



МИКРОБИАЛЬНЫЕ КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ — СОСТАВ, СТРУКТУРЫ, ТЕКСТУРЫ, МЕХАНИЗМЫ И ОБСТАНОВКИ ОБРАЗОВАНИЯ. ПРОЦЕССЫ И ОБСТАНОВКИ ОБРАЗОВАНИЯ МИКРОБИОЛИТОВ. СТАТЬЯ 2

В.Г. КУЗНЕЦОВ^{1,2}, Л.М. ЖУРАВЛЕВА^{1*}

¹ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия

²ФГБУН «Институт проблем нефти и газа Российской академии наук»
3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. До относительно недавнего времени все карбонатные породы подразделялись на две группы: органогенные и хемогенные. Первые — породы, наполовину состоящие из скелетных остатков. Это проблема биологическая. К хемогенным вначале относились все карбонатные породы кристаллической структуры. Позднее «хемогенность» образования была оставлена только за пелитоморфными и микрозернистыми разностями, а яснокристаллические структуры были признаны результатом вторичной перекристаллизации.

Однако чисто химическое осаждение карбонатного материала за счет превышения предела растворимости из океанических вод невозможно. Оно происходит либо биогенным путем в виде создания карбонатных скелетов, либо биохимическим, в результате изменения кислотно-щелочных свойств среды. Последнее реализуется за счет нарушения карбонатного равновесия между содержащимися в растворенном виде бикарбонатами кальция и магния с одной стороны, и растворенным в воде углекислым газом с другой. Удаление последнего в результате жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов нарушает динамическое равновесие, ведет к повышению щелочности и осаждению карбонатов, причем вначале кальциевых, а при более высоких значениях pH и магниевых. Наряду с растениями подобную функцию выполняют и микробные сообщества.

Цель. В данной работе приводится результат некоторого обобщения и систематизации накопленного материала, посвященного исследованиям подобных форм.

Материалы и методы. Исследовались карбонатные породы разного возраста — от венда и нижнего кембрия Сибирской платформы до неогена Крыма и осадков современных океанов, с использованием макроскопических и, главным образом, микроскопических методов изучения и описания конкретных объектов, литературный материал.

Результаты. Одной из форм осаждения карбонатного материала являются коккоидные, трубчатые, волокнистые образования — своеобразные «скелеты» бактерий. Одновременно бактериальные сообщества выделяют внеклеточное полимерное вещество — гликокаликс, на котором в значительной мере и фиксируются образующиеся субмикроскопические выделения карбонатных минералов. При этом могут формироваться специфические листовидные и пластинчатые выделения карбонатного материала. Что касается обстановок, где реализуются подобные механизмы, то они крайне разнообразны. Микробиолиты образуются в водоемах от пресноводных до существенно и даже аномально осолоненных, во взвеси и на дне бассейнов, на стадии собственно седиментации и уже в осадке в процессах диагенеза. Наиболее известным примером последних являются различные конкреции.

Закключение (выводы). Процесс образования осадочного материала и его осаждение оказываются несколько различными. Образование твердой фазы определяется результатами биохимической деятельности микробной биоты, и прежде всего созданием геохимических условий, способствующих появлению твердого карбонатного материала. Фиксация же его в осадке реализуется либо в виде «скелетных» форм — шарообразных (кокколиты), трубчатых, в том числе в виде тубифитов, либо осаждением в результате сорбции на гликокаликсе, либо

образованием различных, как изолированных, обособленных форм — микросгустков (тромболитов), оолитов, онколитов, так и слоистых (стороматолиты).

Ключевые слова: микробиолиты, гидрохимия водоема, способы осаждения, обстановки седиментации

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М. Микробиальные карбонатные породы — состав, структуры, текстуры, механизмы и обстановки образования. Процессы и обстановки образования микробиолитов. Статья 2. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(4):10—21. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-4-10-21>

Статья поступила в редакцию 16.07.2020

Принята к публикации 21.09.2022

Опубликована 14.11.2022

* Автор, ответственный за переписку

MICROBIAL CARBONATE ROCKS: COMPOSITION, STRUCTURES, TEXTURES, MECHANISMS AND ENVIRONMENTS OF FORMATION. MICROBIOLITE FORMATION PROCESSES AND ENVIRONMENTS. ARTICLE 2

VITALY G. KUZNETSOV^{1,2}, LILIYA M. ZHURAVLEVA^{1,*}

¹ Gubkin University

65, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia

² Oil and Gas Research Institute of RAS

3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia

ABSTRACT

Introduction. Until relatively recently, all carbonate rocks have been divided into organogenic and chemogenic rocks. The former group includes those half-composed of skeletal remains, thus representing a biological problem. The group of chemogenic carbonate rocks initially included all carbonate rocks with a crystalline structure. Later, the “chemogenicity” of formation was attributed only to pelitomorphous and microgranular varieties, while pure crystalline structures were recognised as the result of secondary recrystallization.

However, the purely chemical precipitation of carbonate material from ocean waters by exceeding the solubility limit appears to be impossible. It occurs either biogenously during the formation of carbonate skeletons or biochemically as a result of changes in the acidity or alkalinity of the medium. The latter is typically implemented due to a carbonate disequilibrium between, on the one hand, the dissolved bicarbonates of calcium and magnesium and, on the other, water-dissolved carbon dioxide. The removal of the latter by photosynthetic organisms disturbs the dynamic balance and leads to an increased alkalinity and precipitation of carbonates, firstly calcium and then magnesium ones at higher pH values. Along with plants, microbial communities perform a similar function.

Aim. The paper presents the results of generalization and systematization of accumulated research data on the abovementioned forms.

Materials and methods. In addition to literature materials, carbonate rocks of various ages — from the Vendian and Lower Cambrian of the Siberian platform to the Crimea Neogene and sediments of contemporary oceans — were examined using macro- and microscopic (mainly) methods of studying and describing specific objects.

Results. Coccoid, tubular and fibrous formations, i.e. particular bacterial “skeletons”, represent one precipitation form. At the same time, bacterial communities produce glycocalyx, representing

an extracellular polymer substance, which forms a basis for submicroscopic precipitates of carbonate minerals. In this case, specific sheet- and plate-like carbonate material precipitates can be formed. The environments for implementing such mechanisms are highly diverse. Microbiolites can be formed in water bodies, including from fresh to substantially and even abnormally saline waters, in suspended matter and at the bottom of basins, both at the stage of sedimentation and during further diagenetic processes. The most famous example of the latter are various nodules.

Conclusions. The processes of sediment formation and material deposition are somewhat different. The formation of a solid phase is determined by the biochemical activity of microbiota and, first of all, the creation of geochemical conditions that contribute to the appearance of a solid carbonate material. However, the fixation of this material in a sediment is implemented either in “skeletal” ball-shaped (coccolites) and tubular (tubiphytes) forms, or by precipitation as a result of absorption on glycocalyx, or by the formation of various — both isolated individual (thrombolite microclusters, oolites and oncolites) and laminar (stromatolites) — forms.

Keywords: microbiolites, water reservoir hydrochemistry, sedimentation methods, sedimentation environments

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Microbial carbonate rocks: composition, structures, textures, mechanisms and environments of formation. Microbiolite formation processes and environments. Article 2. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(4):10—21. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-4-10-21>

Manuscript received 16 July 2022

Accepted 21 September 2022

Published 14 November 2022

* Corresponding author

1. Механизмы образования карбонатных микробиолитов

На этапе становления науки об осадочных породах — сначала петрографии осадочных пород, а затем и литологии, все карбонатные породы подразделены на две группы органогенные и хемогенные. С первыми все было относительно ясно — это породы, состоящие не менее чем наполовину из скелетных остатков организмов. Само образование скелетов — внутренних или внешних (раковины) — это проблема биологическая и геологами воспринималась как данность. К хемогенным вначале относились все карбонатные породы кристаллической структуры. