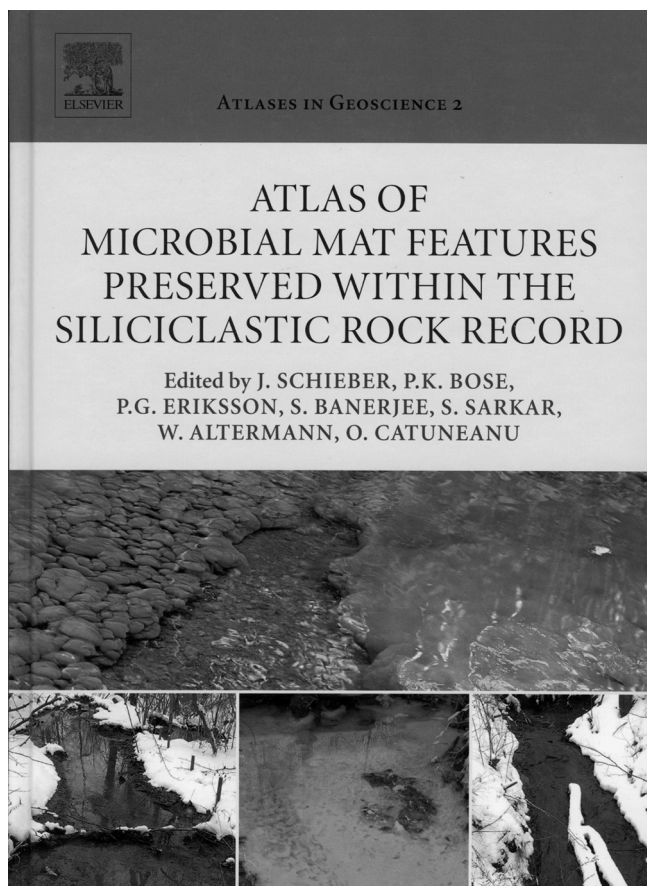


МИКРОБИАЛЬНЫЕ МАТЫ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЛЕТОПИСИ¹

Предваряя краткую информацию об этой книге, зададим читателям довольно простой вопрос – каким образом на поверхностях напластования песчаников нижнего венда керносской свиты Среднего Урала и ергинской свиты верхнего венда Юго-Восточного Беломорья, образовались текстуры, показанные на рисунках 1 и 2? Какой физический процесс, так как мы вроде бы твердо знаем, что жизнь в докембрии практически отсутствовала, ответственен за это? Если исходить из традиционных взглядов на формирование обломочных пород, например, тех, что можно найти в хорошо известных учебниках Л.Б. Рухина или Ф.Дж. Петтиджона, объяснить происхождение приведенной текстуры почти невозможно.

В середине XX в., когда создавались указанные учебники, ставшие основой для выработки мировоззрения многих поколений геологов, формирова-

ние кластических осадков представлялось обусловленным только физическими и химическими процессами, а роль живых организмов сводилась к генерации несколько более крупных, нежели микрит, частиц для карбонатных пород и преобразованию первичных осадочных текстур. Да и сейчас, когда решающая роль биологических процессов в формировании карбонатных пород признается почти всеми специалистами, многие из них продолжают рассматривать терригенные обломочные породы как продукты преимущественно физических и химических процессов. Так, ни в одном из трех изданных на Западе в конце XX в. учебников по осадочной геологии (Fiichtbauer, 1988; Blatt, 1992; Boggs, 1995) нет терминов “микробийальный” или “микробийальный мат”. В таком широко известном, в том числе и отечественным специалистам, фундаментальном справочнике как “Осадочные обстановки и фации” под редакцией Х. Рединга, термин “микробийальный мат” появился только в третьем издании (1996 г.). Все это хорошо объяснимо свойственным учебному процессу консерватизмом, однако сегодня для активно работающих исследователей уже понятно, что микробийальные маты – наиболее древние из известных на нашей планете экосистем – имеют весьма важное значение для понимания истории Земли. Признаки влияния микробийальных матов на процессы осадконакопления установлены сейчас даже в весьма древних (~3.5 млрд. лет) осадочных последовательностях, и это свидетельствует, что жизнь, геохимические процессы и осадочная летопись тесно взаимосвязаны.

