

УДК 553.048 (26)

В.В. Авдонин<sup>1</sup>, М.Е. Мельников<sup>2</sup>, Н.Е. Сергеева<sup>3</sup>

## СУБМИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ТЕКСТУРЫ МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКИХ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ СТРОМАТОЛИТОВ

Изложены результаты изучения субмикроскопических текстур оксидных руд океанского дна. Объектами изучения послужили кобальтоносные железомарганцевые корки (КМК) Магеллановых гор и железомарганцевые конкреции (ЖМК) провинции Клариян–Клиппертон.

Прослежена эволюция текстурных элементов в разрезе корок от ранних слоев кампан-маастрихтского возраста до плиоцен-четвертичных слоев. Установлено, что конкреции в процессе роста активно взаимодействуют с окружающими осадками, захватывая осадочный материал в слоистую оболочку. Выявлены механизмы захвата конкрециями осадочного материала.

*Ключевые слова:* железомарганцевые конкреции, кобальтоносные корки, строматолиты, онколиты, субмикроскопические текстуры.

The results of the study of submicroscopic textures in oxide ores on oceanic floor are provided. The cobalt-rich ferromanganese crusts of Magellan seamounts and ferromanganese nodules of Clarion–Clipperton province are the subjects of study.

The evolution of textural units in crust sections is traced from the early layers of Campanian–Maastrichtian age to Pliocene–Quaternary layers. It is found that when growing nodules interact intensely with the surrounding sediments involving the sedimentary materials in the stratified envelope. The mechanism of sedimentary matter capture in nodules is revealed.

*Key words:* ferromanganese nodules, cobalt-rich crusts, stromatoliths, oncoliths, submicroscopic textures.

**Введение.** Начало мезозойско-кайнозойской марганцеворудной эпохи связывают с началом распада в конце средней юры суперконтинента Пангея и формированием современной структуры Мирового океана. Это особый этап развития Земли, в течение которого образовался новый океанический тип коры, установился новый режим осадконакопления, а вследствие интенсивного развития базальтового магматизма началось грандиозное накопление железомарганцевых руд, продолжающееся до настоящего времени [Геодинамика..., 1999].

Мезозойско-кайнозойский железомарганцевый рудогенез воплотился в формировании двух формаций оксидных руд океанского дна — железомарганцевых конкреций абиссальных котловин (ЖМК) и кобальтоносных корок подводных поднятий (КМК), суммарный ресурсный потенциал которых превышает 100 млрд т сухой рудной массы [Авдонин, Сергеева, 2003; Геодинамика ..., 1999].

Кобальтоносные корки и глубоководные конкреции отнесены к особому типу железомарганцевых строматолитов [Авдонин и др., 2012]. Самая замечательная особенность железомарганцевых руд — свойственное им слоистое строение, что позволяет использовать при изучении руд историко-геологический подход.

Слоистый разрез корок — своеобразная летопись мезозойско-кайнозойского железомарганцевого

рудогенеза. Она охватывает временной интервал от кампан-маастрихта до настоящего времени. В разрезе корок Магеллановых гор, по данным М.Е. Мельникова [Мельников, 2005], выделено 4 макрослоя: позднепалеоценовый–раннеэоценовый (I-1), среднепозднеэоценовый (I-2), миоценовый (II) и плиоцен-четвертичный (III). Изредка основной разрез подстилают реликты ранее существовавших (реликтовых, R) слоев с двумя возрастными диапазонами — кампан-маастрихтским и позднепалеоценовым (?).

Сопоставление корковых слоев с одновозрастными образованиями осадочного чехла позволило установить, что слои I-1 и I-2 осаждались в условиях шельфа — верхней батиаля (глубина менее 600 м). Реликтовые слои могли формироваться в еще более мелководных условиях — вплоть до фотической зоны. Рудообразование двух верхних слоев II и III происходило на глубине, близкой к современной, т.е. от 1200 до 3000 м [Мельников, Плетнёв, 2013].

