

4. От рудоносных интервалов поперечных разломов в боковые породы отходят серии оперяющих сколовых нарушений 3—5-х порядков и более высоких. Именно они выступают главными рудовмещающими разрывами и вмещают основную долю запасов золота на участках, содержащих крупнейшие месторождения.

5. На локализацию оруденения влияет иногда проявление новых, молодых (изредка — сохране-

ние древних) разрывов, осложняющих структуру месторождений. С ними связано обособление наиболее масштабных месторождений золота.

6. Рекомендуются в пределах характеризуемых складчатых поясов поиски месторождений золота сосредотачивать в первую очередь вдоль субпоперечных разломов. Это выгодно как с точки зрения сокращения времени обнаружения новых месторождений, так и финансовых затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков А.В., Сидоров А.А. Уникальный золоторудный район Чукотки. Москва — Магадан, 2002. 180 с.
2. Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1953; переизд. М.: Изд-во АН СССР. 1962. 305 с.
3. Горячев Н.А., Волков А.В., Сидоров А.А. и др. Au-Ag оруденение вулканогенных поясов Северо-Востока Азии // Литосфера. 2010. № 3. С. 36—50.
4. Золоторудные месторождения России / Ответ. ред. М.М. Константинов М.: «ООО Акварель», 2010. 349 с. Приложения.
5. Константинов М.М., Стружков С.Ф. Значение рудного шага в размещении золото-серебряных месторождений Северо-Востока России // Колыма. 1997. № 4. С. 27—36.
6. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 332 с.
7. Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В. Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса. М.: «Астрей-центр», 2015. 191 с.
8. Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир, 2005. 318с. Приложения.
9. Ministry of Energy and Mines of British Columbia. Operating mines and selected exploration projects in British Columbia. 2014.. Geological survey. <http://www.empr.gov.bc.ca/mining/geoscience/pages/default.aspx> — дата обращения 10.02.2016.
10. Sillitoe R.H., Tolman J. and Kerkvoort-Van G. Geology of the Caspiche porphyry gold-copper deposit, Maricunga Belt, Northern Chile //Econ. Geol. 2013. V. 108. N 4. P. 585—604.
11. Teal I. and Benavides A. History and geologic overview of the Yanacocha mining district, Cajamarca. Peru // Econ.Geol. 2010. V. 105. № 7. P. 1173—1190.

УДК 553.048 (26)

МИКРОСТРОЕНИЕ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ СТРОМАТОЛИТОВ И ОНКОЛИТОВ ОКЕАНСКОГО ДНА

В.В. АВДОНИН¹, Е.А. ЖЕГАЛЛО², Н.Е. СЕРГЕЕВА¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, ГСП-1; e-mail: avdonin@geol.msu.ru

²Палеонтологический институт им.А.А. Борисяка РАН;
117647, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 123; e-mail: ezheg@paleo.ru, nat@geol.msu.ru

Детальными исследованиями установлено, что столбчатые структуры железомарганцевых строматолитов — бактериальные маты, образованные чередованием фоссилизированных бактериальных плёнок, скопленных трихомов нитевидных бактерий, слоёв гликокаликса. Онколиты возникли в результате активного взаимодействия бактериальных плёнок с осадком и усвоения ими петрогенных компонентов.

Ключевые слова: железомарганцевые строматолиты, онколиты, бактериальные маты, бактериальные пленки.

MICROSTRUCTURE OF FERROMANGANESE STROMATOLITES AND ONCOLITES OF THE OCEAN BOTTOM

V.V. AVDONIN¹, E.A. ZHEGALLO², N.E. SERGEEVA¹

¹Lomonosov Moscow State University
119991, Russian Federation, Moscow, Leninskie Gory, GSP-1; e-mail: avdonin@geol.msu.ru, nat@geol.msu.ru

²Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences
117647, Russia, Moscow, Profsoyuznaya street, 123; e-mail: ezheg@paleo.ru

The detailed researches established that the columnar structures of the ferromanganese stromatolites — are the bacterial mats, formed by the interchanging of the fossilized bacterial layers, aggregates of trichomes of thread bacteria, glyocalyx layers. Oncolites appeared in a result of active integration of the bacterial layers with the sediment (precipitate) and assimilation of the petrogenic components.

