсутствует, либо находится в незначительном количестве.

Далее (1–3.3 мм) наблюдается практически синхронное изменение пиков Mg и Ca, и соотношение этих элементов близко к 1:1. Эта область примерно соответствует черному слою, в котором обнаружены минерализованные чехлы нитчатых цианобактерий, а также коккоидные формы микроорганизмов. В этом слое также обнаружен связанный с цианобактериями рост кристаллов Ca-Mg карбоната (с преобладанием Mg) (рис. 4). Слой, имеющий на исследуемом образце расположение между 3.3–3.6 мм, состоит практически полностью из кальцита (рис. 5). В верхнем слое (3.6–4.5 мм) снова наблюдается преобладание Mg.

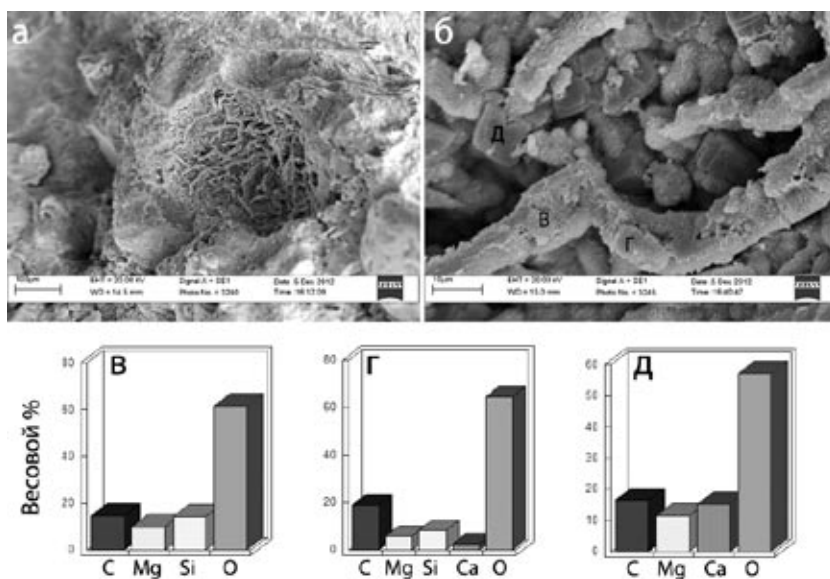


Рис. 4. Минералообразование на экзополисахаридах микроорганизмов: а) минерализованные чехлы цианобактерий в черном слое петуховского строматолита (общий план); б) минерализованные чехлы цианобактерий и образование кристаллов в черном слое (крупный план); в) диаграмма состава вещества чехла; г) диаграмма состава вещества кристаллов, растущих на чехле; д) диаграмма состава вещества предполагаемого кристалла доломита, связанного с чехлом цианобактерий.

Как известно, произведение растворимости $MgCO_3$ намного выше, чем у $CaCO_3$, что выражается в возможности существования некоего фона растворенного магния в содовом рассоле, в то время как $CaCO_3$ в этих условиях сразу же при поступлении в рассол подвергается химической садке, даже в присутствии микроорганизмов (Самылина и др., 2011, 2013). Поступление в рассол Ca и Mg, по всей видимости, происходит в основном за счет грунтовых вод, так же как и в других озерах Кулундинской степи и может иметь сезонные количественные колебания, как показано для озер Танатар (Телентюк, 1952): осенью содержание Ca и Mg больше, чем весной для вод одной и той же концентрации. Источником Mg, кроме того, могут служить хлорофиллы и бактериохлорофиллы разлагающейся фототрофной биомассы, которая накапливается в Петуховском озере в значительных количествах. Таким образом, представляется естественным первичное осаждение $MgCO_3$ на органических субстратах, таких как экзополисахариды чехлов и слизи, и вторичное осаждение $CaCO_3$ с перекристаллизацией и формированием кристаллов Ca-Mg-карбонатов.

Эти данные, полученные для природных строматолитов, подтверждаются также результатами проводимых ранее лабораторных экспериментов, в которых было показано, что чехлы нитчатых цианобактерий на начальном этапе их минерализации накапливают магний. По мере увеличения толщины минерализованных чехлов появляется кальций и доля его возрастает. На внешней поверхности отношение Mg/Ca достигает 1, а иногда становится несколько меньше, что близко к соотношению этих элементов в природном доломите (Зайцева, 2011).

Авторы выражают благодарность д.б.н., ст.н.с. ИНМИ РАН Д.Ю. Сорокину за возможность участия в экспедициях на оз. Петуховское. Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы», гранта РФФИ № 12-04-31404.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Зайцева Л.В. 2011. Изучение накопления кальция и магния в минерализованных чехлах нитчатых цианобактерий под воздействием различных факторов / Биокосные взаимодействия: жизнь и камень. СПб: СПбГУ. С. 300–330.
- Лебедева (Верба) М.П., Лопухина О.В., Калинина Н.В. 2008. Особенности химико-минералогического состава солей в сорowych солончаках и озерах Кулундинской степи // Почвоведение. № 4. С. 467–480.
- Самылина О.С., Герасименко Л.М. 2011. Фоссилизация клеток натронофильной эндоэвапоритовой цианобактерии *Euhalotheca natronophila* в модельной системе // Микробиология. Т. 80. № 4. С. 519–528.
- Самылина О.С., Баулина О.И., Герасименко Л.М. 2013. Фоссилизация цианобактерий в условиях содовых озер (наст. изд.).
- Телентюк Е.С. 1952. Гидрохимия озер Танатар и питающих их вод // Тр. Всес. н.-и. ин-та галургии. Вып. 24. С. 162–228.

МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА И ИХ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ В КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ ПОЗДНЕГО ПАЛЕОЗОЯ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

К.М. Седаева

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, sedaeva-mgu@mail.ru

MICROBIAL COMMUNITIES AND THEIR PETROGRAPHIC DISPLAY IN LATE PALEOZOIC CARBONATE ROCKS OF NORTHERN EURASIA

K.M. Sedaeva

Moscow State University, sedaeva-mgu@mail.ru

Как известно, микробы и их сообщества, образуя собой микробиаль, были пионерами органического мира, формируя во времени биокосную систему и биосферу в целом. Космополитизм и особенности строения не позволяют четко выявить их палеонтологическую принадлежность. Микробы и их скопления в позднем палеозое представляли собой селективные сообщества цианобактерий, кальцимикробов неясного происхождения, мельчайших водорослей и других автотрофов (т.е. микробионтов), которые обладали способностью прижизненной и посмертной литификации. При этом происходило изменение щелочно-кислотного равновесия водной среды, и осуществлялась регуляция химического состава вод и среды обитания, убирая из них, и переводя в осадок как биофильные, так и тяжелые, редкие, редкоземельные и прочие элементы (Шлегель, 1987 и др.). Одновременно с этим происходила утилизация вредных для существования бентосных морских организмов микроэлементов из гидросферы и атмосферы, особенно на критических рубежах палеозоя, в результате проявления разномасштабных абиотических событий, обуславливающих в свою очередь массовое вымирание организмов.

В карбонатном разрезе позднего палеозоя зафиксированы уровни появления мощных (десятки и первые сотни метров) толщ микрозернистых известняков, с которыми связаны крупные месторождения нефти и газа в Северной Евразии и Северной Америке: Тимано-Печорский, Волго-Уральский, Западно- и Восточно-Сибирский нефтегазоносные бассейны и нефтегазоносные провинции Канады (провинция Альберта) и США (штаты Вайоминга, Монтана, Техас). Микрозернистые известняки характеризуются: 1) обедненным составом зюкариот; 2) низкой степенью их видового разнообразия и 3) почти полным отсутствием (в долж-

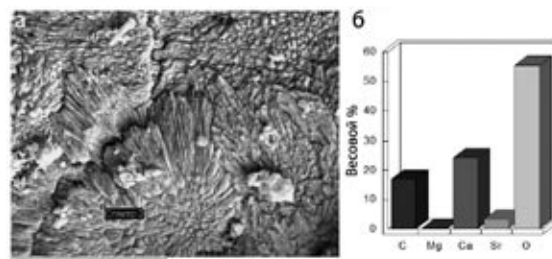


Рис. 5. Кальцитовый слой: а) СЭМ фотография; б) диаграмма состава вещества.

ном количестве) рифостроящих организмов. Их формирование сопряжено во времени с проявлениями событий массового вымирания организмов, происходившими на рубеже: силура–девона, франско-фаменского времени, девона–карбона и ранней–средней перми (Седаева, 2005).

Макроскопически известняки светловато-, темновато-, реже темно-серые в свежем сколе, в разрезе грубо- или крупнослоистые, очень крепкие, однородные афанитовые или криптозернистые (сливные). Микроскопическое изучение показало, что основная их масса сложена тончайшими карбонатными частицами – микритом с размером частиц кальцита 4–15 мкм (Уилсон, 1980; Седиментология, 1980, и др.), на ее фоне наблюдается множество микросгустков или (и) микро- и мелких комочков, первичная структура которых не сохранилась в результате постседиментационной грануляции. Ранее (Маслов, 1952, 1960; Крылов, 1975 и др.) была доказана принадлежность микросгустков и мельчайших комочков, а также микрита, присутствующего вместе с ними, к продуктам биохимической жизнедеятельности микробных сообществ (микробионтов). В качестве незначительной примеси (1–5 %, реже 7–10 % и крайне редко до 20–40 %) в микрозернистых известняках присутствуют остатки таксономически разнообразных эукариот (остракод, фораминифер, зеленых и красных водорослей, брахиопод, двустворок, мшанок, иглокожих, гастропод, табулят, строматопорат, радиолярий и др.), как правило, рассеянных и биокорродированных и нередко микритизированных (Седиментология, 1980) микробионтами, образуя проблематику округлой формы.

В шлифах **микросгустки** темновато- или темно-серого цвета разнообразной и неправильной, часто лаковидной формы, с нечеткими контурами, состоящие из крипто- или микрозернистого кальцита, пропитанные тонкодисперсным органическим веществом, выделяясь, таким образом, на общем фоне основной массы породы. Микросгустки иногда сливаются, образуя пятна сплошной микрозернистой массы. Их формирование возможно происходило в спокойной гидродинамической обстановке при разложении микробных клеток или их незначительных скоплений. Однако довольно часто они встречаются в тончайших прослойках строматолитов и онколитов, а также биоценологических желвачках (Маслов, 1952, 1960). Микросгустки часто наблюдаются в составе микритовой массы, заполняющей углубления на биокорродированных раковинных остатках эукариот со следами микробиального сверления, или в корках их обрастания. Нередко они встречаются в ватерпасах (иловые уровни), частично заполненных микритом. Их наличие косвенно указывает о нарушении экологической обстановки (об обмелении и кратковременном осушении) и возникновении неблагоприятных условий в морском бассейне, губельно отражающихся на существовании различных представителей бентосной фауны.

Микрокомочки и более крупные их разности алевритовой или тонко-мелкопесчаной размерности (0.005–0.25 мм), лишенные отчетливой внутренней структуры и различные по форме и строению, и образованы микробиальными сообществами гр. *Nubecularites infidus* f. n. (Воронова, Родионова, 1976 и др.). Их принимали за органогенные песчаники или алевролиты, судя по облику и приуроченности их к прибрежно-морским и отмельным мелководно-морским обстановкам. Они часто переходят по латерали в строматолиты, слагая в них отдельные прослои. Ранее на большом фактическом материале было установлено, что размер и форма комочков микробионтов зависят от гидродинамики среды и наличия глинистой примеси. Чем активнее гидродинамика и меньше глинистого материала поступает в бассейн, тем отчетливее сформированы микробиальные комочки. В связи с этим микроструктура отдельных прослоев строматолитов меняется от «плотной» криптозернистой или (и) неясной микросгустковой до ярко выраженной мелкокомковатой (Маслов, 1952, 1960; Постников, Андрущенко, 1990 и др.). Вследствие этого микро- и мелкие комочки можно рассматривать как микробионтную биокластику и их образование происходило в крайне мелководной обстановке (0–10 м глубина) при относительно повышенном гидродинамическом режиме в результате дезинтеграции микробиальных матов под влиянием небольших волнений. О крайней мелководности их образования также свидетельствует наличие на отдельных интервалах разреза микрозернистых известняков комковатого строения иловых уровней – ватерпасов, частично заполненных микритом вместе с микросгустками микробионтов.

Микрозернистые известняки с обилием микросгустков или/и мельчайших комочков рассматриваются автором как микритово-микробиальные известняки, либо микросгусткового, либо микро- или мелкокомковатого строения, в названии которых отражены структура и способ образования карбоната кальция. Вследствие этого они представляют собой одновременно определенный литогенотип известняков и литологический репер, формирование которых происходило при неблагоприятных для существования многих представителей морской биоты условиях.

Таким образом, микросгустки, мельчайшие комочки и микритовая основная масса карбонатных пород позднего палеозоя образованы микробными сообществами, обусловившими формирование в биокосной системе и в стратисфере в целом, микритово-микробиальных известняков, представляющих собой трансформированный продукт жизнедеятельности ископаемых микроорганизмов специфических палеозоосистем. Их образование происходило при повышенной биохимической активности микробных сообществ на критических рубежах позднего палеозоя и сопряжено с тектоно-магматической активизацией, проявленной в эпоху каледонской или герцинской фаз орогенеза. Это повлекло за собой резкое снижение биоразнообразия среди многих представителей морской биоты в связи с неблагоприятными (стрессовыми) условиями их существования и значительному вымиранию, что обусловило расцвет микробиальных сообществ (утилизирующих вредные вещества из гидро- и атмосферы) и формирование мощных толщ карбонатолитов на том или ином временном уровне позднего палеозоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Воронова Л.Г., Родионова Э.П. 1976. Водоросли и микрофитоциты. М.: Наука. 189 с.
- Крылов И.Н. 1975. Строматолиты рифей и фанерозоя. М.: Наука. 243 с.
- Маслов В.П. 1952. Карбонатные желваки органического происхождения // Бюлл. МОИП. Сер. геол. Вып. 27. № 4. С. 28–45.
- Маслов В.П. 1960. Строматолиты // Тр. ГИН АН СССР. Вып. 41. 157 с.
- Постников Е.В., Андрищенко А.И. 1990. О литолого-фациальных изменениях карбонатных толщ девона Припятской впадины // Литол. и полезн. ископ. № 4. С. 86–109.
- Седаева К.М. 2012. Биотическое событие и специфические седиментолиты на границе девона и карбона // Палеострат-2012. М.: ПИН РАН. С. 59–60.
- Седаева К.М. 2005. Рифогенные образования кризисных рубежей палеозоя / Геология рифов. Мат-лы Межд. совещ. Сыктывкар: Геопринт. С. 147–149.
- Седаева К.М., Рябинкина Н.Н., Кулешов В.Н., Валяева О.В. 2010. Отражение Хангенбергского глобального геологического события рубежа девона–карбона в разрезах западного склона Приполярного (р. Кожим) и Южного (р. Сиказа) Урала // Литосфера. УрО РАН. № 6. С. 25–37.
- Седиментология. 1980. М.: Недра. 338 с.
- Уилсон Дж.Л. 1980. Карбонатные фации в геологической истории. М.: Недра. 24 с.
- Шлегель Г. 1987. Основы микробиологии. М.: Мир. 566 с.

ДИНОЦИСТЫ ИЗ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НА Р. АЙЮВА (БАССЕЙН Р. ПЕЧОРА, РУССКАЯ ПЛАТФОРМА)

Л.А. Селькова

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, laselkova@geo.komisc.ru

DINOCYSTS FROM UPPER JURASSIC DEPOSITS AT THE AIYUVA RIVER (PECHORA RIVER BASIN, RUSSIAN PLATFORM)

L.A. Selkova

Institute of geology of Komi SC of UB RAS, Syktyvkar, laselkova@geo.komisc.ru

Детальные исследования палинологических образцов из морских толщ верхней юры севера Русской платформы показывают, что в них, кроме спор и пыльцы наземных растений, содержатся остатки микрофитопланктона (цисты динофлагеллат, акритархи, прازیнофиты), микрофораминиферы. Первые диноцисты были обнаружены в юрских отложениях на Русской платформе (Возженникова, 1967; Кочетова, Мейксон, 1976). В настоящее время ископаемые диноцисты широко используются для расчленения и корреляции мезозойских морских отложений.

Айювинское обнажение расположено в трех километрах ниже по течению от д. Керки на левом берегу р. Айюва (бассейн р. Печора). Первые краткие данные о палинологических исследованиях отложений верхней юры из данного обнажения приведены в более ранних работах (Льюров, Селькова, 2008; Селькова и др., 2009; Selkova, Lyugov, 2010). В настоящей работе дана более полная палинологическая характеристика этого разреза. Техническая подготовка образцов на палинологический анализ проводилась по общепринятой методике обработки соляной, плавиковой кислотами, пирофосфатом натрия, азотной кислотой. С помощью центрифугирования в тяжелой кадмиевой жидкости проводилось разделение на органическую и минеральную фракцию. Все пробы содержали большее или меньшее количество микрофитофоссилий. Весь фактический материал был подвергнут комплексному палинологическому анализу, включающему изучение диноцист, прازیнофитов, акритарх, спор и пыльцы наземных растений. В некоторых образцах отмечалось присутствие микрофораминифер (остатки мелких фораминифер). Основное внимание уделялось определению систематического состава диноцист, распределению стратиграфически важных таксонов по разрезу. Все это позволило выделить три комплекса, характеризующих кимериджские и волжские отложения.

Описание разреза дается от уреза воды.

Слой 1. Глина алевролитистая, серая, светло-серая с легким зеленоватым оттенком, карбонатная, не пластичная, с раковинным детритом, фауной белемнитов, двустворок и неопределимыми пиритизированными ядрами раковин аммонитов. В верхней части с зернами глауконита. Контакт с вышележащим слоем четкий. Мощность слоя около 1.0 м.

В комплексе в данном комплексе содержится большое количество диноцист, среди которых наиболее многочисленными представителями рода *Gonyaulacysta*. Это различные *Gonyaulacysta jurassica* (Defl.) Nor. et Sarj. subsp. *adecta* Sarj., *G. jurassica* (Defl.) Nor. et Sarj. subsp. *jurassica*, *G. jurassica* (Defl.) Nor. et Sarj. subsp. *adecta* Sarj. var. *longicornis* Defl., *G. eisenackii* (Defl.) Gorka, *Gonyaulacysta* sp. Многочисленными представителями *Rhynchodiniopsis cladophora* (Defl.), *R. martonense* Bailey et al., *Rhynchodiniopsis* sp., *Ctenidodinium combazii* Dupin, *C. continuum* Gocht, *C. ornatum* (Eis.) Defl. Характерно наличие большого количества *Endoscrinium galeritum* (Defl.) Vozz. Кроме перечисленных в комплексе присутствуют *Dichadogonyaulax* sp., *Paragonyaulacysta* sp., *Dingodinium* sp., *Lithodinia* sp., *Fromea amphora* Cook. et Eis., *Fromea* sp., *Pareodinea ceratophora* Defl., *Heslertonia* sp., *Crussolia* sp., *Kalyptea* sp., *Chytroeisphaeridia* sp., *Tubotuberella rhombiformis* Vozz., *Chlamydophorella* sp., *Circulodinium* sp., *Cleistosphaeridium* sp., *Prolixosphaeridium* sp., *Oligosphaeridium* sp., *Hystrichosphaeridium* sp. Отмечается наличие единичных *Sirmiodinium grossii* Alb., *Trichodinium scarburghensis* (Sarj.) Will. et al., *Scriniodinium crystallinum* (Defl.) Klem. Из акритарх встречаются редкие *Micrhystrydium* sp.

Миоспоры обнаружены в небольшом количестве. Среди них встречаются единичные споры папоротникообразных и плауновидных: *Cyathidites australis* Coup., *C. triangularis* Rom., *Gleicheniidites laetus* (Bolch.), *G. senonicus* Ross, *Lycopodiumsporites subrotundum* (К.-М.), пыльца хвойных: *Pinuspollenites pernobilis* (Bolch.), *Podocarpidites major* (Naum.), *P. multesimus* (Bolch.), *Sciadopityspollenites mesozoicus* Coup., *Classopollis classoides* Pflug, *C. minor* Coup.

В палинологическом материале обнаружено небольшое количество микрофораминифер.

Слой 2–3. Глина темно-серая, карбонатная, менее алевритистая, чем в нижележащем слое. Встречаются многочисленные обломки ростров белемнитов, фрагменты и целые раковины двустворчатых моллюсков. Примерно в 0.6 м от подошвы слоя глина постепенно переходит в мергель, светло-серый, плотный, крепкий, без фауны. Мощность слоя 1.3 м.

II комплекс. По сравнению с выше описанным, здесь резко уменьшается количество представителей р. *Gonyaulacysta*. Находки их единичны. По-прежнему многочисленны *Ctenidodinium combazii* Dupin, *C. continuum* Gocht, *C. ornatum* (Eis.) Defl. В небольших количествах присутствуют *Rhynchodiniopsis cladophora* (Defl.), *R. martonense* Bailey et al., *Rhynchodiniopsis* sp. Постоянны *Sirmiodinium grossii* Alb., и количество их резко увеличивается вверх по разрезу. Исчезают *Endoscrinium galeritum* (Defl.) Vozz., *Trichodinium scarburghensis* (Sarj.) Will. et al. Отмечается появление *Cribroperidinium* sp. Также в комплексе наблюдаются *Dichadogonyaulax* sp., *Paragonyaulacysta* sp., *Leptodinium* sp., *Lithodinia* sp., *Dingodinium* sp., *Crussolia* sp., *Fromea amphora* Cook. et Eis., *Fromea* sp., *Pareodinea ceratophora* Defl., *Kalyptea* sp., *Chytroeisphaeridia* sp., *Heslertonia* sp., *Tubotuberella rhombiformis* Vozz., *Scriniodinium crystallinum* (Defl.) Klem., *Chlamydophorella* sp., *Cleistosphaeridium* sp., *Prolixosphaeridium* sp., *Circulodinium* sp., *Oligosphaeridium* sp., *Hystrichosphaeridium* sp. Единичны *Micrhystrydium* sp., *Palambages* sp. Постоянно встречаются микрофораминиферы, которые в верхней части слоя становятся более многочисленными.

Споры и пыльца наземных растений представлена единичными *Gleicheniidites senonicus* Ross, *Foveosporites pseudoalveolatus* Coup., *Piceapollenites exilioides* (Bolch.), *P. magnificus* (Pocr.) *P. mesophyticus* (Pocr.), *Piceapollenites variabiliformis* (Mal.), *Podocarpidites major* (Naum.), *P. unicus*, *Ginkgocycadophytus* sp., *Classopollis classoides* Pflug, *Sciadopityspollenites mesozoicus* Coup.

Слой 4. Глина темно-серая, не пластичная, алевритистая, карбонатная, в верхней части слоя со следами затаскивания углеродистого материала зарывающимися организмами. Фауны почти нет. Контакт с вышележащим слоем четкий. Мощность слоя 0.3 м.

III комплекс. Характерным для комплекса является доминирование *Sirmiodinium grossii* Alb., *Scriniodinium crystallinum* (Defl.) Klem. Часто встречаются *Chlamydophorella* sp. Постоянны *Cribroperidinium* sp., *Dingodinium* sp., *Lithodinia* sp. Кроме них в небольших количествах присутствуют *Rhynchodiniopsis martonense* Bailey et al., *Ctenidodinium ornatum* (Eis.) Defl., *Dichadogonyaulax* sp., *Kalyptea* sp., *Pareodinea ceratophora* Defl., *Leptodinium* sp., *Tubotuberella rhombiformis* Vozz., *Heslertonia* sp., *Chytroeisphaeridia* sp., *Prolixosphaeridium* sp., *Hystrichosphaeridium* sp., *Oligosphaeridium* sp. Единичны *Pterospermella* sp. Значительно количество микрофораминифер.

Из спор и пыльцы присутствуют единичные *Gleicheniidites senonicus* Ross, *Cyathidites australis* Coup., *Osmundacidites jurassicus* (К.-М.), *Classopollis minor* Coup.

Слой 5. Горючий сланец серо-коричневого цвета, крепкий, с тонкими прослоями серых карбонатных алевритистых глин с рострами белемнитов. В сланце много отпечатков аммонитов и двустворок. Мощность слоя 0.8 м.

Из диноцист встречаются единичные *Pareodinia* sp., *Hystrichosphaeridium* sp.

Таким образом, в результате исследований выделено три комплекса. Отличительными признаками I комплекса являются большое количество представителей рода *Gonyaulacysta*, среди которых чаще встречаются *G. jurassica* (Defl.) Nor. et Sarj. subsp. *adecta* Sarj. var. *longicornis* Defl., *G. eisenackii* (Defl.) Gorka., *Rhynchodiniopsis cladophora* (Defl.), значительное участие *Endoscrinium galeritum* (Defl.) Vozz. Все это характерно и для киме-риджского комплекса Русской платформы (Riding, 1999), что дает возможность датировать I комплекс киме-риджским возрастом. II и III комплексы по многочисленным находкам *Sirmiodinium grossii* Alb., *Scriniodinium crystallinum* (Defl.) Klem., по общему составу диноцист близки к комплексу из волжских отложений Русской платформы (Riding, 1999), что позволяет отнести вмещающие их отложения к волжскому ярусу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Возженникова Т.Ф. 1967. Ископаемые перидиней юрских, меловых и палеогеновых отложений СССР. М.: Наука. 224 с.
- Кочетова В.И., Мейксон В.М. 1976. Комплексы перидиней и акритарх мезозойских отложений центральных районов Русской платформы / Новые направления исследований в палеонтологии. Л.: Наука. С. 39–49.
- Лыуров С.В., Селькова Л.А. 2008. Геолого-стратиграфическая характеристика Айювинского месторождения горючих сланцев // Сыктывкар: Геопринт. Вестн. № 12. С. 3–5.
- Селькова Л.А., Лыуров С.В., Бурдельная Н.С., Бушнев Д.А. 2009. Микропалеонтологическая и геохимическая характеристика сланцевосных отложений средневолжского времени на р. Айюва (приток р. Ижмы, бассейн р. Печоры) / Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Мат-лы 3 Всерос. совещ. Саратов: Изд. центр «Наука». С. 213–215.
- Riding J.B., Fedorova V.A., Iljina V.I. 1999. Jurassic and Lowermost Cretaceous dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Russian Platform and Northern Siberia, Russia // Dallas: Publ. AASP Contributions Ser. № 36. 184 p.
- Selkova L., Lyurov S. 2010. Upper Jurassic Oil Shale Deposits of Aijuvva Shale-Bearing basin // Earth Sci. Frontiers. Spec. Iss. Short Papers 8 Intern. Congr. Jurassic System «Marine and non-marine Jurassic». Beijing Univ. Geosci. V. 17. P. 386–387.

РАСТИТЕЛЬНЫЕ ПИГМЕНТЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ КАК ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА В КРУПНОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Л.Е. Сigareва, Н.А. Тимофеева

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, sigareva@ibiw.yaroslavl.ru

PLANT PIGMENTS IN BOTTOM SEDIMENTS AS AN INDICATOR OF PHYTOPLANKTON PRIMARY PRODUCTION IN THE LARGE RESERVOIR

L.E. Sigareva, N.A. Timofeeva

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters of RAS, Borok, sigareva@ibiw.yaroslavl.ru

Современный этап эволюции биосферы характеризуется чрезмерно сильной изменчивостью климата, которая затрудняет оценку температурного тренда (глобальное потепление или похолодание?). В решении этой проблемы полезны методы палеонтологии, на основе которых воссоздаются экологические события, охватывающие изменения биоты и условий жизнедеятельности организмов в прошлом. Особый интерес представляет стратиграфия показателей структуры и функционирования первичных продуцентов органического вещества в донных отложениях разнотипных водоемов, но использование таких данных ограничено недостаточной изученностью принципа неполноты стратиграфической летописи. Для оценки зависимости палеоинформации от реальных природных процессов представляет интерес сравнительный анализ продуктивности водорослей в функционирующей части экосистемы и их остатков в зоне захоронения органического вещества – донных отложениях. Среди палеоальгологических показателей особое место занимают растительные пигменты (Swain, 1985; Punning, Leebena, 2003; Szymczak-Żyła, Kowalewska, 2009; Reuss et al., 2010), для изучения которых в настоящее время применяются биохимические, физиологические и молекулярно-генетические методы. Однако, высокая стоимость новых технологий пока ограничивает их широкое распространение и в то же время является причиной, стимулирующей поиск возможностей использования традиционного спектрофотометрического метода (Sigareva, Timofeeva, 2011; Сigareва, 2012). Цель работы – оценить соотношение (и факторы его определяющие) между концентрацией пигментов в донных отложениях и показателями продуктивности фитопланктона в крупном пресноводном водоеме на примере Рыбинского водохранилища.

Рыбинское водохранилище (четвертое в каскаде водохранилищ на Волге, начало наполнения – 1941 г., площадь при НПУ – 4550 км², объем – 25.4 км³, средняя глубина – 5.6 м, водообмен – 2 раза в год) – один из немногих крупных, но неглубоких водоемов, на которых проводится экологический мониторинг. Для водохранилища характерны значительные колебания уровня и отсутствие продолжительной температурной стратификации. Первичная продукция водохранилища создается в основном за счет фитопланктона. В основной акватории – озеровидном Главном плесе (при прозрачности воды от 1.0 до 1.7 м) средняя за безледный период регулярных наблюдений в 1969–1995 гг. концентрация хлорофилла варьировала в пределах величин, типичных для мезотрофных (3.4 мкг/л) и эвтрофных вод (19.2 мкг/л); рассчитанная по математической модели интенсивность первичной продукции фитопланктона в этот же период изменялась от 187 до 414 г О₂ (м²/год) (Пырина и др., 2006). Сглаживание средних за безледный период величин с 7-летним периодом осреднения показало наличие цикличности, как в многолетней динамике содержания хлорофилла, так и первичной продукции фитопланктона (Пырина и др., 2006). Содержание углерода в донных отложениях 4.7% при скорости аккумуляции 47 г/(м²год) (Законнов, 1993). Изучение растительных пигментов в донных отложениях водохранилища начато в 1993 г. и продолжается до настоящего времени на станциях регулярных и эпизодических наблюдений спектрофотометрическим методом в общем экстракте. Несмотря на ряд недостатков, этот метод до сих пор находит широкое применение, поскольку пригоден для получения большого массива данных.

Анализ и обобщение результатов показали, что в целом между концентрациями пигментов в донных отложениях и показателями продуктивности фитопланктона водохранилища существует положительная зависимость, но соотношения между сравниваемыми показателями, как и исходные их характеристики, различаются существенно в пространственно-временном аспекте. Концентрации хлорофилла в водной толще варьируют в основном за счет временной (сезонной) динамики водорослей, а в донных отложениях – за счет неоднородности условий по акватории для седиментации взвеси. Неоднородность распределения пигментов в отложениях водохранилища – не случайное, а характерное явление, повторяющееся в разные годы. Концентрации осадочного хлорофилла, представленного в основном дериватами, на глубоких станциях (6–14 м) различаются более, чем в 100 раз и связаны с типом грунта: минимальное содержание пигментов характерно для песчаных отложений, максимальное – для илистых (рис. 1).

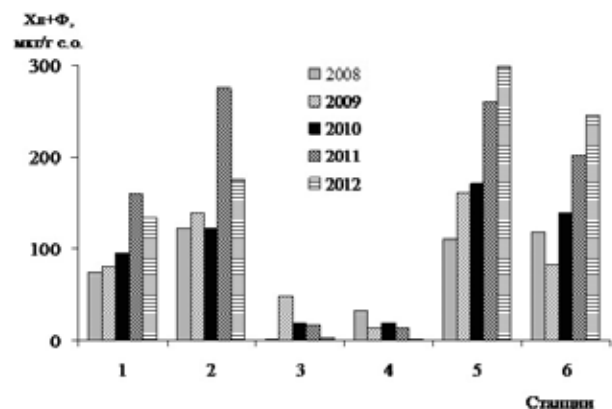


Рис. 1. Средняя за безледный период концентрация хлорофилла (с феопигментами) в верхнем слое (0–2.5 см) донных отложений на глубоких участках Рыбинского водохранилища с илистыми (ст. 1, 2, 5, 6) и песчаными (ст. 3, 4) грунтами в 2008–2012 гг. 1 – Коприно, 2 – Молога, 3 – Наволоч, 4 – Измайлово, 5 – Средний Двор, 6 – Брейтово.

Наличие в глубоководных зонах водохранилища донных отложений, обедненных растительными пигментами (ст. 3 и 4), обусловлено интенсивной гидродинамической активностью и ветровым перемешиванием водных масс, что приводит к вымыванию органического вещества из осадков. Связь пигментов с типом грунта подтверждается высокими коэффициентами корреляции их концентраций с типологическими свойствами донных отложений – содержанием органического вещества и влажностью.

В зонах илонакопления выявлены черты сходства в изменениях концентрации седиментационных растительных пигментов и продуктивности фитопланктона: во-первых, в распределении пигментов по вертикальному профилю кернов можно отметить циклический характер, как и в многолетней динамике среднегодовых концентраций хлорофилла *a* в планктоне; во-вторых, концентрации осадочных пигментов в кернах, как и в планктоне, относятся ко всей трофической шкале, но преобладают величины мезо- и эвтрофной категории.

Один из факторов связи между характеристиками водного и донного ярусов – скорость осадконакопления, но подтвердить это количественно на Рыбинском водохранилище удалось только по осредненным данным для водоема с учетом структуры грунтового комплекса. Соотношение между концентрациями хлорофилла в воде и отложениях варьирует в широком диапазоне величин, однако, отношение средней за безледный период концентрации хлорофилла в воде к таковой в среднегодовом слое донных отложений сопоставимо со средней скоростью осадконакопления, установленной по результатам грунтовых съемок, выполненных В.В. Законновым (Законнов, 2007).

Концентрация органического вещества, соответствующая содержанию пигментов в верхнем слое донных отложений в Рыбинском водохранилище варьирует от 0.1 до 31.8 % первичной продукции фитопланктона, если использовать для расчетов среднюю скорость осадконакопления для глубин на станциях, концентрацию пигментов в среднегодовом слое, интенсивность первичной продукции в период 1969–1995 гг. (табл. 1).

Таблица 1. Оценка соотношения концентрации хлорофилла (с феопигментами) в донных отложениях (С/ПП) с интенсивностью первичной продукции фитопланктона (ПП) на станциях Рыбинского водохранилища.

Станция	Год	Скорость осадконакопления, мм/год	Хл+Ф, мг/(м ² год)	С, г/(м ² год)	С/ПП, %		
					I	II	III
Коприно	1993	6.6	355.1	12.2	21.7	9.7	15.5
То же	2008	6.6	165	5.7	10.1	4.5	7.2
То же	2009	6.6	152.5	5.2	9.3	4.2	6.7
Молога	1993	6.6	520.7	17.9	31.8	14.3	22.7
То же	2008	6.6	247.5	8.5	15.1	6.8	10.8
То же	2009	6.6	258.7	8.9	15.8	7.1	11.3
Наволоч	1993	2.5	39.5	1.4	2.4	1.1	1.7
То же	2008	2.2	4.62	0.2	0.3	0.1	0.2
То же	2009	2.2	29.9	1	1.8	0.8	1.3
Измайлово	1993	2.2	19.4	0.7	1.2	0.5	0.8
То же	2008	2.2	17.6	0.6	1.1	0.4	0.8
То же	2009	2.2	14.7	0.5	0.9	0.4	0.6
Средний Двор	1993	2.5	106.3	3.6	6.5	2.9	4.6
То же	2008	2.5	50.8	1.7	3.1	1.4	2.2
То же	2009	2.5	56.8	2	3.5	1.6	2.5
Брейтово	1993	6.6	286.4	9.8	17.5	7.8	12.5
То же	2008	6.6	223.1	7.7	13.6	6.2	9.7
То же	2009	6.6	169.6	5.8	10.4	4.7	7.4

Примечание: ссылки на использованные данные и способ расчета приведены в работе (Сигарева, 2012); I, II, III – расчет от первичной продукции, соответственно, минимальной, максимальной и от таковой в 1993 г. (по: Пырина и др., 2006).

Среднее для водохранилища соотношение между осадочными пигментами и первичной продукцией, рассчитанное с учетом площадей грунтов разного типа, составляет 0.5 %. Значения этого показателя для других волжских водохранилищ тоже не превышают 1 %. Экологический смысл этих величин можно интерпретировать следующим образом. Содержание сохраняющихся в донных отложениях растительных пигментов соответствует сравнительно небольшому количеству органического вещества водорослей, которое образовалось в планктоне при фотосинтезе. Преобладание дериватов хлорофилла в отложениях (до 90–95 %) свидетельствует о высокой степени трансформации пигментов и, следовательно, об эффективном функционировании первичного звена в водоемах.

Значения исследуемого соотношения ниже коэффициента фоссиллизации, который характеризует отношение общего органического вещества в годовом слое донных отложений к первичной продукции в пресноводных водоемах, но весьма близки к средней величине для Мирового океана, а также для биосферы в целом (Максимова, 2004; Романкевич и др., 2009; Мартынова, 2010). Причины различий в геоморфологических особенностях водных экосистем, а также в составе, концентрации и происхождении органического вещества, выбывающего из биотического круговорота и захоранивающегося в донных отложениях.

Таким образом, соотношение между продукционными характеристиками водорослей в водной толще и верхнем слое донных отложений варьирует в широких пределах величин, зависящих как от биотических,

так и абиотических факторов при доминировании последних. Отсутствие тесной корреляции между показателями продукционных свойств водного и донного ярусов экосистемы следует учитывать при объяснении принципа неполноты стратиграфической летописи. Полученные результаты могут быть использованы в палеогеографии, палеоклиматологии, палеоэкологии. Количество альгологической информации увеличится, а ее качество улучшится при внедрении новейших методов определения растительных пигментов, в частности, высокоэффективной жидкостной хроматографии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Законнов В.В. 1993. Аккумуляция биогенных элементов в донных отложениях водохранилищ Волги / Э.С. Бикбулатов (ред.). Органическое вещество донных отложений волжских водохранилищ. Тр. ИБВВ РАН. Вып. 66(69). СПб: Гидрометеоздат. С. 3–16.
- Законнов В.В. 2007. Осадкообразование в водохранилищах волжского каскада. Автореф. дисс. докт. геогр. н. М.: Ин-т географии РАН. 42 с.
- Максимова М.П. 2004. Сравнительная гидрохимия морей / Новые идеи в океанологии. М.: Наука. Т. 1. Физика. Химия. Биология. С. 168–189.
- Мартынова М.В. 2010. Донные отложения как составляющая лимнических экосистем. М.: Наука. 243 с.
- Пырина И.Л., Литвинов А.С., Кучай Л.А. и др. 2006. Многолетние изменения первичной продукции фитопланктона Рыбинского водохранилища в связи с действием климатических факторов / А.Ф. Алимов, В.В. Бульон (ред.). Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. М.: КМК. С. 36–46.
- Романкевич Е.А., Ветров А.А., Пересыткин В.И. 2009. Органическое вещество Мирового океана // Геология и геофизика. Т. 50. № 4. С. 401–411.
- Сigareва Л.Е. 2012. Хлорофилл в донных отложениях волжских водоемов. М.: КМК. 217 с.
- Punning J.-M., Leebena A. 2003. Comparison of sediment and monitoring data: implications for paleomonitoring a small lake // Environmental Monitoring and Assessment. V. 89. P. 1–13.
- Reuss N., Leavitt P.R., Hall R.I. et al. 2010. Development and application of sedimentary pigments for assessing effects of climatic and environmental changes on subarctic lakes in northern Sweden // J. Paleolimnol. V. 43. P. 149–169.
- Sigareva L.E., Timofeeva N.A. 2011. Sedimentary chlorophyll and pheopigments for monitoring of reservoir characterized by exclusively high dynamism of abiotic conditions. Ch. V // H. Le, E. Salcedo (eds). Chlorophyll: Structure, Production and Medicinal Uses. NY.: Nova Science Publisher, Inc. P. 151–176.
- Swain E.B. 1985. Measurement and interpretation of sedimentary pigments // Freshwat. Biol. V. 15. P. 53–75.
- Szymczak-Zyla M., Kowalewska G. 2009. Chloropigments *a* in sediments of the Gulf of Gdansk deposited during the last 4000 years as indicators of eutrophication and climate change // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. V. 284. P. 283–294.

МОРФОГЕНЕЗ ЖИЗНЕННЫХ ФОРМ И ЭКОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОМАТОЛИТОВ

Г.В. Сонин

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, www.g_sonin@mail.ru

LIFE-FORM MORPHOGENESIS AND CLASSIFICATION OF STROMATOLITES BASED ON ITS ECOLOGICAL SPECIALIZATION

G.V. Sonin

Kazan Federal University, Kazan, www.g_sonin@mail.ru

1. Литолого-седиментационные процессы на мелководьях древних бассейнов и гидродинамика среды являются главными факторами, определяющими морфогенез жизненных форм строматолитов. Конституционный или биологически-зависимый морфогенез форм в значительной степени зависит от экологических факторов и формирует адаптированные к среде формы организмов (Алеев, 1986). Проблемы морфогенеза **колониальных** организмов и тем более их **ценотических образований**, какими являются строматолиты, в биологии вообще слабо разработаны. Исключением являются проморфологические исследования В.Н. Беклемишева (Беклемишев, 1964) и А.А. Еленкина (Еленкин, 1907), а также Эдмунда Синнота (Синнот, 1963), некоторые эколого-морфологические наблюдения Н.Н. Яковлева (Яковлев, 1964) и Юджина Шинна над колониальными кораллами (Shinn, 1963).

Среди основных факторов экологического морфогенеза строматолитовых форм мной рассматриваются следующие: фактор абсолютного размера, корреляции роста, полярность форм и физиологические особенности сопряженных реакций карбонатоосаждения в целостных симбиотических колониях либо в цианобактериальных синцианозах (термин Еленкина) или в матах – водорослево-бактериальных ценотических комплексах (Сонин, 1966). Общенаучный или общебиологический принцип Пьера Кюри, например, позволяет понять часто наблюдаемую псевдогексагональность форм у конофитонов, а способность цианофицией к фототаксису объясняет, согласно А.Г. Вологдину, их коническую форму с присущей им зоной смятия в апикальной части. Влияние факторов гидродинамики и осадконакопления на форму строматолитов рассматривались И.Н. Крыловым (Крылов, 1961) и мной при изучении рифельных (похожих на знаки ряби) форм (Сонин, 2007).

2. Вслед за В.П. Масловым я считаю необходимым выделять два уровня организации строматолитовых образований: **ценотический**, к которому принадлежат так называемые литостромы, образуемые целыми ценозами цианофицией и **колониальный**, куда следует относить целостные симбиотические образования надорганизменного уровня, называемые колониями, которые имеют собственные (идиоморфные) формы типа коллений, фоселл, конофитонов, озагий и др. (Маслов, 1960). Отдельно описываются формы облекания – (перифитоновые строматолиты), образующиеся разными перифитоновыми сообществами цианобактерий в

особых экологических условиях на различных субстратах над дном водоема (Сонин, 1964). На затопленных в водоеме ветках и стволах деревьев возникают формы типа Tubistromia и Alterogophyton, повторяющие их сложную форму и несущие отпечатки сучков и коры либо лепидодендронов, либо каламитов (Сонин, 1964). Карбонатные наросты цианобактериального происхождения, образующиеся бентическими сообществами на гальках, именуются Nucleella и Nubecularites. Как отдельные пластовые формы строматолитов описываются рифельные – формы Rifelina, Metarifelina и доскообразные Pitella, похожие на знаки ряби обычных мелководий. Формы Pitella, на мой взгляд, возникают при разделении поросших пленками цианофицией валиков волновой ряби с углублениями между ними, заполненными терригенным материалом.

3. При описании и определении строматолитов предлагается четко разделять ископаемую и прижизненную форму, т. к. только прижизненная форма имеет биологический адаптивный смысл. Ископаемая форма имеет другое содержание и скорее литологический аспект изучения и классификации. На примере кунгурских и позднепермских строматолитов из красноцветных толщ Актюбинского Приуралья мной было показано как: **один и тот же симбиотический цианобактериальный комплекс формирует разные формы строматолитов в различных фациях, а различные комплексы цианобактерий в сходных фациальных условиях образуют сходные формы строматолитов**. Морфологическое сходство форм определяется законом экологической конвергенции и одинаковым гидродинамическим режимом водоема (Сонин, 1971).

4. Экологически и морфологически сходные формы строматолитов автор рассматривает вслед за Юлиусом Пиа (Pia, 1927) как **формы роста** или **жизненные форм (ЖФ) колоний** (Сонин, 1966, 1972) и предлагает их эколого-морфологическую классификацию. Дело в том, что система жизненных форм адекватно отражает все морфологические особенности строматолитов и является основой для построения их естественной классификации аналогичной линнеевской системе видов организмов (Сонин, 1972; Sonin, 1992). Опираясь на эту теоретическую основу и учитывая безразличие палеонтологов-строматолитчиков к выделению прижизненной и ископаемой формы у строматолитов, я рассматриваю «виды и роды» И.Н. Крылова как чисто морфографические искусственные и потому не валидные.

5. Эволюция ЖФ строматолитов шла от простых пленок или матов на дне водоема (типы Irregularia, Gongilina, Rifelina и Stratifera) по пути усложнения и усиления биологического **морфоноза**, творения собственных адаптивных **идиоморфных колониальных форм** (типа Collenia, Gymnosolen, Conophyton, Fossella и др.). Выявление на материале строматолитов действительного характера подобного биологического морфоноза позволяет придать этой классификации эволюционный аспект, аналогичный классификациям растений И.Г. Серебрякова (Серебряков, 1962), Малькольма Ханзена (Hansen, 1956) или Ю.Г. Алеева (Алеев, 1986). Учение о жизненных формах более широко охватывает эволюционный процесс, идущий в живой природе, и поэтому способен адекватно отразить и эволюцию строматолитов, без всяких натяжек и попыток подвести под них линнеевскую систематику с ее бинарной номенклатурой.

6. Стратиграфическое значение имеют как сами ЖФ строматолитов (выступающие как маркирующие горизонты в осадочных толщах фанерозоя и рифея), так и составляющие их водорослево-бактериальные комплексы, выделяемые в микроструктуре строматолитовых слоев. Эти комплексы видов цианофицией, описываемые независимо от строматолитовых форм (Сонин, 1972), анализируются методами обычной биостратиграфии и на их основе формируются списки зональных видов (Сонин, 1998). Спектры ЖФ строматолитов характеризуют богатство фациальной картины стратиграфических подразделений различных рангов и часто являются хорошими индикаторами фаций осадконакопления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алеев Ю.Г. 1986. Экоморфология. Киев: Наукова Думка.
- Беклемышев В.Н. 1964. Основы сравнительной анатомии беспозвоночных. Т. 1. Проморфология. М.: Наука.
- Еленкин А.А. 1907. Орто- и плагитропный рост с биомеханической точки зрения у лишайников и некоторых других споровых // Ботан. журн. СПб. Общ. Ест. 2.
- Крылов И.Н. 1961. Столбчатые ветвящиеся строматолиты рифейских отложений Южного Урала. М.: Наука.
- Маслов В.П. 1960. Строматолиты // М.: Тр. ГИН АН СССР. Вып. 41. 188 с.
- Серебряков И.Г. 1962. Экологическая морфология растений. М.: Высшая Школа.
- Синнот Э. 1963. Морфогенез растений. М.: Иностранная литература.
- Сонин Г.В. 2007. Фациальные условия распространения и экологический морфогенез пермских строматолитов / Верхний палеозой России. Стратиграфия и палеогеография. Мат.-лы Всерос. научн. конф. Казань: Изд. Казанск. ун-та. С. 306–309.
- Сонин Г.В. 1964. Некоторые типы пермских строматолитов и условия их образования / Итог. научн. аспирант. конф. Казань: Изд. Казанск. ун-та. С. 110–113.
- Сонин Г.В. 1966. Экологическая морфология строматолитов / Сб. Науч. аспирант. конф. за 1965 г. Казань: Изд. Казанск. ун-та. С. 28–30.
- Сонин Г.В. 1971. Жизненные формы строматолитов и фации / Сб. тр. молод. ученых г. Казани. Казань: Изд. Обкома ЛКСМ. С. 350–352.
- Сонин Г.В. 1972. Пермские водоросли и строматолиты и их стратиграфическое значение. Дис. канд. геол.-мин. наук. Казань. 188 с.
- Сонин Г.В. 1998. Пермские водоросли Актюбинского Приуралья. Казань: Изд. Казанск. ун-та. 71 с.
- Яковлев Н.Н. 1964. Организм и среда. М.: Наука. С. 42–50.
- Hansen M. 1956. Life form as age indicators. Copenhagen.
- Pia J. 1927. Handbuch der Palaeobotanik / Bd 1.
- Shinn E. 1963. Spur and groove formation on the Florida Reef Tract // J. Sed. Petrol. V. 35. № 2. P. 291–303.
- Sonin G.V. 1992. The Cyanophyta from Permian red-bed deposits of S. Ural and their signification to solving the morphological and classifications problem of stromatolites // Abstr. 29 Intern. Geol. Cong. Kyoto, Japan.

ВОДОРОСЛИ И ЦИАНОБАКТЕРИИ В НЕВЛАНДИЕВОЙ БИОТЕ

О.В. Сосновская

ОАО «Красноярскгеолсъёмка», Красноярск, sosnov51@yandex.ru

ALGAE AND CYANOBACTERIA IN NEWLANDIAN BIOTA

O.V. Sosnovskaya

ОАО «Krasnoyarskgeolsjomka», Krasnoyarsk, sosnov51@yandex.ru

К остаткам водорослей и цианобактерий в невландиевой биоте (НБ) отнесены все представители группы *Saralinskiida* (Сосновская, 2010; Sosnovskaya, 2011) и несколько окаменелостей, встречающихся совместно с ними. Все остатки являются крупномерными, макроскопически видимыми. Элементы их построек, сложенные темным карбонатом, рассматриваются как фоссилизированные (обызвествленные) остатки самих организмов.

Описанные ниже окаменелости встречаются в отложениях венда и широко распространены в Алтае-Саянской складчатой области, а также известны на территории Малого Хингана и Тянь-Шаня.

Группа *Saralinskiida*. В палеонтологической литературе до недавнего времени был известен единственный род саралинскиид – *Saralinskia* Krasn., описанный П.С. Краснопеевой (Краснопеева, 1940) из отложений главстанской свиты Кузнецкого Алатау (бассейн р. Сарала). В ее монографии приведены описания семи видов *Saralinskia*, которые отнесены к «известковым сине-зеленым водорослям». В качестве самостоятельной группы под названием «ячеистые окаменелости» саралинскииды выделены В.А. Шипицыным (Шипицын, 1975). Позднее они получили название *Saralinskiida* (Сосновская, 2010).

В группу объединены ископаемые организмы, которые вели бентосный образ жизни и создали невысокие (до 10–15 см), но протяженные (видимая длина более 3–4 м) постройки пластообразной формы.

Постройки образованы комочковидными (рис. 1, 8) или комочковидными в сочетании с удлинёнными (рис. 2) элементами разной величины, сложенными темным (часто черным) карбонатом кальция и группирующимися (либо нет) в скопления (колонии) разной формы. Увеличения (в мм) указаны на фигурах, цена деления линейки – 1 мм.

Пространство между комочками выполнено осветленным карбонатом. Мелкие изометричные комочки названы **глебами** (*gleba lat.* – комочек, кусочек), а крупные удлиненные элементы – **глебулами** (от *glebula lat.* – комок).

У некоторых саралинскиид скопления-колонии имеют шаровидную или полушаровидную форму. Для таких колоний предложен термин – «**глобулюсы**» (*globulus lat.* – шар, шарик) (рис. 3, 4).

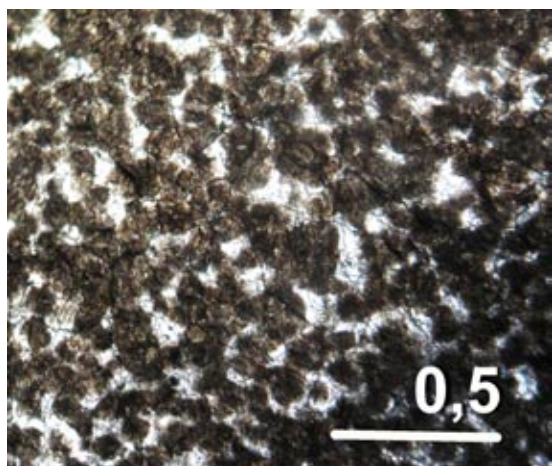


Рис. 1.



Рис. 2.

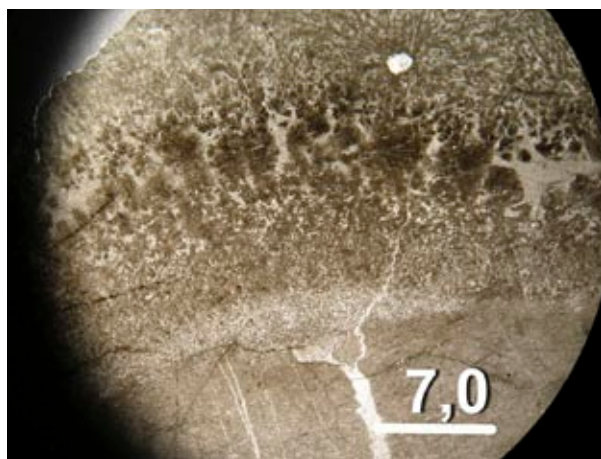


Рис. 3.



Рис. 4.

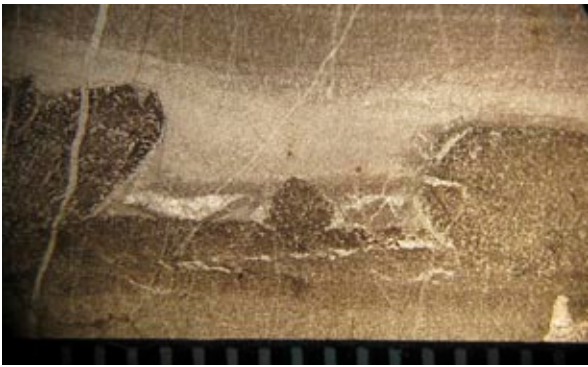


Рис. 5.

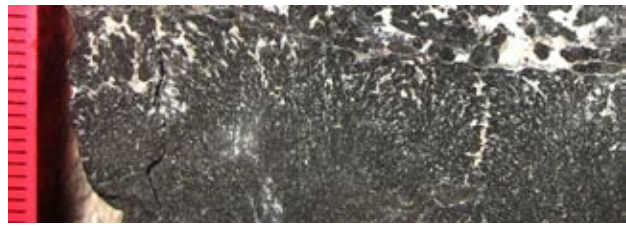


Рис. 6.

Другие саралинскииды создают пластообразные постройки с «выпячиваниями» и сложены плотно упакованными глебами (рис. 5). Форма колоний может быть также кустистой (рис. 6). Встречаются постройки, засыпанные песчаным материалом. При этом не обнаруживается деформации элементов построек, что может свидетельствовать о прижизненном обызвествлении организмов.

Если в постройке имеются и глебы и глебулы, то расположение их в ней и колониях закономерное: первоначально появляются глебы, а вторые их сменяют в процессе роста колонии и постройки в целом. Соответственно этому выделяются две части последних (рис. 2, 3): базальная, внизу, и периферическая – вверху. У других саралинскиид могут присутствовать только глебы, которые распределены более или менее равномерно или, ориентируясь в цепочку, создают радиальные элементы (рис. 7–8).

Форма глеб и глебул различна. Глебы обычно изометричны и имеют диаметр 0.05–0.1 мм. Глебулы чаще удлиненные и напоминают неправильных очертаний столбик с округлыми поперечными сечениями (рис. 2, 3, 9), иногда ветвящийся. Длина их не превышает 1–1.5 см, диаметр достигает 7–8 мм. Часть глебул создается скоплениями плотно расположенных глеб. Поскольку комочки-глебы в отдельных местах не соприкасаются друг с другом, предполагается, что в их постройках присутствовала какая-то связующая субстанция, например, слизь или необызвествляющиеся чехлы.

Саралинскииды рассматривали в составе цианобактерий (Краснопеева, 1940) и возможных губок (Шипицын, 1975). Автор настоящей статьи склоняется к представлению о водорослевой, может быть для некоторых представителей группы и цианобактериальной, их природе. Протяженные пластообразные постройки, покрывающие дно ковром, похожи на цианобактериальные маты или водорослевые поля. Расположенные в ряды глебы напоминают клеточные нити цианобактерий, или слоевища некоторых зеленых и красных водорослей. Вид обызвествления (предполагается полностью весь организм) похож на обызвествление ряда водорослей, например, некоторых эпифитоновых. Нет признаков, указывающих на возможно животное происхождение саралинскиид.

Другие представители НБ. Цианобактериальное или водорослевое происхождение имеют еще несколько представителей НБ:

1. Окаменелость, описанная под названием *Incertadia sera* Sosn., 2010, имеет вид пластообразной постройки с базальной (нижней) и периферической (верхней) частями (рис. 9). Базальная часть представлена мелкими комочками округлых очертаний, которые выше по слою сменяются более крупными комочками-колониями, сложенными неясно выраженными кустисто расположенными нитями (?) темного цвета (рис. 10).

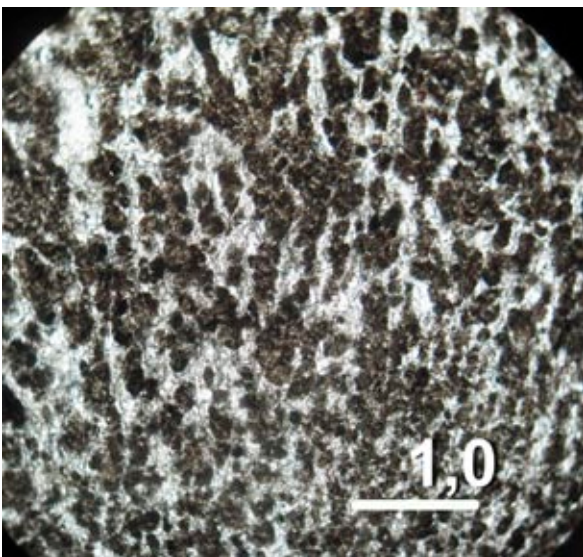


Рис. 7.

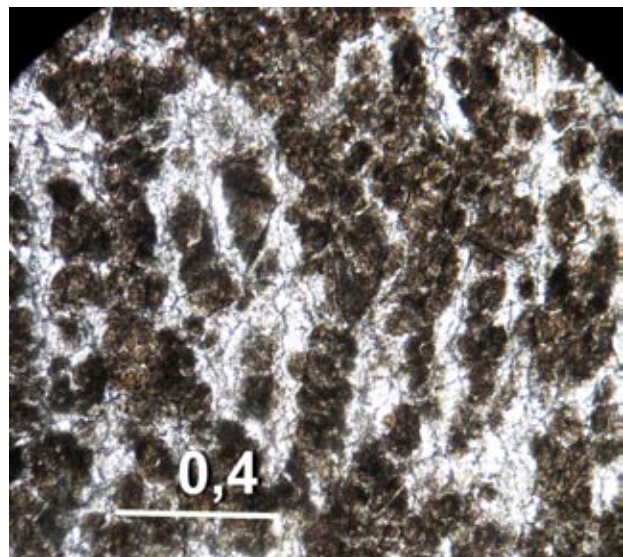


Рис. 8.

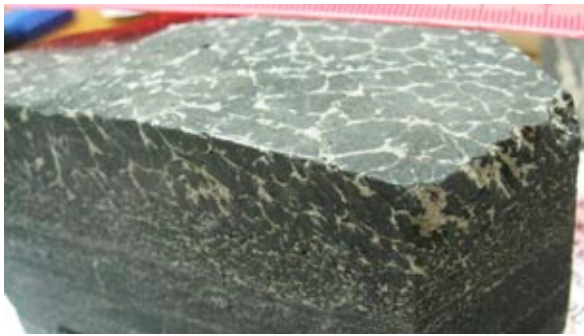


Рис. 9.



