

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ КАЛЬКОВСКОГО “ГЕОБИОЛОГИЯ СТРОМАТОЛИТОВ”

В 2008 году исполнилось 100 лет со времени выхода в свет замечательной работы Эрнста Луи Кальковского (1851–1938) “Оолиты и строматолиты в песчаниках Бунтер (нижний триас) Северной Германии”, в которой он впервые ввел в геолого-палеонтологическую литературу термин “строматолит”. Как это ни удивительно, смысл, вкладываемый в этот термин, многократно менявшийся за прошедший век, в настоящее время вернулся предложенному автором: “Строматолиты состоят из тонких, более или менее плоских слоев кальцита со специфической текстурой.... Их формируют слои или маты строящих организмов...” (Kalkowsky, 1908). Геобиологическая группа в Гёттингенском Университете, работающая над проектом “Геобиология органов и биопленок”, в рамках программы Германских федеральных инициативных исследований, организовала симпозиум, посвященный 100-летней годовщине выхода работы Э. Кальковского. Симпозиум прошел в Гёттингенском университете с 4 по 11 октября 2008 г. В работе симпозиума приняли участие 129 специалистов из 23 стран: США, России, Германии, Франции, Норвегии, Канады, Китая, Польши, Швейцарии, Италии, Японии, Омана, ЮАР, Испании, Марокко, Великобритании, Мексики, Австралии, Швеции, Сингапура, Индии, Украины, Бразилии. К началу симпозиума был опубликован сборник тезисов, содержащий 90 докладов, и путеводитель полевых экскурсий.

Научная программа симпозиума включала следующие направления: “Эволюция микробных систем, строение микробных сообществ”; “Озерные и речные системы”; “Глубинная биосфера и холодные сипы”; “Морские системы”; “Формирование микробных систем”. Каждому направлению были посвящены два-три ключевых приглашенных доклада длительностью по 40 мин и несколько сообщений, касающихся более частных вопросов (по 20 мин), а также целый ряд стендовых докладов, которые обсуждались в течение трех дней на постерных сессиях. Всего были представлены 51 устный и 38 стендовых докладов.

Первое утреннее заседание было посвящено появлению и эволюции микробных систем и их строению. В ключевом докладе R. Riding (США) высказал мнение, что строматолиты, появившиеся на Земле около 3.5 млрд л.н., на первых порах являлись абиогенными по происхождению, и лишь позднее (примерно 1.9 млрд л.н.) в их образовании важную роль стал играть биогенный фактор. (Надо сказать, что это противоречило

большинству прозвучавших позже докладов). Разнообразие строматолитов по форме, размерам, их обилие в отдельные промежутки времени истории Земли отражают изменения в составе земной атмосферы, химии морской воды, эволюции матов и биотических взаимоотношений. В противоположность этому мнению, M.J. Van Kranendonk (Австралия) считает древнейшие известные на Земле строматолиты (с возрастом 3.5–3.4 млрд лет) из формации Пилбара Западной Австралии биогенными по происхождению. На это указывают отрицательные значения  $\delta^{13}\text{C}$  и данные по изотопам серы, присутствие отчетливо различных микрофоссилий, литологический и палеоэкологический анализы слоев, заключающих строматолиты. Третий ключевой доклад J. Brocks (Австралия) был посвящен анализу несовпадения опубликованных данных о находках в докембрийских отложениях клеточных структур, принадлежащих самым ранним эвкариотам (1.49 млрд лет; 1.2 млрд лет; 1.0 млрд лет), с данными о присутствии эвкариот, полученными молекулярными методами на основании исследования биомаркеров (1.9 млрд лет). Новые методы помогли отделить более молодые контаминации от природных биомаркеров. С их помощью было показано, что эволюция биомаркеров вполне согласуется с данными о находках макрофоссилий.