Изучение и типизация субмикроскопических текстур привели к выводу о том, что конкреции и корки состоят практически из одинаковых текстурных элементов, типоморфные особенности которых служат доказательством строматолитовой природы оксидных руд.

**Материалы и методы исследований.** Детальные исследования с использованием растрового электрон-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, профессор, докт. геол.-минер. н.; *e-mail:* avdonin@geol.msu.ru

<sup>2</sup> ГНЦ ФГУПП «Южморгеология, тематическая партия, начальник, докт. геол.-минер. н.; *e-mail:* m\_e\_melnikov@mail.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, ст. науч. с.; *e-mail:* nat@geol.msu.ru

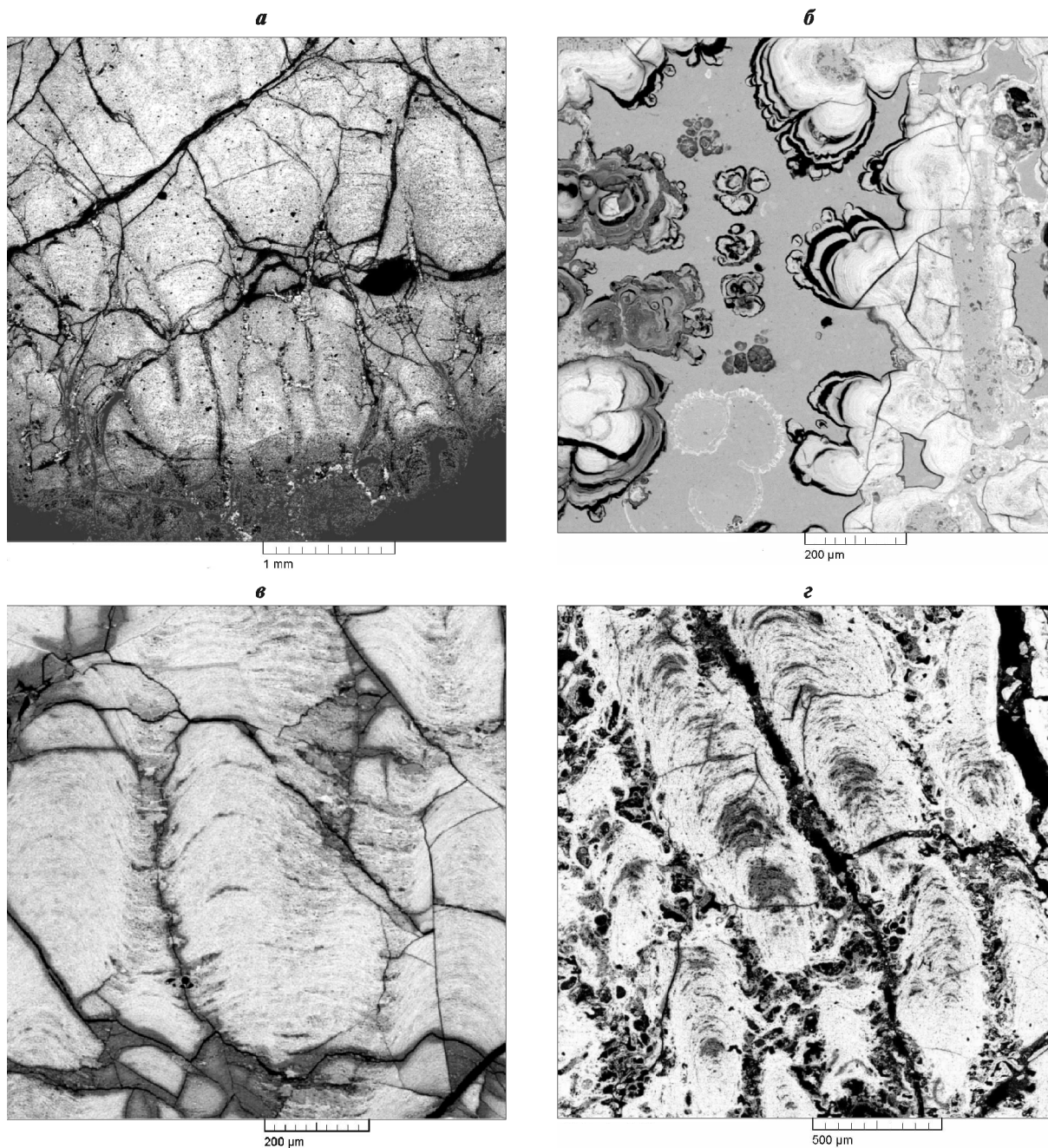


Рис. 1. Текстуальные ассоциации макрослоев I-1 и I-2; а, б — слой I-2: а — короткостолбчатые формы, б — крупная полость между древовидными структурами; в, з — слой I-1: в — волнисто-слоистые формы, з — ассоциация столбцов с перемычками

ного микроскопа «Tescan-Vega/xmu» показали, что все макрослои корок состоят из совокупностей одних и тех же текстурных элементов (столбцы, почки, глобулы и т.д.), повторяющихся от слоя к слою. Тем не менее удалось выявить некоторые закономерности, позволяющие установить наиболее типичные для каждого слоя текстурные ассоциации. Эволюция этих ассоциаций представляется следующей.

*Реликтовым* слоям свойственны волнисто-слоистые формы и крупные радиально-слоистые «постройки». Ведущим текстурным мотивом этого слоя можно считать рисунок, отражающий проникновение оксидных железомарганцевых микроформ сквозь фосфатный осадок.

*Слой I-1* представлен тонкочешуйчатыми однородными массами, в которых проявлены волнисто-слоистые формы; в последних намечается формирование столбчатых образований (рис. 1, б). Наблюдаются также столбчатые и ветвящиеся формы (рис. 1, з).

*Слой I-2* начинается и завершается рядами тесно сомкнутых коротких столбцов (рис. 1, а). Основная масса слоя представлена древовидными крупностолбчатыми агрегатами с крупными полостями между ними (рис. 1, б).

*Слой II* имеет трехчленное строение: сверху и внизу развиты плотные ряды столбцов (рис. 2, з), в центре преобладают кустистые сростки ветвящихся столбцов (рис. 2, в).