Key words: ferromanganese stromatolites; oncolites; bacterial mats; bacterial layers.

Оксидные железомарганцевые руды океанского дна представлены двумя формациями: железомарганцевых конкреций абиссальных котловин (ЖМК) и кобальтоносных железомарганцевых корок подводных поднятий (КМК) [1, 2]. Начало образования оксидных руд совпадает с началом формирования современной структуры Мирового океана в конце средней юры. Это особый этап развития Земли, в результате которого образовался новый океанический тип коры, установился новый режим осадконакопления и возникла своеобразная геологическая формация — океанская водная толща. Интенсивное развитие базальтового магматизма определило начало мезокайнозойской глобальной эпохи накопления железомарганцевых руд. В последние годы постепенно сформировалась и успешно развивается биологическая концепция, связывающая образование оксидных руд с деятельностью микроорганизмов. Согласно этой концепции, кобальтоносные корки представляют собой железомарганцевые строматолиты, а конкреции — онколиты [3, 11, 12].

Главная особенность оксидных руд состоит в том, что они находятся в стадии формирования: накопление рудного материала, начавшееся в относительно недалеком прошлом (по геологическим меркам), продолжается и в настоящее время.

Статья посвящена решению одной из наиболее актуальных проблем — выяснению механизмов концентрации рудных компонентов, способов формирования рудных залежей.

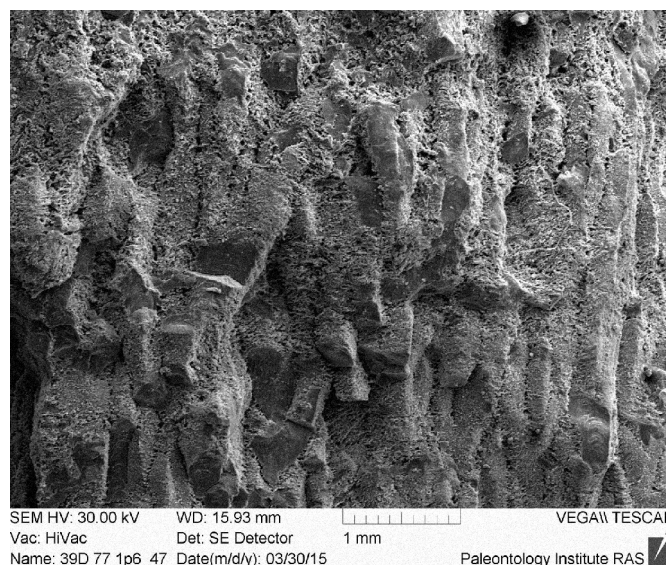
Обогащенные кобальтом *железомарганцевые строматолиты*, сплошными покровами облекающие выходы коренных пород на морском дне, характеризуются выдержанной стратификацией.

Слоистый разрез корок — своеобразная летопись мезокайнозойского железомарганцевого рудогенеза. Она охватывает временной интервал от кампан—маастрихта до настоящего времени. Для каждого слоя установлены типичные ассоциации микротекстурных элементов. Эволюция микротекстурных форм в разрезе корок, вероятно, является следствием изменчивости организмов-строителей строматолитов, совпадающей с длительными перерывами в рудоотложении.

Детальные исследования оксидных руд позволили выявить конкретные формы микроорганизмов и установить особенности эволюции.

Наиболее типичными для строматолитов являются столбчатые образования (рис. 1). Именно они являются основной морфологической единицей строматолитовой постройки. Как правило, это прямолинейные параллельные столбцы с отчетливо проявленными признаками синхронного роста

А



Б



Рис. 1. Столбчатое строение железомарганцевого строматолита: А — свежий скол; Б — полированный шлиф

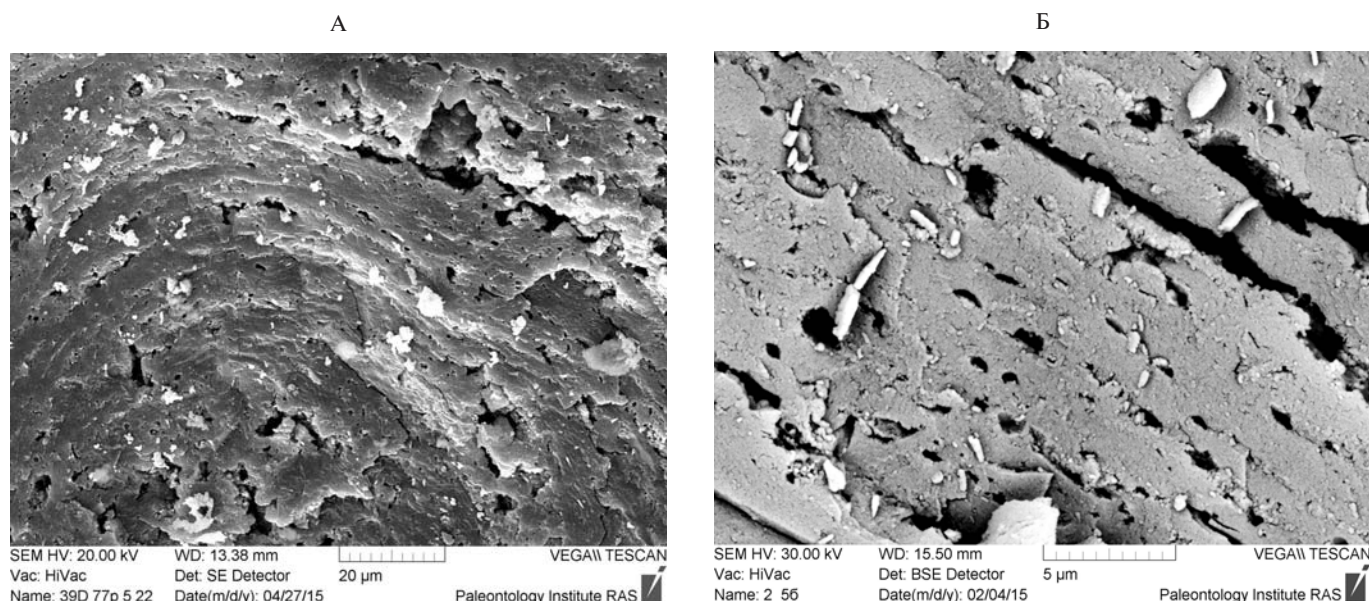


Рис. 2. Бактериальные маты — элементы столбчатых текстур: А — переслаивание биоплёнок; Б — биоплёнки с нитевидными бактериями

(рис. 1). От слоя к слою изменяется толщина столбцов, промежутки между ними, число и размеры пор и полостей, характер их выполнения. Эти особенности определяют всё разнообразие текстурного рисунка всех типов строматолитов.

В результате выполненных исследований установлено, что столбчатые текстуры строматолитов представляют собой бактериальные маты, образованные чередованием fossilized реликтов бактериальных пленок. По текстурному рисунку корковые строматолиты очень близки обычным широко известным строматолитам. Реликты бактериальных пленок морфологически подобны современным бактериальным пленкам: в них угадывается переплетение нитевидных и коккоидных форм бактерий (рис. 2). Био пленки, слагающие строматолитовые бактериальные маты, представляет собой хорошо организованное взаимодействующее сообщество микроорганизмов. Формирование био пленок — следствие согласованного группового поведения бактерий и определяется так называемым чувством кворума. Это одно из основополагающих понятий современной микробиологии [4, 7]. Вероятнее всего, все особенности текстурных характеристик оксидных руд в значительной степени определяются именно этим феноменом. Синхронный рост столбцов, формирование упорядоченных дендритоподобных построек, возможно, является следствием проявления специфического социального поведения бактериальных сообществ.