Рис. 10.

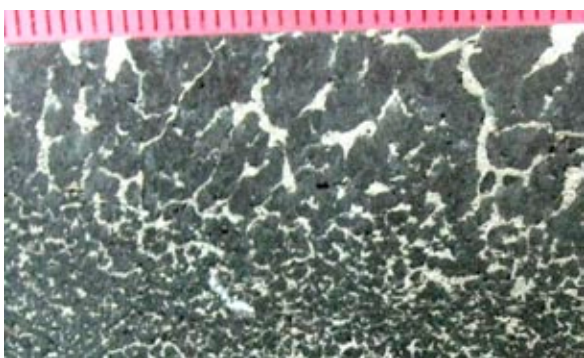


Рис. 11.

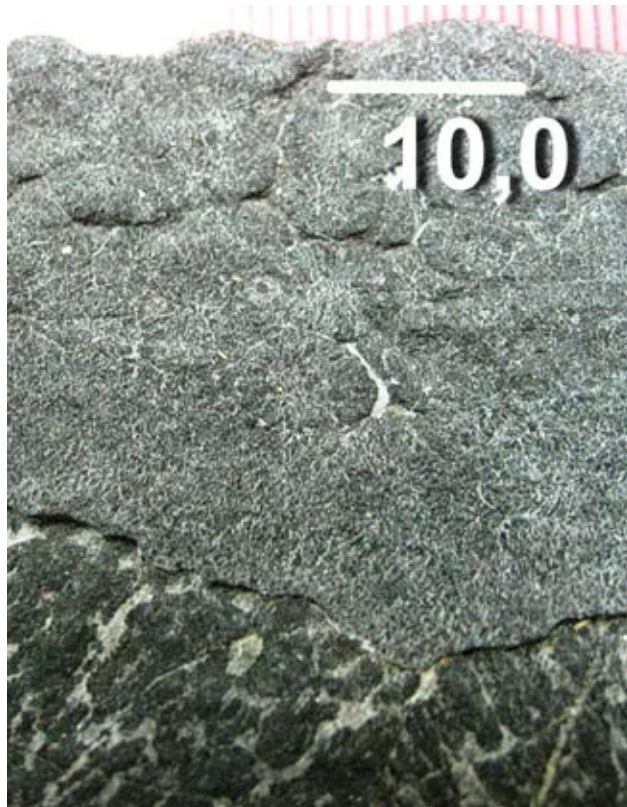


Рис. 12.

Сохранность окаменелости не позволяет детально их изучить. Выше комочки-кустики слипаются и образуют удлиненные столбиковидные элементы с неправильно-округлыми поперечными сечениями (рис. 9, верхняя часть образца). Каждый комочек в центральной части имеет обломок. Среди обломков распознаются фрагменты скелетных организмов, часть которых похожи на спикулы губок (радиолярии?) (рис. 11).

2. Пластообразные скопления сферических колоний, образованных радиально расположенными элементами – нитями (?) (рис. 12).

3. Окаменелости в виде пластообразных построек, созданных неправильными, удлиненными или «мешкообразными» неслоистыми элементами, срастающимися между собой и имеющими однородное строение или сложенными мелкими неясно различимыми комочками (глебами?). Возможно, это колонии цианобактерий (рис. 13).

4. Некоторые юссии (*Iyussia* Sosn., 2011), которые создавали пластообразные постройки из скоплений тел концентрического строения (рис. 14). Концентрические элементы состоят из удлиненных неправильных очертаний образований, сложенных темным карбонатом и имеющих иногда комковатое сложение.



Рис. 13.

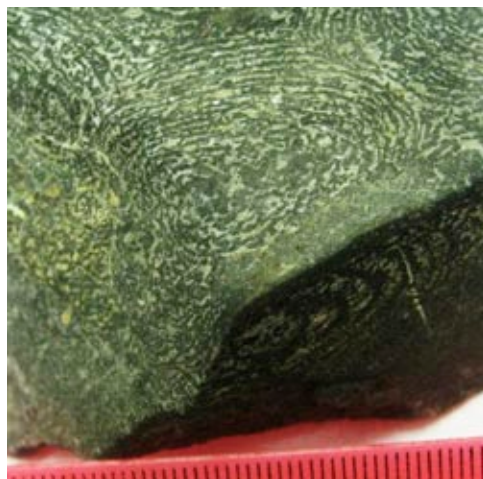


Рис. 14.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Краснопеева П.С. 1940. Альгонская флора и фауна Саралинского района Кузнецкого Алатау / Мат-лы по геологии Красноярского края. № 8. 32 с.
- Сосновская О.В. 2010. Саралинские верхнего протерозоя / Мат-лы конф. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири. Красноярск: ОАО «Красноярскгеолсъемка». С. 9–20.
- Шулицын В.А. 1975. Стратиграфия и палеонтология верхнего протерозоя восточной части Кузнецкого Алатау. Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Томск. 18 с.
- Sosnovskaya O.V. 2011. Newlandian biota of Upper Proterozoic // Neoproterozoic Sedimentary Basins: stratigraphy, geodynamics and petroleum potential. Proc. Intern. Conf. (Novosibirsk, 30 July – 2 August, 2011). Novosibirsk: IPGG SB RAS. P. 87–88.

ЭКОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ АКРИТАРХ ПОЗДНЕГО ДОКЕМБРИЯ

А.М. Станевич¹, Е.Н. Максимова²

¹Институт земной коры СО РАН, Иркутск, stan@crust.irk.ru

²Иркутский государственный педагогический университет, Иркутск, evgen_max@list.ru

BIOECOLOGIC INTERPRETATION OF LATE PRECAMBRIAN ACRITARCHS

A.M. Stanevich¹, E.N. Maksimova²

¹Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk, stan@crust.irk.ru

²The State Pedagogical University, Irkutsk, evgen_max@list.ru

Несмотря на более чем полувековую историю исследований, ассоциации органостенных форм организмов докембрия в своем большинстве представляют собой малоизученные объекты. Палеобиологическое направление, касающееся акритарх, основано на более или менее доказательном сравнении древних форм с современными аналогами (Герман, Подковыров, 2008; Butterfield, 2005; Xiao et al., 2004 и др.). Однако проведенные интерпретации в основном не затрагивают формы, используемые для целей стратиграфии. Очевидно, что большинство крупных акритарх являются формами эукариотных водорослевых или грибных сообществ. Многие из них, относимые к разным родам и подгруппам акритарх, реально могут принадлежать одному систематическому таксону достаточно низкого ранга (роду, виду). Для современных водорослей разных отделов характерна высокая степень полиморфизма, вследствие чего один и тот же вид в ископаемом состоянии может быть представлен морфологически несопоставимыми формами. Наблюдаемые переходные формы между разными таксонами акритарх в благоприятных случаях могут дать косвенные основания для выяснения связей между признаками разных акритарх и, в конечном счете, для создания актуапалеонтологической модели древнего организма. Реально допустимым путем реконструкции филогенетической принадлежности микрофоссилий докембрия следует признать актуаморфологические и актуафункциональные сравнения с современными организмами или с хорошо изученными ископаемыми сообществами фанерозоя. Важным подходом, дающим возможность наметить систематическую принадлежность форм, является экобиологический метод, который учитывает условия метаболизма крупных таксонов растительного мира. Эти критерии позволили наметить палеобиологическую принадлежность нескольких групп и родов акритарх на основе изучения ассоциаций форм позднего докембрия юга и севера Сибирской платформы (Станевич и др., 2006, 2009).

К вопросу об экобиологической природе основных типов акритарх, следует коснуться несостоятельности одного устоявшегося мнения. Как микрофитологами, так и специалистами, объясняющими природу металлофильной органики, считалось, что органогенные слои алевропелитов в докембрии формируются исключительно планктоном. Но, последний в современных водоемах, на которые в основном и ориентируются исследователи, представлен преимущественно организмами не известными в докембрии (Вассер и др., 1989). И даже в мезозойских высокоуглеродистых отложениях роль планктонного ОВ является незначительной (Занин и др., 2008), что подтверждает заключение, что всего несколько процентов фитопланктона сохраняются при погружении ниже 300 м (Jannasch, 1985). Вместе с тем, имеющиеся сведения о палеобиоценозах позднего докембрия и анализ вероятных обстановок осадконакопления (Обстановки..., 1990 и др.) позволяют представить разные условия не только жизнедеятельности, но и захоронения форм разных групп организмов. Формы бентосных водорослей литорали и сублиторали захоронялись преимущественно на участках своего обитания. Но их остатки, как и остатки планктона, легко переносились на разные расстояния и отлагались в тонкотерригенных фациях, участвуя в формировании углеродсодержащих осадков.

Наиболее однозначную экобиологическую характеристику в докембрии имеют минерализованные фототрофные цианобактерии из строматолитовых построек, которые обычно приурочены к узкоразвитой субаэральной фации органогенных карбонатов. В подавляющем большинстве их формы редко сохраняются в синседиментационных темных кремнях карбонатов. Но само наличие строматолитовых и микрофитолитовых построек говорит о доминировании в этих осадках цианобактериальных сообществ, представители которых, кроме бентосного существования, вели и планктонный образ жизни (Сергеев, 1992). Из отложений внутреннего и среднего шельфа (рр. Лена, Бол. Патом, Бол. Чуя и др.) известны остатки строматолитообразующих цианобактериальных сообществ. В более глубоководных фациях преобладают микроорганизмы преимущественно иной природы (Станевич и др., 2006). В препаратах и шлифах из углеродистых алевропелитов валухтинской

свиты, в элементарных слоях (0.5–2 мм), в массе наблюдаются остатки клеток, их округлых агрегатов и почкующихся форм в различных стадиях развития (до 25 % от площади шлифа). Автохтонный характер этой ассоциации подчеркивается почти полным отсутствием других морфологических групп. Разновидности с коккоидной структурой относятся к *Bavlinella faveolata* Scher. или к *B. variabilis* (Moogm.) (Станевич и др., 2006). Установлено, что *Bavlinella* Scher. представляли собой микроколонии анаэробных сульфатредуцирующих серных бактерий бентосного обитания. Структуры *Bavlinella* участвуют в строении ряда форм, отнесенных к другим бактериям и к водорослям, что обусловило введение понятия «междуродового таксона» (Станевич и др., 2006). По нахождению таких форм в более мелководных отложениях, предполагается, что здесь мы имеем дело с посмертным (или симбиотическим) замещением протопласта клеток более продвинутых организмов агрегатами бактериальных форм.

Схожесть кристаллов орторомбической модификации серы и форм *Octaedrixium* Rud. позволяет предположить модель формирования последних в процессе накопления серы аэробными хемолитотрофными бактериями (Шлегель, 1987). В осадке с контрастным сочетанием восстановительных и окислительных условий, сера при окислении накапливается в клетках аэробных серных бактерий, постепенно переходя в кристаллическую форму. При прекращении жизнедеятельности и фоссилизации, оболочка клетки формируется в соответствии с очертаниями растущего кристалла. В диагенезе сера трансформируется в свою моноклинную модификацию и диффундирует из оболочки. Сходная обстановка может возникать в переотложенных терригенных фациях литорали и внутренней сублиторали при хемобиогенном карбонатонакоплении, откуда и известно большинство находок *Octaedrixium*.

Dictyotidium minor Stan. из ченчинской свиты (Станевич и др., 2006) по строению схож с ценобиальными колониями зеленых водорослей *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh. (Вассер и др., 1989; Algae, 1995). Многогранные пустоты, определяющие строение форм *D. minor*, как и у последних, вмещали вегетативные клетки. Внутриклеточные выступы являлись, по-видимому, полимерными выростами клеточной оболочки, разделяющими зооспоры (Algae, 1995). В подобных «микробиотах» из отложений внутренней сублиторали совместно с формами *Dictyotidium*, присутствуют округлые и кубовидные *Tchuja* и *Centrum* Stan., имеющие внутри зональное строение. Оно трактуется как уплотнение защитной слизи и клеточной оболочки митоспор (?) с последующим расслоением на стадии дегидратации. Просмотр массового материала убеждает в вероятном популяционном единстве морфотипов этой микробиоты, характеризующих разные стадии развития предков Chlorococcales. Наличие остатков слизи, пустот и перепончатого строения указывает на планктонный или факультативно планктонный образ жизни. Практически все находки ассоциаций акритарх, сопоставляемых с ценобиальными зелеными водорослями, приурочены к отложениям верхней сублиторали.

Как в позднекембрийских, так и в палеозойских отложениях многих разрезов мира широко развиты листовидные микрофоссилии, описываемые как виды *Leiosphaeridia* Eis., *Chuarina* Walc. и других родов сфероморфных акритарх. В.В. Кирьяновым (Кирьянов, 1986) из нижнекембрийских глин выделены слоевища с прикрепленными сфероморфами, которые морфологически диагностируются, как акритархи родов *Chuarina* Walk., *Leiosphaeridia* Eis., *Nucellosphaeridium* Tim. и др. Они сопоставлены с вегетативным почками или одногнездными спорангиями бурых водорослей. Бурые водоросли являются преимущественно бентосными обитателями фотической зоны шельфа. К ископаемым остаткам этих же водорослей можно отнести и перенесенные крупные тканевые фрагменты слоевищ, встречаемые в алевролитах шельфа. Они нередко соседствуют с массой бентосных (in situ) мелких коккоидных бактериальных (сапрофитных?) форм.

Для биологической интерпретации представляет интерес группа акритарх *Scaphyta eniseica* Tim., *Scaphyta* sp. (ad lib. *Lophosphaeridium* sp.), характерной ладьевидной формы в сплюсненном состоянии и, видимо, при жизни представляющих собой плавающие «чашечки» (Станевич и др., 2009). Среди разнообразных форм ладьевидного и круглого строения, достаточно многочисленными являются экземпляры, имеющие округлые отверстия (*Leiosphaeridia* (?) *kulgunica* Jank.). Была обнаружена структура отверстия (обрамляющие уплотнения), по которой можно предположить ее функциональное значение. Эта структура может быть интерпретирована, как коньюгирующий канал, развивающийся при половом размножении современных зеленых водорослей порядка Desmidiaceales (Menegh.) Pasch. Исходя из сравнения с современными представителями зеленых водорослей, все эти ладьевидные формы, скорее всего, представляют собой прикрепленное к мелководному терригенному осадку сообщество, репродуктивные органы которого в определенный момент развития отрываются и переходят в планктонное или факультативно планктонное состояние в целях расширения ареала сообщества (Станевич и др., 2009). Как в случае с частью форм, относимых к десмидиевым, так и другие акритархи, имеющие лепестковое строение, представляли собой фитопланктон. Под этим понятием также подразумеваются и вероятный факультативный планктон и возможные остатки прибрежного бентоса, оторванные и переносимые в водной толще.

Несомненно, что и *Satka* Jank., *Valeria* Jank. и другие крупные акритархи являются формами эукариотных водорослей. Судя по строению, *Satka* Jank. вероятнее всего, являлись колониальными водорослями. Наличие шаровидных форм типовых представителей *Valeria lophostriata* Jank. и форм с двумя раскрытыми створками, имеющих сходную тонкослоистую структуру указывает, скорее всего, на разные физиологические стадии развития одного организма. Образование форм с раскрывшимися створками можно рассматривать как результат освобождения дочерних клеток из спорангия путем разрыва оболочки на две равные доли. Основу клеточной стенки всех растений, в том числе и водорослей, составляют молекулы целлюлозы,

собранные в сложные пучки – фибриллы, создающие структурный каркас оболочки, что вполне может соответствовать кольцевым структурам *Valeria Jank*. Морфологическая структура и размеры сфероидных форм акритарх, имеющих концентрическую скульптуру, соотносится с разными стадиями развития современных представителей семейства *Chlorellaceae Brunth*. Другие шаровидные формы, с четкими скульптурированными оболочками, отмеченные вместе со слоистыми формами могут также рассматриваться как спорангии зеленых хлорококковых водорослей. Образование скульптурированности, ребристости и прочей орнаментации является результатом подготовки клетки к делению и перенесению неблагоприятных условий среды.

Зеленые водоросли – самый многочисленный отдел водорослей, эволюция которых в водной среде не привела к образованию сложно устроенных и крупных слоевищ с дифференциацией ткани. Это произошло при освоении зелеными водорослями суши и развитии высших слоевищных растений. Считается, что этим фактом они обязаны уникальной клеточной структуре. Например, сверхпрочные стенки клетки хлореллы содержат три уровня, защищая, таким образом, клеточное ядро от воздействий внешних неблагоприятных факторов. При сравнении акритарх с зелеными водорослями, можно предположить, что, вероятно, принципиальные основы защитных функций водорослевых клеток были созданы в начале мезопротерозоя или даже в нижнем протерозое. Подтверждением этому служат находки акритарх родов *Valeria Jank*. в нижнем рифее (Javaux et al., 2003).

Заключая, следует подчеркнуть ясное понимание авторами дискуссионности вышеприведенных сравнений микрофоссилий с таксонами современного растительного мира. Вместе с тем, пока не существует альтернативных интерпретаций, построенных на более доказательном материале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. 1989. Водоросли. Справочник. Киев: Наукова думка. 608 с.
- Герман Е.Н., Подковыров В.Н. 2008. О природе докембрийских микрофоссилий *Arctacellularia* и *Glomovertella* // Палеонтол. журн. Т. 2. № 6. С. 81–88.
- Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Лившиц В.Р., Эдер В.Г. 2008. О роли скелетного и бесскелетного биогенного материала в формировании органического вещества баженовской свиты // Геология и геофизика. Т. 49. № 4. С. 357–366.
- Кирьянов В.В. 1986. К вопросу о природе некоторых раннекембрийских сфероморфных акритарх. Актуальные вопросы современной палеоальгологии. Киев: Наукова думка. С. 40–45.
- Обстановки осадконакопления и фации. В 2-х т. 1990 / Х. Реддинг (ред.). М.: Мир. Т. 1. 352 с. Т. 2. 384 с.
- Сергеев В.Н. 1992. Окремненные микрофоссилии докембрия и кембрия Урала и Средней Азии // М.: Наука. 139 с.
- Станевич А.М., Максимова Е.Н., Корнилова Т.А. и др. 2009. Микрофоссилии арымасской и дебенгдинской свит рифея Оленекского поднятия: возраст и предполагаемая природа // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 17. № 1. С. 23–40.
- Станевич А.М., Немеров В.К., Чатта Е.Н. 2006. Микрофоссилии протерозоя Саяно-Байкальской складчатой области // Обстановки обитания, природа и классификация. Новосибирск: Гео. 204 с.
- Шлегель Г. 1987. Общая микробиология. М.: Мир. 567 с.
- Algae. An introduction to phycology. 1995 / C. van den Hoek, D.G. Mann, H.M. Jahns (eds). Cambridge Univ. Press. 627 p.
- Butterfield N.J. 2005. Probable Proterozoic fungi // Paleobiology. V. 157. № 1. P. 165–182.
- Jannasch H. 1985. The chemosynthetic support of life and the microbial diversity at deep-sea hydrothermal vents // Proc. Roy. Soc. Lond. B. V. 225. P. 277–297.
- Javaux E.J., Knoll A.H., Walter M. 2003. Recognizing and interpreting the fossils of early eukaryotes / Origins of Life and Evolution of the Biosphere. Kluwer Acad. Publ. Netherlands. V. 33. P. 75–94.
- Xiao S., Knoll A.H., Yuan X., Poeschel C.M. 2004. Phosphatized multicellular algae in the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China, and the early evolution of florideophyte // Amer. Journ. Bot. V. 91. № 2. P. 214–227.

БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ МИКРОФОССИЛИЙ ДОКЕМБРИЯ: ОГРАНИЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.М. Станевич

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, stan@crust.irk.ru

BIOSTRATIGRAPHIC VALUE OF PRECAMBRIAN MICROFOSSILS: RESTRICTIONS AND PROSPECTS

A.M. Stanevich

Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk, stan@crust.irk.ru

Основной задачей исследования микрофоссилий (М), начиная с 50-х гг. прошлого столетия, отечественными микрофитологами являлось использование их ассоциаций для корреляции и возрастного обоснования докембрийских отложений. Во многих случаях интерпретация стратиграфического положения спорных толщ по М сводилась к заключению, соответствующему давлению на тот момент взгляду на возраст стратон. Другой негативной стороной становления микрофитологии докембрия стала тенденция к недопущению таксонов, известных на одном стратиграфическом уровне, к их появлению в более древних отложениях. Нередко при получении форм, морфологически идентичных акритархам, известных только в палеозое, первые под давлением микрофитологической «общественности» публиковались под новыми родовыми таксонами. Подобное касается и примеров в соотношении форм М мезопротерозоя и неопротерозоя. И это закладывало базу под существующие сегодня обширные списки синонимов (Fensome, Williams, 1990).

В последние пятнадцать лет в позднем докембрии обнаружено значительное количество новых местонахождений М, содержащих, как известные, так и новые роды и виды. Таксономическое разнообразие и сложное строение органостенных форм, описанных в разрезах не только неопротерозоя (поздний рифей и венд), но и мезопротерозоя (ранний и средний рифей) более определенно обозначило тенденции развития палеобиологического и биостратиграфического направлений в микрофитологии докембрия. В биостратиграфическом направлении усилилась тенденция, допускающая возможность более раннего появления ряда сложнопостроенных М, многим из которых придавалось значение позднерифейских, вендских и даже нижнепалеозойских маркеров (Микрофоссилии..., 1989). Еще в 80-е гг. А.Ф. Вейсом и др. (Вейс, Воробьева, 1993; и др.) на основании находок крупных и достаточно сложных форм в керпильской серии гипостратотипа рифея последняя была сопоставлена с низами каратавской серии позднего рифея стратотипа. Позже ряд достаточно «молодых» форм был описан уже в нижнерифейских отложениях западного склона Анабарского поднятия (Вейс, Воробьева, 1992). Присутствующие в ней крупные водорослевые слоевища *Plicatidium* Jank. и акритархи *Simia* Mikh. et Jank. до недавнего времени были известны преимущественно в верхнем рифее. *Valeria lophostriata* Jank. первоначально была описана из стратотипа верхнего рифея (Микрофоссилии..., 1989) и считалась видом-индексом данной эратемы. Еще раньше *Valeria lophostriata* Jank. была обнаружена в слоях группы Korper нижнего мезопротерозоя Австралии (Javaux et al., 2001). Находки акритарх *Chuarina* Walc. и *Tawuia* Hofm. в дебенгдинской и хайпахской свитах позволили сделать заключение о позднерифейском возрасте этих свит (Vidal et al., 1993). К аналогичному выводу пришел и В.Г. Пятилетов на основе находок акритарх *Chuarina* Walc., *Digitus* Pjat., *Rugosopsis* Tim. et Herm. Однако формы *Chuarina* Walcott известны в отложениях не только половины верхнего, но и в нижнем протерозое (Hofmann, 1994).

В Саяно-Байкальском регионе (СБР) примером «удревнения» возрастного значения акритарх может быть род *Dictyotidium* Eis., emend. Stapl., виды которого хорошо известны и используются для корреляции разрезов палеозоя. Здесь же, формы этого рода были найдены в ченчинской свите неопротерозоя (Станевич и др., 2007). *Dictyotidium* плохой сохранности известны в неопротерозойских толщах других регионов мира, в частности, Шпицбергена с возрастом 700–800 млн. лет (Butterfield et al., 1994). Дополнительно можно указать на акритархи *Bavlinella faveolata* Scher., которым на основании их широкого распространения в венде Восточно-Европейской платформы, придавалось исключительно это возрастное значение (Микрофоссилии..., 1989; Семихатов и др., 1990). Вместе с тем, в СБР формы *Bavlinella* были нами обнаружены в баллаганакском горизонте верхнего рифея, а на Южном Урале в каратавии (Станевич и др., 2012). Одним из подобных примеров являются также акантоморфиты неопротерозоя (Микрофоссилии..., 1989), многие из которых ранее считались только палеозойскими остатками.

Вышеприведенные примеры отчетливо демонстрируют, что для микрофитологии докембрия характерна неоднозначность определения стратиграфического распространения многих форм. Большинство корреляционных построений созданных на основе М в той или иной мере корректировалось при получении новой информации, при этом оказывалось, что большинство форм не подтверждало первоначальные корреляционные выводы. Результаты микрофитологических исследований свидетельствуют о том, что эволюционные новации, как в фанерозойских, так и в докембрийских биотах могут быть выявлены, только с установлением возрастной последовательности биологически родственных морфотипов (Вейс, 1993). Мировой материал, накопленный за 50 лет многоаспектного изучения М показал: 1) сложность и разнообразие форм их существования в докембрийских морях; 2) различную степень перспективности применения их форм в стратиграфии в зависимости от морфологической сложности; 3) существование определенных ограничений для корреляции по формам М.

С точки зрения автора, главное ограничение состоит в учете только уровня появления эмпирически значимых таксонов. Основанием является наличие трех простых аксиом. Во-первых, из анализа множества схем распространения микрофоссилий в разрезах докембрия видно, что, «появляясь» однажды, многие формы обнаруживаются в слоях более молодых фрагментов разрезов. Во-вторых, для остатков микроорганизмов, хорошо сохраняемых при переносе в верхних слоях водной среды, присутствует большая вероятность переотложения их в более молодые толщи. Важность этого положения возрастает при исследованиях в складчатых регионах, где имеет место значительная интенсивность инверсионных тектонических преобразований. Последняя причина использования принципа появления заключается в консерватизме цианофитов, признанных строматолитообразователями и, вероятно, ряда других микроорганизмов, рассматриваемых сегодня в акритархах. Эти обстоятельства подчеркивают необходимость исключения верхнего рубежа их распространения при корреляционной интерпретации. Отсутствие подобного ограничения для М является одной из причин противоречивых выводов о возрасте толщ по данным разных методов и разных исследователей, а также дискуссии о границе среднего и позднего рифея в опорных разрезах Сибири (Решения..., 1983 и др.) Использование этого принципа естественно сужает традиционные взгляды на стратиграфические возможности М докембрия. Но, с другой стороны, такой подход уменьшает вероятность ошибок в спорных случаях корреляции.

Важной, но практически не затрагиваемой, проблемой докембрийской биостратиграфии является пределы использования разных групп органических остатков при корреляции. Предварительное заключение вытекает из ответов на два взаимосвязанных вопроса. Первый – представлена ли данная группа ископаемых биологическими морфотипами, в которых устанавливаются или потенциально могут быть установлены возрастные закономерности трансформации их признаков? При этом, если ориентироваться на прижизненный статус остатков, они должны принадлежать таксономически узкой группе флоры или фауны. Последний

тезис вытекает из анализа использования палеонтологических данных в стратиграфии (Степанов, Месежников, 1979), который показывает, что только в пределах таких групп возможно корректное отражение эволюционных изменений морфотипов. Второй вопрос касается взаимокорректировки результатов биостратиграфического и других методов – согласуются ли статистически значимые изменения признаков, по которым в конечном счете и проведена корреляция, с геологическими построениями и корректными изотопными данными? Сегодня видно, что стратиграфическое значение групп сложностроенных М в значительной мере определяется геохронологическими и изотопными данными. Уринская микробиота пертататаского типа (СБР) была известна с 1983 (Пятилетов, 1983). Но, только тогда, когда стали известны результаты ряда независимых исследований по соотношению $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и по возрасту кластогенных цирконов, появились публикации о эдиакарском возрасте уринской ассоциации акритарх.

Дополнительно можно добавить, что при корреляционной интерпретации микрофитологических данных, видимо, следует учитывать современную тенденцию изменений взглядов на время появления высокоорганизованных представителей эукариот, к которым несомненно принадлежат многие акритархи. Анализ филогенетических отношений таксонов разных доменов в фанерозое и позднем докембрии позволил предположить возникновение первых эукариот еще в нижнем протерозое (Розанов, 2004). Становится ясным, что экспансия эукариотных организмов в неопротерозое является продолжением их долгой истории, начиная с нижнего протерозоя (Семихатов и др., 1999). Еще более радикальными являются данные молекулярной биологии, которые показывают появление многоклеточных животных на уровне среднего рифея а эукариотных организмов с конца позднего архея. Эти и другие находки, совместно с выводами концептуального анализа на эволюцию составляющих морской биосферы в протерозое (Butterfield, 2007), показывают, что аналоги многих сложностроенных М, известных сегодня из отложений неопротерозоя, впоследствии могут быть найдены в гораздо более древних слоях.

Несмотря на приведенные выше доводы, свидетельствующие о далеко неоднозначном возрастном значении большинства докембрийских микрофоссилий, в определенных обстоятельствах они могут служить действенными коррелянтами. Например, когда ассоциации разобщенных, но формационно близких толщ содержат набор однотипных и сложностроенных микрофоссилий, отражающих разные подсистемы родственных палеобиоценозов. При отсутствии других критериев, указанные факторы несомненно имеют приоритет при корреляции. Вышесказанное свидетельствует о далеко недостаточной изученности докембрийских микробиот, которое ограничено только биостратиграфическим направлением. Но, последнее может выступать в своем истинном смысле только при комплексных исследованиях микрофоссилий, включающем обособление ассоциаций форм, где могут быть зафиксированы любые эволюционные изменения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вейс А.Ф. 1993. Органостенные микрофоссилии докембрия – важнейший компонент древней биоты / Проблемы доантропогенной эволюции биосферы. М.: Наука. С. 265–282.
- Вейс А.Ф., Воробьева Н.Г. 1992. Микрофоссилии рифея и венда Анабарского массива // Изв. АН СССР. Сер. геол. № 1. С. 114–130.
- Вейс А.Ф., Воробьева Н.Г. 1993. Микробиоты керпильской серии Сибирского гипостратотипа рифея // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 1. № 1. С. 41–58.
- Микрофоссилии докембрия СССР // Б.С. Соколов. (ред.). Л.: Наука. 1989. 190 с.
- Пятилетов В.Г. 1983. Растительные микрофоссилии уринской свиты (Патомское нагорье) / Стратиграфия позднего докембрия и раннего палеозоя Средней Сибири. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР. С. 115–121.
- Решения Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири. 1983. Новосибирск: СНИИГиМС. 215 с.
- Розанов А.Ю. 2004. Бактериальная палеонтология, седиментогенез и ранние стадии эволюции биосферы // Современные проблемы геологии. М.: Наука. Тр. ГИН РАН. Вып. 565. С. 427–447.
- Семихатов М.А., Раабен М.Е., Сергеев В.Н. и др. 1999. Биотические события и положительная изотопная аномалия карбонатного углерода 2,3–2,06 млрд. лет назад // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 7. № 5. С. 3–27.
- Семихатов М.А., Федонкин М.А., Вейс А.Ф. и др. 1990. Палеонтологический метод в стратиграфии докембрия / Общие вопросы расчленения докембрия СССР. Тез. докл. 2 Всес. совещ. Уфа: Баш. НЦ АН СССР. С. 35–45.
- Станевич А.М., Козлов В.И., Пучков В.Н. и др. 2012. Палеобиоценозы среднего и позднего рифея в стратотипе Южного Урала // Докл. РАН. Т. 446. № 3. С. 313–317.
- Станевич А.М., Чатта Е.Н., Корнилова Т.А., Немеров В.К. 2007. Условия обитания и вероятная природа акритарх из ченчинской свиты позднего рифея // Палеонтол. журн. Т. 41. № 1. С. 1–7.
- Степанов Д.Л., Месежников М.С. 1979. Общая стратиграфия (Принципы и методы стратиграфических исследований). Л.: Недра. 423 с.
- Butterfield N.J. 2007. Macroevolution and macroecology through deep time // *Palaentology*. V. 50. Pt 1. P. 41–55.
- Butterfield N.J., Knoll A.H., Swett K. 1994. Paleobiology of the Neoproterozoic Svanbergfiellet Formation, Spitsbergen // *Fossils and Strata*. 34. 84 p.
- Fensome R.A., Williams G.L. 1990. Acritarchs and fossil prasinophytes: an index to genera, species and infraspecific taxa / Barss et al. (eds). Amer. Ass. Stratigraphic Palynologists. Contributions Ser. № 25. 771 p.
- Hofmann H.J. 1994. Proterozoic carbonaceous compression («metaphytes» and «worms») / Early life on Earth. Nobel Symp. № 84. NY: Columbia Univ. Press. P. 342–357.
- Javaux E.J., Knoll A.H., Walter M.R. 2001. Morphological and ecological complexity in early eukaryotic ecosystems // *Nature*. V. 412. P. 66–69.
- Vidal G., Moczydlowska M., Rudavskaya V. 1993. Biostratigraphical implications of a Chuaria – Tawuia assemblage and associates acritarchs from the Neoproterozoic of Yakutia // *Palaentology*. V. 36. P. 387–402.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФЛОРОГЕНЕЗА ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ МЕЛА И ПАЛЕОГЕНА

Н.И. Стрельникова

Санкт-Петербургский государственный университет, diatomspb@yandex.ru

REGULARITIES OF CRETACEOUS AND PALEOGENE DIATOMS FLOROGENESIS

N.I. Strelnikova

Sankt-Petersburg State University, diatomspb@yandex.ru

В отложениях верхнего мела и палеогена выявлено около 200 родов и более 2000 видов и внутривидовых таксонов диатомовых водорослей. В эволюционном развитии флор диатомей установлено три этапа. Первый этап охватывает позднемеловое и палеоценовое время и характеризуется преимущественным развитием представителей порядка *Biddulphiales*. Второй этап охватывает эоцен-раннеолигоценное время и характеризуется преимущественным развитием представителей порядка *Coscinodiscales*. Третий этап начался в позднеолигоценное время и характеризуется развитием флоры, в которой значительную роль начинает играть порядок *Thalassiosirales* и пеннатные диатомеи.

Среди флор палеогена наиболее разнообразной по числу родов и видов оказалась флора среднего эоцена (109 родов и 576 видов), самой бедной – флора позднего олигоцена (52 рода, 149 видов).

При общей направленности флорогенеза каждая климатическая зона имела некоторые особенности в смене флор, что отразилось на степени специфичности и масштабности изменений состава сравниваемых разновозрастных флор высоких широт северного и южного полушарий и низких широт.

Смена флор сопряжена с глобальными изменениями климата. Изменяющиеся условия существования (падение температур) приводят к вымиранию стенобионтных таксонов, в новых условиях формируется флора нового типа, стабилизация условий обеспечивает увеличение систематического многообразия и расцвет флоры.

СОСТАВ И КОЛИЧЕСТВО ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА РАЗЛИЧНЫХ ВРЕМЕННЫХ ПЕРИОДОВ

О.С. Сутченкова, Е.Ю. Митрофанова

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, olgaklassen@rambler.ru

COMPOSITION AND ABUNDANCE OF DIATOMS IN BOTTOM SEDIMENTS OF LAKE TELETSKOE IN DIFFERENT PERIODS

O.S. Sutchenkova, E.Yu. Mitrofanova

Institute for Water and Environmental Problems of SB RAS, Barnaul, olgaklassen@rambler.ru

Диатомовые водоросли, являющиеся наиболее важной группой пресноводного фитопланктона и почти всегда присутствующие в значительных количествах в большинстве озер (Hutchinson, 1985), образуют характерные экологические комплексы, приуроченные к разным биотопам водоемов и адаптированные к разным экологическим условиям, а именно, степени солености, кислотности, температурному фактору и др. (Дорофеук, 2008). Состав диатомовых водорослей в донных отложениях озер формируется в результате взаимодействия широкого круга абиотических и биотических факторов, среди которых можно выделить: состав и уровень развития диатомей в современном планктоне и бентосе; трансформация состава диатомей фитопланктона в процессе осадения их на дно после прекращения жизнедеятельности, связанная с процессами выедания и растворения створок; перераспределение диатомей планктона и бентоса по акватории под влиянием водно-динамических процессов (Глезер и др., 1974). В итоге комплекс ископаемых диатомей образуется из наиболее стойких к механическому разрушению и противостоящих растворению видов (Давыдова, 1985).

Крупные глубокие озера особенно предпочтительны для палеоэкологических исследований, так как благодаря большому объему, наличию разнообразных биотопов и разнообразию обитающих в них видов диатомовых водорослей, способны накапливать информацию о процессах, происходящих в водоеме и на его водосборном бассейне в результате естественных и антропогенных изменений окружающей среды. Объект наших исследований, Телецкое озеро, относится именно к таким водным объектам. Оно расположено в горах Алтая на юге Западной Сибири (51°31'45"N и 87°42'53"E). Максимальная глубина Телецкого озера составляет 323 м (Selegei et al., 2001). Донные отложения ранее были исследованы в самой глубокой его части, в районе устья р. Корбу, в северной широтной части в районе п. Артыбаш (Скабичевская, 2000), поверхностный слой – по всему озеру. В ходе данного исследования был изучен керн донных отложений с подводного хребта Софьи Лепневой. Хребет находится на стыке широтной и меридиональной частей озера. Вершина его расположена на глубине 91 м (Селегей, Селегей, 1978). Керн общей длиной 1940 мм был отобран гравитационной трубкой в 2006 г. (Калугин, 2009).

В изученном керне донных отложений Телецкого озера с подводного хребта Софьи Лепневой были исследованы поверхностные слои в интервале 0–125 мм и самые нижние в интервале 1815–1940 мм. Приготовление постоянных препаратов диатомовых водорослей и их обработку проводили стандартными методами (Вассер и др., 1989; Глезер и др., 1974). Препараты исследовали с помощью светового микроскопа Nikon

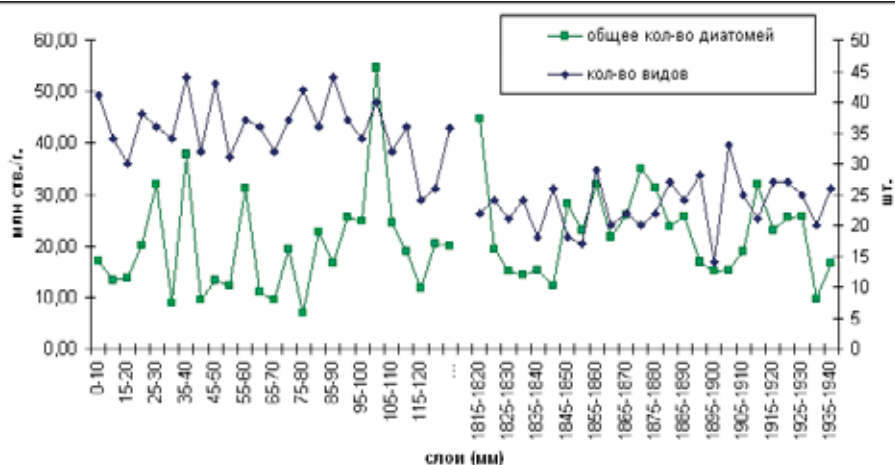


Рис. 1. Количество видов и общее количество диатомовых водорослей в донных отложениях Телецкого озера с подводного хребта Софьи Лепневой.

Eclipse 801 и сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N. При световом микроскопировании в навеске донных отложений и аликвоте суспензии, приготовленной из нее, учитывали все встреченные панцири диатомовых водорослей и делали пересчет количества створок диатомей на 1 г сухого осадка. Для идентификации диатомовых водорослей использовали определители (Забелина и др., 1951) и Атласы (Хуревич, 1989; Hartley, 1996).

Телецкое озеро ввиду большой площади акватории (220 км²), проточности водоема (в озеро впадают 70 постоянных и около 150 временных водотоков, вытекает одна р. Бия) имеет различную скорость осадконакопления на разных участках дна – 0.3–4.0 мм в год (Калугин и др., 2000). Скорость седиментации на вершине подводного хребта Софьи Лепневой, где был отобран исследуемый керн, одна из самых низких по сравнению с этой же величиной на других участках дна озера, и составляет 0.3 мм/год сухого вещества (Калугин, 2009), или 0.45 мм/год с учетом влажности осадка. При такой скорости седиментации верхние исследованные 125 мм керна донных отложений соответствуют временному интервалу 2006–1728 гг. н.э., нижние слои интервала 1815–1940 мм – 2049–2305 гг. до н.э.

В поверхностном слое донных отложений (0–125 мм) выявлено 79 видов диатомей, в разных слоях их число варьировало от 24 до 44 видов. В нижнем интервале керна (1815–1940 мм) отмечено 75 видов, при этом в разных слоях интервала число видов изменялось от 14 до 33 (рис. 1). Вероятно, более разнообразный состав комплекса диатомовых водорослей в верхних слоях керна может быть связан с большей сохранностью видов по сравнению с временным интервалом 2–4 тыс. лет назад.

Количество створок диатомовых водорослей в исследованных интервалах отличается, но незначительно. Содержание диатомовых в поверхностных слоях керна в среднем ниже и составляет 19.81 ± 2.23 млн. ств./г, при этом диапазон значений широкий и отмечен в пределах 6.8–54.7 млн. ств./г, тогда как в нижних слоях керна их средняя численность несколько выше (22.69 ± 1.65 млн. ств./г) при более узком диапазоне значений – 9.72–44.71 млн. ств./г (см. рис. 1). Максимум количества створок в верхних слоях керна соответствует слою 100–105 мм и временному интервалу 1784–1773 гг. н.э., в нижних – 1815–1820 мм и 2027–2038 гг. до н.э., соответственно.

Диатомовые водоросли представлены двумя классами: центрическими и пеннатными. Центрические диатомей и в поверхностных слоях керна, и в нижних слоях донных отложений преобладают количественно, но менее разнообразны по составу. В поверхностном слое из класса центрических диатомей отмечены представители родов *Stephanodiscus* Ehr., *Cyclotella* Kütz., *Aulacoseira* Thw. и *Orthoseira* Thw. В нижних слоях керна виды р. *Stephanodiscus* отсутствуют, при этом появляется вид из рода *Ellerbeckia* Craw. Пеннатные диатомовые водоросли более разнообразны по составу, но при этом количество их створок значительно ниже. В основном они представлены родами *Navicula* Bory, *Cymbella* Ag., *Gomphonema* Ag., *Synedra* Ehr., *Nitzschia* Hass., *Fragilaria* Lyngb. и др. И все они – представители бентоса и обрастаний.

Доля планктонных диатомей в общем количестве диатомовых водорослей в донных отложениях Телецкого озера с подводного хребта Софьи Лепневой составляет 25.3–85.4 % для поверхностных слоев и 79.6–96.6 % – для самых нижних. С увеличением возраста осадков происходит увеличение доли водорослей, ведущих планктонный образ жизни, в общем количестве створок при уменьшении их разнообразия. Некоторые планктонные виды, например *Cyclotella antiqua* Smith. и *C. comta* Kütz., выпадают из состава диатомовых комплексов в нижних слоях. Для бентосных и планкто-бентосных форм диатомовых водорослей в нижних слоях донных отложений характерно как снижение их общего количества, так и видового разнообразия (рис. 2).

Среди диатомовых водорослей по количеству створок в разных слоях исследованного керна выделяется с абсолютным доминированием *Aulacoseira subarctica* Thw., относящаяся по классификации Н.А. Скабичевской к группе северо-альпийских холодолюбивых форм. Доля этого вида в общей численности составляет 16.5–78.9 % в интервале керна от 0 до 125 мм и 66.5–92.1 % – в интервале от 1815 до 1940 мм. К числу содоминантов в поверхностных слоях чаще относятся *Cymbella ventricosa* Ag. (3.1–12.8 %) и *Stephanodiscus*

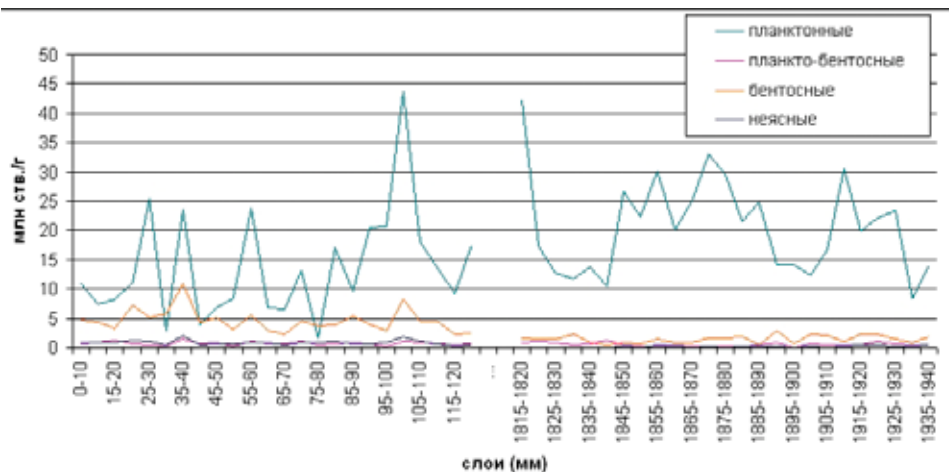


Рис. 2. Количество створок жизненных форм диатомовых водорослей в донных отложениях Телецкого озера с подводного хребта Софьи Лепневой.

alpinus Hust. (3.1–11.1 %), единично *Synedra pulchella* Kütz. (9.9 %) и *Synedra rumpens* Kütz. (6.0 %), в нижней части поверхностных слоев также и *Aulacoseira italica* Craw. (3.7–4.6 %). В нижних слоях исследуемого керна содоминантами являются в основном *Fragilaria pinnata* Ehr. (0.6–4.9 %) или *Cyclotella bodanica* Eulenst. (0.6–3.4 %), редко *Cymbella ventricosa* Ag. (0.62–3.1 %) и *Nitzschia angustata* Grun. (0.62–0.96 %).

При сравнении состава диатомовых водорослей в верхних и нижних интервалах изученного керна с помощью мер включения (Андреев, 1980) выявлено, что состав диатомей из нижележащих слоев на 70 % включен в состав диатомовой флоры поверхностного отрезка керна. А диатомеи из верхних слоев включены в состав нижних на 64 %, т. е. в целом состав современных диатомовых комплексов озера имеет большие черты сходства с тем, который был выявлен для периода 2–4 тыс. лет назад. Некоторые виды найдены только в определенных слоях донных отложений. Так, в поверхностном слое осадков среди представителей холодолюбивых форм встречаются *Cyclotella antiqua* Smith, *Aulacoseira distans* Sim., *Ceratoneis arcus* var. *linearis* f. *Recta* (Skv.) Pr.-Lavrg., *Stauroneis parvula* var. *prominuta* Grun., *Frustulia rhomboides* (Ehr.) D.T., *Cymbella aspera* (Ehr.) Cl. Для нижних слоев отмечено наличие таких видов, как *Synedra gouldii telezkoensis* Poretzky, *Navicula exiqua* (Greg.) Müll, *Cymbella angustata* (W. Sm.) Cl., *Cymbella skvortzowii* Skabitsch.

Таким образом, развитие диатомовых водорослей в озере носит периодический характер, наблюдаются периоды с максимальным развитием диатомей в целом и холодолюбивых северо-альпийских видов в частности, в основном – *Aulacoseira subarctica*, которые приурочены, вероятно, к периодам похолодания. В нижних слоях керна отмечено большее развитие планктонных форм и меньшее – бентосных, что, возможно, свидетельствует о большем значении пелагиальных комплексов диатомей и снижении роли литоральных фитоценозов (низкий уровень воды, пониженный сток с водосборного бассейна и меньшее влияние притоков) в тот период времени.

Работы выполнены при поддержке интеграционного проекта СО РАН № 92 и партнерского проекта фундаментальных исследований СО РАН № 34.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев В.Л. 1980. Классификационные построения в экологии и систематике. М.: Наука. 142 с.
- Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. 1989. Водоросли. Справочник. Киев: Наукова думка. 608 с.
- Глезер З.И., Жузе А.П., Макарова И.В. и др. 1974. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 1. Л.: Наука. 403 с.
- Давыдова Н.Н. 1985. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене. Л.: Наука. 244 с.
- Дорофеюк Н.И. 2008. Реконструкция природных условий Внутренней Азии в позднеледниковье и голоцене (по материалам диатомового и палинологического анализов озерных осадков Монголии). Автореф. дис. докт. биол. наук. М. 49 с.
- Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. 1951. Диатомовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. М.: Советская наука. 620 с.
- Калугин И.А., Дарьин А.В., Бабич В.В. 2009. 3000-летняя реконструкция среднегодовых температур Алтайского региона по литолого-геохимическим индикаторам донных осадков оз. Телецкое // Докл. АН. Т. 426. № 4. С. 520–522.
- Калугин И.А., Селегей В.В., Бобров В.А. и др. 2000. Паводковая периодичность осадконакопления в Телецком озере, обусловленная региональными колебаниями климата на юге Сибири за последние 570 лет / Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Вып. 2. Новосибирск: Ин-т археологии и этнографии. С. 269–268.
- Селегей В.В., Селегей Т.С. 1978. Телецкое озеро. Л.: Гидрометеиздат. 142 с.
- Скабичевская Н.А. 2000. Диатомеи Телецкого озера и климатические реконструкции последнего тысячелетия / Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Вып. 2. Новосибирск: Ин-т археологии и этнографии. С. 428–432.
- Хуревич Г.К. 1989. Атлас видов *Stephanodiscus* и *Cyclostephanos* (Bacillariophyta) из верхне-кайнозойских отложений СССР. Минск: Наука и техника. 167 с.
- Hartley B. 1996. An Atlas of British Diatoms. Biopress Ltd. 601 p.
- Hutchinson G.E. 1967. A treatise on limnology. V. 2. Introduction to lake biology and the Limnoplankton. NY, London. 1115 p.
- Selegei V., Dehandschutter B., Klerks J., Vysotsky A. 2001. Physical and geological environment of Lake Teletskoye // Ann. Sci. Geol. Tervuren, Belgique. V. 105. P. 1–310.

ДЕВОНСКИЕ ПРАЗИНОФИТЫ (CHLOROPHYTA): СИСТЕМАТИКА, МОРФОЛОГИЯ, УЛЬТРАСТРУКТУРА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

О.П. Тельнова

Институт геологии КНЦ УрО РАН, Сыктывкар, telnova@geo.komisc.ru

DEVONIAN PRASINOPHYCEAN ALGAE (CHLOROPHYTA): SYSTEMATICS, MORPHOLOGY, ULTRASTRUCTURE, ENVIRONMENTAL ASPECTS

O.P. Telnova

Institute of Geology KSC of UB RAS, Syktyvkar, telnova@geo.komisc.ru

Наличие фотосинтезирующих пигментов у современных прازیнофитов дает основание относить их к зеленым водорослям (Chlorophyta). Известно, что они имеют две стадии жизненного цикла: подвижную жгутиковую и неподвижную (фикома). Последняя является регулярной частью репродуктивного цикла (Parke, 1966; Hoek et al., 1995; Guy-Ohlson, 1996). Стенка фиком сходна со стенками покоящихся цист других одноклеточных водорослей, но она не является биологическим эквивалентом цист. Для стенки фиком характерны один или два слоя и радиальные каналы, которые заканчиваются у наружной мембраны. Подобная «перфорация» способствует осмотическому обмену с окружающей средой и поступлению питательных веществ. Внутренняя часть стенки пектиновая, наружная состоит из сложного «липидного» вещества (Guy-Ohlson, 1996), устойчива к микробному разложению и поэтому фоссилизуется быстро и хорошо сохраняется в осадке. Размер фиком 100–800 мкм (Hoek et al., 1995). У современных представителей независимо от стадии роста всегда наблюдается тонкая наружная мембрана, под которой видна орнаментация стенки. В ископаемых образцах эта мембрана не сохраняется. Прازیнофиты размножаются путем деления содержимого фиком на многочисленные жгутиковые клетки (зооиды), которые затем выделяются через щель во внешней стенке. Зооиды могут сами размножаться делением. Каждый зооид несет четыре латеральных жгутика. Тело и жгутики покрыты чешуйками различных типов (Guy-Ohlson, 1996). В ископаемом состоянии сохраняется только фикома.

Первые прازیнофиты уже существовали, по-видимому, 2,7–2,8 млрд. л. н. и были широко распространены в нижнем рифее (Тимофеев, 1982; Валенчак, Розанов, Астафьева, 1986 и др.). Достоверно известны эвкариотные организмы в нижнепротерозойских фосфоритах (2,04 млрд. лет) Кольского п-ова. Это *Pechengia melezhiki* Rozanov et Astafieva – бобовидные формы с двухслойной сравнительно толстой стенкой с порами (каналами) и перемычками между стенками, достигающие 130–140 мкм в диаметре, предположительно отнесенные к зеленым водорослям класса Prasinophyceae (Розанов, Астафьева, 2008).

В настоящее время к прازیнофитам предлагается отнести многие таксоны, считавшиеся ранее акритархами – *Protoleiosphaeridium*, *Protosphaeridia*, *Chuarina*, *Polyedryxium*, *Duvernaysphaera*, *Pterospermella* и др. (Guy-Ohlson, 1996).

В девонских отложениях Русской плиты была описана С.Н. Наумовой (1953) пыльца хвойных растений – «*Perisaccus*». Систематика обсуждаемых фоссилий являлась предметом длительных дискуссий. Позже (Тельнова, 1995) виды с гладкой поверхностью переописаны как *Tasmanites domanicus* (Naumova) Telnova (рис. 1, фиг. 1), с «сетчатой» поверхностью – как *Inderites devonicus* (Naumova) Telnova (рис. 2, фиг. 1) и *Inderites reticulatus* (Naumova) Telnova (рис. 3, фиг. 1). Девонские прازیнофиты имеют следующие морфологические признаки: дискообразная форма, отсутствие крупных скульптурных элементов (шипов, выростов и т. д.), наличие разнообразных пор, иногда различимое присутствие пилома, оболочка толстая, иногда смятая в складки, поверхность гладкая или от крупно- до мелкосетчатой, цвет лимонно-желтый до краснова-

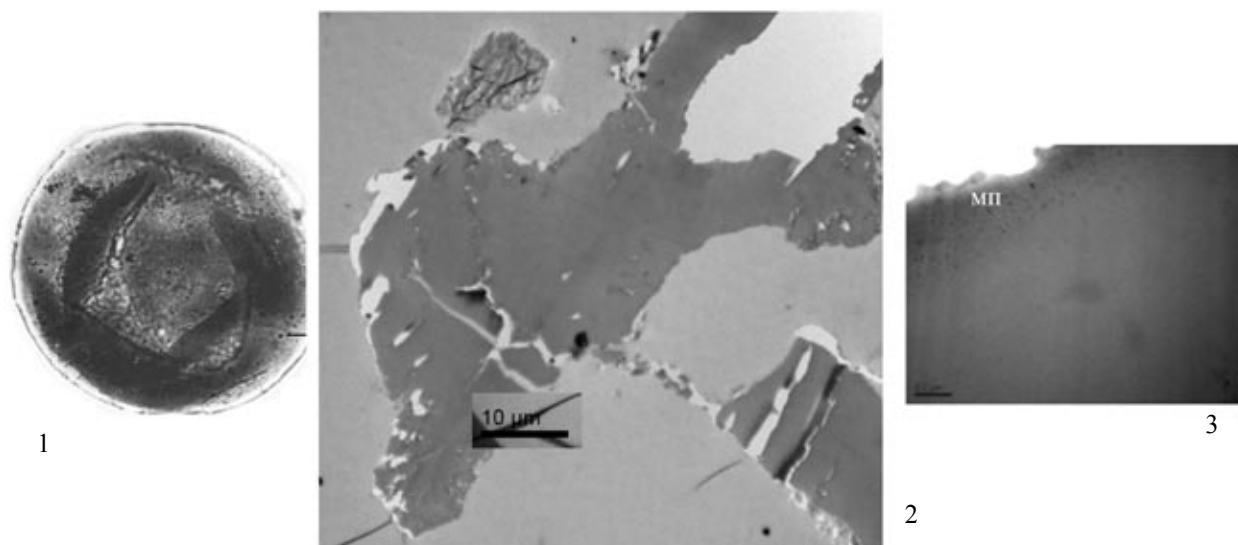


Рис. 1. *Tasmanites domanicus* (Naumova) Telnova: 1 – общий вид в световом микроскопе, х400; 2, 3 – ультратонкие срезы, ТЭМ (мп – микропоры).

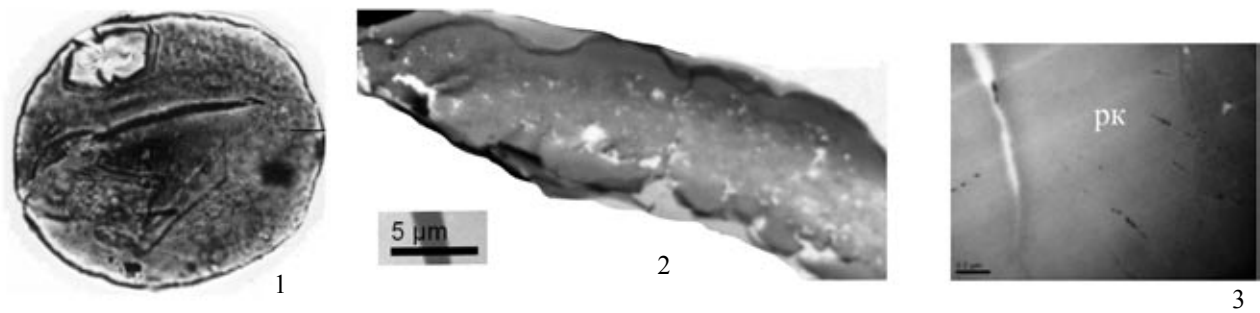


Рис. 2. *Inderites devonicus* (Naumova) Telnova: 1 – общий вид в световом микроскопе, х400; 2, 3 – ультратонкие срезы, ТЭМ (рк – радиальные каналы).

того. Результаты ультраструктурных исследований девонских прازیнофитов подтвердили неоднородность этой группы микрофоссилий (Тельнова, 2012).

Все изученные палеозойские *Tasmanites* (из девонских отложений Тимано-Печорской провинции, Германии, США, Бразилии, пермских Тасмании, силурийских и кембрийских Эстонии) имеют сходные однослойные гомогенные оболочки (Kjellstrom, 1968; Jux, 1977; Talyzina, Moczydtowska, 2000; Moczydtowska, Willman, 2009; Тельнова, 2012, рис. 1, фиг. 2, 3). Описаны радиально расположенные поры, проникающие через однородные стенки этих микрофоссилий. На срезах *T. punctatus* обнаружены микропоры сходные с порами, но гораздо меньшего диаметра и различимые только в ТЭМ (Kjellstrom, 1968). У других видов *Tasmanites* подобные микропоры не наблюдались. Поэтому эти линии (радиальные каналы от микропор) в приповерхностных частях стенки рассматривали как артефакты или эффект биodeградации (Jux, 1977). Ретроспективный анализ исследований палеозойских *Tasmanites* показал, что виды отличаются толщиной оболочки и характером распределения пор. Так, раннекембрийский вид *T. tenellus*, по сравнению с другими видами, имеет относительно тонкую стенку и нерегулярные небольшие поры (Moczydtowska, Willman, 2009; Talyzina, Moczydtowska, 2000). На основании морфологического и ультраструктурного сходства с живыми прازیнофитовыми водорослями *Pachysphaera* (Tappan, 1980; Colbath, 1983; Boalch, Guy, Ohlson, 1992; Hoek et al., 1995) *Tasmanites* отнесены к порядку Pterospermatales, семейству Tasmanitaceae.

Ультратонкое строение *Inderites* (рис. 2, фиг. 2, 3; рис.3, фиг. 2, 3) существенным образом отличается от *Tasmanites* (рис. 1, фиг. 2). Представители рода *Inderites* имеют двухслойные (верхний гомогенный, нижний мелкопористый) оболочки, тонкие радиальные каналы, пронизывающие покровную часть.

Эти каналы аналогичны микропорам, описанным в стенке *T. punctatus* (Kjellstrom, 1968). У *T. domanicus*, даже при очень большом увеличении (х100 000), подобные микроканалы не видны. Однако на некоторых участках наблюдается перфорация поверхности оболочки (рис. 1, фиг. 3). Возможно, отсутствие или присутствие микроканалов в покровной части оболочек объясняется разной ориентацией микрофоссилий при ультрамикротомировании.

Ископаемые прازیнофиты были, по-видимому, такими же космополитами, как и их современные аналоги. Современные прازیнофиты в основном морские, хотя встречаются также в солоновато-водных и пресноводных водоемах. Ископаемые, подобно современным водорослям, обнаружены в осадках океанов, в мелководных лагунах, прибрежных и дельтовых областях. Предполагается, что распространению этой группы зеленых водорослей благоприятствовали низкие температуры и пониженная соленость вод (Guy-Ohlson, 1996). Способность современных представителей к вертикальной миграции (на глубину до 2000 м), дает им возможность занимать часть фотической зоны между мутными придонными и опресненными поверхностными потоками и уходить из-под влияния повышенной гидродинамической активности и резкими сменами температур в прибрежно-морских обстановках. В тропических зонах Атлантического и Индийского океанов современные виды предпочитают заселяют слой воды 60–80 м (Яшнов, 1965).

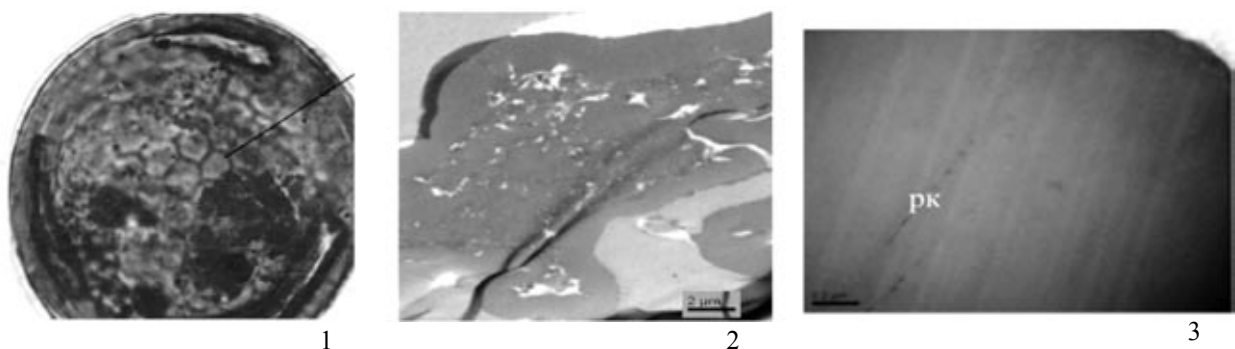


Рис. 3. *Inderites reticulatus* (Naumova) Telnova: 1 – общий вид в световом микроскопе, х400; 2, 3 – ультратонкие срезы, ТЭМ.

В девонских отложениях Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции микрофитопланктон и акритархи представлены: *Leiosphaeridia* Eisenack, *Tasmanites* Newton, *Inderites* Abramova et Marchenko, *Baltisphaeridia* Deffl., *Veryhachium* (Deunf., Down et Sar.), *Micrhystridium* (Stapl.) и др. Установлена зависимость таксономического состава растительных микрофоссилий от типа пород (Тельнова, 1995). Максимальное содержание *Tasmanites* установлено в отложениях доманиковой свиты, сложенной карбонатно-кремнистыми породами: известняками кремнистыми, битуминозными с прослоями коричневатого-серых известковистых аргиллитов и голубовато-серых глин. Доманиковые фации, широко распространенные во франском и фанском времени в пределах Тимано-Печорской провинции, характеризуются сходным органическим составом. В его состав входят: микрофитопланктон, акритархи, зеленоватого-коричневого аморфного органического вещества, фрагменты довольно крупных растительных фоссилий, единичные споры.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-У-5-1043.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Валенчак З., Розанов А.Ю. 1986. Древнейшие эвкарियोты? // Палеонтол. журн. № 4. С. 99–101.
- Наумова С.Н. 1953. Споры-пыльцевые комплексы верхнего девона Русской платформы и их значение для стратиграфии // Тр. ГИН АН СССР. Геол. сер. Вып. 143. № 60. 199 с.
- Розанов А.Ю., Астафьева М.М. 2008. Празинофиты (зеленые водоросли) из нижнего протерозоя Кольского полуострова // Палеонтол. журн. № 4. С. 90–93.
- Тельнова О.П. 1995. Морской фитопланктон из девонских отложений Тимано-Печорской провинции // Экостратиграфия и ископаемые сообщества палеозоя и мезозоя европейского Северо-Востока. Тр. Ин-та геологии КНЦ УрО РАН. Вып. 86. С. 21–40.
- Тельнова О.П. 2012. Морфология и ультраструктура девонских празинофитов (Chlorophyta) // Палеонтол. журн. № 5. С. 1–7.
- Тимофеев Б.В. 1982. Микрофитофоссилии раннего докембрия. Л.: Наука. 128 с.
- Яшинов В.А. 1965. Водные массы и планктон. Океанология. М.: Наука. С. 884–890.
- Boalch G.T., Guy-Ohlson D. 1992. *Tasmanites* Newton – the correct name for *Pachysphaera* Ostenfeld // Taxon. V. 41. P. 529–531.
- Colbath G.K. 1983. Fossil prasinophycean phycmata (Chlorophyta) from the Silurian Bainbridge Formation, Missouri, USA // Phycologia. V. 22. P. 249–265.
- Guy-Ohlson D. 1996. Prasinophycean algae / Palynology: principles and applications. J. Jansonius, D.C. McGregor (eds). AASP Foundation. V. 1. P. 181–189.
- Hoek C., Mann D.G., Jahns H.M. 1995. Algae. An introduction to phycology. Cambridge: Univ. Press. 623 p.
- Jux U. 1977. Über die wandstrukturen sphaeromorpher acritarchen: *Tasmanites* Newton, *Tapajonites* Sommer & Van Boekel, *Chuarina* Walcott // Palaeontogr. Abt. B. Bd 160. S. 1–16.
- Kjellstrom G. 1968. Remarks on the chemistry and ultrastructure of the cell wall of some Palaeozoic leiospheres // Geologiska Foreningens in Stockholm Forhandlingar. V. 90. P. 118–221.
- Moczydtowska M., Willman S. 2009. Ultrastructure of cell walls in ancient microfossils as a proxy to their biological affinities // Precambrian Res. V. 173. P. 27–38.
- Parke M. 1966. The genus *Pachysphaera* (Prasinophyceae). Some contemporary studies in Marine Science. London. P. 555–563.
- Rozanov A.Yu. 2006. Precambrian geobiology // Paleontol. J. V. 40. Suppl. 4. P. S434–S443.
- Talyzina N.M., Moczydtowska M. 2000. Morphological and ultrastructural studies of some acritarchs from the Lower Cambrian Lukati Formation, Estonia // Rev. Palaeobot. Palynol. V. 112. P. 1–21.
- Tappan H. 1980. The paleobiology of plant Protist. W.H. Freeman, San Francisco, California. 1028 p.

ЦИАНОБАКТЕРИИ И ВОДОРОСЛИ ПОГРЕБЕННЫХ ПОЧВ И ИХ СОВРЕМЕННЫХ АНАЛОГОВ

А.Д. Темралева, М.В. Ельцов, В.А. Демкин, Д.Л. Пинский
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пуццино, temraleeva.anna@gmail.com

CYANOBACTERIA AND ALGAE OF BURIAL SOIL AND THEIR MODERN ANALOGUES

A.D. Temraleeva, M.V. Eltsov, V.A. Demkin, D.L. Pinsky
Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of RAS
Pushchino, temraleeva.anna@gmail.com

Впервые проведены альгологические исследования погребенных почв кургана среднесарматского времени (I в. н.э.), расположенного в зоне сухих степей в северной части Ергенинской возвышенности (Волгоградская область). Курган представлял собой грунтовую насыпь высотой около 2 м. Изученный хроноряд, помимо современных каштановой почвы (Д-772) и солонца мелкого (Д-773), представлен каштановой (Д-777) и луговато-каштановой (Д-780) палеопочвами времени сооружения курганной насыпи и солонцом мелким (Д-774), погребенными в краевой части археологического памятника в результате мелиоративной планировки поверхности в 70-х гг. прошлого века. Объектами исследования стали 6 образцов верхнего горизонта (А1) погребенных и фоновых почв, отличающихся по времени погребения, физико-химическим свойствам и типу растительной ассоциации (таблица 1). В целом, изученные палеопочвы имеют среднесуглинистый состав. В почве погребенной около 40 лет назад в результате распашки перекрываемого слоя отмечается накопление карбонатов в гумусовом горизонте, палеопочвы I в. н.э., наряду со сравнительно большей профильной щелочностью, характеризуются накоплением легкорастворимых солей в верхней части профиля.

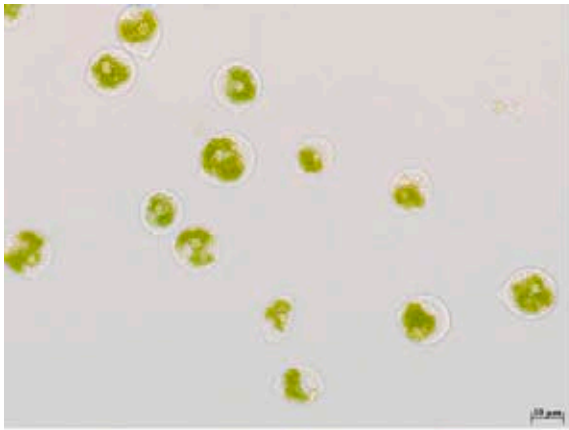
Таблица 1. Характеристика погребенных почв и их современных аналогов.

№	Погребенная почва	Фоновая почва
1	Солонец солончаковатый мелкий, Д-774: время погребения около 40 лет. pH=8.6. Гумус 0.66 %. Сумма солей 0.05 %	Солонец солончаковатый мелкий, Д-773. pH=7.4. Гумус 2.7 5%. Сумма солей 0.04 %. Тип растительности: чернопопынно-злаковая ассоциация, проективное покрытие 40 %
2	Каштановая несолонцеватая глубокосолончаковатая, Д-777: время погребения около 2000 лет. pH=7.4. Гумус 0.59 %. Сумма солей 0.51 %	Каштановая глубокосолончаковатая, Д-772. pH=7.1. Гумус 2.61 %. Сумма солей 0.05 %. Тип растительности: белопопынно-злаковая ассоциация, проективное покрытие 70–80 %
3	Луговато-каштановая глубокозасоленная, Д-780: время погребения около 2000 лет. pH=7.0. Гумус 0.62 %. Сумма солей 0.63 %	Каштановая глубокосолончаковатая, Д-772. pH=7.1. Гумус 2.61 %. Сумма солей 0.05 %. Тип растительности: белопопынно-злаковая ассоциация, проективное покрытие 70–80 %

Исследование цианобактерий и водорослей погребенных почв и их современных аналогов проводили культуральными методами в 2 этапа: получение смешанных культур (водно-почвенные культуры и чашечные культуры со «стеклами обрастания») и дальнейшее доведение до альгологически чистых культур на питательной среде BG-11 с азотом и без него (pH=7.0, агар 1 %). Далее культуры инкубировали при температуре 23–25 °С, освещенности 2000 Лк и 12 часовом световом дне. Наблюдения проводили в течение 4 месяцев с помощью микроскопов Leica DM750 и Carl Zeiss Axio Scope A1 методами световой микроскопии (светлое поле и интерференционный контраст).

Во всех палеопочвах было обнаружено по 1 виду зеленых водорослей (рис. 1). В погребенном солонце солончаковатом мелком (Д-774) был обнаружен *Chlorococcum papillatum*, в каштановой несолонцеватой глубокосолончаковатой почве (Д-777) – *Mychonastes homosphaera*, в луговато-каштановой несолонцеватой глубокозасоленной почве (Д-780) – *Heterochlorella luteo-viridis*. Возможно, сохранение жизнеспособных спор *M. homosphaera* и *H. luteo-viridis* в погребенных 2000 лет назад почвах связано с их мелкими размерами (диаметр клеток от 2–3 до 5–7 мкм), что увеличивает засухоустойчивость клеток. Кроме того, в литературе описана модификация клеточной стенки зеленых водорослей: *Pseudococcomyxa simplex*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella fusca*, *Pediastrum duplex*, *Prototheca wickerhamii*, *Nanochlorum eucaryotum* (Atkinson et al., 1972; Gunnison, Alexander, 1975; Geisert et al., 1987; Gross, 2000; Agrawal and Singh 2001; Agrawal and Manisha 2007; Ueno, 2009). Их клеточные стенки содержат спорополленин – биополимер чрезвычайно устойчивый к химическому и биологическому воздействию, который обеспечивает сохранность спор и пыльцы в геологических отложениях в течение тысячелетий. Поэтому можно предположить, что и *M. homosphaera* (бывшая *Chlorella homosphaera*) и *H. luteo-viridis* (бывшая *Chlorella luteo-viridis*) могут содержать данный биополимер в клеточной стенке, способствующий их сохранению в погребенной почве столь длительный отрезок времени. В современных аналогах данных почв было найдено значительное разнообразие цианобактерий и водорослей. Так, в фоновом солонце солончаковатом мелком (Д-773) доминировали нитчатые цианобактерии: *Leptolyngbya nostocorum*, *Phormidium autumnale*, *Phormidium papyraceum*, *Microcoleus vaginatus*, *Nostoc microscopicum*, образующие заметные разрастания на поверхности почвы. Слизеобразующие *Microcoleus* и *Nostoc* адаптированы к аридным условиям в связи с продукцией внеклеточных полисахаридов, которые благодаря своим гидрофильно-гидрофобным характеристикам, способны задерживать и накапливать воду, стабилизируя клеточную мембрану во время засухи (Grilli Caiola et al., 1993, 1996; Potts, 1999; Tamaru et al., 2005). Известно, цианобактерии рода *Leptolyngbya* из гиперсоленых и засушливых местообитаний продуцируют микоспоринподобные аминокислоты (Prasanna et al., 2010), которые поглощают УФ. Кроме того, в данной почве встречались цианобактерии *Leptolyngbya edaphica*, cf. *Pseudanabaena frigida*, *Aphanocapsa incerta* и *Nostoc punctiforme*, а также водоросли *Muriella terrestris*, *Klebsormidium flaccidum* и *Eustigmatos polyphem*. В фоновой каштановой несолонцеватой глубокосолончаковатой почве (Д-772) было обнаружено гораздо меньше видов, причем исключительно зеленые водоросли: доминировали *P. simplex* и *M. homosphaera*, встречалась *H. luteo-viridis*. Большинство представителей водорослей и цианобактерий были найдены в сходных экологических условиях на уровне вида или рода (Новичкова-Иванова, 1980; Кузяхметов, 2006; Виноградова, Дариенко, 2008). Вероятно, абсолютное доминирование Cyanobacteria и Chlorophyta в фоновых солонце и каштановой почве, соответственно, связано с разной сомкнутостью растительного покрова, данный факт был отмечен О.Н. Виноградовой и Т.М. Дариенко при альгологическом исследовании засоленных почв (2008). В целом, цианобактерии более устойчивы к повышенному содержанию солей в почве, резким колебаниям влажности, высоким значениям pH и инсоляции (Stal, 2007). Галофильные и галотолерантные цианобактерии сохраняют внутриклеточную концентрацию ионов за счет накопления растворенных органических веществ. Менее устойчивые к солевому стрессу цианобактерии используют в качестве осморегуляторов сахарозу и трегалозу (Maskay et al., 1984; Reed et al., 1986). Все штаммы цианобактерий и водорослей вошли в состав рабочей альгологической коллекции. Продолжается изучение морфологических, молекулярных и физиологических особенностей зеленых водорослей, выделенных из палеопочв.

Полевая работа проводилась совместно с археологической экспедицией Волгоградского государственного университета. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ, № 12-04-31685.



Chlorococcum papillatum (Д-774)



Mychonastes homosphaera (Д-772, Д-777)



Heterochlorella luteo-viridis (Д-772, Д-780)



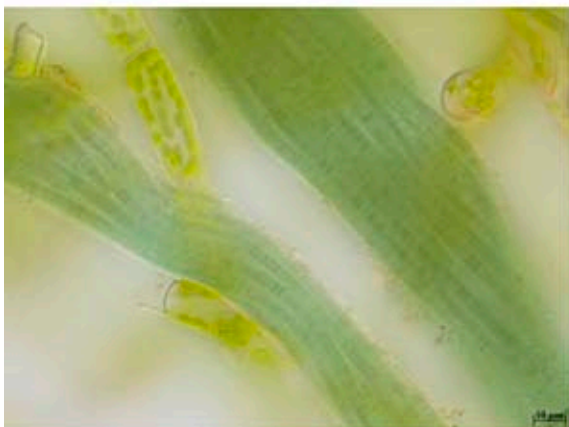
Leptolyngbya nostocorum (Д-773)



Nostoc microscopicum (Д-773)



Pseudococcomyxa simplex (Д-772)



Microcoleus vaginatus (Д-773)



Nostoc punctiforme (Д-773)

Рис. 1. Микрофотографии цианобактерий и водорослей погребенных почв и их современных аналогов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Виноградова О.Н., Дариенко Т.М. 2008. Водоросли Азово-Сивашского национального природного парка (Украина) // Альгология. Т. 18. № 2. С. 183–197.
- Кузьяхметов Г.Г. 2006. Водоросли зональных почв степи и лесостепи / Б.М. Миркин (ред.). Уфа: РИО БашГУ. 286 с.
- Новичкова-Иванова Л.Н. 1980. Почвенные водоросли фитоценозов Сахаро-Гобийской пустынной области. Л.: Наука. 255 с.
- Agrawal S.C., Singh V. 2001. Viability of dried cells, and survivability and reproduction under water stress, low light, heat, and UV exposure in *Chlorella vulgaris* // Israel J. Plant Sci. № 49. P. 27–32.
- Agrawal S.C., Manisha. 2007. Growth, survival and reproduction in *Chlorella vulgaris* and *C. variegata* with respect to culture age and under different chemical factors // Folia Microbiol. № 52. P. 399–406.
- Atkinson A.W., Gunning Jr. B.E.S., John P.C.L. 1972. Sporopollenin in the cell wall of *Chlorella* and other algae: ultrastructure, chemistry, and incorporation of ¹⁴C-acetate, studied in synchronous cultures // Planta. № 107. P. 1–32.
- Geisert M., Rose T., Bauer W., Zahn R.K. 1987. Occurrence of carotenoids and sporopollenin in *Nanochlorum eucaryotum*, a novel marine alga with unusual characteristics // Biosystems. № 20(2). P. 133–142.
- Grilli Caiola M., Ocampo-Friedmann R., Friedmann E.I. 1993. Cytology of long-term desiccation in the desert cyanobacterium *Chroococcidiopsis* (Chroococcales) // Phycologia. № 32. P. 315–322.
- Grilli Caiola M., Billi D., Friedmann E.I. 1996. Effect of desiccation on envelopes of the cyanobacterium *Chroococcidiopsis* sp. (Chroococcales) // Eur. J. Phycol. № 31. P. 97–105.
- Gross W. 2000. Ecophysiology of algae living in highly acidic environments // Hydrobiologia. № 433. P. 31–37.
- Gunnison D., Alexander M. 1975. Basis for the resistance of several algae to microbial decomposition // Appl. Microbiol. № 29(6). P. 729–738.
- Mackay M.A., Norton R.S., Borowitzka L.J. 1984. Organic osmoregulatory solutes in cyanobacteria // J. Gen. Microbiol. № 130. P. 2177–2191.
- Potts M. 1999. Mechanisms of desiccation tolerance in cyanobacteria // Eur. J. Phycol. № 34. P. 319–328.
- Prasanna R., Sood A., Jaiswal P. et al. 2010. Rediscovering cyanobacteria as valuable sources of bioactive compounds (review) // Appl. Biochem. and Microb. № 46(2). P. 119–134.
- Reed R.H., Borowitzka L.J., Mackay et al. 1986. Organic solute accumulation in osmotically stressed cyanobacteria // FEMS Microbiol. Rev. № 39. P. 51–56.
- Stal L.J. 2007. Cyanobacteria: diversity and versatility, clues to life in extreme environments // J. Seckbach (ed.). Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments. P. 659–680.
- Tamaru Y., Takani Y., Yoshida T., Sakamoto T. 2005. Crucial role of extracellular polysaccharides in desiccation and freezing tolerance in the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune* // Appl. Environ. Microb. № 71. P. 7327–7333.
- Ueno R. 2009. Visualization of sporopollenin-containing pathogenic green micro-alga *Prototheca wickerhamii* by fluorescent in situ hybridization (FISH) // Can. J. Microbiol. № 55(4). P. 465–472.

ЦИАНОБАКТЕРИИ, ВОДОРΟΣЛИ В БАЗАЛЬТАХ И ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ТУМАТ-ТАЙГИНСКОЙ СВИТЫ НИЖНЕГО КЕМБРИЯ КЫЗЫЛ-ТАШТЫГСКОГО РУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНАЯ ТУВА)

А.А. Терлеев¹, Д.А. Токарев¹, В.А. Лучинина¹, В.А. Симонов², С.И. Ступаков²

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, TerleevAA@ipgg.sbras.ru

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Simonov@igm.nsc.ru

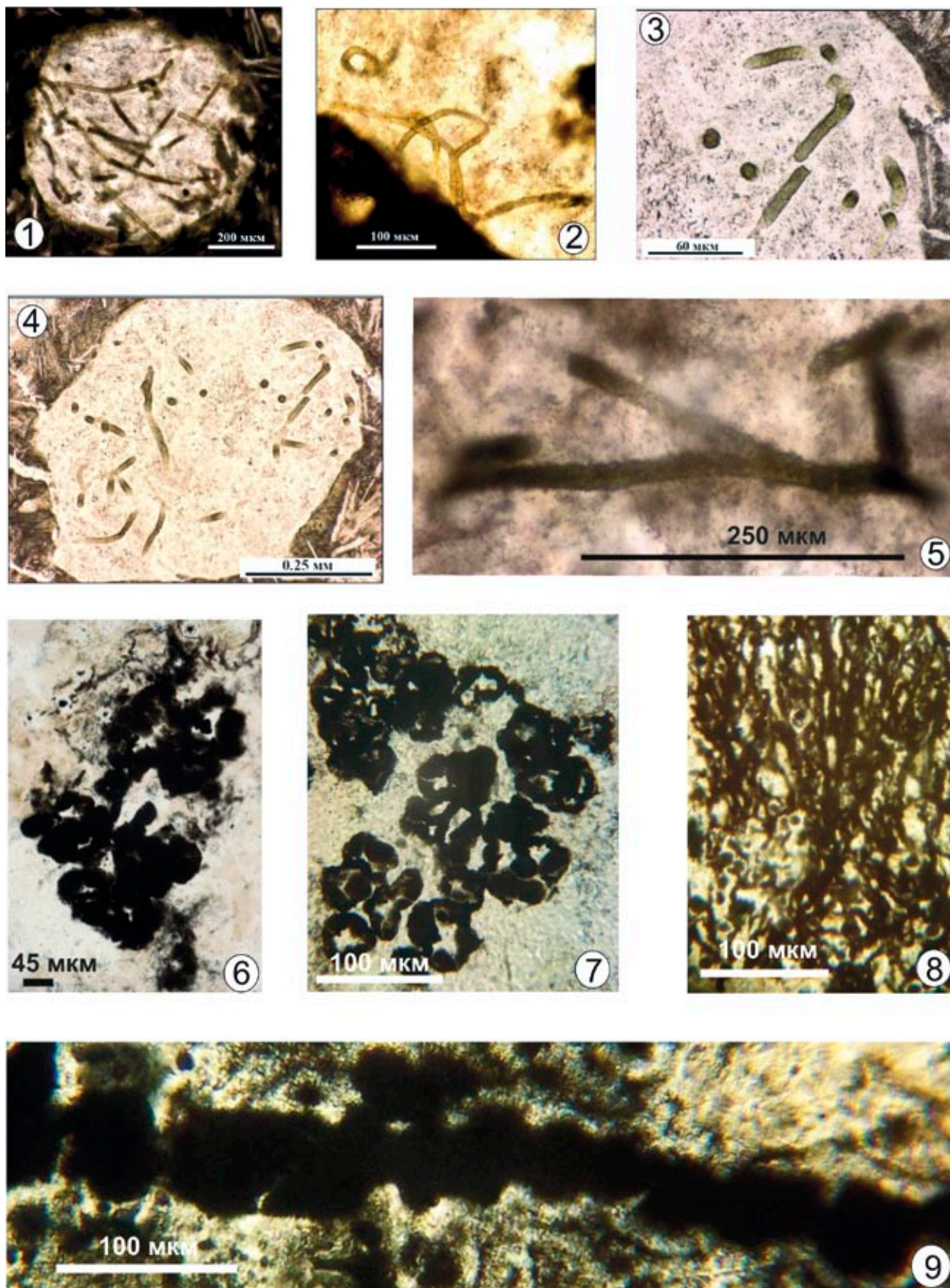
CYANOBACTERIA, ALGAE IN BASALTS AND IRON-SILICEOUS SEDIMENTS OF LOWER CAMBRIAN TUMAT-TAIGA FORMATION KYZYL-TASHTYG ORE DEPOSIT (EASTERN TUVA)

A.A. Terleev¹, D.A. Tokarev¹, V.A. Luchinina¹, V.A. Simonov², S.I. Stupakov²

¹ A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB RAS, TerleevAA@ipgg.sbras.ru

² V.S. Sobolev Institute of geology and mineralogy of SB RAS, Simonov@igm.nsc.ru

Исследования последних лет, проводимые во многих странах Мира, свидетельствуют о том, что развитие разнообразных форм биоты на Земле нередко теснейшим образом связаны с проявлениями вулканогенной гидротермальной активности на дне морских бассейнов. Открытие в конце XX в. на дне современных океанов глубоководных активных гидротермальных источников, влияющих на формирование сульфидных руд и окруженных оазисами жизни с многочисленными организмами, вызвало большой интерес к поиску их аналогов в древних структурах. Изучение колчеданных месторождений, связанных с воздействием палеогидротермальных систем на дне древних бассейнов, позволили реконструировать сульфидные холмы с трубами «черных курильщиков». Среди этих структур были найдены оруденелые фаунистические остатки, свидетельствующие о существовании пригидротермальных оазисов жизни. Постепенно стали накапливаться данные об ископаемых сообществах пригидротермального типа палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов (Кузнецов, Масленников, 2000 и др.). Характерными примерами древнейших сообществ можно считать местонахождения силурийского и девонского возраста на Урале, наиболее детально изученные с помощью палеонтологических, геохимических, петролого-минералогических и фациально-литологических методов (Масленников, 2006 и др.). Появились сообщения о находках ордовикской фауны на одном из колчеданных месторождений Казахстана. В то же время, вопросы существования и развития биоты в тесной ассоциации с более древними вулканогенно-гидротермальными системами остаются открытыми. В этом отношении представляют большой интерес новые материалы с Кызыл-Таштыгского палеогидротермального поля (Восточная Тува), сформировавшегося в кембрийских вулканогенно-осадочных толщах.



1-5 *Girvanella*, 6,7 *Renalcis*, 8 *Botomaella*, 9 *Obruchevella*

В результате детальных исследований коллекций, собранных авторами во время экспедиционных работ на колчеданно-полиметаллическом месторождении Кызыл-Таштыг, установлена разнообразная биота, существовавшая в непосредственной близости от нижнекембрийских гидротермальных источников, формировавших сульфидные тела.

Исследования строения и состава органических остатков осуществлялось с помощью оптического микроскопа и электронного сканирующего микроскопа LEO 1430 VP в ИГМ СО РАН, г. Новосибирск.

Изучение базальтов из верхней толщи туматтайгинской свиты, где располагается палеогидротермальное поле собственно месторождения Кызыл-Таштыг с промышленными колчеданно-полиметаллическими рудами, показало, что в их миндалинах сохранились следы микробных организмов (бактерии, цианобактерии и водоросли). Обломки базальтов (до 5 см) с миндалинами, в которых располагаются цианобактерии, сцементированы материалом карбонатного состава с альбитом. В этом преимущественно карбонатном матриксе находятся также дезинтегрированные реликты (до 5 мм) интенсивно хлоритизированных и альбитизированных базальтов. Таким образом, судя по этим структурным особенностям и минеральному составу, данные брекчии с обломками миндалекаменных базальтов формировались в активной зоне дробления и проникновения гидротермальных растворов, что указывает на явную связь с рудообразующими гидротермальными системами Кызыл-Таштыгского месторождения (Каныгин и др., 2011).

Степень сохранности цианобактерий зависела от характера заполнения миндалин. В случае округлых миндалин (до 1 мм) в базальтовых обломках из гидротермальной брекчии, заполненных микрозернистой серой массой, кристаллитами полевого шпата, эпидота, клиноцоизита, они более многочисленны и лучше сохранились. В миндалинах другого типа, где преобладал карбонат, они более редкие и преобразованы вторичными процессами.

Цианобактерии коричнево-зеленого цвета обычно располагались равномерно по объему миндалин, часто контактируя одним концом с ее границей. Цианобактерии рода *Girvanella* Nicholson et Etheridge (табл. 1, фиг. 1–5) имели нитчатую форму и были прямыми, изогнутыми или переплетающимися. От них сохранилась лишь известковая, трубчатая оболочка, поляя внутри с диаметром микротрубочек от 10 до 25 мкм, при длине до 500 мкм. В редких случаях наблюдаются пережимы и «сегментированное» строение нитей.