Учитывая все сказанное выше, издательство “Эльзевир” выпустило в 2007 г. фундаментальный Атлас сохранившихся в кластических породах признаков влияния на процессы осадконакопления микробийальных матов, авторами которого являются ведущие специалисты в области осадочной геологии докембрия. Как сказано в предисловии, основная цель Атласа – дать и студентам и профессионалам базовые (по преимуществу визуальные) представления о том, как могут быть распознаны в песчаниках и глинистых сланцах следы бывшего взаимодействия осадка и микробийальных матов.

Первая глава этого Атласа (ее автор – J. Schieber) является своеобразным введением в проблему. Во второй главе (автор – G. Gerdes) рассмотрены текстуры, оставляемые современными биопленка-

¹ Atlas of microbial mat features preserved within the siliciclastic rock record / Schieber J., Bose P.K., Eriksson P.O., Banerjee S., Sarkar S., Altermann W., Catuneau O. (Eds). Elsevier, 2007. xii + 311 p. (Atlases in Geoscience, 2)

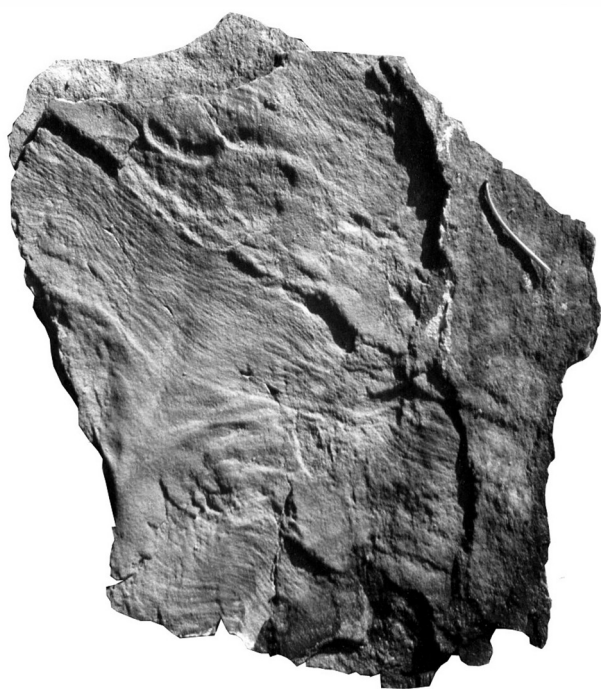


Рис. 1. Текстура, напоминающая смятую ска-
терть, на поверхности песчаников керносской
свиты нижнего венда Среднего Урала. Масштаб –
сосновая иголка, в правом верхнем углу образца.

ми (кластерами микроорганизмов, обитающих на поверхности осадка и обычно скрепленных внеклеточной полимерной субстанцией – экзополимерами) и микробиальными матами во вмещающих их кластических осадках. Эти данные имеют чрезвычайно важное значение для понимания того, с чем мы имеем дело в геологической летописи. Так, при наблюдениях за лабораторными культурами установлено, что переход от тонких и хрупких биопленок к прочным волокнистым ячеистым структурам микробиального мата происходит в течение нескольких недель при условии отсутствия засыпания мата осадком. Современные биопленки и микробиальные маты можно найти в отложениях мелководно-морского и приливного генезиса, в озерных и речных обстановках, а также в гиперсоленых лагунах, из чего следует, что они не имеют какой-либо определенной фациальной приуроченности. Только тщательное изучение продуцированных матами особенностей осадков в сочетании с анализом сопровождавших их процессов (обезвоживание, эрозия, образование пузырьков газов и проч.) может позволить установить те или иные параметры древних обстановок осадконакопления. Таким образом, микробиальные маты необходимо рассматривать как один из инструментов анализа седиментационных процессов, использование которого может существенным образом дополнить ин-

формацию, полученную при изучении других осадочных текстур. Важно также иметь в виду, что микробиальные маты в силикокластических осадках весьма быстро теряют присущие им характерные формы при отсутствии ранней цементации. Уплотнение, разложение и уничтожение другими организмами часто затушевывают бывшее присутствие в осадках бактериальных ассоциаций. Высокая степень постседиментационного уплотнения тонкозернистых осадков в существенной мере преобразует и изменяет биотические и структурные индикаторы в аргиллитах и глинистых сланцах. Частая переработка осадка волнениями и течениями, быстрая седиментация и окисление обычно также мешают росту микробиальных матов. Тем не менее, несмотря на все указанные выше обстоятельства, в песчаниках, в том числе и пляжевых, часто можно видеть прекрасную сохранность текстур, инициированных микробиальными матами. Свидетельство этого – более 120 иллюстраций, сопровождающих главу 2 и раскрывающих особенности осадочных текстур, связанных с ростом, метаболизмом, физическим разрушением и распадом современных микробиальных матов.

Третья глава (авторы – P.G. Eriksson, J. Schieber, E. Bouougri, G. Gerdes, H. Porada, S. Banerjee, P.K. Bose и S. Sarkar) посвящена вопросам классификации текстур, оставляемых микробиальными матами во вмещающих осадках. В кластических осадочных породах текстурные особенности, которые можно было бы непосредственно соотнести с функционированием микробиальных матов, чрезвычайно редки, либо распространены весьма ограниченно. В то же время текстуры, возникающие в результате взаимодействия мата с осадком, такие как инициированное матом связывание поверхности осадка, агглютинация зерен, химическое обособление частиц осадка достаточно часто наблюдаются в мелководно-морских песчаниках и аргиллитах, особенно в докембрийских последовательностях. Формирование указанных текстур в значительной мере связано с воздействием на осадок экзополимеров. Связывание песка и насыщенного водой ила экзополимерами и микробиальными нитями ведет к появлению у них способности оказывать сопротивление внешней нагрузке, что формирует целый спектр текстур, которые обычно в осадках не сохраняются. К числу последних принадлежат трещины усыхания в песчаниках, песчаные завитки, песчаные “чипсы” и т.п. образования. Колонизированные микробами поверхности илов аналогичным образом демонстрируют широкий спектр характеристик, несовместимых со свойствами обычных водных смесей илисто-алевритовых компонентов. Такие стабилизированные микробиальными сообществами поверхности могут обнаруживать присутствие связанных с ростом матов слоистых текстур, а также ряда аутигенных минералов, появле-

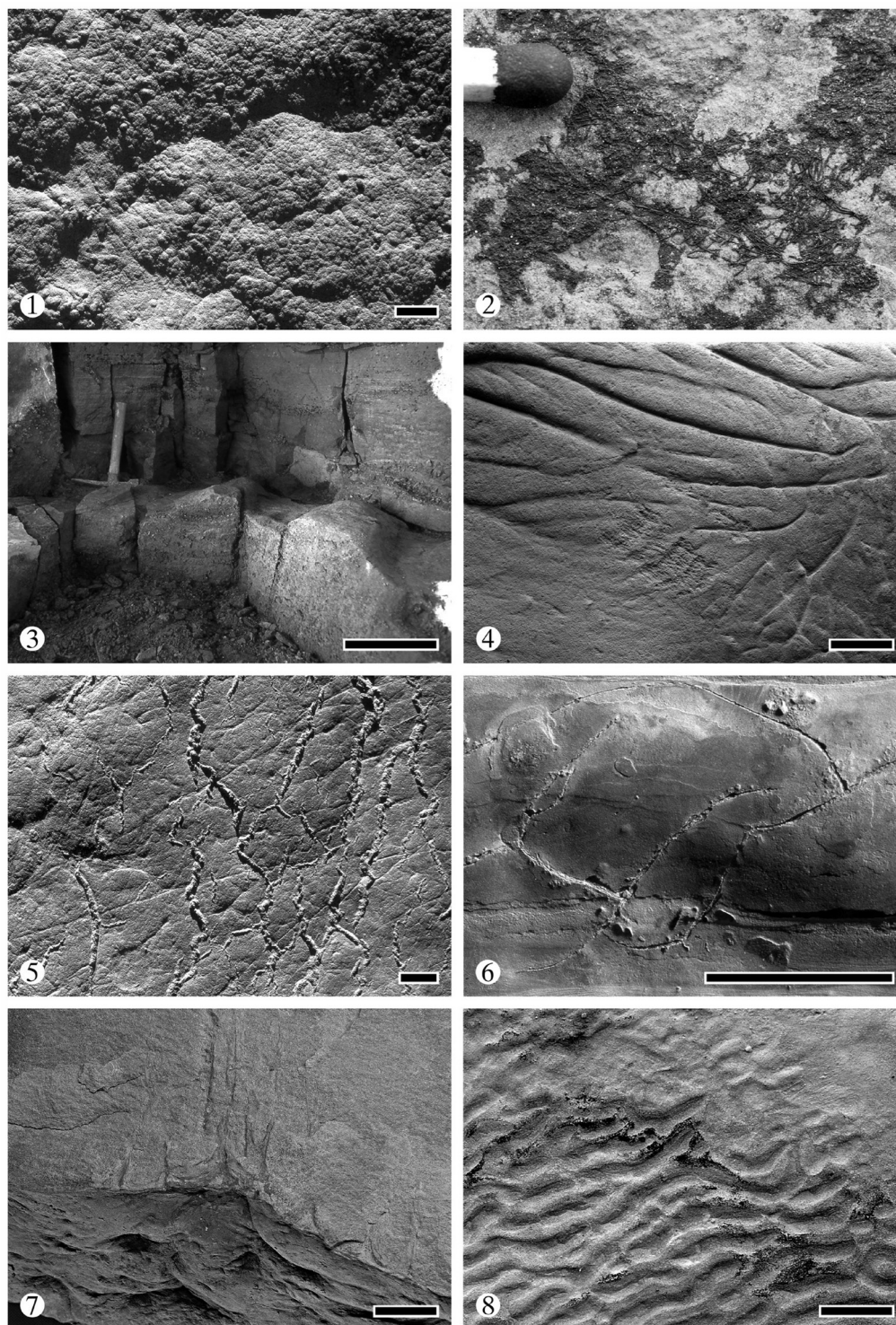


Рис. 2. Осадочные текстуры микробияльного происхождения в отложениях ергинской свиты верхнего венда Юго-Восточного Беломорья (1–3 и 5–8 – Зимние Горы, 4 – среднее течение р. Золотицы).

1 – шагреновая подошва песчаников фации переслаивания песчаников и глин, длина линейки 10 мм; 2 – пиритизированные нитевидные остатки, захороненные *in situ* на шагреновой подошве песчаников фации переслаивания песчаников и глин; 3 – пластово-столбчатые “песчаные” “строматолиты” в отложениях фации каналов, длина линейки 0.3 м; 4 – текстура типа “*Arumberia*” на подошве песчаников фации косослоистых песчаников, длина линейки 10 мм; 5 – текстура типа “трещины усадки” на шагреновой подошве песчаников фации переслаивания песчаников и глин, длина линейки 10 мм; 6 – текстура типа “*Manchuriophycus*” во впадинах знаков ряби на кровле песчаника фации каналов, длина линейки 0.1 м; 7 – текстура типа “*Pseudorhizostomites*”, продолжающаяся на склоне песчаников фации переслаивания песчаников и глин, длина линейки 10 мм; 8 – текстура типа “*Kinneva*” на кровле песчаников фации переслаивания песчаников и глин, длина линейки 10 мм.

ние которых отражает субсинхронный существованию мата распад органического вещества.

В главах 4 (авторы разделов – D. Bottjer & J.W. Haradorn; J. Schieber; P.G. Eriksson, H. Porada, S. Banerjee, E. Bouougri, S. Sarkar & A.J. Bumby; S.Q. Dornbos, N. Noffke & J.W. Hagadorn; E. Bouougri & H. Porada) и 5 (J. Schieber) проиллюстрировано значительное число индивидуальных особенностей песчанников и глинистых пород, связанных с жизнедеятельностью биоматов. Это текстуры, связанные с ростом микробиальных матов, среди которых можно отметить т.н. песчаные шарики или ооиды, песчаные “чипсы”, палимпсестовую рябь, разнообразные морщинистые текстуры, в том числе т.н. “Old elephant skin”, **отслаивающиеся песчаные прослои** на поверхностях со знаками ряби, “песчаные строматолиты”, теневые песчаные накопления, образующиеся позади ямок удара, пятнистая, плосковершинная и частично эродированная рябь, а также рябь, покрытая мелкими песчаными строматолитами. Обмен веществ в матах и их разложение также ведут к появлению ряда специфических структур, таких как “плавающие” зерна кварца и чешуйки слюды в микритовых прослоях, сложенные доломитом фенестры в доломитовых прослоях, крупные ромбы окисленного сидерита и другие. К ним по генезису близки текстуры утечки газов или флюидов (т.н. “Astropolithon”), небольшие раздувы с кратерами посередине и т.п. Разрушение биоматов приводит к формированию трещин усадки (в современных матах такие трещины могут проникать и в подстилающий мат песчаный осадок), песчаных трещин всех типов, включая такие известные как звездчатые, веретенообразные и извилистые трещины, а также “Manchuriophycus” (извилистые трещины между рифелями ряби) и “Rhysonetron”, специфических локоноподобных (подвернутых) границ трещин, червеобразных складок, трещин на рифленой поверхности волновой ряби, подвернутых краев матов и рулоноподобных фрагментов матов, уплощенных песчаных фрагментов и фрагментов матов, лоскутной ряби, микроразрывов и проч. Иногда сочетание процессов усадки микробиальных матов, подворота краев, нового роста матов и их перекрытия осадками ведет к появлению весьма сложных текстур, напоминающих мелкую дисгармоничную складчатость. Для тонкозернистых алюмосиликокластических пород важную информацию о былом воздействии на процессы их формирования микробиальных сообществ дает также микроскопическое исследование деталей контактов рядом расположенных слоев.

Глава 6 (авторы разделов – H. Porada & E. Bouougri; S. Sarkar & S. Banerjee; E. Bouougri, G. Gerdes & H. Porada) начинается разделом, посвященным критическому разбору т.н. текстур сморщивания (морщинистых текстур), главная цель которого помочь исследователю провести разграничение тех

из них, что образованы сугубо физическими процессами, от текстур, связанных с присутствием на поверхности осадков микробиальных ассоциаций. Подчеркнуто, что идентификация текстур сморщивания в древних алюмосиликокластических последовательностях может пролить свет на обстановки их накопления и фации. Учитывая имеющиеся данные по современным микробиальным матам, можно предполагать, что текстуры сморщивания наиболее характерны для осадков интертайдиальной и нижней супратайдиальной зон низкоградиентных приливных равнин с нерегулярным формированием событийных отложений. Наиболее легко идентифицируемыми примерами подобных образований являются “слоновая кожа” и “Kinneyia” – текстура, временной диапазон встречаемости которой охватывает интервал от архея до юры. Два других раздела данной главы посвящены некоторым необычным текстурам насыщенных микроорганизмами осадков и определению наиболее часто используемых терминов.