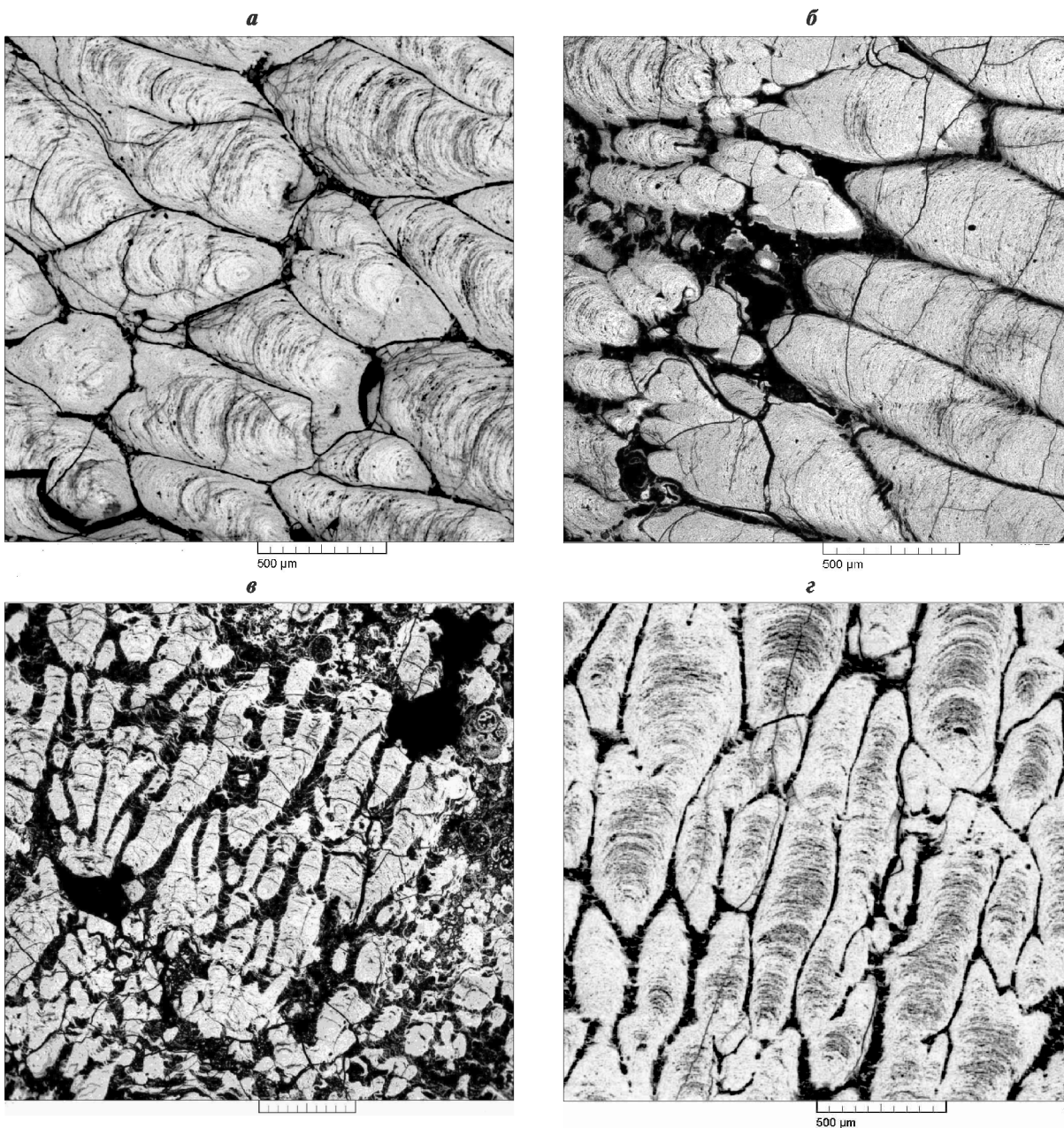


Рис. 2. Текстуры ассоциации макрослоев II и III: *а, б* — слой III: *а* — тесно сомкнутые, разноориентированные столбцы; *б* — параллельные столбцы; *в, г* — слой II: *в* — кустистые, ветвящиеся столбцы, *г* — плотные параллельные столбцы

*Слой III* сложен в основном плотными рядами прямолинейных тонких столбцов (рис. 2, *а, б*).

Таким образом, в целом создается вполне определенная картина существования единой общей закономерно развивающейся структуры.

Из всего разнообразия структурных форм, образованных сочетаниями отдельных элементов, можно отметить наиболее типичные. Во-первых, это кустообразные или древовидные образования, типоморфные для слоя II, но встречающиеся в разнообразных модификациях во всех слоях. Это типичные биоморфные образования, прекрасно демонстрирующие процесс развития от точки начала роста до его завершения. Некоторые из завершающих элементов служат началом следующего подобного ансамбля,

все они имеют более или менее одинаковые размеры — у наиболее развитых форм высота достигает 4 мм и диаметр 2 мм. Все ветви этих «кустов» растут синхронно с одинаковой скоростью и по достижении определенной длины одновременно прекращают рост, благодаря чему и возникают эти совершенные по форме образования (рис. 2, *в*). Во-вторых, сочетания столбчатых ассоциаций. Столбцы всегда ориентированы параллельно один другому, растут синхронно и с одинаковой скоростью. Каждый столбец, обладая определенной индивидуальностью, в то же время представляет собой часть общей структуры и подчиняется общим для всех закономерностям (рис. 3).