Проведённые исследования с использованием сканирующего электронного микроскопа позволили получить более подробную информацию об особенностях строения железомарганцевых стро-

матолитов как продуктов жизнедеятельности микробактериальных сообществ.

В образцах строматолитов (во всех слоях кобальтоносных корок) обнаружено обилие различных fossilized биоморфных элементов, что подтверждает активное участие микроорганизмов в формировании структуры железомарганцевых строматолитов. Среди многообразия биоформ можно выделить три группы: 1) строителей строматолитов, создающих единую структуру, общий текстурно-структурный рисунок; 2) организмов, обитавших в различных полостях, возникавших в процессе роста структуры (кстати, и «обитатели» также служат материалом постройки, поскольку они, как и строители, сложены железомарганцевыми оксидами); 3) представленная остатками и обломками микрофауны. Последние, наряду с обломками пород и минералов, попадали в растущую структуру и включались в неё. Но в отличие от строителей и обитателей они сложены не оксидами железа и марганца, а преимущественно карбонатами и фосфатами. Признаков замещения их железомарганцевыми оксидами не наблюдается.

Фossilized био пленки состоят из постоянно чередующихся элементов: плотных пакетов переслаивания однородных и пористых микрослоев, скоплений трихомов (цепочек и отдельных обособлений) нитевидных бактерий и слоёв fossilized гликокаликса (рис. 3).

Бактериальные маты (рис. 3) и слагающие их био пленки являются сообществом бактерий-строителей строматолитов, которые обладают способностью окислять двухвалентные соединения желе-