В главе 7 (авторы разделов – N. Noffke; J. Schieber; S.P. Deb, J. Schieber & A.K. Chaudhuri; P.K. Bose, S. Sarkar, S. Banerjee & S. Chakraborty; J. Schieber, S. Sur & S. Banerjee; E. Bouougri & H. Porada; K.M. Bohacs & C.K. Junium) проиллюстрированы известные в алюмосиликокластических последовательностях различного возраста примеры текстур, связанных с присутствием микробиальных матов. Наиболее древние находки указанных образований связаны с южноафриканской серией Модис (~3.2 млрд. лет). Значительное число разнообразных текстур известно из протерозойских осадочных последовательностей, в частности, из мезопротерозойских надсерии Белт (Северная Америка) и серии Соманпалли (Индия), палео-неопротерозойской виндийской надсерии (Индия), неопротерозойских серий Tizi n-Taghatine (**Анти-Атлас, Марокко**) и Чуар (Аризона, США), серии Нама эдиакария (Намибия). Предполагается, что это обусловлено широким распространением в протерозое мелководных эпиконтинентальных морей с низкими скоростями накопления осадков. Наиболее же молодым из всех рассматриваемых в книге примеров ассоциаций микробиальнообусловленных текстур в алюмосиликокластических последовательностях является эоценовая формация Грин Ривер (США). Авторами данной главы специально подчеркнуто, что хотя имевшее место в начале фанерозоя появление скелетных организмов изменило занимаемые микробиальными матами природные ниши и привело к существенному сокращению их роли в геологической летописи, спектр текстурно-структурных особенностей, которые указывают на былое присутствие их в литифицированных песках и илах, остался в существенной мере таким же, как и в протерозое.

Результатам исследования особенностей формирования микробиальных матов железными бактериями, что имеет важное значение при моделировании обстановок накопления докембрийских формаций полосчатых железистых кварцитов, сейсмического разрушения песков, покрытых бактериальными матами, воздействия на биоматы приливно-отливных течений посвящена глава 8 (авторы разделов – J. Schieber & M. Glamoclija; J.A. Donaldson & J.R. Chiarenzelli; J. Schieber; H. Porada, E. Bouougri & J. Ghergut). В ней также освещены результаты экспериментов с транспортировкой потоками “живых” и “мертвых/высохших” фрагментов матов, позволяющие сделать интересные выводы об условиях формирования вмещающих их осадков. По мере того как подобные текстуры будут становиться для геологов привычными, эти данные будут оказывать все большее значение на интерпретацию материалов седиментологических исследований. Интересно отметить, что устойчивая взаимосвязь микробиальных ассоциаций и процессов накопления железа навела ряд исследователей на мысль, что залежи гематита на Марсе также могли быть образованы при участии бактерий. Микробиальные маты играют также важную роль в фиксации в осадках других металлов с переменной валентностью, например, марганца, золота и урана. Недоучет былого присутствия их в осадках может привести к неправильной интерпретации геохимических особенностей пород.

Анализу палеогеографических особенностей распределения микробиальных матов в кластических осадках и их эволюции с течением геологического времени, а также секвенс-стратиграфическому

контексту взаимодействия микробиальных матов и обломочных осадков, посвящена глава 9 (авторы разделов – J. Schieber, P.K. Bose, P.G. Eriksson & S. Sarkar; O. Catuneanu). Из приведенных в ней данных хорошо видно, что наиболее ярким рубежом в изменении характера распределения микробиальных матов в бассейнах седиментации является начало кембрия, когда с появлением скелетной фауны маты оказались вытеснены в обстановки с экстремальными условиями – заливы и лагуны с повышенной соленостью (Шарк-Бей), водоемы с высокими температурами (Йеллоустон) или сильными течениями (Багамы). Примечательно, что исчезновение в конце докембрия микробиального субстрата могло обусловить и исчезновение многих эдиаркарских организмов, потерявших способность закрепляться в мелководном субстрате, скрепленном биоматами. Широкое же присутствие связанных с существованием микробных матов текстур в докембрийских шельфовых последовательностях позволяет предполагать, что *in situ* продуцирование и захоронение матами органического углерода могли быть достаточно масштабными, а это нельзя не учитывать при разработке моделей глобальных циклов углерода.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что данный Атлас уже далеко не первая из изданных за последние годы на Западе монографий по осадочной геологии, седиментологии и биогеологии, которые, к сожалению, оказались доступными чрезвычайно небольшому числу отечественных специалистов, что, несомненно, не способствует прогрессу исследований в указанных и смежных с ними областях наук о Земле в нашей стране.

А.В. Маслов, Д.В. Гражданкин