Особенно интересен третий пример. В базальных слоях часто наблюдаются образования, пред-

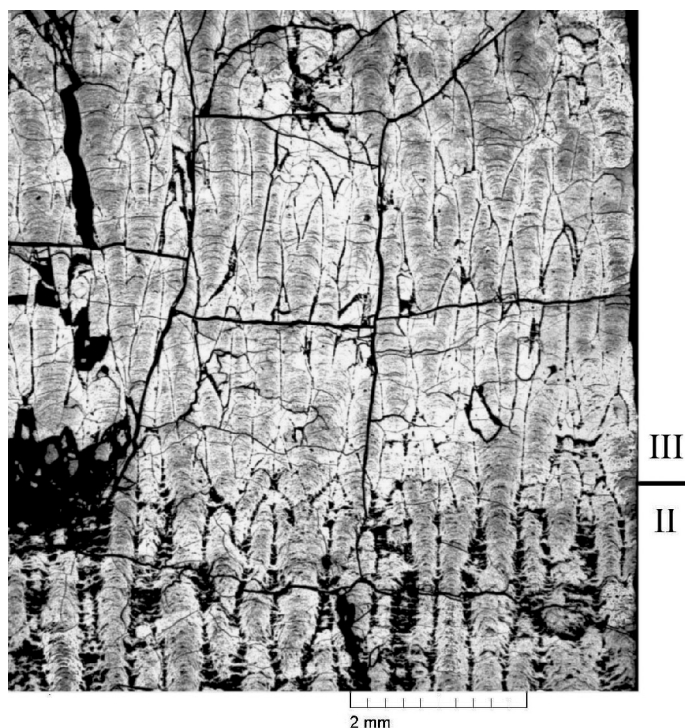


Рис. 3. Столбчатые текстуры строматолитов. Контакт двух макрослоев II и III затушеван явлениями регенерации

ставляющие собой совокупность мелких отдельных изолированных почковидных обособлений оксидного материала, расположенных в осадочной массе. Эти элементы образуют четко упорядоченную систему веерообразного (в разрезе) строения: они расположены по расходящимся от одного центра лучам и при этом образуют овальные слои. В каждом из них направления роста элементов ориентированы вдоль луча. Таким образом, характер организации этих индивидуальных, изолированных один от другого мелких элементов однозначно свидетельствует об их связи и общих особенностях роста (рис. 4). Все перечисленные ансамбли и структуры составляют основу строения всех корковых слоев и определяют их индивидуальность.

Подобные ансамбли обладают четко выраженными признаками тесного родства. Смена в процессе роста одного типа другим происходит по принципу регенерации. Поэтому даже контакты макрослоев, как правило, не видны на субмикроскопическом уровне: они «сливаются» в единое образование (рис. 3). Иными словами, возобновление роста слоев после перерывов (иногда весьма продолжительных), по сути, является примером регенерации — следствием продолжения жизнедеятельности организмов — строителей строматолитов.

Следует особо подчеркнуть еще одну особенность изученных субмикроскопических текстурных элементов — в них не проявлены признаки метасоматических замещений.

**Железомарганцевые конкреции.** ЖМК представляют собой самостоятельный вид строматолитов,

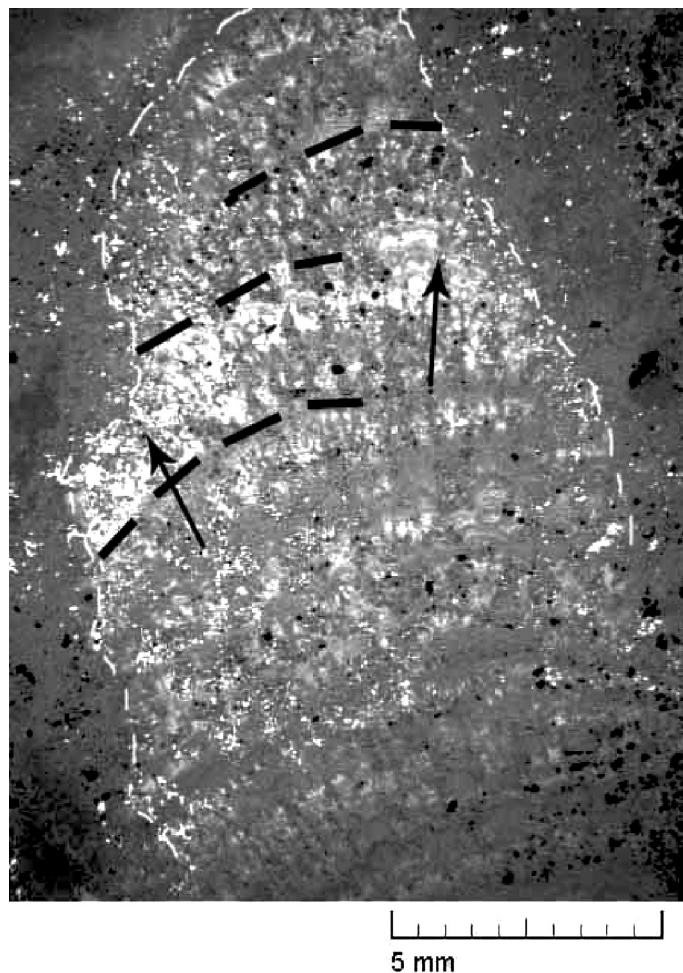


Рис. 4. Веерообразная постройка железомарганцевых строматолитов в фосфатном осадочном материале. Белые штрихи по краям — контуры постройки; стрелками обозначено направление роста столбцов; черными штрихами намечены границы этапов синхронного роста локальных элементов

определяемый как онколиты [Авдонин и др., 2012]. Они начали формироваться после продолжительного перерыва — в результате климатических и палеоокеанологических изменений на границе эоцена и олигоцена произошел крупнейший в кайнозой глобальный кризис биоты [Бараш, 2008]. Именно после олигоценового вымирания начали формироваться железомарганцевые конкреции. В течение олигоценового перерыва рудное вещество не накапливалось в корках. Наиболее активное накопление железомарганцевых руд в форме ЖМК началось в среднем миоцене и достигло максимального развития в плиоцене—голоцене [Юбка, Лыгина, 2003]. Таким образом, возраст конкреций провинции Клариян—Клиппертон соответствует таковому слоев корок III и отчасти II. Вероятнее всего, длительные перерывы в накоплении рудного материала сопровождались сменой морфологических типов строматолитов.

По текстурным особенностям конкреции подобны коркам. Отличаются они от корок, во-первых, тем, что в их разрезах не проявлена эволюция текстурных форм, а во-вторых, активным взаимодействием с





Рис. 5. Совокупность индивидуальных столбчатых обособлений, синхронно проникающих в осадок. Черная стрелка — направление роста столбцов; черно-белые штрихи — границы синхронных этапов роста

вмещающей средой. От корок их отличает высокое содержание осадочного материала в оболочках конкреций. Как установлено, осадочный материал активно захватывается конкрециями в процессе их роста. Это происходит в тех частях оболочки, которые соприкасаются с осадком, поэтому чем глубже погружена конкреция в осадок, тем протяженнее слой, захвативший этот материал, вплоть до того, что при полном погружении слой с захваченным осадком может облекать всю конкрецию.

Активное взаимодействие растущей конкреции с окружающей средой — свойство «живой» конкреции. Будучи погребенной, конкреция может полностью прекратить рост, тогда она претерпевает существенные изменения — разложение, замещение фосфатами и т.д. Растрескивание конкреции, распад на отдельные фрагменты не разрушают ее, она продолжает обрастать очередными слоями. Это естественный процесс регенерации, так как текстурные элементы вновь нарастающих слоев служат естественным продолжением нижележащих. Поэтому контакты облегающих слоев часто лишены признаков деструкции.

Распад конкреции на отдельные фрагменты — следствие растрескивания по трещинам усыхания. Дегидратация — самое раннее проявление диагенеза,

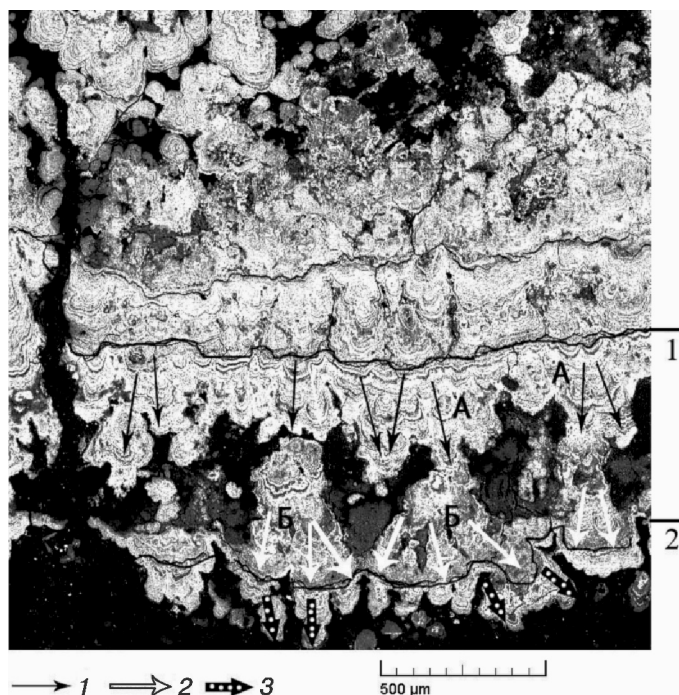


Рис. 6. Двухслойный элемент захвата оболочки конкреции осадка: 1 — начальный этап — проникновение столбчатых пирамидок А в осадок; 2 — второй этап — рост пирамидок Б и смыкание их в единый слой; 3 — начало следующего этапа захвата. Границы: 1 — основание растущего элемента захвата; 2 — завершение захвата

она происходит в еще растущей конкреции, о чем свидетельствуют многочисленные факты залечивания трещин усыхания разного масштаба нарастающими слоями рудного вещества.

Таким образом, обломки «древних» конкреций часто представляют собой фрагменты растрескавшейся конкреции, которая продолжает рост. Это пример непрерывного роста одной и той же конкреции.

Взаимодействие конкреций с окружающей средой определяет и развитие в них специфических текстур, иллюстрирующих механизмы захвата материала окружающего осадка. По нашим наблюдениям, существенная роль принадлежит текстурам прорастания и двухслойным комплексам (или симметричным слоям).

Главная особенность текстур прорастания заключается в том, что они представлены совокупностью дискретных элементов, находящихся в осадке. Эта совокупность — упорядоченная система (рис. 5). Отдельные элементы, составляющие ее, — относительно короткие (длина не более 0,5 мм при ширине в среднем 0,15 мм), удлиненные почковидные образования, или столбцы, постепенно расширяющиеся вверх и заканчивающиеся своеобразной фестончатой «шляпкой». Столбцы образуют параллельные, согласные концентрические слои оболочки, все они ориентированы по радиальным направлениям — направлениям роста столбцов (рис. 5). Столбчатые элементы погружены в осадочный материал и прорастают сквозь осадок. Эти текстуры представляют собой жестко упорядоченную радиально-концентрическую

систему, в которой радиальные направления регулировались импульсами роста: здесь четко проявлены начало и завершение синхронного роста индивидов. Таким образом, в подобных системах отчетливо просматривается не только четкая организация пространства, но и организация процесса.

В оболочках конкреций часто присутствует своеобразный двухслойный элемент — между двумя параллельными слоями развивается система почковидных выростов, острыми концами направленных навстречу один другому (рис. 6). Между этими зубцами заключен осадочный материал. Обычная толщина (мощность) этой пары слоев составляет от 0,5 до 3 мм. Формирующаяся этим способом пара взаимосвязанных между собой слоев является механизмом захвата осадочного материала из субстрата, на котором лежит растущая конкреция, в ее оболочку.

