

ЛИТЕРАТУРА

1. Геологическая карта СССР масштаба 1:1 000 000 (новая серия). Объяснительная записка. Лист R-(50)-52 — Тикси. Л.: Министерство геологии, ВСЕГЕИ, 1983. 135 с.
2. Граханов С.А., Зарукин А.О., Богуш И.Н., Ядренкин А.В. Открытие верхнетриасовых россыпей алмазов в акватории Оленекского залива моря Лаптевых // Отечественная геология. 2009. № 1. С. 53–61.
3. Дагис А.С., Казаков А.М. Стратиграфия, литология и цикличность триасовых отложений севера Средней Сибири. Новосибирск: Наука, 1984. 77 с.
4. Казаков А.М., Константинов А.Г., Курушин Н.И., Могучева Н.К., Соболев Е.С., Фрадкина А.Ф., Ядренкин А.В., Девятков В.П., Смирнов Л.В. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Триасовая система. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2002. 322 с.
5. Константинов А.Г., Соболев Е.С., Ядренкин А.В. Стратиграфия триаса восточной части побережья моря Лаптевых и Новосибирских островов // Геология нефти и газа. 2013. Т. 54. № 8. С. 1082–1046.
6. Конторович А.Э., Эпов М.И., Бурштейн Л.М., Каминский В.Д., Курчиков А.Р., Малышев Н.А., Прищепа О.Н., Сафронов А.Ф., Ступакова А.В., Супруненко О.И. Геология, ресурсы углеводородов шельфов арктических морей России и перспективы их освоения // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 1. С. 7–17.
7. Соболев Н.В., Логвинова А.М., Николенко Е.И., Лобанов С.С. Минералогические критерии алмазоносности верхнетриасовых россыпей северо-восточной окраины Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1162–1178.

УДК 551.83+561.232:552.5

АССОЦИАЦИИ ООИДОВ И СТРОМАТОЛИТОВ — СТРЕСС ДЛЯ БЕНТОСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

А.И. АНТОШКИНА

*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
Институт естественных наук ФГБОУ ВО СГУ им. П. Сорокина
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54, e-mail: Antoshkina@geo.komisc.ru*

Исследования ооидно-строматолитовых ассоциаций мощностью от 0,5 до 9 м в нижнепалеозойских разрезах Тимано-Североуральского региона показали, что появление таких ассоциаций определяется регрессией морского бассейна. В результате последующей палеоландшафтной дифференциации дна бассейна изменяются гидрохимический и гидродинамический режим водоёма. Это приводило к возникновению спокойно-водных обстановок, экспансии микробных и бактериальных сообществ и эвтрофии вод, падению кальциевого баланса морских вод и реорганизации бентосных экосистем с преобладанием преимущественно эврифациальных и эвригалинных организмов — остракод, гастропод, бивалвий. Данные по изотопному составу углерода (–5,4...–6,4‰ PDB) и кислорода (22,9 ... 24,6‰ SNOW) и низкие содержания бора (11–30 г/т) в венлокских ооидных известняках свидетельствуют о существовании опреснённых водоёмов в это время.

Ключевые слова: ооидно-строматолитовые ассоциации; бентос; спокойно-водные обстановки; нижний палеозой.

OOID-STROMATOLITE ASSOCIATION – A STRESS FOR BENTHIC ECOSYSTEMS

A.I. ANTOSHKINA

*Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktvykar
Institute of Natural Sciences, Pitirim Sorokin Syktvykar State University,
167982, Russia, Syktvykar, ul. Pervomaiskaya, 54, e-mail: Antoshkina@geo.komisc.ru*

This study reports the occurrence of ooid-stromatolite association (0,5–9 m in thickness) in the Lower Paleozoic sections of the Timan-northern Ural region. Well-preserved different fabrics seen in ancient ooids and stromatolites have previously been interpreted with respect to paleoenvironmental conditions which brought changes in benthic ecosystems. Results from current study suggest that it is possible that the connection of ooids with stromatolites at the time-levels depends on their genetic relationship due to abundance of microbial inhabits during periods of shallow water marine basin regressions. During regression in the result of further paleolandscape differentiation of the bottom the hydrochemical and hydrodynamic regimes of the water reservoir changed. It lead to the quiet-water environments, expansion of microbe and bacterial associations and eutrophy of waters, calcium balance of sea waters fall and reorganization of benthos ecosystems with dominance of mostly euryfacial and euryhaline organisms — Ostracods, gastropods and bivalves. Bulk carbonate values from the Wenlock limestones with ooids average –5,4...–6,4‰ for $\delta^{13}\text{C}$ PDB and 22,9...24,6‰ for $\delta^{18}\text{O}$ SNOW. Additionally, a low content of boron 11–30g/t in these limestones also indicates the lowered salinity of waters.

Key words: ooid-stromatolite associations; benthos; quiet-water environments; Lower Paleozoic.

Введение

Интерес к существованию ассоциации строматолитов и ооидов/оолитов возник после первых публикаций по нижнетриасовым карбонатным отложениям на севере Германии, где она слагает пачку мощностью до 7 м и позднее связывается с позднепермским событием вымирания [12]. Именно при изучении этого разреза в геологической литературе появились термины «оолит» (“oolithi” — Bruckmann, 1721), «строматолит» и «ооид» (“stromatolith” и “ooid” — Kalkowsky, 1908). Область их развития считается типовой для строматолитов и ассоциации строматолитов и оолитов/ооидов [8, 11]. Важно отметить, что Э.Л. Кальковский при изучении ооидов/оолитов в этой ассоциации впервые диагностировал их микробиальный генезис. Термин «ооид» применяется для карбонатных округлых образований, нечётко выраженных бобовин, а также для оолитов лишь со слабо намечающимися единичными концентриками, и рассматриваются как важный фактор для микрофациального анализа [7]. Выявление в нижнепалеозойских разрезах Тимано-Североуральского региона ооидов, ассоциирующих со строматолитами или строматолитоподобными микробиальными образованиями, вызвало интерес к изучению ооидов [3]. Целью данной работы является литологическая и геохимическая характеристика таких ассоциаций и обоснование необходимости обращать внимание на интервалы разрезов при реконструкции обстановок осадконакопления.

Краткая характеристика последовательностей с ассоциациями строматолитов и ооидов

Такие ассоциации были установлены в пограничных отложениях силура и девона в разрезах Приполярного Урала и поднятия Чернышева, в венлокских и лудловских отложениях поднятия Чернова и Чернышева, подобные ассоциации слагают пачки мощностью от 0,46 см до 9 м. Рассмотрим наиболее изученные из них.

В пограничных отложениях силура и девона. Своеобразная ассоциация строматолитов с ооидами изучена в разрезах р. Кожым Приполярного Урала и р. Изьяю на поднятии Чернышева (рис. 1).

В разрезе р. Изьяю (обн. 481) последовательность с ассоциацией строматолитов и ооидов имеет мощность 1,10 м. Строматолиты представлены столбчатыми колониями высотой 10–12 см и шириной 4–5 см, соединяющимися пластовыми колониями высотой 2 см. Они заключены в ооидном известняке (30 см) с прослойками (0,5 см) пелитоморфного известняка. Пространство между колониями в пелитоморфном матриксе заполняют ооиды размером от 0,2 до 1,2 мм с округлой, удлинённой и неправильной формами. Мелкие ооиды имеют

округлую форму, крупные — неправильную. Однослойная оболочка в основном радиально-лучистой структуры часто образована вокруг мелких зёрен с пиритом. Последний может почти полностью заместить структуру ооида. Встречаются редкие целые раковины (0,3 мм) или фрагменты (0,5–0,8 мм) остракод, иногда вложенные одна в другую. Присутствуют окатанные обломки (от 0,5–0,9 до 3 мм) пелитоморфного кальцита с ооидами и пелоидами. Строматолитовые колонии перекрывает прослой (3–4 см) рассланцеванного тёмно-серого глинистого известняка, который сменяет голубовато-серый биокластовый известняк (12–16 см) с участками известняковой конглобрекции. Обломки (до 1,5–2 см) пелитоморфного известняка с ооидами имеют уплощённую форму и субпараллельно ориентированы. Перекрывающие слои тёмно-серого рассланцеванного глинистого (4–5 см), гастроподового и полибиокластового известняка (1 м) с фауной брахиопод, остракод и мшанок раннедевонского возраста [3].

В разрезе р. Кожым (обн. 236) последовательность с ассоциацией строматолитов и ооидов имеет мощность 2,30 м. В основании (1,3 м) залегает коричневатого-серый известняк пелитоморфный с ориентированными створками остракод. В средней части появляются караваевидные колонии строматолитов длиной 50 см и высотой 15 см, в структуре которых ооиды (от 0,05 до 0,4 мм) образуют пятнистые скопления. В их центральной части можно видеть чёрное углеродисто-пиритовое вещество, иногда включавшее скопления мелких зерен доломита. В верхней части пелитоморфных известняков над строматолитами характерно обилие мелко биокластового материала. В основании перекрывающего слоя тёмно-серого, до черного, пелитоморфного известняка (3–4 см) наблюдаются эрозионные карманы с иловым материалом, а в верхней его части — биокластовый материал из фрагментов остракод, пелелипод и гастропод. Пелитоморфный известняк чередуется с маломощными прослоями голубовато-серого доломита известковистого и глинистого. Завершает последовательность прослой известняковых плоскогалечных конгломератов (0,3–0,4 м) с ооидами в разнокристаллическом кальцитовом цементе и следами выщелачивания. Хорошо окатанные обломки (от <1 до 6 см) пелитоморфного известняка с ооидами имеют уплощённые формы галек и ориентированы по наслоению. Выше залегает слой (8–9 см) зеленовато-серой вязкой глины с комплексом раннедевонских спор растений.

В венлокских отложениях последовательности с рассматриваемой ассоциацией в разрезах поднятия Чернышева и Приполярного Урала отличаются большим числом строматолитовых и ооидных известняков (рис. 2).

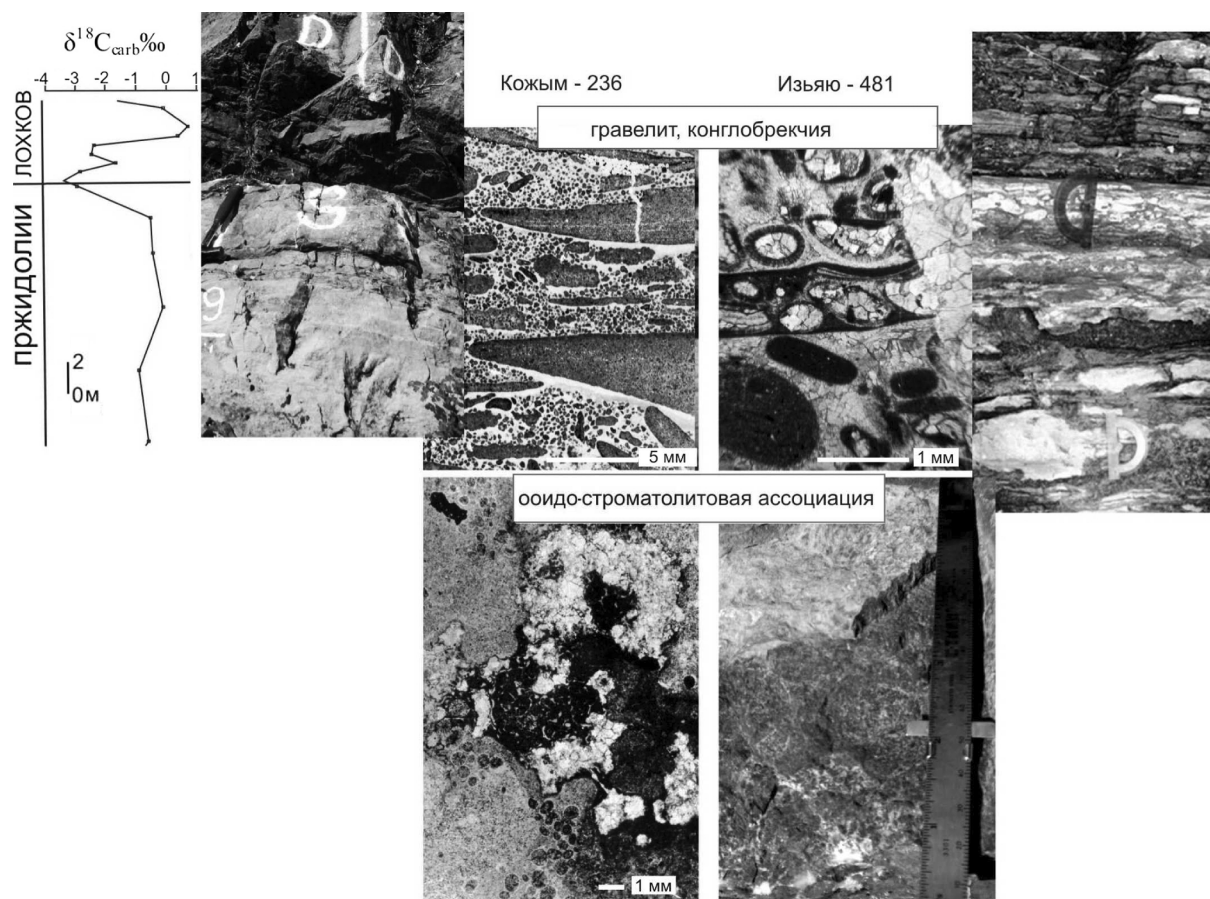


Рис. 1. Макро- и микроскопическая характеристика ооидо-строматолитовых ассоциаций пограничных отложений силура и девона в разрезах Приполярного Урала (р. Кожым, обн. 236) и поднятия Чернышева (р. Изьяю, обн. 481), нумерация обнажений, по [3]. Кривая изотопного состава углерода с упрощением, по данным З.П. Юрьевой с соавторами [5]

В разрезе венлока р. Изьяю (обн. 479) уровни ассоциаций строматолитов с ооидами (от 0,4 до 2 м) установлены в средней части и в кровле венлока [1, 4]. Строматолиты представлены разными морфотипами: полосчатые маты со слабо выраженными куполами, полусферическими колониями диаметром до 10 см и высотой до 2–4 см, крупными караваяобразными (диаметр 60–80 см, высота 18–30 см) и куполообразными (диаметр до 1 м, высота 25–30 см) колониями. В пространстве между колониями присутствуют скопления ооидов. Известняки с ооидами характеризуются обилием пелитоморфных комков и сгустков, присутствием несортированного (0,1–2 мм) биокластового материала из фрагментов остракод, гастропод, пелеципод и раковин остракод размером < 2 мм. Цементом в них может быть пелитоморфный или разнокристаллический с пелоидами кальцит.

В разрезе р. Кожым (обн. 212) последовательность с ооидо-строматолитовой ассоциацией в верхних слоях венлока имеет мощность 2,30 м. Строматолиты представлены преимущественно прослоями со скоплениями мелких полусферических колоний диаметром до 10 см и высотой 2–4 см. Они ассоциируют с ооидными известняками,

включающими интракластовый, песчано-алевритовый кварцевый и мелкобиокластовый остракодовый материал. Интракласты (0,02–0,2 мм, редко до 1,5 мм) пелитоморфных и микрозернистых известняков имеют разную степень окатанности. Ооиды (0,05–0,1 мм) округлой или овальной формы имеют одну оболочку вокруг пелитоморфного известняка и распределены неравномерно в спаритовом кальцитовом цементе. Среди строматолитовых и ооидных известняков присутствуют известняки микро- и тонкозернистые с терригенной примесью, биокластовые остракодовые, глинистые комковатые и их доломитовые разности, а в самой верхней части разреза преобладают кварцевые алевриты.

Условия образования ассоциации строматолитов и ооидов

Ооидные разности часто подстилают строматолитовые известняки, что отмечалось многими исследователями в разновозрастных отложениях, а строматолиты, широко распространенные в геологической истории, являются индикаторами разнообразия литоральных, лагунных и сублиторальных

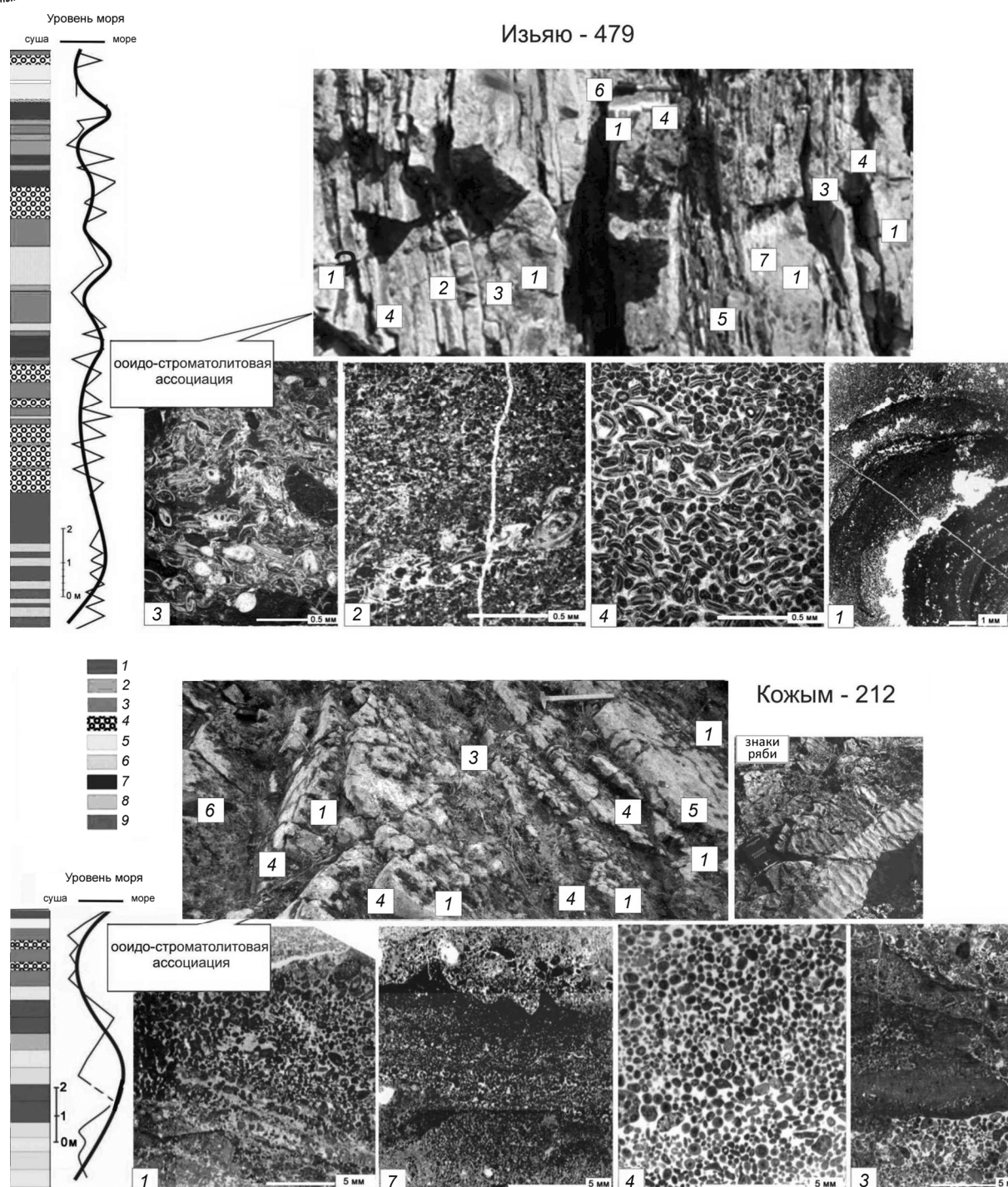


Рис. 2. Макро- и микроскопическая характеристика ооидо-строматолитовых ассоциаций венлокских отложений в разрезах Приполярного Урала (р. Кожым, обн. 236) и поднятия Чернышева (р. Изяю, обн. 481): 1 — строматолит, 2 — биокластовый известняк, 3 — гравелит, 4 — ооидный известняк, 5 — микрит с алеврито-песчаной примесью и кварцевый алевролит, 6 — микрит слоистый, 7 — микрит полосчатый, 8 — доломит известковый полосчатый, 9 — доломит известковый массивный, нумерация обнажений, по [3]

обстановок в водоёмах [13]. Изученные в данных ассоциациях строматолитовые колонии могут существенно различаться по форме и размерам в разрезах одного временного уровня. Биоморфные слои с уплощенными формами колоний с «мозговой» отдельностью и отчетливой ориентированностью «извилины» характеризуют подвиж-

но-водные условия литорали или отмели. Крупные куполообразные колонии, соединенные карбонатно-глинистыми иловыми перемычками, свидетельствуют о довольно продолжительных тиховодных, но устойчивых движениях воды, обычно присутствующих в полуизолированных лагунах. Мало-мощные слои с скоплениями или рассеянными

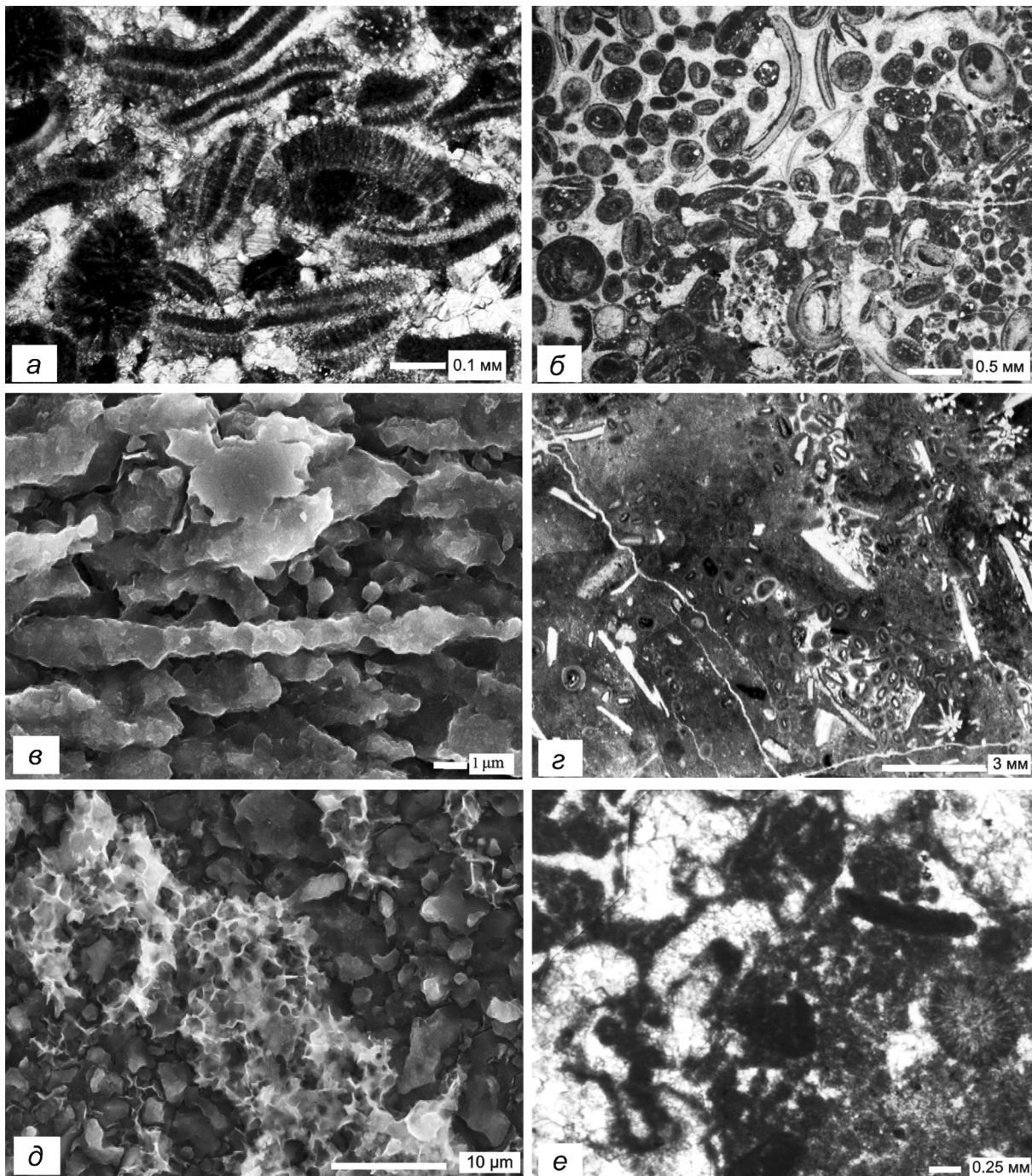


Рис. 3. Микрофотографии типов ооидов. (а, б) — ооидный известняк с неравномерным распределением ооидов разного типа, размера, структур оболочек и ядер в известняках с разнокристаллическим цементом, участками первичного микрозернистого матрикса и несортированного скелетного материала: а — обр. 479/140-11, р. Изьяю, поднятие Чернышева, б — обр. 212/21-01, р. Кожым, Приполярный Урал; (в, д) — электронно-микроскопические снимки, иллюстрирующие микробиальное участие в формировании ооидов, обр. 479/118-03, р. Изьяю, поднятие Чернышева; в — кристаллы кальцита со следами растворения, д — fossilized полимерное вещество из минерализованной биопленки; е — пятнистые скопления ооидов разной формы и размера в пелитоморфном известняке, обр. 479/1634-70, поднятие Чернышева; ф — ооиды (0,2–0,5 мм) в структуре строматолита, обр. 236/7-01, р. Кожым, Приполярный Урал