Остальные доклады данного направления были посвящены разным сторонам исследования древних и современных строматолитов. K. Lerot et al. (Франция, США) изучили микроглобулы органического углерода среди микритовых карбонатов в формации Тумбиана (2.7 млрд лет; Австралия, район Пилбара, скважина на алмазы), которые оказались очень похожими на карбонатные наносфероиды, находимые вместе с микробными клетками и полимерами в современных микробиолитах. N. Adachi et al. (Япония, Китай) пришли к выводу, что нижнеордовикские строматолиты из Южного Китая обязаны своим происхождением микробам *Girvanella*, инкрустировавшим биокластические микриты или мертвые губки, последующей стабилизации этого субстрата и нового появления слоистых микробиолитов. В докладе Д.В. Гражданкина (Россия) “Строматолиты и микробные маты как инженеры первых метазойских экосистем” приведены результаты палеоэкологических исследований первых макробентосных сообществ верхнего протерозоя (биоты авалонского, эдиакарского и намского типов –

580–560 млн. л.н.). Автор считает, что ни появление макробентоса, ни возникновение биотурбации нельзя рассматривать среди основных причин резкого сокращения строматолитообразования в конце протерозоя. Роли анаэробных бактерий в формировании самых ранних из известных осадочных пород микробиального происхождения (серия Варравуна, Австралия) был посвящен доклад R. Warthmann (Швейцария). И, наконец, в докладе A. Petroff et al. (США) на основании экспериментов показано, что конусовидная форма цианобактериальных матов может быть связана с диффузией кислорода, продуцируемого этими фотосинтетиками.

В направлении “Озерные и речные системы” доклады были посвящены результатам изучения современных микробиолитов, образующихся в континентальных условиях. В ключевом докладе A. Капо (Япония) остановился на исследованиях геохимического и гидрологического контроля в отложениях туфовых строматолитов в Японии, формирующихся из глубоких подземных вод в областях распространения карбонатных пород. Нескольким докладам было посвящено вкладу биогенного фактора в отложения травертинов (Т. Okumura et al., Япония); микробиальному разнообразию в жестких водах ручьев и в отложенных ими туфах (S. Cousin et al., Германия); разнообразию цианобактерий и диатомовых водорослей в двух строматолитообразующих пресноводных ручьях на юге Германии (K. Mohr et al., Германия). A. Капо et al. (Япония), основываясь на изучении кальцитовых травертинов, образующихся в ходе функционирования гейзеров в штате Юта (США), подтвердили большой вклад биологических процессов в формирование слоистости у строматолитов. F. Shiraisi et al. (Германия, Япония) при исследовании пресноводных строматолитов, образующихся вокруг карстовых ручьев, показали, что фотосинтез цианобактерий на свету стимулирует формирование кальцита, а дыхание в темное время суток ингибирует этот процесс. Доклад J. Kazmierczak с коллегами из Польши, Германии, Франции и Мексики был посвящен современным и субсовременным карбонатным микробиолитам из щелочного кратерного озера Алчикика, Мексика. Химический состав оз. Алчикика и близлежащих содовых озер (pH > 9), располагающихся в вулканических областях, может служить аналогом докембрийского содового океана. По данным E. Gischler et al. (Германия, США), пресноводные гигантские голоценовые “строматолиты” из лагуны Бакалар Мексики являются крупнейшими из известных пресноводных микробиолитов и состоят из низкомагнетизального кальцита. K. Benzerara с коллегами (Франция, Польша) изучили разными методами карбонатные глобулы нанометрового размера из микробиолитов содового озера Ван (Турция) с pH 9.7–9.8. Определены взаимораспространение арагонита и Mg-Fe-силикатной фазы и текстура нанокристаллов арагонита. В докладе S. Buhning et al.

(Германия, США) приведены результаты изучения современных анаэробных микробиальных матов из обогащенных серой ручьев Оклахомы (США). В докладе N. Lee et al. (Индия, Германия), посвященном осаждению железа в микробиальных матах в водах ручьев пещер Борра, Индия, присутствие осажденного железа связывается с распространенными во всех взятых образцах *Leptothrix*-подобных организмов.