Изучение показало, что серая микрозернистая масса, заполняющая основной объем миндалин, соответствует по химическому составу альбиту, а материал, из которого выполнены трубчатые микроорганизмы, по своему химическому составу наиболее близок к эпидоту. Таким образом, миндалины и находящиеся в них организмы выполнены минеральным веществом, формирование которого, судя по альбит-эпидотовому составу, явно связано с гидротермальными процессами, действовавшими на базальты (Каныгин и др., 2011). Учитывая микроскопические размеры и простую морфологию трубок, а также нижнекембрийский возраст вмещающих пород, содержащих эти остатки, их можно отнести к роду *Girvanella* Nicholson et Etheridge так как последние широко развиты в карбонатных отложениях нижнего кембрия Мира. Исследования флюидных включений показали, что базальты, содержащие цианобактерии в миндалинах, находились под воздействием гидротермальных растворов (с минимальными температурами 120–180 °С), по составу (NaCl) и солёности (около 3.5 мас.%) соответствующих морской воде. Эти физико-химические параметры близки по своим значениям к характеристикам части гидротермальных систем, формировавших сульфидные руды Кызыл-Таштыгского месторождения (Симонов и др., 1999, Каныгин и др., 2011).

В железисто-кремнистых породах туматтайгинской свиты нижнего кембрия Кызыл-Таштыгского рудного поля Восточной Тувы определены колонии водорослей родов *Renalcis* Vologdin (табл. 1, фиг. 6, 7), *Botomaella* Korde (табл. 1, фиг. 8) и цианобактерий рода *Obruchevella* Reitlinger (табл. 1, фиг. 9). Колонии водорослей рода *Renalcis* состоят из облаковидных структур (до 150 мкм), имеющих внешнюю бугристую, темную оболочку и более светлую звездчатой формы внутреннюю часть. Колонии находятся в кварц-карбонатном (кальцит) цементе. Темно-красные в проходящем свете стенки сложены в основном микрозернистым кварцем со значительным содержанием (до 10.7 мас.%) железа. Присутствует сидерит. Внутренняя часть выполнена кварцем и кальцитом.

Представители рода *Botomaella* образуют кустистые формы, состоящие из ветвящихся слабоизогнутых трубчатых нитей. Темные переплетающиеся коричнево-бурые нити (толщиной до 20 мкм), сложенные гематитом, иногда с присутствием SiO₂ до 18.2 мас.% и микрозернистым кварцем со значительными (до 17.5 мас.%) содержаниями железа, располагаются в кварцевом базисе.

Цианобактерии *Obruchevella* представляют собой спиралевидные короткие нити диаметром 40–50 мкм, длиной до 300 мкм. Нити, сложенные гематитом, иногда с присутствием SiO₂ до 18.2 мас.% и микрозернистым кварцем со значительными (до 17.5 мас.%) содержаниями железа, располагаются в кварцевом базисе.

Таким образом, проведенные исследования показали значительное разнообразие кембрийских цианобактерий и водорослей, которые, судя по наличию флюидных включений, находясь в непосредственной ассоциации с рудообразующими системами Кызыл-Таштыгского колчеданного месторождения, подверглась активному воздействию и преобразованию их первичной карбонатной оболочки под воздействием гидротермальных растворов.

Авторы статьи выражают свою благодарность сотрудникам ООО «Лунсин» и ТИКОПР СО РАН за помощь при проведении экспедиционных исследований. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, № 10-05-00953 и Интеграционного проекта совместных исследований СО РАН и УрО РАН, № 36.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Каныгин А.В., Терлеев А.А., Симонов В.А. и др. 2011. Геологические и палеонтологические свидетельства раннекембрийских экосистем гидротермального типа (пример из колчеданного Кызыл-Таштыгского рудного поля, Тува) // Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: КНЦ РАН. № 5 (197). С. 7–12.
- Кузнецов А.П., Масленников В.В. 2000. История гидротермальной фауны океана // М.: ВНИРО. 118 с.
- Масленников В.В. 2006. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН. 384 с.
- Симонов В.А., Зайков В.В., Ковязин С.В. 1999. Палеогеодинамические условия развития гидротермальных систем Кызыл-Таштыгского месторождения (Восточная Тува) / Металлогения древних и современных океанов. Рудоносность гидротермальных систем. Миасс: ИМин УрО РАН. С. 16–23.

ОКСФОРДСКИЕ И КИМЕРИДЖСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДИНОЦИСТ ПРИУРАЛЬСКОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.Н. Трубицына

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
Новосибирск, TrubicynaAN@ipgg.nsc.ru

OXFORDIAN AND KIMMERIGIAN DINOCYSTS ASSEMBLAGES OF THE SUB-URAL PART OF WESTERN SIBERIA

A.N. Trubicyna

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB RAS, Novosibirsk, TrubicynaAN@ipgg.nsc.ru

В истории исследования юрских диноцист Сибири двадцатый век завершился опубликованием В.И. Ильиной зонального расчленения юры по цистам динофлагеллят (Riding et al., 1999; Шурыгин и др., 2000). Многие из выделенных диноцистовых зон прослежены на западе Западной Сибири в Шаимском нефтегазоносном районе (ШНГР), а две зоны по диноцистам установлены именно в этом районе. Дальнейшее палеоальгологическое изучение верхнеюрских отложений ШНГР подтверждает существование выделенных зон и вместе с тем уточняет представления об изменчивости таксономического состава диноцистовых комплексов в конкретных разрезах.

Диноцистовая зона *Wanaea fimbriata* (Wf) установлена в основании оксфорда в васюганской свите в Пур-Тазовском междуречье (Ильина, 1998). Стратиграфический объем зоны на территории Западной Сибири – нижний оксфорд. В ШНГР эта зона прослежена в абалакской свите (скв. Мало-Шушминская 10527, гл. 1988.6–1985.2 м) (Трубицына, 2011). Систематический состав выявленного комплекса диноцист в главных чертах соответствует комплексу диноцистовой зоны Wf и включает, кроме *Wanaea fimbriata* Sarj., *Crussolia deflandrei* Wolf. et Van Erve, *Liesbergia liesbergensis* Berg., *Trichodinium scarburghense* (Sarj.) Will. et al., *Barbatacysta creberbarbata* (Erk. et Sarj.) Cour., *Scriniodinium playfordii* Cook. et Eis., *Stephanelytron caytonense* Sarj., *Rhynchodiniopsis martonense* Bail., *Tubotuberella apatella* (Cook. et Eis.) Ioan., *Huyschodinium pulchrum* Defl., *Circulodinium distinctum* (Defl. et Cook.) Jans. В разрезе скважины Тальниковая 10417 на глубине 1717.5 м выявлен слой с диноцистами, соответствующий зоне Wf. Он охарактеризован комплексом диноцист, включающим большинство уже упомянутых видов за исключением *Liesbergia liesbergensis*, *Scriniodinium playfordii*, *Stephanelytron caytonense*, *Rhynchodiniopsis martonense*, *Tubotuberella apatella* и *Huyschodinium pulchrum*. Кроме того, в состав комплекса входят *Fromea tornatilis* (Drugg) Lenth. et Wil., *Cleistosphaeridium* cf. *varispinosum* (Sarj.) Wool. et Rid., *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *adecta*, *Chytroesphaeridia hialina*, *Chytroesphaeridia chytrooides* Dav., *Stephanelytron redcliffense* (Sarj.) Stov. et al., *Stephanelytron* sp., *Systematophora areolata* Klem., *Crussoliaperireticulata* Arch. et al., *Rigaudella aemula* (Defl.) Bel., *Cribroperidinium* cf. *globatum* (Git. et Sarj.) Hel., *Rhynchodiniopsis cladophora* (Defl.) Bel. Комплекс диноцист, характерный для нижней части зоны Wf, отвечающей нижним горизонтам оксфорда, обнаружен в абалакской свите в разрезе скв. 7014\204 Тевлинско-Русскинского месторождения (Трубицына, 2009). В его составе: *Wanaea fimbriata*, *Wanaea thysanota* Wool., *Gonyaulacysta jurassica* (Defl.) Nor. et Sarj., *Scriniodinium cristallinum* (Defl.) Klem., *Pareodinia ceratophora* Defl., *Chytroesphaeridia cerastes* Dav., а также немногочисленные *Rigaudella aemula*. Слой с диноцистами, соответствующий самой нижней части зоны Wf и датированный поэтому самыми низами оксфорда выявлен в даниловской свите в разрезе скважины Даниловская 10554 (гл. 1789 м). Диноцистовый комплекс: *W. fimbriata*, *W. thysanota* Wool., *W. accolaris* Dod., *Liesbergia liesbergensis*, *T. scarburghensis*, *Lithodinia* sp., *Chlamidophorella* sp., *Rhynchodiniopsis cladophora*, *Cribroperidinium* sp., *Crussolia deflandrei*, *Cleistosphaeridium* sp., *Endoscrinium galeritum* (Defl.) Vozzh., *Tubotuberella dangeardii* (Sarj.) Stover et Evitt, *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *adecta* var. *longicornis* (Defl.) Sarj.

Диноцистовая зона *Rigaudella aemula* (Ram) установлена на севере Западной Сибири в васюганской свите. Стратиграфический объем соответствует среднему оксфорду и низам верхнего оксфорда. Верхняя часть зоны Ram прослежена в Шаимском районе в абалакской свите в разрезе, вскрытом скважиной Вишньенская 10055 (гл. 2095.3 м) (Шурыгин и др., 2000). Комплекс диноцист включает: *Nannoceratopsis pellucida* Defl., *Chlamidophorella* sp., *Chytroesphaeridia chytrooides* (Sarj.) Dow. et Sarj., *Crussolia deflandrei*, *Cribroperidinium* sp., *Ctenidodinium* sp., *Endoscrinium* sp., *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *jurassica*, *Fromea tornatilis*, *Pareodinia ceratophora* (Defl.) Goht, *Pareodinia* spp., *Stephanelytron redcliffense*. Также верхняя часть зоны Ram присутствует в абалакской свите в разрезе, вскрытом скважиной Мало-Шушминская 10527 (гл. 1985.2 м) (Трубицына, 2011). Комплекс диноцист: *Rigaudella aemula* (7.6%), *Scriniodinium cristallinum* (Defl.) Klem., *Endoscrinium anceps* Rain., *Cleistosphaeridium varispinosum*, *Stephanelytron redcliffense* Sarj., *Cribroperidinium globatum*, *Ambonosphaera staffinensis* (Git.) Poul. et Rid., *Chytroesphaeridia cerastes* Dav., *Gonyaulacysta helicoidea*, *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *jurassica*. Этому же стратиграфическому интервалу соответствует комплекс диноцист из даниловской свиты разреза скважины Даниловская 10554 (гл. 1788.0 м): *Chytroesphaeridia* sp., *Evansia* sp., *Ctenidodinium* sp., *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *adecta*, *Lithodinia* spp., *Mendicodinium groenlandicum* (Poc. et Sarj.) Dav.

Диноцистовая зона *Ctenidodinium ornatum* (Co), положение верхней границы которой принято условно, а стратиграфический объем соответствует верхнему оксфорду, выделена только в стратотипическом районе (Шурыгин и др., 2000). Нижняя граница зоны установлена по исчезновению из комплекса: *Rigaudella aemula* и

последним находкам *Crussolia deflandrei*, верхняя – по исчезновению вида-индекса. В стратотипическом разрезе скважины Вишьенская 10055 (гл. 2089 м) диноцистовый комплекс включает в себя *Chlamidophorella* sp., *Chytroesphaeridia chytrooides*, *Pareodinia ceratophora*, *Pareodinia* spp., *Endoscrinium* sp., *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *jurassica*. Слои с комплексом диноцист близкого таксономического состава выявлены в отложениях абалакской свиты, вскрытых скважиной 7014\204 Тевлинско-Русскинского месторождения. Диноцистовый комплекс: *Ctenidodinium* spp., *Crussolia deflandrei*, *Rhynchodiniopsis cladophora* (Defl.) Below, *Systematophora areolata* Klement, *Systematophora* sp., *Prolixosphaeridium* spp., *Gonyaulacysta jurassica*, *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *adecta* Sarj., *Endoscrinium anceps* Rayd., *Scriniodinium crystallinum*, *Chytrosphaeridium chytroides*, *Tubotuberella rombiformis* Vozzh., *Cleistosphaeridium* spp., *Sirmiodiniopsis orbis* Drugg., *Stephanelytron* spp.

Диноцистовая зона *Rhynchodiniopsis cladophora* (Rc) установлена в георгиевской свите на юго-востоке Западной Сибири. Стратиграфический объем зоны определяется в пределах нижнего и части верхнего кимериджа. Установлено присутствие динозоны в разрезе абалакской свиты Шаимского района (скважины Вишьенская 10055 (гл. 2077.4 м), Лазаревская 10126 (гл. 2110–2118 м), Узбекская 9076 (гл. 1660–1672 м)) (Шурыгин и др., 2000). В разрезе даниловской свиты (скв. Даниловская 10554, гл. 1774.5–1781.0 м) обнаружен комплекс диноцист, в целом характерный для динозоны *Rhynchodiniopsis cladophora*. Комплекс включает *Gonyaulacysta dualis* (Brid. et Fisch.) Stov. et Evitt., *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *jurassica*, *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *adecta* var. *longicornis*, *Endoscrinium luridum* (Defl.) Goht., *Endoscrinium* sp., *Perisseiasphaeridium pannosum* Dav. et Wil., *Prolixosphaeridium granulosum* (Defl.) Dav. et al., *Prolixosphaeridium* sp., *Systematophora areolata* Klem., *Stephanelytron* sp., *Barbatacysta* sp., *Chlamidophorella* sp., *Cribroperidinium* cf. *globatum*, *Tubotuberella apatella* (Cooks. et Eisen.) Sarj., *Rhynchodiniopsis cladophora*, *Chytroesphaeridium chytrooides*, *Chytroesphaeridia* sp., *Pareodinia* sp. В разрезе абалакской свиты, вскрытом скважиной Мало-Шушминская 10527 на гл. 1984 м выделен слой с диноцистовым комплексом, содержащий *Systematophora areolata* (13,1%) и *S. valensii* (13,4%), *Aldorfia aldorfensis*, *Chytroesphaeridium chytrooides*, *Ambonosphaera* sp., *Endoscrinium* sp., *Prolixosphaeridium* cf. *granulosum* (Defl.) Dav. et al., *Circulodinium distinctum*, *Cleistosphaeridium* spp. Слой соответствует нижней и средней частям фораминиферовой зоны JF40, охватывающей середину верхнего оксфорда – нижний кимеридж (Никитенко и др., 2005). В интервале гл. 1981.9–1980.2 м определен комплекс диноцист с *Oligosphaeridium patulum* Rid. et Thom. (до 8.2%), *Perisseiasphaeridium pannosum* Dav. et Wil. (до 13.1%), *Prolixosphaeridium* spp. (до 34%), *Chytroesphaeridium hialina* (Rain.) Len. et Wil., *Stephanelytron scarburgense* Sarj., *Endoscrinium galeritum* (Defl.) Vozzh., *Systematophora* cf. *davei* Rid. et Thom., *S. areolata*, *S. valensii*, *Surculosphaeridium vestitum* (Defl.) Dav. et al., *Leptodinium* cf. *subtile* Kl., *Tubotuberella rombiformis* Vozzh. Этот слой с диноцистовым комплексом отвечает в разрезе нижней и средней частям микрофораминиферовой зоны JF41 и может датироваться концом раннего – началом верхнего кимериджа. Совокупность двух выделенных слоев с диноцистами соответствует диноцистовой зоне Rc. Аналогичный комплекс диноцист встречен в разрезе абалакской свиты, вскрытом скважиной 7014\204 Тевлинско-Русскинского месторождения: в комплексе доминируют *Oligosphaeridium patulum*, *Systematophora areolata* и *Perisseiasphaeridium pannosum*, присутствуют *Rhynchodiniopsis cladophora*, *Ambonosphaera staffinensis*, *Chlamidophorella* sp., *Circulodinium distinctum*, *Cleistosphaeridium* sp., *Cribroperidinium globatum*, *Endoscrinium* sp., *Gonyaulacysta* spp., *Prolixosphaeridium* spp., *Sirmiodiniopsis orbis* Drugg., *Tubotuberella apatella*.

Таким образом, в исследованном керновом материале обнаружены диноцисты 58 видов 33 родов, принадлежащих большей частью к 5 семействам, образующие оксфордские и кимериджские диноцистовые комплексы. Изменчивость таксономических спектров разновозрастных комплексов не имеет определенной направленности. Частотно-морфотипический анализ структуры комплексов при рассмотрении их последовательности от раннеоксфордских к позднекимериджским показал, что соотношение количества хоратных, проксиматных и кватных диноцист в усредненных комплексах составляют соответственно 1:104:22.5 для зоны Wf, 1:6:1 для зоны Ram и 1:2:0.1 для зоны Rc.

Проведенные исследования позволили сравнить диноцистовые комплексы вновь изученных разрезов с характерными зональными комплексами, подтвердить присутствие диноцистовых зон *Wanaea fimbriata*, *Rigaudella aemula*, *Ctenidodinium ornatum*, *Rhynchodiniopsis cladophora* в разрезах абалакской и даниловской свит Шаимского нефтегазоносного района, уточнить таксономический состав оксфорд-кимериджских зональных комплексов диноцист Приуральской части Западной Сибири. Показано, что конкретные комплексы диноцист, в разной степени соответствия зональным комплексам, имеют различный систематический состав и структуру даже в однотипных разрезах, минимально удаленных друг от друга. Анализ этой изменчивости может способствовать усовершенствованию распознавания вариантов зональных комплексов и, возможно, стать первым шагом на пути выяснения ее причин.

Работа выполнена при поддержке Программ РАН 23, 28.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ильина В.И. 1998. Зональное расчленение верхов келловая и оксфорда Пур-Тазовского междуречья в Западной Сибири по цистам динофлагеллят / Актуальные вопросы геологии и географии Сибири. Т. 1. Томск: Изд-во Томского ун-та. С. 215–218.
- Никитенко Б.Л., Левчук Л.К., Хафаева С.Н. 2005. Этапность развития и особенности фациальной дифференциации сообществ фораминифер конца средней – поздней юры Западной Сибири // Геология и геофизика. Т. 46. № 5. С. 546–567.
- Трубицына А.Н. 2009. Стратиграфическое расчленение верхнеюрских отложений Тевлинско-Русскинского месторождения (Западная Сибирь) по палинологическим данным / Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии / Мат-лы 3 Всерос. совещ. В.А. Захаров (ред.). Саратов: Изд. центр «Наука». С. 243–245.

Трубицына А.Н. 2011. Расчленение юры по микрофитофоссилиям в скважине Мало-Шушминская 10527 (Приуральская часть Западной Сибири) / Мат-лы научн. сес. (18–22 апреля 2011 г.) в 2 т. Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя бореальных районов. Новосибирск: ИНГГ СО РАН. Т. 1. Мезозой. С. 271–276.

Шурыгин Б.Н., Никитенко Б.Л., Девятов В.П. и др. 2000. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система. Новосибирск: Гео. 480 с.

Riding J.B., Fedorova V.A., Ilyina V.I. 1999. Jurassic and Lowermost Cretaceous dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Russian platform and Northern Siberia, Russia // AASP Contrib. ser. V. 36. 180 p.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ТЕМПЫ ЭВОЛЮЦИИ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ НА ПРОТЯЖЕНИИ ПОЗДНЕГО КАЙНОЗОЯ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Г.К. Хурсевич¹, М.С. Куликовский²

¹Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка, Минск, galinakhurs.41@mail.ru

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок, max-kulikovsky@yandex.ru

MAIN REGULARITIES AND EVOLUTION RATES OF DIATOMS DURING LATE CENOZOIC IN THE BAIKAL LAKE

G.K. Khursevich¹, M.S. Kulikovskiy²

¹M. Tank Belarus State Pedagogical University, Minsk, galinakhurs.41@mail.ru

²I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters of RAS, Borok, max-kulikovsky@yandex.ru

Верхнекайнозойские (верхнемиоценовые-голоценовые) отложения озера Байкал, вскрытые длинными непрерывными скважинами BDP-98 (600 м), BDP-96-1 (200 м) и BDP-96-2 (100 м) на вершине подводного Академического хребта, содержат богатый и разнообразный состав диатомовых водорослей. Это позволило проследить основные закономерности и скорости эволюции прежде всего планктонных центрических диатомей за последние восемь миллионов лет в древней экосистеме Байкала.

Возрастная модель непрерывных кернов скважин BDP-96-1, BDP-96-2 и BDP-98 основана на идентификации границ палеомагнитных инверсий и корреляции с общей магнитостратиграфической шкалой (Cande, Kent, 1995), с морской изотопно-кислородной кривой (Shackleton et al., 1995; Williams et al., 1997), на данных ¹⁰Ве изотопной хронологии (Horiuchi et al., 2003; Sapota et al., 2004), а также на корреляции байкальской записи биогенного кремнезема с кривой изменения инсоляции Земли, что обеспечивает детальную возрастную модель осадочного разреза Байкала (Prokopenko et al., 2001, 2006).

Эволюция центрических диатомовых водорослей в озере Байкал за последние 8 млн. лет сопровождалась процессами вымирания и новообразования, обусловленными неоднократными изменениями окружающей среды и палеоклимата (Khursevich, 2006; Кузьмин и др., 2009). В позднем миоцене (8.4–5.33 млн. лет) развитие центрических диатомей в планктоне древней экосистемы Байкала происходило в условиях растяжения и существенного углубления бассейна, когда имели место постепенные фациальные изменения от дистальных дельтовых до тонких гемипелагических осадков в месте расположения современного подводного Академического хребта, на вершине которого была заложена скв. BDP-98, вскрывшая изученные верхнемиоценовые отложения (Коллектив..., 2000). В древнем озере представители рода *Concentrodiscus* исчезли на уровне приблизительно 6.62 млн. лет назад; биохронологически важный род *Mesodictyon* развивался в течение короткого временного интервала (~ от 7.7 до 5.9 млн. лет назад); род *Mesodictyopsis* появился около 6.6 млн. лет назад, обильно развивался и прекратил свое существование лишь в начале плиоцена (~4.8 млн. лет назад); вымирание пресноводных видов *Actinocyclus* произошло на уровне 5.9 млн. лет, видов *Alveolophora* – близ миоцен-плиоценовой границы.

В раннем и среднем плиоцене (5.33–2.5 млн. лет) в Байкале появились, интенсивно развивались и вымерли четыре рода диатомовых водорослей: вначале род *Tertiariopsis* (его возрастной диапазон 4.7–4.4 млн. лет), затем *Stephanopsis* (4.4–2.6 млн. лет), еще позднее *Tertiarius* (2.85–2.7 млн. лет) и *Thalassiobeckia* (2.69–2.64 млн. лет), что свидетельствует о высоких скоростях эволюции пресноводных планктонных диатомей. Во временном интервале 2.64–2.46 млн. лет назад произошли существенные изменения в составе центрических диатомей Байкала, когда из планктона древнего бассейна полностью исчезли представители трех вымерших родов – *Stephanopsis*, *Tertiarius* и *Thalassiobeckia* – и появились новые, позднее вымершие виды *Cyclotella*. Приведенные данные отражают драматичные изменения окружающей среды в палеоводоеме в течение наиболее существенного похолодания здешнего климата в плиоцене, обусловленного, по всей вероятности, развитием самого раннего горного оледенения в этом регионе около 2.5 млн. лет назад (Карабанов и др., 2000) Поздний плиоцен характеризовался неоднократными изменениями количественного содержания двух эндемичных видов *C. distincta* и *C. tempereiformica*, а на рубеже плиоцен-плейстоцена (1.83–1.81 млн. лет) произошло их замещение новым видом *C. comtaeformica*, невысокая численность и прерывистое развитие которого отражают второе существенное похолодание климата в Байкальском регионе (1.81–1.51 млн. лет).

Развитие диатомовых водорослей на протяжении плейстоцена в озере Байкал отчетливо отражает ледниково-межледниковую ритмичность климата. Именно контрастные условия природной среды того времени стали причиной частых и глубоких перестроек в экосистеме озера. Так, в рамках хрона Брюнес в разрезе скв. BDP-96-2 отчетливо выделяются 19 интервалов, соответствующих морским изотопно-кислородным

стадиям: 10 теплых межледниковых интервалов с относительно высокой численностью створок диатомовых водорослей и 9 холодных ледниковых интервалов с низкой концентрацией диатомей или даже их полным отсутствием (Khursevich et al., 2001). Кроме того, резкое сокращение содержания биогенного кремнезема и диатомовых створок до нулевых значений в интервалах, соответствующих морским изотопным подстадиям 9d (322–318 тыс. лет), 7d (230–220 тыс. лет) и 5d (115–105 тыс. лет), являются сигналами сильных региональных похолоданий, вызванных периодом глубоких минимумов летней инсоляции в Северном полушарии (Khursevich et al., 2001; Prokopenko et al., 2001). Эти похолодания, вероятно, вызывали развитие ледников в горном обрамлении Байкала на протяжении указанных выше отрезков времени (Карабанов и др., 2001). Наиболее же продолжительный холодный интервал в пределах межледниковой изотопной стадии отмечается для МИС 15 и соответствует изотопным подстадиям 15d, c, b (610–590 тыс. лет). Это похолодание привело к вымиранию некоторых доминантных видов в древнем Байкале (*Stephanodiscus binderanoides* и *S. princeps*) и существенной реорганизации состава озерной биоты.

Временной интервал 595–365 тыс. лет выделяется наиболее высокими пиками биогенного кремнезема и обилием диатомей в Байкале на протяжении эпохи Брунес, стабильным и практически непрерывным развитием в древнем бассейне планктонного сообщества, представленного главным образом вымершим эндемиком *Stephanodiscus distinctus* et var. *excentricoides*, когда амплитуды изменения в инсоляции Земли были незначительными (Prokopenko et al., 2001, 2002). Временной интервал, охватывающий 342–74 тыс. лет, отличается появлением, обилием и вымиранием видов группы *Stephanodiscus grandis*, а также первым появлением и максимальной численностью новых таксонов *Cyclotella baicalensis*, *C. ornata* и *Aulacoseira baicalensis*, что обусловлено возрастанием амплитуд инсоляционных изменений (Хурсевич и др., 2001).

В конце позднего плейстоцена и голоцене (58 тыс. лет – ныне) происходит формирование современного фитопланктона оз. Байкал (Хурсевич и др., 2001; Bradbury et al., 1994).

Таким образом, если эволюция центрических диатомей в оз. Байкал на протяжении позднего миоцена и плиоцена происходила на уровне появления и вымирания не только видов, но и родов, то в течение плейстоцена главным образом на видовом уровне. Эволюция центрических диатомовых водорослей в древнем бассейне происходила путем дивергенции (на примере развития видов *Mesodictyopsis* в позднем миоцене), адаптивной радиации (на примере развития пучка морфотипов комплекса *Stephanopsis costatus* в раннем и среднем плиоцене) и эксплозивного видообразования *Stephanodiscus* на протяжении последних 1.3 млн. лет. Возрастные интервалы для многих видов *Stephanodiscus* необычно короткие и составляют всего 13–15 тыс. лет, что совпадает с продолжительностью морских изотопных подстадий и прецессионными циклами изменения инсоляции Земли.

Проведенная обширная ревизия цимбеллоидных и навиколоидных родов из современных бентосных проб Байкала (Kulikovskiy et al. 2012a) выявила высокое разнообразие именно пеннатных диатомовых в этом озере, сопоставимое в целом с флорой крупных регионов, таких как Европа. Полученные нами новые данные по флоре пеннатных диатомовых водорослей из миоцена до наших дней показывают, что уже в миоцене существует большое количество диатомовых родов, обитающих в современном Байкале. Для миоцена характерны такие роды как *Altana* Kulikovskiy et al., *Khursevichia* Kulikovskiy et al., *Skvortzovia* Kulikovskiy et al. и многие другие широко распространенные роды в Голарктике. На видовом уровне в течение изученного геологического периода шла смена видов, по-видимому, вызванная происходящими геологическими и климатическими изменениями (Kulikovskiy et al., 2012b). Уже для миоцена характерно наличие многих типичных байкальских форм, как например видов группы *Navicula lacusbaicali* Skvortzow & Meyer, давших начало образованию видовых пучков (species flocks) – особенности флоры диатомовых в древних озерах (Kulikovskiy et al., 2012a).

В целом по своей детальности, точности возрастной модели и длительности 8-миллионная диатомовая запись из осадков древнего Байкала не имеет аналогов среди других известных континентальных записей всего земного шара. Она вполне может быть использована в качестве стандарта для интерпретации других континентальных записей, включая летописи других озер, бурение которых будет осуществлено в будущем. Кроме того, байкальская палеоклиматическая запись дает необходимую основу для сравнения с океаническими записями.

Работа частично была поддержана грантами Фонда Президента РФ, МК-5681.2012.4 и РФФИ, №№10-04-00407-а и 12-04-33078 мол_а_вед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Карабанов Е.Б., Кузьмин М.И., Вильямс Д.Ф. и др. 2000. Глобальные похолодания Центральной Азии в позднем кайнозое согласно осадочной записи из озера Байкал // Докл. РАН. Т. 370. № 1. С. 61–66.
- Карабанов Е.Б., Прокопенко А.А., Кузьмин М.И. и др. 2001. Оледенения и межледниковья Сибири – палеоклиматическая запись из озера Байкал и ее корреляция с западно-сибирской стратиграфией // Геология и геофизика. Т. 42. № 1–2. С. 48–63.
- Коллектив участников проекта «Байкал-бурение». 2000. Позднекайнозойская палеоклиматическая запись в осадках озера Байкал (по результатам исследования 600-метрового керна глубокого бурения) // Геология и геофизика. Т. 41. № 1. С. 3–32.
- Кузьмин М.И., Хурсевич Г.К., Прокопенко А.А. и др. 2009. Центрические диатомовые водоросли позднего кайнозоя озера Байкал: морфология, систематика, стратиграфическое распространение, этапность развития (по материалам глубоководного бурения) // Новосибирск: Гео. 374 с.
- Хурсевич Г.К., Карабанов Е.Б., Прокопенко А.А. и др. 2001. Детальная диатомовая био-стратиграфия осадков озера Байкал в эпоху Брунес и климатические факторы видообразования // Геология и геофизика. Т. 41. № 1–2. С. 108–129.
- Bradbury J.P., Bezrukova Ye.V., Chernyaeva G.P. et al. 1994. A synthesis of post-glacial diatom records from Lake Baikal // J. Paleolimnol. V. 10. P. 213–252.

- Cande S.C., Kent D.F. 1995. Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic // J. Geophys. Res. V. 100. P. 6093–6095.
- Horiuchi K., Matsuzaki H., Kobayashi K. et al. 2003. ¹⁰Be record and magnetostratigraphy of a Miocene section from Lake Baikal: re-examination of the age model and its implication for climatic changes in continental Asia // Geophys. Res. Lett. V. 30 (12). P. 1602–1606.
- Khursevich G.K. 2006. Evolution of the extinct genera belonged to the family *Stephanodiscaceae* (Bacillariophyta) during the last eight million years in Lake Baikal // Advances in Phycological Studies / N. Ognjanova-Rumenova, K. Manoylov (eds). Sofia–Moscow: PENSOFT Publ. and St. Kliment Ohridski Univ. Press. P. 73–89.
- Khursevich G.K., Karabanov E.B., Prokopenko A.A. et al. 2001. Insolation regime in Siberia as a major factor controlling diatom production in Lake Baikal during the past 800,000 years // Quatern. Intern. V. 80–81. P. 47–58.
- Kulikovskiy M.S., Lange-Bertalot H., Metzeltin D., Witkowski A. 2012. Lake Baikal: hotspot of endemic diatoms I. // Iconographia Diatomologica. V. 23. P. 7–608.
- Kulikovskiy M.S., Witkowski A., Khursevich G.K. 2012b. *Encyonema horstii* sp. nov., a species of unusual valve outline from Pleistocene deposits of Lake Baikal // Nova Hedwigia, Beiheft. V. 141. P. 365–374.
- Prokopenko A.A., Hinnov L.A., Williams D.F., Kuzmin M.I. 2006. Orbital forcing of continental climate during the Pleistocene: a complete astronomically tuned climatic record from Lake Baikal, SE Siberia // Quatern. Sci. Rev. V. 25. P. 3431–3457.
- Prokopenko A.A., Karabanov E.B., Williams D.F. et al. 2001. Biogenic silica record of the Lake Baikal response to climatic forcing during the Brunhes // Quatern. Res. V. 55. P. 123–132.
- Prokopenko A.A., Williams D.F., Kuzmin M.I. et al. 2002. Muted climatic oscillations in continental Siberia during the mid-Pleistocene // Nature. V. 418. P. 65–68.
- Sapota T., Aldahan A., Possnert G. et al. 2004. Late Cenozoic Earth's crust and atmosphere dynamics record from an active continental rift system // J. Paleolimnol. V. 32. P. 341–349.
- Shackleton N.J., Hall M.A., Pate D. 1995. Pliocene stable isotope stratigraphy of ODP site 846 // Proc. ODP, Sci. Res. College Station, TX (Ocean Drilling Program). V. 138. P. 337–355.
- Williams D.F., Peck J., Karabanov E.B. et al. 1997. Lake Baikal record of continental climate response to orbital insolation during the past 5 million years // Science. V. 278. P. 1114–1117.

ЗНАЧЕНИЕ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ДИАТОМОВЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ УСЛОВИЙ КАЙНОЗОЙСКОЙ СЕДИМЕНТАЦИИ НА СЕВЕРНОМ ЗАМЫКАНИИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

И.Б. Цой

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН им. В.И. Ильичева, Владивосток, tsoy@poi.dvo.ru

IMPLICATION OF PALEOECOLOGICAL DIATOM INDICES FOR RECONSTRUCTION OF CENOZOIC SEDIMENTATION CONDITIONS IN THE JAPAN SEA NORTHERN CLOSURE

I.B. Tsoy

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Vladivostok, tsoy@poi.dvo.ru

Диатомеи доминируют в современном фитопланктоне и являются породообразующими в кайнозойских отложениях дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана, что позволяет использовать их для определения возраста и палеореконструкций. Важным параметром для реконструкции условий осадко-накопления является палеоглубина, изменение которой отражает как глобальные колебания уровня моря, так и региональные тектонические процессы. Восстановление палеоглубин на основе соотношения количества неритических и океанических видов диатомей обосновано А.П. Жузе (1962). Количественное выражение этого соотношения в виде батиметрического диатомового индекса (Bd), предложенного Ю. Янагисавой (Yanagisawa, 1996), было использовано для настоящей работы. Он определяется формулой $Bd = X_p / (X_p + X_{sh})$, где X_p – количество пелагических (океанических) видов, X_{sh} – количество шельфовых видов, включающих неритические и бентические виды. Для надежной реконструкции палеоглубин кайнозойских бассейнов были определены значения Bd в современных осадках от внутреннего шельфа до абиссальных котловин дальневосточных окраинных морей и северо-западной части Тихого океана в интервале гл. 8–6500 м (Tsoy, 2012). Для реконструкции палеотемператур поверхностных вод использовался температурный диатомовый индекс (Td) (Kanaya, Koizumi, 1966): $Td = X_w / (X_w + X_c)$, где X_w – количество тепловодных, X_c – количество холодноводных видов. Палеотемпературные кривые, основанные на соотношении тепловодных и холодноводных форм, отражают изменения температур поверхностных вод и используются при палеоокеанографических реконструкциях (Barron, 1992, 1995). Для определения возраста осадков использовались северитихоокеанские неогеновые диатомовые зоны (Barron, Gladenkov, 1995; Yanagisawa, Akiba, 1998).

Северное замыкание Японского моря представляет собой зону поднятий (возвышенности Алпатова, Витязя и хребет Окусири), которые разделяют Татарский прогиб и глубоководную Японскую котловину (рис. 1). Осадочный чехол развит в основном на крутых (15–30°) склонах этих поднятий, разделенных долинами субмеридионального простирания (Безверхний и др., 1988; Geology..., 1996).

Возвышенность Алпатова. На породах гетерогенного фундамента залегают субаэральные туфы и туффиты, в которых обнаружены (ст. 2029, ст. 2215) пресноводные диатомеи (*Aulacoseira elliptica*, *A. praegrnulata*, *Tetracyclus lacustris*, *Gomphonema* sp., *Pinnularia* sp. и др.), близкие по составу диатомеям из туфогенно-терригенной толщи хребта Южное Ямато (Цой, Шастина, 1999; Usoltseva, Tsoy, 2010). В диатомово-глинистых породах (ст. 2039, 2040, 2047, 2212–2214) обнаружены комплексы диатомей зоны *Denticulopsis praedimorpha* (12.9–11.5 млн. лет) среднего миоцена и зон *Thalassiosira yabei* (11.5–10.0 млн.

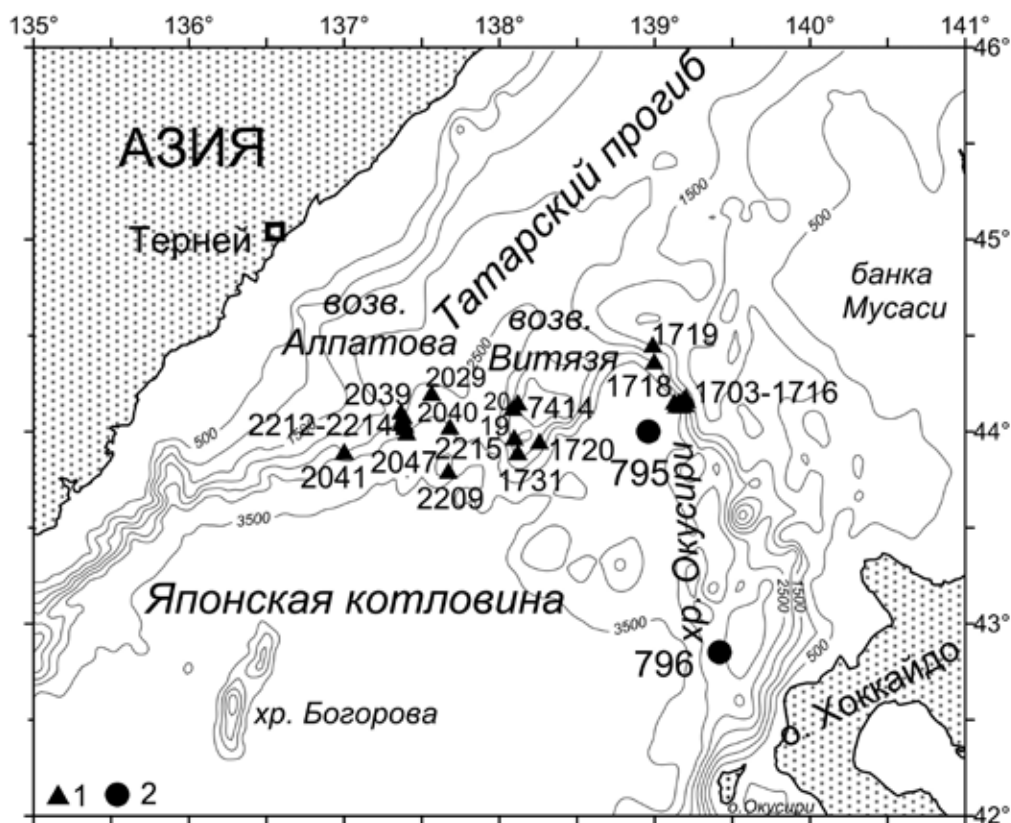


Рис. 1. Северное замыкание Японской глубоководной котловины с местоположением изученных станций. 1 – станции драгирования, 2 – скважины глубоководного бурения.

лет), *Denticulopsis dimorpha* (10.0–9.2 млн. лет), *Neodenticula kamtschatica*-*Nitzschia rolandii* (6.4–5.5 млн. лет) позднего миоцена. Значения батиметрического диатомового индекса ($Bd=0.1-0.4$) указывают на формирование осадков в неритических условиях, предположительно в зоне внешнего шельфа – верхней части склона. Современное положение изученных отложений в основании склонов возвышенности Алпатова на глубине 3300–2600 м обусловлено, вероятно, подводно-оползневыми или тектоническим опусканием возвышенности в плиоцен–плейстоценовое время по крайней мере на 2500 м. Предположение об опускании зоны поднятий, к которым относится возв. Алпатова, приблизительно на 2 км в миоцене было сделано по геофизическим данным (Антипов и др., 1980). Погружение смежной части Японской котловины (скв. 795) приблизительно на 500–1000 м также в миоцене было предположено по данным глубоководного бурения (Tamaki et al., 1992). Значения температурного индекса ($Td=0.3-0.5$) установленных интервалов среднего и позднего миоцена колебались незначительно, минимальные значения отмечены в конце позднего миоцена.

Возвышенность Витязя представляет собой подводное плато длиной 80 км и шириной 40 км, основание которого ограничено с востока, запада и юга изобатами 3000 и 3300 м, а с севера – 2000 м. Минимальная глубина моря над возвышенностью составляет 1086 м. В грубозернистых породах (ст. 1720, 1721, 1728, 19) предположительно базального горизонта осадочного чехла диатомеи не обнаружены или представлены неопределимыми единичными обломками и минерализованными створками морских видов. В туфодиатомитах и алевролитах (ст. 1720, 1731) установлены комплексы диатомей зоны *Denticulopsis praedimorpha* (12.9–11.5 млн. лет). Формировались они в более глубоководных, чем одновозрастные отложения возв. Алпатова, в батиальных условиях ($Bd=0.5-0.8$) при относительно холодных поверхностных водах ($Td=0.2-0.3$). Единично отмеченные низкоширотные виды *Hemidiscus cuneiformis*, *Azpeitia endoi*, *A. vetustissima*, *Lithodesmium californica* свидетельствуют о влиянии теплого Цусимского течения. Низкое количество бентических видов (0.9–3.1 %) указывает на минимальное влияние берегового сноса и указывает на изоляцию возвышенности Витязя от материкового склона Приморья и островного склона Хоккайдо в среднем миоцене. Диатомовые глины, установленные в привершинной части возвышенности (ст. 7414, гл. 1840–1750 м), характеризуются комплексами диатомей подзоны «*Thalassiosira oestrupii*» (5.5–3.9/3.5 млн. лет) раннего плиоцена и зоны *Neodenticula kamtschatica*-*N. koizumii* (3.9/3.5–2.7/2.6 млн. лет) позднего плиоцена. Осадки раннего плиоцена характеризуются массовым развитием силикофлагеллаты *Cannopilus jimlingii* (87 %), характерным для высокопродуктивных зон апвеллинга. В комплексах диатомей позднего плиоцена отмечены низкоширотные виды (*Hemidiscus cuneiformis*, *Azpeitia nodulifer*), что связано, вероятно, с плиоценовым потеплением в Северной Пацифике (Baggon, 1995). В черных конгломератах с железо-марганцевыми корками (ст. 20, гл. 1600–1350 м) обнаружен диатомовый комплекс зоны *Actinocyclus oculus* (2.0–1.0 млн. лет) конца позднего плиоцена–раннего плейстоцена. Экологические диатомовые индексы плиоцена – раннего плейстоцена указывают на батиальные ($Bd=0.6-0.7$) и холодноводные ($Td=0.0-0.1$) условия.

Хребет Окусири – узкое поднятие длиной 450 км, шириной не более 50 км, протягивающееся вдоль Японских островов от о-ва Рисири до п-ова Ога. Поднятие имеет сложную складчато-разломную структуру, состоит из нескольких, ступенчато расположенных хребтов, высота которых к северу увеличивается. Осадочный чехол начинается нижнеолигоценовой аргиллитовой толщей (ст. 1718, 1719) с маломощным базальным горизонтом конгломератов (Ващенко и др., 2011). Она накапливалась в прибрежно-морских условиях. В слабоуплотненных неизмененных диатомово-глинистых породах (ст. 1703–1716) содержатся комплексы диатомей зоны *Denticulopsis praedimorpha* (12.9–11.5 млн. лет) среднего миоцена и зон *Denticulopsis dimorpha* (10.0–9.2 млн. лет), *Rouxia californica* (7.6–6.4 млн. лет) и *Neodenticula kamtschatica-Nitzschia rolandii* (6.4–5.5 млн. лет) позднего миоцена. Отложения среднего миоцена формировались в верхнебатиальных условиях ($Bd=0.4–0.5$) при относительно холодных поверхностных водах ($Td=0.1–0.2$), а позднего миоцена в более глубоководных, нижнебатиальных ($Bd=0.5–0.8$) условиях. Температуры поверхностных вод в изученных интервалах позднего миоцена были вероятно выше ($Td=0.3–0.5$), чем в среднем миоцене.

Применение палеоэкологических диатомовых индексов позволило реконструировать условия формирования кайнозойских отложений подводных возвышенностей северного замыкания Японской глубоководной котловины. В целом, полученные данные согласуются с общей историей геологического развития региона, что свидетельствует о достоверности используемых диатомовых экологических индексов для палеореконструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антипов М.П., Маргулис Л.С., Филатьев В.П. 1980. Строение Южно-Татарской зоны поднятий в Японском море // Геотектоника. № 4. С. 107–117.
- Безверхний В.Л., Берсенева И.И., Ващенко Н.Г. и др. 1988. Геологическое строение северного замыкания Центральной глубоководной котловины Японского моря // Тихоокеан. геология. № 4. С. 15–22.
- Ващенко Н.Г., Горюва М.Т., Можеровский А.В., Цой И.Б. 2011. Об осадочном чехле и позднекайнозойской истории развития хребта Окусири (Японское море) // Стратиграфия. Геол. корреляция. Т. 19. № 6. С. 89–104.
- Жузе А.П. 1962. Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. М.: Изд-во АН СССР. 260 с.
- Цой И.Б. 2008. Значение батиметрического диатомового индекса (Bd) для восстановления палеоглубин окраинных морей Северо-Западной Пацифики в кайнозое // Новости палеонтологии и стратиграфии. Вып. 10–11. Т. 49. С. 476–480.
- Цой И.Б., Шастина В.В. 1999. Кремнистый микропланктон неогена Японского моря (диатомеи, радиолярии). Владивосток: Дальнаука. 241 с.
- Barron J. 1992. Pliocene paleoclimatic interpretation of DSDP Site 580 (NW Pacific) using diatoms // Marine Micropaleontology. V. 20. P. 23–44.
- Barron J.A. 1995. High-resolution diatom paleoclimatology of the middle part of the Pliocene of the Northwest Pacific // Proc. ODP. Sci. Res. College Station, TX (Ocean Drilling Program). V. 145. P. 43–52.
- Barron J.A., Gladenkov A.Yu. 1995. Early Miocene to Pleistocene Diatom Stratigraphy of Leg 145 // Proc. ODP. Sci. Res. College Station, TX (Ocean Drilling Program). V. 145. P. 3–19.
- Geology and Geophysics of the Japan Sea (Japan-Russia Monograph Series, v. 1). 1996 / N. Isezaki, I.I. Bersenev, K. Tamaki et al. (eds). Tokyo: Terrapub. 500 p.
- Kanaya T., Koizumi I. 1966. Interpretation of diatom thanatocoenoses from the North Pacific applied to a study of core V20-130 // Tohoku Univ., Sci. Rep., 2 Ser. (Geol.). V. 37. № 2. P. 89–130.
- Tamaki K., Suyehiro K., McWilliams M. et al. 1992. Proc. ODP, Sci. Res. 127/128. Pt 2. College Station, TX (Ocean Drilling Program). P. 779–1478.
- Tsoy I. 2012. Bathymetric diatom index of the Far East marginal seas and North Pacific surface sediments and its implication for paleoreconstruction // Marine environmental and resources in XXI century: Abstracts of the 2 Russia – China Symp. On Marine Science, 10–13 October, 2012. Vladivostok, Russia. Vladivostok: FEB RAS. P. 184–185.
- Usoltseva M.V., Tsoy I.B. 2010. Elliptical species of the freshwater genus *Aulacoseira* in Miocene sediments from Yamato Rise (Sea of Japan) // Diatom Res. V. 25. № 2. P. 397–415.
- Yanagisawa Y. 1996. Diatom assemblages as an indicator of bathymetry // Journ. Sed. Japan. № 43. P. 59–67.
- Yanagisawa Y., Akiba F. 1998. Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons // Journ. Geol. Soc. Japan. V. 104. № 6. P. 395–414.

ИЗВЕСТКОВЫЕ ВОДОРОСЛИ ПЕРМСКОЙ СИСТЕМЫ ЗЕМНОГО ШАРА

Б.И. Чувашов

Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, chuvashov@igg.uran.ru

PERMIAN CALCAREOUS ALGAE OF THE GLOBE

B.I. Chuvashov

Institute of Geology and Geochemistry of UB RAS, Ekaterinburg, chuvashov@igg.uran.ru

Волна внимания к известковым водорослям (ИВ) прошла в 70–80 гг. прошлого века. В этот период издавались международные справочники, проводились совещания разного ранга, описаны многочисленные таксоны. К концу века наступил заметный спад интереса к этим организмам, который сменился (?) в наше время некоторым вялым подъемом.

Водоросли не играют большой роли для стратиграфии, кроме местных очень узких фациальных зон. Как члены биоценозов они имеют значение для определения глубин формирования осадка, что ограничено освещенной частью водного столба. Привязанность зеленых и красных водорослей к температурам может служить индикатором этого важного индекса для реконструкций прошлого. История изучения водорослей большей частью сводится к таксономическим исследованиям. Гораздо менее обширна информация, где водоросли используются как индикаторы среды седиментогенеза. Количество таксонов на родовом уровне представляет собой медленно восходящую линию с отдельными пиками. Зеленые водоросли очень разнообразны по морфологии и в таксономическом плане. Красные водоросли явно уступают по названным позициям «зеленым родственникам».

В 1991 г. была издана монография под редакцией Р. Райдинга (Riding, 1991), в которой были приведены подсчеты числа таксонов красных и зеленых водорослей пермской системы. Список красных водорослей состоял из 17 родов, перечень зеленых водорослей достиг 50 родов. Надо отметить, что многие роды состоят всего из нескольких видов, а есть и одиночки. В настоящее время число родов зеленых водорослей заметно возросло. Красные водоросли явно уступают им в этом отношении. Не представляется возможным привести списки известных родов и видов ИВ по районам, поэтому ниже выбран такой способ тезисной информации: названы районы с наиболее полными данными с приведением привязки водорослей к разрезу. В других случаях названы только районы с рассеянным распространением этих организмов.

В юго-восточной Азии можно обособить обширную территорию, включающую южный Китай, Таиланд, Вьетнам, Малайзию, Филиппины и Гималаи (Индия). На этой территории имеются разрезы мелководных карбонатных пород, участками рифовых, от верхнего карбона до триаса включительно. Стратиграфическое распространение ИВ в нижней перми по материалам зарубежных коллег (Mu Xi-nan, G.F. Elliot, R. Riding, H. Chen, D. Vachard, B.L. Marnett и др.) можно представить в следующем виде:

Ассельский ярус: *Ungdarella* sp., *Anchicodium*, *Epimastopora*, *Pseudoepimastopora*, *Globuliferoporella*, *Pseudoepimastopora mizziaformis* Endo, *Salopekiella* sp., *Girooporella nipponica* Endo et Nosheno, *G. toboensis* Endo.

Сакмарский ярус: *Neoanchicodium catenoiitchi* (Endo et Kaumo), *Tibetocodium gamboensis* Mu, *Atractilopsis* sp., *Epimastopora alpine* Koch. et Herak, *Epimastopora pia* Bulg., *Globuliferoporella angulata* (Tchuv.), *Bisseriella dissecta* (Tchuv.), *Gyroporella longitolla* Endo.

Интервал разреза от верхней части сакмарского яруса до нижнеартинского отсутствует или лишен водорослей.

Верхнеартинский подъярус: *Nanjinophycus ovalis* Mu, *N. endoi* (Nguen), *Nanjinoporella padoga* (Mu et Elliot), *Succodina* sp., *Sinoporella* sp., *Pseudovertimiporella* sp., *Tubiphites* sp.

Фораминиферовые зоны Missellina – Cancellina:

Succodina sp., *Antraciporella spectabilis* Pia, *Ungdarella conservata* Korde, *Xainzanella sinensis* Mu

Фораминиферовые зоны Neoschwagerina – Yabeina:

Gymnocodium bellerophonis (Rothpletz), *Permocalculus* aff. *plumosum* Elliot, *Anchicodium robustum* Mu, *A. zhounghaeisis* Mu, *Diplopora tibetica* Mu, *Eugonilina johnsoni* Endo, *Epimastopora hunzalensis* Zanin, *E. kanimai* Endo, *Cornutella cornuta* Koch. et Herak, *Mizzia longiporosa* Endo, *M. velebitana* Shubert, *Zaporella sinensis* Mu.

Фораминиферозная зона Codonofusulina:

Gymnocodium bellerophonis (Rothpletz), *Permocalculus* (*Permocalculus*) *tenellus* (Pia), *Permocalculus* (*Permocalculus*) *aussinensis* Mu, *Permocalculus* (*Pyruclites*) *sinensis* Mu, *Epimastopora* sp. A et B, *Macroporella* sp., *Mizzia velebitana* Schubert, *Pseudovermiporella* sp.

Фораминиферозная зона Paleofusulina:

Gymnocodium exile Mu, *Permocalculus* (*Pyruclites*) *simens* Mu, *Solenopora pudingensis* Mu, *Epimastopora* sp., *Tubiphites obscurus* Masl.

Хорошо изучены водоросли рассматриваемых групп на территории Таиланда (Toriyama et al., 1975; Endo, 1969), где установлены 64 вида из 33 родов, большая часть из них описана из верхней перми.

Далее к западу на территории Узбекистана (хребет Карачатыр) также по разрезу снизу вверх дается такая последовательность водорослей в разрезе (Ходжанязова, 1993).

Ассельский ярус (кержидонский и дангибулакский горизонты) содержит следующий комплекс альгофлоры: *Eugonophyllum jonsoni* Konishi et Wray, *E. muldery* Rack., *Anchicodium funele* Johnson, *A. plumosum* Johnson, *Pseudogyroporella mizziaformis* Endo, *Ps. tobensis* (Mu), *Ps. chuvashovi* Khodzh., *Alpinogyroporella carnica* (Flug.), *E. endo* Khodzh., *Epimastopora alpina* Koch. et Herak, *E. roellensis* Racz., *E. kansanensis* Jonson, *E. karachatirensis* Khodzh., *E. japonica* Endo, *E. likana* Koch. et Herak, *E. shachtauensis* (Kulik), *E. pia* Bilgutay, *Gyroporella dissecta* Tchuv., *Mizzia cornuta* Koch. et Herak, *M. minuta* Jonson, *M. pseudocornuta* Kulir, *Antracoporella spectabilis* Pia, *Pseudomoniliporella lacera* Khod., *Komia abundans* Korde.

Переходные слои от карбона к перми и нижнепермские карбонатные отложения хорошо изучены на территории Югославии и севера Италии. Ассельский комплекс ИВ описан в ряде статей, монографий и в серии работ Э. Флюгеля (Flügel, 1966 и др.). Эти отложения представляют западное продолжение тепловодных зон области Тетис, которая только короткими языками заходит на территорию Западной Сибири и обоих склонов Урала.

В Предуральском прогибе (ПП) на восточной окраине Русской плиты ареалы известковых водорослей присутствуют в двух фашиальных зонах: в восточной прибрежной зоне в рифовых постройках и слоистых детритовых известняках. В западном ареале водоросли многочисленны в биогермных и рифовых постройках карбона и нижней перми. Эти две зоны, разделенные относительно глубоководными отложениями шириной до нескольких десятков и даже сотен километров, прослеживаются на расстоянии 1000 – 1200 км.

Наибольшее разнообразие водорослей связано с крупными рифовыми постройками, а внутри их с детритовыми известняками песчаниковой размерности. Характерными обитателями восточной и западной групп построек являются также тубифитесы – бактериальные тела. Эти организмы имеют размеры до 2–3 см и в целом составляют значительную массу органогенных тел.

При переходе от рифов к зарифовым фашиям ИВ почти исчезают. Список известных на сегодня таксонов водорослей включает (Чувашов, 1974; Кулик и др., 1978; Чувашов и др., 1987; Chuvashov et al., 1993): *Anchicodium sindbadi* Elliot, *A. fascicularis* Tchuv., *A. funile* Johns., *Eugonophyllum jonsoni* Kon. et Wray,

Ivanovia aff. *tenuissima* Chvorova, *Thaiporella uralica* Tchuv., *Antracoporella spectabilis* Pia, *A. uralica* Tchuv., *Anfractusoporella uphaensis* Tchuv., *Epimastopora pia* Bulg., *E. roellensis* Rach., *E. sphaenopora* Tchuv., *Pseudoepimastopora likana* Koch. et Herak, *P. aff. impera* Racz, *Globuliferoporella symetrica* (Johns.), *Gl. angulata* Tchuv., *Gyroporella clavata* Tchuv., *G. nipponica* Endo et Hashimoto, *G. dissecta* Tchuv., *Solenopora centurionia* Pia., *Lysuaevella partita* Tchuv., *Ungdarella* sp., *Komia* aff. *abundans* Korde, *Donezella luhaensis* Racz, *D. intertexta* Tchuv., *Cuneiphycus johnsoni* Flugel. Органогенные постройки с водорослями далее на север выходят на территорию Баренцева моря. Они обнаружены здесь на островах и на дне моря.

Довольно хорошо ИВ изучены на территории Канадского Арктического архипелага. Здесь (Mamet et al., 1987) в пермских отложениях обнаружены следующие водоросли: *Neoanchicodium catenoides* Endo, *Microcodium* sp., *Vermiporella* sp., *Antracoporellopsis machaevii* Maslov, *A. girtyi* Mamet et Roux, *Uraloporella variabilis* Korde, *Epimastoporella japonica* (Endo), *Epimastoporella iwaizakensis* (Endo), *Paraepimastopora kansasensis* (Jonson), *Epimastopora symetrica* (Johnson), *Globuliparaporella symetrica* (Jonson), *Epimastopora pia* Bilgutel., *Diplopora belcherensis* Mamet et Roux, *Pseudogyroporella mizziaformis* Endo, *Gyroporella constricta* Kochansky-Devide, *Gyroporella clavata* Chuv., *Macroporella* sp. *Ungdarella paratrovichensis* Mamet et Rudloff, *Archaelithophyllum missouriensis* Johnson.

Южнее Канады ИВ известны на территории запада США в нижнем и верхнем отделах перми. Однако составить колонку с их распространением по разрезу системы очень сложно, т.к. в обобщенной стратиграфической последовательности слои с ИВ разделены значительными интервалами без них.

Следовательно, пояс пермских известковых водорослей, учитывая разнообразную здесь не упомянутую литературу, протягивается от Японии и Таиланда, на Южный Китай, а затем в горы Тянь-Шаня, на территорию Афганистана (Vachard, Montenat, 1994). Этот пояс далее продолжается вдоль северного, включая Альпы (Flugel, 1966 и др.) и частично южного побережий Средиземного моря. В презентации будет изложена сравнительная характеристика состава водорослевых биот, как реакция на состояние климата в течение пермского периода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Отделения наук о Земле РАН, № 12-П-5-1029 и гранта Президиума Уральского отделения РАН, № 12-С-5-2009.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кулик Е.Л., Королук И.К., Раузер-Черноусова Д.М. 1978. К вопросу стратиграфического и фашиального значения ассельских и сакмарских известковых водорослей // Вопр. микропалеонтологии. Вып. 21. С. 216–232.
- Ходжаньязова Р.М. 1993. Позднепалеозойские водоросли хребта Карачатых (Южная Фергана) и их стратиграфическое значение. Автореф. канд. дисс. Ташкент, Ташкентский ун-т. 20 с.
- Чувашов Б.И. 1974. Пермские известковые водоросли Урала. Водоросли, брахиоподы и миоспоры из пермских отложений Западного Урала. Свердловск: Ин-т геол. и геохим. УНЦ АН СССР. С. 3–76.
- Чувашов Б.И., Лучинина В.А., Шуйский В.П. и др. 1987. Ископаемые известковые водоросли. Морфология, систематика, методы изучения. Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 225 с.
- Chuvashov B.I., Shuisky V.P., Ivanova R.M. 1993. Stratigraphical and facies complexis of the Paleozoic calcareous algae of the Urals / Studies of Fossil Algae. F. Baratollo et al. (eds). Boll. Soc. Paleont. Ital. Spec. V. 1. Nocchi. Modena. P. 93–119.
- Endo R. 1969. Fossil Algae from the Khao Phlong Phlong Phral district in Tailand // Contrib. Geol. Paleontol. Southeast Asia, 70. V. 7. Tokyo: Univ. Tokyo Press. P. 33–85.
- Flugel E. 1966. Algen aus dem Perm der Karnishen Alpen // Carinthia, Sh. 25. P. 3–78.
- Mamet B.L., Roux A., Nassichuk W.W. 1987. Algae Carboniferous et Permiennes de L'Arctique Canadien // Geol. Surv. Can. Bul. 342. 144 p.
- Riding R., Gou L. 1991. Permian Marine Calcareous Algae / Calcareous Algae and Stromatolites. Springer Verlag Berlin, NY, Heiderberg. P. 452–480.
- Toriyama R., Hamada Takashi, Igo H. et al. 1975. The Carboniferous end Permian Systems in Thailand and Malaysia // Contrib. Geol. Paleontol. Southeast Asia. CXLIX. V. 15. Tokyo: Univ. Tokyo Press. P. 39–76.
- Vachard D., Montenat C. 1994. Biostratigraphie, Micropaleontology et Paleogeographie du Permien de la Region de Tezak (Montagnes centrals D, Afganistan) // Paleontographica. Beitr. Natur. Vorzegt. Abt B. Bd 178. 88 p.

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ОЗЕР ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ И ИХ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Т.С. Шелехова

Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, shelekh@krc.karelia.ru

DIATOMS IN LAKE SEDIMENTS OF THE WHITE SEA COAST AND THEIR PALAEOGEOGRAPHICAL SIGNIFICANCE

T.S. Shelekhova

Institute of Geology Karelian of RC RAS, Petrozavodsk, shelekh@krc.karelia.ru

Комплексы диатомовых водорослей, содержащиеся в донных отложениях озер, позволяют восстановить условия формирования осадков: глубину водоема и изменение его уровня, соленость и температуру воды, а затем выделить морские и пресноводные фации.

На беломорском побережье с севера на юг в районах поселков Чула, Энгозеро, Кузема, г. Беломорск, п. Сумский Посад были исследованы донные отложения из 37 малых озер, расположенных на разных абсолютных отметках побережья Белого моря, от уреза воды до 81.5 м над уровнем моря, которые характеризует различные палеоэкологические условия и фации.

Получены новые данные о составе диатомовых комплексов всех выявленных фаций в донных осадках побережья Белого моря.

В северных районах Карельского берега (пос. Лесозавод, пос. Чупа) в донных осадках озер установлены пять фациальных типов отложений: пресноводные осадки приледникового озера (I), осадки переходные от пресноводных к морским (II), морские осадки (III), переходные от морских к современным озерным (IV) и современные озерные осадки (V) (Колька и др., 2012). Следует отметить, что полная последовательность данных фаций встречается не во всех разрезах. В котловинах современных озер были встречены и полные, и редуцированные их последовательности. В исследованных районах разрезы имеют значительные литологические и стратиграфические несогласия, и часто только диатомовый анализ позволяет точно определить переход от одних условий седиментации к другим. Особый интерес представляют диатомовые комплексы в интервалах, которые по литологии диагностировались как переходные между морскими и озерными осадками, а также морские и приледниковые фаши отложений. В докладе представлены результаты диатомового анализа всех фаши и приведены палеоэкологические характеристики их диатомовых комплексов, которые позволяют сделать следующие выводы:

1. Приледниковые отложения представлены неслоистой, неяснослоистой или ленточной глиной, слоистым разнородным песком. Диатомовый комплекс в них отличается содержанием единичных мелких обломков морских центральных видов, а также единичных створок *Caloneis schrödery* Hust., *Coscinodiscus* sp., *Chaetoceros holsaticus* (Schütt.), *Navicula* sp., *Pinnularia quadratarea* A.S. и в целом отражают либо чисто пресноводные, либо слабо осолоненные условия седиментации осадков. Такие комплексы выявлены в донных отложениях озер в районе п. Чупа, п. Кузема. Встречаются в разрезах и немые в диатомовом отношении отложения данной фаши.

2. Осадки фаши переходной зоны от пресноводных (приледникового озера) к морским условиям седиментации представлены зеленоватым песком или алевритом с коричневым до черного органическим материалом. Они содержат створки очень плохой сохранности, большое количество обломков. Целые створки характерны для видов только мелких размеров, в пределах 5–10 мкм, более крупные – 50 и более микрон – практически все в обломках. Среди них главенствующее положение занимают галофильные виды: *Gyrosigma* Hass sp., *Epithemia zebra* var. *saxonica* Grün., *Achnanthes conspicua* A.Mayer, *Fragilaria subsalina* (Grün.) L.-B., *Anomoeoneis sphaeropora* var. *sculpta* (O.Müll). Среди морских полигалобов *Chaetoceros* Ehr. sp., *Glyphodesmis distans* (Greg.) Grün., *Thalassionema nitzschioides* Grün., *Navicula humerosa* Breb., *Nitzschia grunovii* (Cl.) Hasle, *Nitzschia obtusa* W.Sm. и мезогалобов *Mastogloia elliptica* (Ag.) Cl., *Mastogloia grevillei* W.Sm., *M. smithi* var. *lacustris* Grün., *Diploneis interrupta* (Kütz.) Cl. выявлены лишь единичные створки.

3. Морские отложения представлены как минеральным (разнородным песком), так и органическим материалом (отдельные раковины и их фрагменты в алеврито-песчаных осадках) и содержат морскую и солоноватоводную диатомовую флору, процентное соотношение которой колеблется в широких пределах. Сочетание полигалобов, мезогалобов, галофилов и индифферентов для каждого временного палеоклиматического периода голоцена различается и зависит как от климатических, геолого-геоморфологических, так и от топоэдафических факторов. Среди полигалобов доминируют *Thalassiosira* Cl. sp., *Diploneis* Ehr. sp., в небольшом количестве присутствуют *Navicula ammophila* Grün., *N. palpebralis* Breb., *N. bottnica* Grün. Мезогалобы более разнообразны и среди них выделяются: *Opephora marina* (Greg.) Petit, *Mastogloia grevillei* W. Smith, *M. smithi* var. *lacustris* Grün., *M. elliptica* (Ag.) Cl., *M. pumilla* (Grün) Cl. Наиболее типичные галофилы в данном типе осадков: *Epithemia sorex* Kütz., *Navicula rhyncocephala* Kütz., *N. hungarica* Grunov, *Nitzschia* Hass. sp., *Rhopalodia gibba* var. *ventricosa* (Ehr.) (Kütz.), *Rhoicosphaenia curvata* (Kütz.), Grun. Пресноводные индифференты в морских отложениях немногочисленны. Среди них можно выделить *Amphora ovalis* Kütz., *Cocconeis placentula* Ehren., *Fragilaria* sp., *Tabellaria flocculosa* (Roth.) Kütz. и др.

4. Осадки фаши переходной зоны от морских отложений к озерным представлены неслоистой, неяснослоистой гиттией, алевритистой гиттией или алевритом. Основные доминанты переходной зоны мезогалобы – *Diploneis smithi* (Breb.) Cl., *Diploneis smithi* var. *pumilla* (Grun.) Hust., *Mastogloia elliptica* (Ag.) Cl., *Mastogloia smithi* Thwaites, галофилы *Cocconeis placentula* Ehr., *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Epithemia sorex* Kütz., *Navicula rhyncocephala* Kütz., *Navicula cryptocephala* Kütz., *Sellaphora pupula* (Kütz.) Mer., *Navicula radiosa* Kütz., *Gyrosigma* sp.

5. Современные озерные осадки представлены сапропелями (гиттией) неяснослоистыми с растительными остатками, в которых содержится до 10 % галофилов с единичными поли- и мезогалобами: *Thalassiosira* Cl. sp., *Coscinodiscus* sp., *Mastogloia* sp.; пресноводный комплекс довольно богат и разнообразен и включает планктонные виды родов *Aulacoseira*, *Cyclotella*, формы обрастаний (эпифиты): *Fragilaria*, *Tetracyclus*, *Cymbella*, *Tabellaria* и донные *Navicula*, *Pinnularia* и др. По их соотношениям и смене комплексов можно четко выделить основные этапы развития водоемов, а также доминирующие виды для каждого палеоклиматического периода и в сочетании с другими микропалеонтологическими методами установить относительный возраст осадков.

Диатомовые комплексы служат надежными индикаторами состояния озерных экосистем в позднеледниковье и голоцене. Данные об изменении их видового состава, дополненные результатами спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного датирования позволили реконструировать миграцию береговой линии Белого моря в зависимости от палеогеографической обстановки и выделить этапы развития водоемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С. и др. 2012. Перемещение береговой линии Белого моря и гляциостатическое поднятие суши в голоцене (район поселка Кузема, северная Карелия) // Докл. АН. Т. 442. № 2. С. 1–5.

**ДИНОФЛАГЕЛЛЯТЫ В РЕШЕНИИ БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
(НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ СРЕДНЕЮРСКИХ – НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
СЕВЕРНОГО КАСПИЯ)**

О.В. Шурекова, Н.К. Куликова, Е.Г. Раевская, Е.С. Разумкова
ФГУНПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург, o.antonen@gmail.com

**DINOFLAGELLATES IN SOLVING OF BIOSTRATIGRAPHICAL PROBLEMS (A CASE STUDY
FROM THE MIDDLE JURASSIC - LOWER CRETACEOUS OF NORTH CASPIAN)**

O.V. Shurekova, N.K. Kulikova, E.G. Raevskaya, E.S. Razumkova
FGUNPP Geologorazvedka, Saint-Petersburg, o.antonen@gmail.com

Ископаемые динофлагелляты – одноклеточные планктонные водоросли, представленные в палиноспектрах морских осадочных пород в виде fossilized органикостенных цист, имеют достаточно высокие темпы эволюции (начиная с позднего триаса), широкое распространение, продуцируются в огромных количествах, морфологически распознаваемы и таксономически разнообразны. Благодаря перечисленным характеристикам диноцисты стали одной из руководящих групп для биостратиграфии мезозоя, несмотря на то, что история их изучения в нашей стране насчитывает всего несколько десятилетий. Особенно эффективно использование данных по диноцистам на закрытых территориях, где находки остатков ортостратиграфических групп редки или вовсе отсутствуют. Однако степень изученности диноцист по разным регионам различна. И если для одних, хорошо изученных регионов, уже разработаны и успешно применяются конкурентоспособные зональные шкалы, то по другим существуют лишь разрозненные краткие сведения об их находках.

При выполнении заказных работ по биостратиграфическому изучению среднеюрских – нижнемеловых отложений северной акватории Каспийского моря с целью расчленения и корреляции удаленных разрезов скважин, вскрывающих продуктивные горизонты неокома, обозначились определенные трудности. Остатки макрофауны в анализируемых отложениях встречены не были, а обильные микрофаунистические остатки, представленные комплексами преимущественно бентосных агглютинирующих фораминифер, оказались трудно сопоставимы с характерными комплексами планктонных секреторных форм, являющихся основой зональной фораминиферовой шкалы, принятой в унифицированной стратиграфической схеме Каспийского региона.

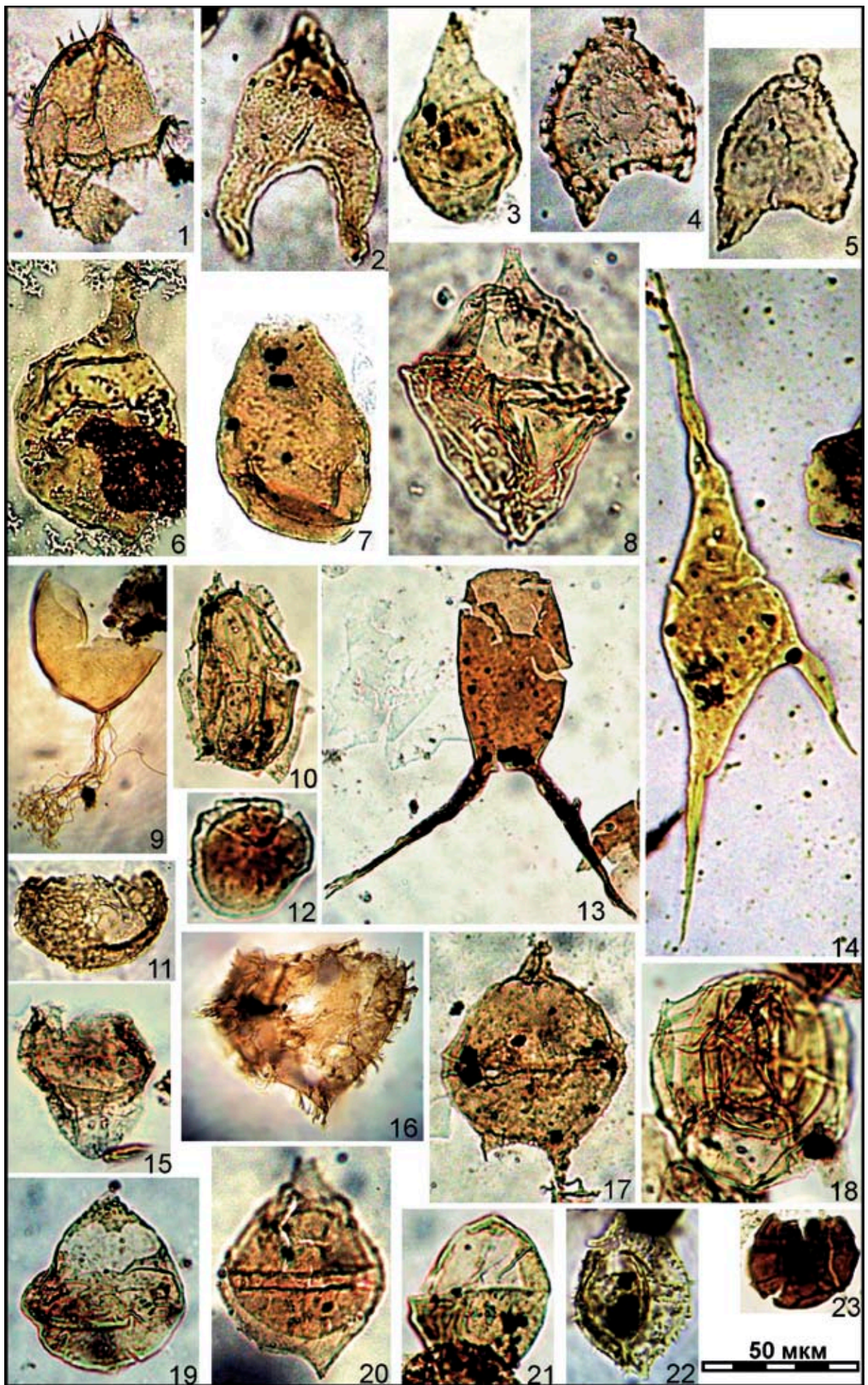
Микрофитологические исследования на рассматриваемой территории прежде не проводились. Была известна всего одна публикация о диноцистах апта Северного Прикаспия (Федорова, 1980) и единичные упоминания о присутствии микрофитопланктона в спорово-пыльцевых спектрах, указывающие на прибрежно-морской режим осадконакопления вмещающих пород. В связи с этим, полученные нами в результате проведенных исследований (Куликова и др., 2011; Федорова и др., 2012) микрофитологические данные имеют большую ценность.

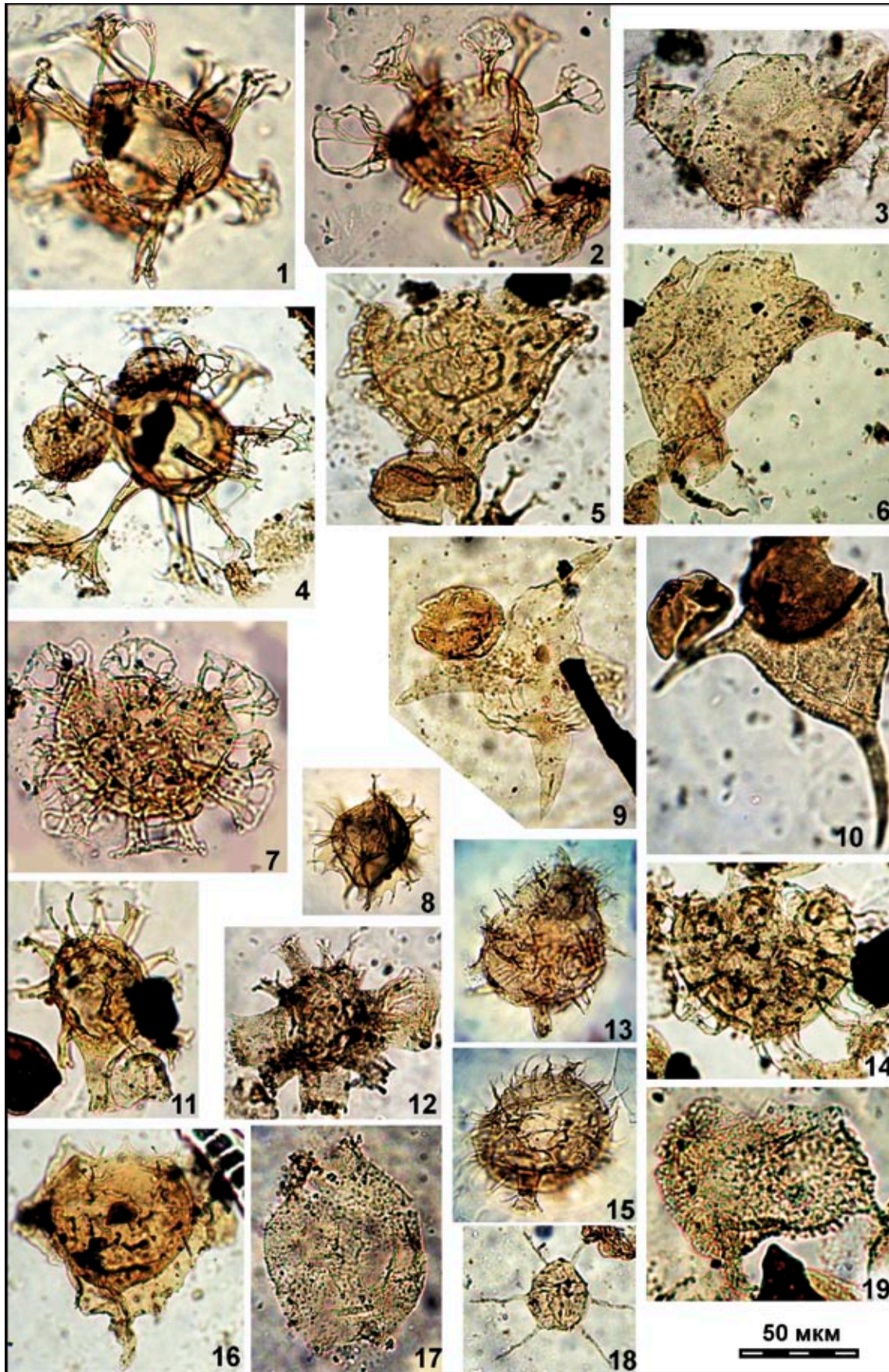
Всего было проанализировано 36 образцов керн из скважин Лаганская-1 (Л-1), Петровская-1 (П-1) и Морская-1 (М-1), расположенных в северо-западной части Российского сектора Каспийского моря примерно в 50 км друг от друга. Практически во всех образцах присутствовали таксономически разнообразные микрофитофоссилии хорошей и исключительно хорошей сохранности. Фотографии некоторых наиболее стратиграфически важных таксонов диноцист приведены в таблицах 1 и 2. На основе анализа вертикальных и латеральных диапазонов распространения диагностированных видов была установлена последовательность семи комплексов диноцист, что позволило расчленить интервал опробованного разреза средней юры - нижнего мела и сопоставить изученные скважины. Выдержанность таксономического состава комплексов в осадочных толщах рассмотренной территории дает основание для выделения соответствующих биостратонов в ранге слоев с диноцистами (рис. 1), что является первым шагом в направлении разработки зональной биостратиграфии по диноцистам в Северном Каспии.

Таким образом, полученные результаты показали не только практическую значимость диноцист в решении конкретных биостратиграфических задач, но и высокую перспективность дальнейших исследований микрофитопланктона в этом все еще слабо изученном регионе.

Объяснение таблицы 1

1 – *Dichadogonyaulax sellwoodi* Sarj., скв. М-1, гл. 1423 м; **2** – *Nannoceratopsis pellucida* Defl., скв. М-1, гл. 1422,5 м; **3** – *Phallocysta eumekes* Dörh. et Davies, скв. П-1, гл. 1802,5 м; **4** – *Nannoceratopsis dictyambonis* Rid., скв. П-1, гл. 1793,6 м; **5** – *Nannoceratopsis gracilis* Alb., там же; **6** – *Protobatioladinium elatmaensis* Rid. et Iljina, скв. М-1, гл. 1422,2 м; **7** – *Fromea tornatilis* (Drugg) Lent. et Will., там же; **8** – *Scriniodinium campanula* Gocht, скв. М-1, гл. 1397 м; **9** – *Desmocysta plekta* Duxb., скв. П-1, гл. 1485 м; **10** – *Carpodinium granulatum* Cook. et Eisen., скв. П-1, гл. 1390 м; **11** – *Cassiculosphaeridia reticulata* Dav., скв. М-1, гл. 1332 м; **12** – *Leberidocysta* sp., скв. М-1, гл. 1397 м; **13** – *Batioladinium longicornutum* (Alb.) Brid., скв. П-1, гл. 1460 м; **14** – *Odontochitina operculata* (Wetz.) Defl. et Cook., скв. П-1, гл. 1325 м; **15** – *Ovoidinium* sp., скв. П-1, гл. 1466 м; **16** – *Aptea polymorpha* Eisen., скв. М-1, гл. 1315 м; **17** – *Palaeoperidinium cretaceum* (Poc. ex Dav.) Lent. et Will., скв. П-1, гл. 1460 м; **18** – *Stephodinium coronatum* Defl., скв. П-1, гл. 1370 м; **19** – *Pierceites* sp., скв. П-1, гл. 1460 м; **20** – *Subtilisphaera* sp., скв. Л-1, гл. 1699,2 м; **21** – *Luxadinium* aff. *primulum* Brid. et McInt., скв. П-1, гл. 1424 м; **22** – *Spinidinium* sp., скв. П-1, гл. 1140 м; **23** – *Microdinium* sp., скв. М-1, гл. 1397 м.





Объяснение таблицы 2

1 – *Stiphrosphaeridium dyctiophorum* (Alb.) Jain and Mill., скв. М-1, гл. 1367 м; 2 – *Stiphrosphaeridium antophorum* Dav., там же; 3 – *Cerbia tabulata* (Dav. et Verd.) Below, скв. Л-1, гл. 1702 м; 4 – *Oligosphaeridium pulcherrimum* (Defl. et Cook.) Dav. and Will., там же; 5 – *Pseudoceratium retusum* Brid., скв. Л-1, гл. 1707.1 м; 6 – *Pseudoceratium nudum* Gocht, там же; 7 – *Hystrichosphaerina schindewolfii* Alb., скв. М-1, гл. 1396.6 м; 8 – *Spiniferites* sp., скв. М-1, гл. 1331.6 м; 9 – *Vesperopsis mayi* Bint, скв. М-1, гл. 1411 м; 10 – *Pseudocertium tovae* Nøhr-Hans., скв. Л-1, гл. 1707.1 м; 11 – *Florentinia*

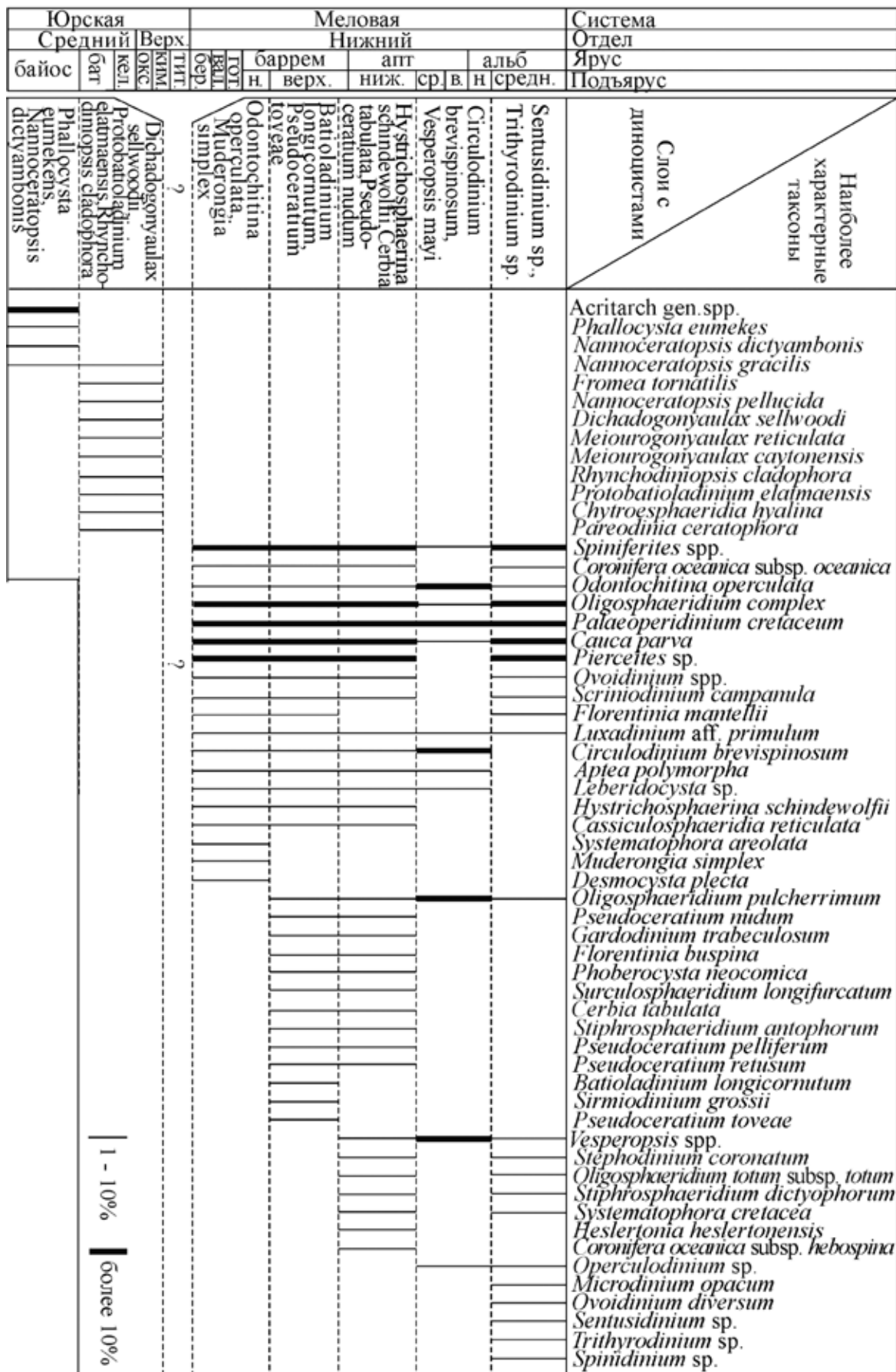


Рис. 1. Схема распространения характерных видов диноцист в сквозном разрезе среднеюрских нижнемеловых отложений Северного Каспия.

mantellii (Dav. et Will.) Dav. et Verd., скв. Л-1, гл. 1699.2 м; **12** – *Florentinia buspina* (Dav. et Verd.) Duxb., скв. М-1, гл. 1396.6 м; **13** – *Coronifera oceanica* Cook. et Eisen., subsp. *heboospina* Yun Hyesu, гл. 1331.6 м; **14** – *Systematophora cretacea* Dav., скв. П-1, гл. 1370 м; **15** – *Coronifera oceanica* Cook. et Eisen. subsp. *oceanica*, скв. М-1, гл. 1331.6 м; **16** – *Phoberocysta neocomica* (Gocht) Mill., скв. Л-1, гл. 1707.1 м; **17** – *Circulodinium brevispinosum* (Poc.) Jans., скв. М-1, гл. 1396.6 м; **18** – *Cauca parva* (Alb.) Dav. et Verd., скв. М-1, гл. 1411 м; **19** – *Pseudoceratium pelliferum* Gocht, скв. М-1, гл. 1396.6 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Федорова В.А.* 1980. Роль органогенного микрофитопланктона при корреляции удаленных разрезов (на примере изучения аптских отложений Северного Прикаспия) // Н.А. Тимошина (ред.). Микрофитофоссилии в нефтяной геологии. Л.: Тр. ВНИГРИ. С. 60–78.
- Куликова Н.К., Раевская Е.Г., Разумкова Е.С.* и др. 2011. Биостратиграфическое расчленение и корреляция среднеюрских – нижнемеловых отложений Северного Каспия // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Мат-лы 4 Всерос. совещ. Санкт-Петербург: Лема. С. 121–123.
- Федорова А.А., Куликова Н.К., Раевская Е.Г.* и др. 2012. Биостратиграфическое расчленение нижнемеловых отложений Северного Каспия по результатам микропалеонтологических исследований // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Тр. 4 Всерос. совещ. Краснодар: Изд-во КубГУ. С. 296–299.

Водоросли в эволюции биосферы

Материалы I палеоальгологической конференции,
25–28 февраля 2013 г., Москва, ПИН РАН

Ответственные редакторы: Е.Г. Раевская, С.В. Рожнов

Компьютерная верстка: М.К. Емельянова
Обложка: А.А. Ермаков

Москва, ПИН РАН, 2013
Профсоюзная ул., 123

Формат 60x90/8, бумага офсетная, гарнитура Таймс

Тираж 120 экз.
20 усл.п.л., 16 уч.-изд.л.
Подписано в печать 11 февраля 2013 г.
Отпечатано в ОМТ ПИН РАН