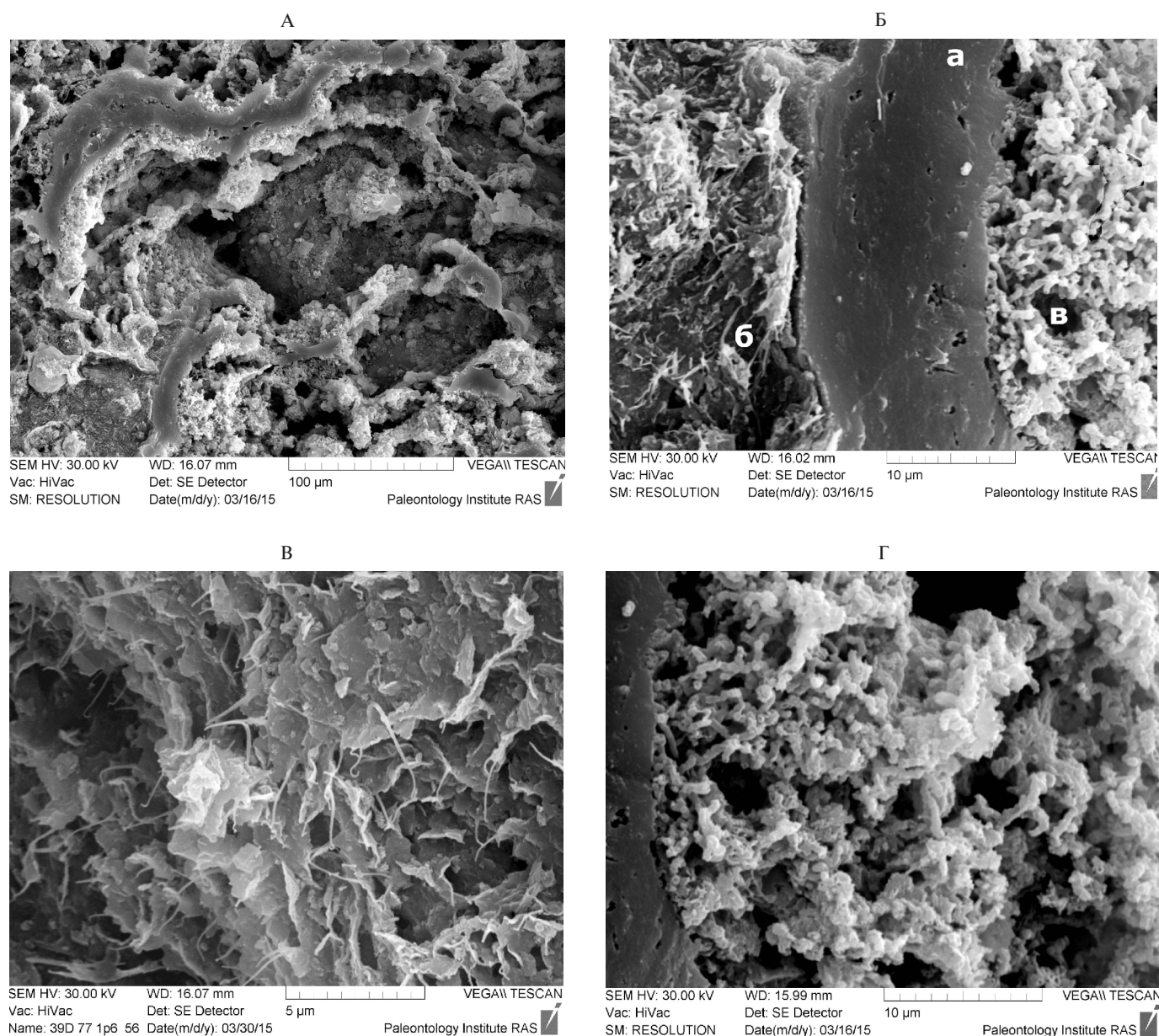


Рис. 3. Основные элементы стратифицированных бактериальных матов железомарганцевых строматолитов: А – общий вид столбца: биоплёнки и организмы в полостях; Б – трехслойный элемент столбца: а – плотные слои б – прослой фоссилизированного гликокаликса (?); в – скопления нитевидных бактерий (?); В – фоссилизированный гликокаликс; Г – минерализованные чехлы нитевидных бактерий

за и марганца и осаждают оксиды металлов в кристаллической или аморфной форме на поверхности клеток и в межклеточном матриксе, в гликокаликсе. Возможно, механизмы биологического поглощения марганца и железа из окружающей среды и осаднения этих металлов подобны тем, что описаны в [6, 8]. Осаждённые оксиды выполняли конструктивные функции, формируя строматолитовые текстуры.

Вероятнее всего, продуктами окисления извлечённых металлов являются аморфные слабо окристаллизованные оксиды (гидрооксиды) марганца и железа, отлагающиеся в клетках, связывающиеся с клеточными стенками или накапливающиеся в

гликокаликсе. Таким образом происходит постепенное заполнение кристаллическими или аморфными минералами всех элементов бактериальной структуры. Во всяком случае мы имеем основания предполагать, что фиксация Mn осуществляется в клетках, стенках клеток и в гликокаликсе. Впоследствии в процессе диагенеза эти продукты преобразуются в преобладающие в оксидных рудах вернадит, ферроксигит и другие минералы.

Онколиты — самостоятельный вид строматолитов.

Рудные оболочки онколитов (конкреций) по текстурно-структурным особенностям существенно отличаются от корковых строматолитов. Мак-

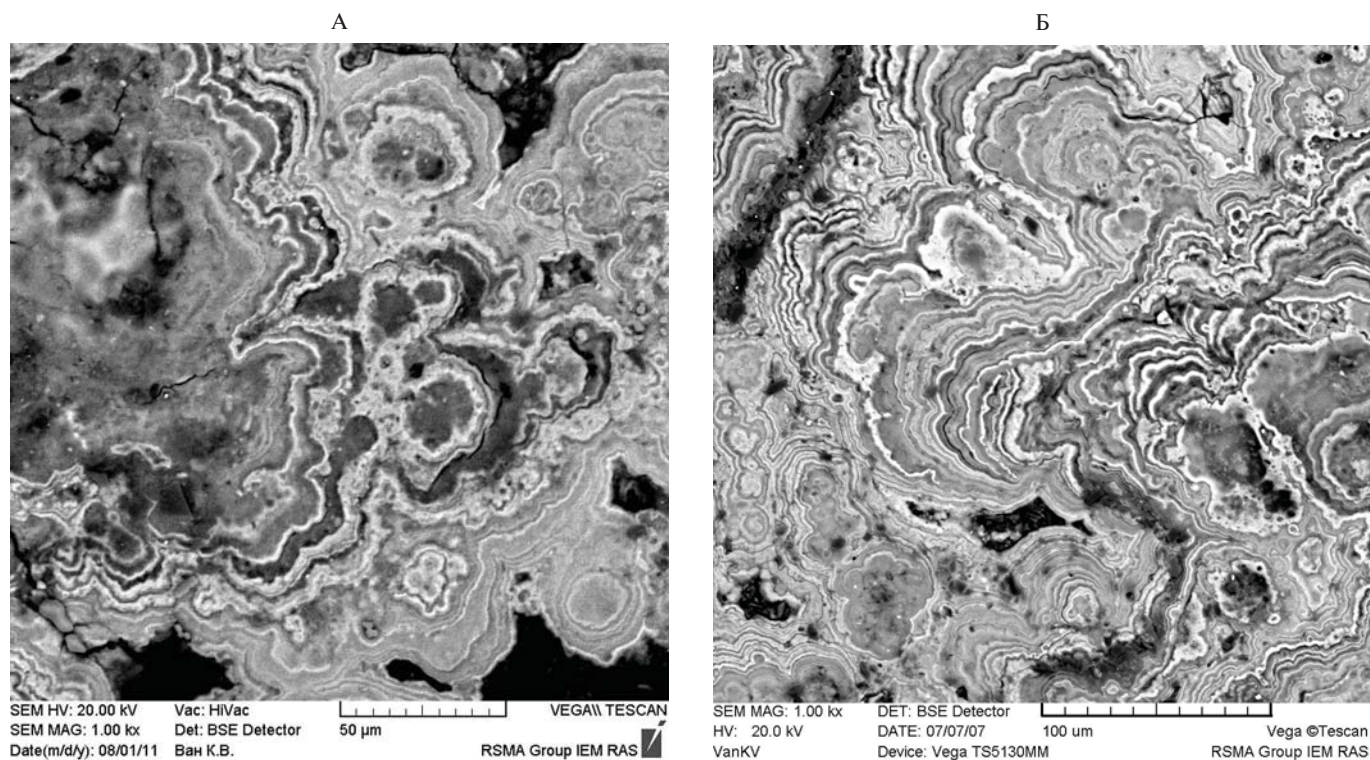


Рис. 4. Фестончатые текстуры онколитов: А — чередование микропрослоев, тёмные — обогащены петрогенными компонентами; Б — фестоны, вытянутые в виде столбцов

роскопически и под микроскопом макрослои рудных оболочек выглядят подобными макрослоям корок; благодаря чему сложилось представление о том, что корки и конкреции по составу и строению практически аналогичны. Однако при детальном наблюдении различия весьма значительны. В онколитах не наблюдаются параллельно-столбчатые текстуры, обычные для строматолитов.

Онколитами свойственно фестончатое строение — своеобразный сложный текстурный рисунок, в котором с трудом можно расшифровать последовательность образования текстурных элементов (рис. 4). Онколитами имеют шарообразную форму, поэтому на их поверхности растут не параллельные столбцы, а расходящиеся по радиальным направлениям фестоны.

Однако на самом деле «фестоны» онколитов — это по существу видоизмененные столбцы. Они также представляют собой бактериальные маты, но биоплёнки, слагающие их, имеют иное строение. В отличие от упорядоченного строения бактериального мата столбцов, обусловленного ритмичным чередованием почти одинаковых по толщине биоплёнок, в онколитах микрослойки — биоплёнки различны и по толщине, и по составу. В них часто отмечаются слойки большой толщины, насыщенные петрогенными компонентами.

Для выяснения природы онколитов проведено сравнительное изучение разновидностей таких об-

разований. Дело в том, что помимо широко распространённых разностей, образующих обширные поля и являющихся объектами разведочных работ, известны менее распространенные, более редкие виды. Это — прежде всего погребённые конкреции, а также разновидности, развитые в западной части провинции Кларион-Клиппертон.

Строение рудных оболочек погребённых конкреций близко или аналогично строению корковых слоёв I-1 или I-2: столбцы в них плотно сомкнуты, параллельны, лишь слегка расширяются вверх, иногда ветвятся. Помимо общего облика, сходство конкреционных оболочек и корковых слоёв заключается в подобии микротекстур и насыщенности оболочек фосфатным веществом, входящим в их слоевую текстуру, что свидетельствует о формировании их в фосфатной среде, как и ранних слоёв корок. Эти особенности и обстановка захоронения приводят к выводу, что возраст погребённых конкреций данного типа может быть оценен, как ранний, иногда средний эоцен [10].

Скорее всего на этом этапе корки и конкреции представляли единую форму и только к концу эоцена (время образования слоя I-2) постепенно сформировалась новая форма — онколитами.

Весьма интересно то обстоятельство, что конкреции, погребённые в рыхлый осадок, продолжают какое-то время расти. Вначале на поверхности конкреции образуются выросты бактериальных

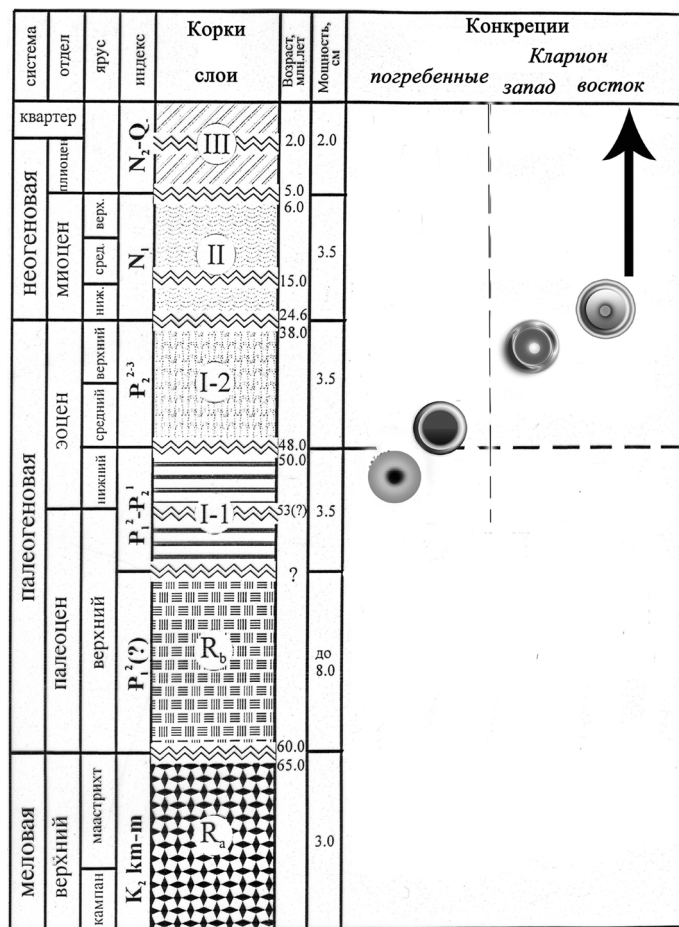


Рис. 5. Схема возрастного соотношения корок и конкреций

матов, текстуры которых подобны корковым слоям. Затем образуется фестончатая бахрома, после чего рост прекращается. Это явление может служить иллюстрацией модели образования онколитов:

под влиянием окружающей среды на бактериальный мат коркового типа нарастают пленки онколитового типа.

Конкреции западной части провинции Кларин-Клиппертон во многом подобны погребённым, что может рассматриваться как свидетельство их относительно раннего возраста.

Внешние оболочки наиболее широко распространённых онколитов в подавляющем большинстве имеют плиоцен-четвертичный возраст, вероятное начало их формирования относится к концу миоцена (рис. 5).

Таким образом, возникновение онколитов обусловлено особыми обстоятельствами эволюции бактериальных сообществ. На ранних этапах онколиты не отличались от корковых строматолитов. Они имели малые размеры. Рудная оболочка их по составу и текстурно-структурным особенностям была аналогична корковым слоям. Однако условия обитания, непосредственная связь с осадочным материалом, препятствующим нормальному росту, привели к тому, что биоплёнки в борьбе за выживание (вынужденное прорастание сквозь осадок) обрели способность активного взаимодействия с осадком и усвоения петрогенных компонентов: SiO_2 , MgO , P_2O_5 и др.

Итак, железомарганцевые строматолиты, предположительно, возникли после «Великого мезозойского вымирания» на рубеже мезозоя и кайнозоя и получили широкое распространение на океанском дне в виде корковых покровов.

Основная масса онколитов начала формироваться позже: после крупнейшего глобального кризиса биоты на границе эоцена и олигоцена [5]. Именно после олигоценевого вымирания начали формироваться онколиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдонин В.В., Кругляков В.В., Лыгина Т.И., Мельников М.Е., Сергеева Н.Е. Оксидные железомарганцевые руды океана: генетическая интерпретация текстур и структур. М.: ГЕОС, 2014. 163 с.
2. Авдонин В.В., Сергеева Н.Е. Об особенностях формирования железомарганцевых конкреций и корок // Вестн. МГУ. Сер. Геология. 2003. № 5. С. 31–39.
3. Авдонин В.В., Еремин Н.И., Мельников М.Е., Сергеева Н.Е. Мезокайнозойский железомарганцевый рудогенез Мирового океана // Докл. РАН. 2013. Т. 456. № 6. С. 1–3.
4. Бактериальная палеонтология / А.Ю. Розанов (ред.). М.: ПИН РАН, 2002. 188 с.
5. Бараш М.С. Развитие палеогеновой биоты океанов под влиянием абиотических факторов // Геобиосферные события и история органического мира. Мат. LIV сессии палеонтологического общества. СПб., 2008. С.13–15.
6. Герасименко Л.М., Орлеанский В.К., Зайцева Л.В. Накопление и осаждение Mn^{2+} клетками *Oscillatoria terebriformis*. Микробиология, 2013, том 82, № 5, С. 605–613.
7. Грузина В.Д. Коммуникативные сигналы бактерий // Антибиотики и химиотерапия. 2003. № 48 (10). С. 32–39.
8. Дубинина Г.А., Сорокина А.Ю. Нейрофильные литотрофные железоокисляющие прокариоты и их участие в биохимических процессах цикла железа // Микробиология. 2014. Т. 83, № 2, С. 127–142.
9. Мальцев С.В., Мансурова Г.Ш. Что такое биоплёнка? // Природная медицина. 2013. № 1 (13). С. 86–89.
10. Мельников М.Е., Авдонин В.В., Плетнев С.П., Седышева Т.Е. Погребённые конкреции Магеллановых гор // Литол. и полезн. иск. 2016. № 1. С. 3–15.
11. Hu Wenxuan, Zhou Huayang, Gu Lianxing et al. New evidence of microbe origin for ferromanganese nodules from the East Pacific deep sea floor // Scie. in China. Ser. D. 2000. Vol. 43. N 2. P. 187–193.
12. Qi, Pan Jianming & Zhang Haisheng. New evidence of microbe origin for ferromanganese nodules from the East Pacific deep sea floor // Scie. in China (Series D). 2000. Vol. 43. N 2. April. P. 187–193.