колониями типа «округлых бугорков» отражают условия водоёма с изменяющимися направлениями движения воды и периодическим поступлением терригенного материала. В породах с ооидами отмечается их разное содержание (рис. 3, а, б, г): более 50 % (ооидные известняки), несколько процентов и десятков процентов (пелитоморфные и био-

кластовые известняки с обломочным и терригенным материалом и проявлением доломитизации в разной степени). Структура кальцита в оболочках ооидов различается: зернистая и радиально-концентрическая. Выделяются своеобразные ооиды с оболочкой, в которой игольчатые кристаллы кальцита плотно упакованы и характеризуются чередо-

ванием светлых и тёмных разностей (рис. 3, а). Ооиды имеют шаровидную, уплощенную, эллипсоидную, бисфероидную и «ёжиковидную» (рис. 3, а, е) формы с преобладающим размером от 0,01 до 0,5 мм. Электронно-микроскопическое изучение структуры оболочек ооидов выявило, что кристаллы кальция имеют «облианные» формы (рис. 3, в), которые образуются при растворении органическими кислотами [9]. Имеются работы по изучению в ооидах внеклеточного полимерного органического вещества, липидных маркеров и биомикросфер, генерирующих ооиды, о потенциальной роли кальцимикробов и бактерий в генезисе ооидов [14]. Фоссилизированное внеклеточное полимерное вещество или минерализованный гликокаликс (полисахаридная слизь) удерживало клетки вместе, формируя структуру и конструкцию матрицы биоплёнки, так как выделение гликокаликса — это естественный процесс жизнедеятельности бактерий [2]. Фрагменты минерализованного гликокаликса обнаружены в венлокских ооидах (рис. 3, д). В кальцитовом матриксе биоплёнок установлены элементы Si, Al, K, Mg, Fe. Подобная структура оболочек ооидов и элементный состав биоплёнок являются довольно типичными [15, fig. 10]. При изучении пресноводных ооидов оз. Женева было установлено, что до кальцитизации первым минерализуется гликокаликс в виде аморфного магниевого силиката [10].

Низкие (11–30 г/т) содержания бора в венлокских известняках с ооидами говорят о пониженной солености вод, также как и данные по изотопному составу углерода (–5,4...–6,4‰) и кислорода (22,9...24,6‰). Описанные Э.Л. Кальковским нижнетриасовые строматолиты и ооиды/оолиты определяются как образования озёрных щелочных с пониженной соленостью вод обстановок [16]. В современных бассейнах ооиды и строматолиты формируются в пресноводных, гиперсолёных, солоновато-водных и морских обстановках [6, 7, 10].

Итак, существование ооидо-строматолитовых ассоциаций определялось обмелением морского бассейна с последующей дифференциацией палеоэкологических обстановок. В результате с возникновением малоподвижного водного режима происходила экспансия микробных и бактериальных сообществ, создававших эвтрофные условия. Это отрицательно влияло на кальциевый баланс в морском бассейне и приводило к резкому обеднению

представителей бентоса с чисто кальцитовым составом скелета. Поэтому в породах последовательностей с ооидно-строматолитовыми ассоциациями встречаются в основном фоссилии эвригалинных остракод, гастропод и бивалвий. Ооидные оболочки в этих условиях начинали формироваться в спокойных-водных условиях вокруг компонентов, попадавших в осадок: скелетных фрагментов, терригенных зёрен, интракластов и внутри структуры строматолитовых образований. Иногда можно наблюдать остаточный вадозный цемент вокруг ооидов. Дифференциация дна бассейна и гидродинамического режима, возникающая в результате обмеления нормально-морского бассейна, отражалась в разных морфологических и генетических типах строматолитов и ооидов.