Явлениями прорастания определяется и постоянно отмечаемая «бахрома» каплевидных образований на внешних поверхностях конкреций, обращенных в подстилающий осадок. Иногда удается заметить признаки того, что подобная бахрома — всего лишь незавершенный элемент двухслойных образований (рис. 6). Отдельные каплевидные элементы подобной бахромы, проникающие в осадок, состоят из чередующихся субмикроскопических слоев, причем тонкие слои имеют марганцевистый состав, а широкие обогащены кремнеземом, глиноземом, магнием. Несомненно, это компоненты, заимствованные из осадка.

«Усвоение» субмикроскопическими слоями конкреций в процессе роста петрогенных компонентов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  и т.д.) развито достаточно широко, поскольку конкреции соприкасаются с осадками значительной частью своей поверхности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авдонин В.В., Мельников М.Е., Сергеева, Н.Е. О природе железомарганцевых оксидных руд Мирового океана // Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. № 4. С. 20–26.

Авдонин В.В., Сергеева Н.Е. Об особенностях формирования железомарганцевых конкреций и корок // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2003. № 5. С. 31–39.

Баращ М.С. Развитие палеогеновой биоты океанов под влиянием абиотических факторов. Геобиосферные события и история органического мира // Мат-лы 54-й сессии палеонтол. об-ва. СПб., 2008. С. 13–15.

Геодинамика и рудогенез Мирового океана. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1999. 209 с.

Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ФГУП ГНЦ «Южморгеология», 2005. 230 с.

Мельников М.Е., Плетнёв С.П. Возраст и условия формирования кобальтоносных марганцевых корок на гайотах

Описанные явления позволяют дать иную трактовку некоторым устоявшимся представлениям. Во-первых, это касается так называемых эрозионных границ, перерывов. Прослой обломочного материала в оболочках конкреций часто возникают вследствие захвата осадочного материала, а не в результате перерывов. Во-вторых, бугристая нижняя поверхность конкреций — это следствие активного прорастания строматолитовых столбцов в осадок, никак не связанного с подтоком диагенетических растворов. Эти столбцы насыщаются в первую очередь петрогенными, а не рудными компонентами.

**Заключение.** Текстурно-структурные особенности оксидных железомарганцевых руд океана — достаточно убедительное основание для сопоставления их со строматолитами. По мнению ряда исследователей, кобальтоносные корки можно рассматривать как разновидности строматолитов, а конкреции, состоящие из ядра и строматолитовых оболочек, — как новый тип марганцевых онколитов [Авдонин и др., 2012; Bian Lizeng et al., 1996, Chen Jianlin et al., 1997, Hu Wenxuan et al., 2000].

Проведенные нами исследования с использованием РЭМ позволили выявить в столбчатых образованиях КМК и ЖМК фрагменты бактериальных микрофоссилий [Авдонин и др., 2012] и сделать вывод, что оксидные руды представляют собой принципиально новый вид строматолитов, возникший в связи с грандиозной структурной перестройкой Мирового океана, начавшейся около 170 млн л.н. и выразившейся, в частности, в грандиозной вспышке базальтового магматизма и развитии железомарганцевого рудогенеза. Железомарганцевые строматолиты — главное воплощение этого процесса.

Магеллановых гор // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 1. С. 3–16.

Юбка В.М., Лыгина Т.И. Возраст железомарганцевых конкреций рудной провинции Клариян-Клиппертон Тихого океана // Геология твердых полезных ископаемых Мирового океана. Геленджик, 2003. С. 21–46.

Bian Lizeng, Lin Chengyi, Zhang Fusheng et al. Pelagic manganese nodules — a new type of oncolite // Acta Geologica Sinica. 1996. Vol. 70, N 3. P. 112–117.

Chen Jianlin, Zhang Fusheng, Bian Lizeng et al. Ultramicrobes are the constructor of multimetallic nodules of the ocean floor // Chin. Sci. Bull. (in Chinese). 1997. Vol. 42, N 4. 337 p.

Hu Wenxuan, Zhou Huayang, Gu Lianxing et al. New evidence of microbe origin for ferromanganese nodules from the East Pacific deep sea floor // Sci. in China. Ser. D. 2000. Vol. 43, N 2. P. 187–193.