В направлении “Глубинная биосфера и холодные сипы” вошли доклады, посвященные древнейшим строматолитам, анаэробным ископаемым и современным сообществам микроорганизмов, их тафономии, микробиальной жизни в базальтовых современных и древних океанических корах и методам изучения современных и ископаемых бактерий. В ключевом докладе F. Westall (Франция) приведены результаты изучения слоистых строматолитов из зеленокаменного пояса Барбертон с возрастом 3.33 млрд лет (Южная Африка). По мнению автора, эти силицифицированные строматолиты были сперва отложены как карбонатные и почти одновременно были минерализованы кремнеземом, вероятно, благодаря гидротермальной деятельности. Отрицательные значения  $\delta^{13}\text{C}$ , определенные из сохранившегося среди прослоев с микроорганизмами керогена, свидетельствуют о фотосинтетической активности. Во втором ключевом докладе K. Kato (Япония) “Глубинная биосфера: что там существует и как?” изложены основные проблемы, которые встают перед учеными, исследующими органический мир в глубинах Земли. Важнейшим фактором жизни и эволюции микробиального мира (бактерий и архей) под поверхностью Земли является геологическая обстановка, которая определяет их распространение. В докладе F.D. Ferris (Канада) “Бактериальная тафономия: от микробиосферы к литосфере” разобраны основные условия, когда бактериальные тела сохраняются в ископаемом состоянии.

Несколько докладов было посвящено результатам изучения изменения древних и современных океанических базальтов под воздействием микроорганизмов. I.N. Thorseth (Норвегия) на примере базальтовых лав на дне Арктического срединного океанического хребта (возраст 1 млн лет), подвергающихся гидротермальной деятельности, и подповерхностных базальтов Юго-Восточного Индийского хребта (гидротермальная деятельность отсутствует, возраст 14–28 млн. лет) показала, что филогенетическое и физиологическое разнообразие в первых больше. N. McLoughlin et al. (Норвегия, Канада, США) выяснили, что в ходе микробиальной активности в вулканических стеклах на дне моря образуются полости микронного размера и разнообразной формы. Это может служить индикатором палеоусловий и способствовать изучению микробиальной эволюции в глубокой биосфере. В. Eickmann et al. (Германия) в докладе “Скрытая биосфера: криптоэндолитическая жизнь в

девонских базальтах” показали, что в везикулах девонских подушечных базальтовых лав присутствуют филаменты, замещенные глинистым минералом. По форме и размерам они напоминают современные микроорганизмы. Результаты изучения мало известных сообществ микроорганизмов из пещер с серными источниками (Вайминг, США; A.S. Engel et al., Германия, США) показали, что в них обитают специфические сообщества микроорганизмов. Доклад M. Krüger et al. (Германия) был посвящен функциональному и филогенетическому разнообразию в анаэробных метаноокисляющих микробных сообществах, играющих ключевую роль в анаэробном окислении метана в матах Черного моря. Близкими по тематике были доклады D. Birgel, J. Pechmann и T. Nimmler et al. (оба Германия). Первыми авторами с помощью биомаркеров было показано присутствие в миоценовых известняках Северной Италии, сформированных метановыми сипами, представителей метаноокисляющих архей и сульфат-редуцирующих бактерий. T. Nimmler с коллегами в верхнекаменноугольных известняках Намибии, являющихся тоже продуктом микробной активности метановых сипов, определили близкий состав микроорганизмов. Разнообразие микроорганизмов, участвующих в метаболизме железа, посвящены доклады S. Ehinger et al. (Германия) и S. Hedrich et al. (Германия).

Доклады по двум последним направлениям тесно связаны и явились результатами изучения преимущественно областей распространения молодых (неогеновых и плейстоценовых) и современных строматолитов и микробных систем. Двухлетний мониторинг образования строматолитов Экзума Кей на Багамах коллективом из США (R.P. Reid et al.) показал, что прирост строматолитов зависит от периодичности засыпания строматолита песком, приводящего к отмиранию мата. По мнению авторов, нельзя объяснить изменение текстуры строматолитов от тонкомикритовой у докембрийских к более грубозернистой у современных включением в состав строматолитообразователей эвкариотных водорослей, как это предполагалось ранее. Изменчивость характера слоистости микробных строматолитов среди коралловых рифов в последнее послеледниковье на о. Таити связывается K. Heindel et al. (Германия) с периодическим изменением продолжительности периода дождей, влекущим за собой изменение стока осадков. В докладе R. Burne, J. Paul (Австралия, Германия) проводится параллель между современными строматолитами Хамелин Пул Западной Австралии и нижнетриасовыми строматолитами, описанными Кальковским. В докладе, посвященном морфологической изменчивости строматолитов Хамелин Пул (Шарк Бей) G. Izuno с коллегами (Япония, Австралия) пришли к заключению, что форма строматолита зависит от положения по отношению к уровню моря. Плоские строматолиты доминируют в верхней интERTИДАЛИ, ветвистые — в нижней интERTИДАЛИ, столбчатые преобладают на мелководье, мелкие формы распространены на

большей глубине. Образованию слоистости в современных строматолитах из лагун Вермела и Сальдара (Бразилия) был посвящен доклад C. Vasconcelos et al. (Швейцария, США), в котором была показана роль различных симбиотических ассоциаций в кальцификации. Использование всего арсенала современной техники при изучении условий накопления мессинских известняков (верхний миоцен) Италии позволили A. Mastandrea et al. (Италия) определить, что данные образования накапливались в стрессовой ситуации, вызванной появлением пресных вод; выпадение карбонатов было вызвано бактериальной аммонификацией аминокислот в анаэробных условиях. Серным и карбонатным микробиолитам из богатых серой мессинских отложений Сицилии был посвящен доклад S. Ziegenbalg et al. (Германия, Франция). J.F. Sanchez-Beristain and J. Reitner (Германия) представили данные, показывающие, что формация Кассиан (верхний триас) сложена преимущественно микробиолитами. E.T. Arning et al. (Германия) в докладе о фосфорных ламинитах Перу показали, что фосфориты района апвеллинга в Перу являются продуктами микробной деятельности. Присутствие среди фосфоритов линз сульфидов позволяет говорить, что бактериальная сульфатредукция является важным звеном в процессе образования аутигенных фосфоритов. Изучению современных строматолитов Хайборн (Багамы), проводимому в течение 10 лет с целью исследования геологических и микрогеохимических процессов, связанных с их образованием, посвятили доклад A. Decho et al. (США). O. Brassant et al. (США, Швейцария) сообщили о различном поведении EPS при взаимодействии с Ca в литифицированных матах. Результаты исследования роли различных групп микроорганизмов в осаднении и растворении карбонатов приведены в докладе V. Zippel, T. Neu (Германия). Нумерическая модель для подсчета насыщения CaCO<sub>3</sub> в цианобактериальных матах предложена G. Aloisi (Германия). Полученные результаты показывают, что цианобактериальный фотосинтез влиял на насыщение карбоната в матах в течение всей истории Земли.

Большинство стендовых докладов было посвящено роли биогенного фактора в происхождении микробных строматолитов из разных регионов и с разных стратиграфических уровней и их моделированию роста в лабораторных условиях.

H. Astibia (Испания) показал увеличение размеров онколитов на границе мела и палеогена в неморских условиях в южном Пиренейском бассейне. E.H. Bouougrî (Марокко) посвятил постер разнообразию условий накопления неопротерозойских строматолитов в Анти-Атласе (Северная Африка). R. Bourillot et al. (Франция) показали значение палеоэкологической обстановки при накоплении микробных строматолитов в системе карбонатных платформ в мессинское время в Юго-Восточной Испании. J. Breheret et al. (Франция) охарактеризовали голоценовые доломитовые микробные строматолиты из палеоозера Сарлие, Центральный Французский массив. F. Brinkman et al. (Германия) описали кавернозные

аутигенные карбонатные коры около холодных сипов на востоке Средиземного моря. S. Dattagupta, J. Macalady (Германия, США) выявили и показали возникший относительно недавно (не более 1 млн. л.н.) симбиоз между хемоавтотрофными бактериями и пещерными Amphipoda. S. Detrich et al. (Франция, Марокко) доложили о первых результатах изучения микростроматолитов в слоистых осадках оз. Афурдах (Средний Атлас, Марокко). E. Gerard et al. (Франция, Польша, Германия, Мексика) привели данные о молекулярной идентификации цианобактерий в микробиатитах щелочного оз. Альчикика (Мексика). Л.М. Герасименко и Г.Т. Ушатинская (Россия), сравнив водородные и цианобактериальные остатки в ископаемых (неогеновых) строматолитах и их ассоциацию из современных соленых озер Керченского п-ова, показали их большое сходство. A. Hagemann et al. (Германия) нашли, что современные микробиолиты из Гидратного хребта (США) и карбонаты из олигоцена формации Линкольн-Крик имеют сходный механизм осаждения. Происхождение слоистости коралловых рифов K. Heindel et al. (Германия) видят в периодичности поступления с водами повышенного притока осадков. Результаты лабораторных экспериментов по моделированию процесса осаждения карбоната на примере гетеротрофной Са-карбонатобразующей бактерии *Mucosoccus xanthus* представили F. Jgoundi et al. (Испания). Специфические следовые элементы были обнаружены в минеральных отложениях туннеля Аспо (Швеция), что происходит, по мнению J. Kurz et al. (Гёттинген, Германия), в результате сорбции на микробиальную EPS. П.В. Медведев и В.В. Макарихин (Россия) пришли к заключению, что подразделение и региональная и интерконтинентальная корреляция палеопротерозойских строматолитов Карелии возможна не только для Балтийского, но и для Канадского шельфа. О межледниковом субтидальном происхождении строматолитов Шарк Бей сообщил в своем докладе D. Meischner (Германия). Результаты сравнительных исследований силицифицированных слоистых образований Туниса, Марокко и Намибии представлены в докладе H. Parada, E.H. Bouougrî (Германия, Марокко). В докладе M. Ragon et al. (Франция) обращено внимание на то, что до сих пор нет ясного ответа, участвуют ли микроорганизмы в осаждении карбонатов (активно или пассивно) или микробная колонизация имеет место после осаждения кристаллов карбоната. О развитии метановых микробиолитов в холодных сипах Черного моря сообщили J. Reitner et al. (Германия). Описанию микробных сообществ из Fe-Mn-корок и макроонкоидов (оксфорд, Испания) посвящен доклад M. Reolid, L.M. Nicot (Испания). О живых и fossilizированных организмах в янтаре сообщили A. Schmidt,

S. Veimforde (Германия). Большой интерес вызвало сообщение немецких ученых (J. Seifert et al.) о роли микробного сообщества железобактерий из гр. Betaproteobacteria, в биопереработке урановых отходов. Е.А. Сержникова (Россия) посвятила свои исследования тафономическому доказательству роли микробных матов в сохранности вендских фоссилий. Строматолиты как скелетные организмы рассматривает в своем докладе Е.Л. Сумина (Россия). Доказательству участия сульфатвосстанавливающих бактерий в осаждении карбонатов посвящен доклад D. Wolichka, A. Borkowski (Польша). О возможностях микроскопии полисахаридных и белковых проб для изучения кальцификации биопленок холодных сипов сообщили С. Wreede et al. (Германия). X. Zhang посвятил доклад строению нижнекембрийских карбонатных онколитов из Южного Китая. Роль комбинированного подхода (лазерная сканирующая микроскопия и сканирующая трансмиссионная Х-микроскопия) к изучению микробных сообществ отражена в докладе B. Zippel (Германия) с коллегами из Канады. В другом докладе (Zippel et al.) рассматривается возможность применения Са-чувствительных красок для изучения роли ЭПС в отложении карбонатов.

Специально к открытию симпозиума была подготовлена выставка "Как бактерии конструируют мир. Архитекторы глобальных изменений с рубежа 3.5 млрд. л.н.", на которой, кроме фотографий современных цианобактерий и строматолитов, были представлены музейные образцы ископаемых строматолитов – от архейских до кайнозойских, образцы геотермальных отложений "черных курильщиков" и аквариум с сообществом галофильных цианобактерий. По материалам выставки издан буклет с цветными фотографиями.

В течение двух дней перед началом научных заседаний и трех дней после их окончания были проведены геологические экскурсии в Нижнюю Саксонию (массив Гарц) на классические местонахождения строматолитов и на юг Германии в Баварию, где участники посетили такие известные геологические объекты, как карьер Золенгофенских литографских сланцев и кратер метеорита Райс.

В заключение можно сказать, что обращает на себя внимание очень частая и успешная кооперация специалистов из двух и более стран для использования в полной мере дорогостоящей современной аналитической базы, которую обычно трудно собрать в одном месте.

© 2010 г. Л.М. Герасименко,  
Е.Л. Сумина, Г.Т. Ушатинская