Заключение

По результатам изучения разрезов с ооидо-строматолитовыми ассоциациями можно сделать следующие выводы. Минерализованный гликокаликс в оболочке ооидов и присутствие ооидов в структуре строматолитов говорит об их тесной взаимосвязи и возможной взаимозависимости происхождения в специфических палеоэкологических условиях. Появление таких ассоциаций в морских бассейнах является свидетельством переломных моментов в гидрохимии морского бассейна и структуре бентосных экосистем, связанных с регрессиями морского бассейна разного масштаба. Регрессии могли быть вызваны региональными и глобальными тектоническими событиями и глобальными эвстатическими падениями уровня моря в результате оледенений, широко проявленных в палеозойской истории Земли. Мелководный водоём даже при малых колебаниях уровня вод способствовал выводу отложений в вадозно-фреатические обстановки и нарушению водообмена в отдельных его участках. Это вызывало оккупацию тиховодных водоёмов микробиальными организмами и образование аноксичности вод, распространение преимущественно эвригалинных и эвригалинных организмов, присутствие фрамбoidalного пирита. Поэтому ооидо-строматолитовые ассоциации важно выделять в разрезах и использовать в качестве индикационного признака важных рубежей перестройки бентосных экосистем и для корреляций при реконструкции онтогенеза осадочных бассейнов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антошкина А.И., Шебошкин Д.Н. Генетическая интерпретация ооидных образований (на примере венлокских отложений южной части гр. Чернышева) // Мат. Всероссийского совещания «Геохимия литогенеза». Сыктывкар: Геопринт, 2014. С. 165–168.
2. Герасименко Л.М., Ушатинская Г.Т. Цианобактерии, цианобактериальные сообщества, маты, биопленки // Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. С. 36–46.
3. Палеозойское осадконакопление на внешней зоне шельфа пассивной окраины северо-востока Европейской платформы / А.И. Антошкина, В.А. Салдин, А.Н. Сандула и др. Сыктывкар: Геопринт, 2011. 200 с.
4. Шебошкин Д.Н., Манник П. Венлокские отложения южной части гр. Чернышева (Тимано-Североуральский регион) // Литосфера. 2014. № 1. С. 33–40.
5. Юрьева З.П., Деулин Ю.В., Безносова Т.М., Цыганко В.С., Мянник П., Мартма Т. Карбонатные сек-

- венции пограничных отложений границы силура-девона в Тимано-Североуральском регионе // Материалы Международного симпозиума «Геология девонской системы». Сыктывкар: Геопринт, 2002. С. 321–324.
6. Davaud E., Girardclos S. Recent freshwater ooids and oncoids from western Lake Geneva (Switzerland): Indications of a common organically mediated origin // *Journal Sedimentary Research*. 2001. V. 71, No. 3. P. 423–429.
 7. Flügel E. Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Berlin: Heidelberg-Springer-Verlag. 2004. 976 p.
 8. Geobiology of Stromatolites // J. Paul, G. Arp, J. Reitner. Kalkowsky's type stromatolites and other microbialites of Lower Saxony. Abstract Volume and Field Guide to Excursions Int. Kalkowsky-Symposium, October 4–11, 2008. Göttingen, 2008. P. 142–144.
 9. Heise R. Diagenesis of a Sea Mount oolite from the West Pacific, LEG 20 // Deep Sea Drilling Project. University of California. 1973. P. 363–387.
 10. Pacton V., Ariztegui D., Wacey D., Kilburn M.R., Rollion-Bard C., Farah R., Vasconcelos C. Going nano: A new step towards understanding the processes governing fresh water ooid formation // *Geology*, 2012. V. 40, No 6. P. 547–550.
 11. Paul J., Peryt T.M., Burne R.V. Kalkowsky's Stromatolites and Oolites (Lower Buntsandstein, Northern Germany). in: J. Reitner et al. (eds) *Stromatolite Geobiology. Lecture Notes in Earth Sciences 131*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2011. P. 13–28.
 12. Pruss S., Fraiser M., Bottjer D.J. Proliferation of early Triassic wrinkle structures: implication for environmental stress following the end-Permian mass extinction // *Geology*. 2004. V. 32. P. 461–464.
 13. Riding R. The Nature of Stromatolites: 3,500 Million Years of History and a Century of Research. in J. Reitner et al. (eds) *Stromatolite Geobiology. Lecture Notes in Earth Sciences 131*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2011. P. 29–74.
 14. Summons R.E., Bird L.R., Gillespie A.I., Pruss S.B., Roberts M., Sessions A.L. Lipid biomarkers in ooids from different locations and ages: evidence for a common bacterial flora // *Geobiology*. 2013. V.11. Is. 5. P. 420–436.
 15. Tomás S., Homann M., Mutti M., Amour F., Christ N., Immenhauser A., Agar S.M., Kabiri L. Alternation of microbial mounds and ooid shoals (Middle Jurassic, Morocco): Response to paleoenvironmental changes // *Sedimentary Geology*. 2013. V. 294. P. 68–82.
 16. Voigt T., Gaupp R., Rohling H-G. Lake deposits of the Early Triassic Buntsandstein in Central Germany: Type localities of oolites and stromatolites // *Proceedings of the 5th Int. Limnogeological Congress*. Constanza, 2011. P. 191–211.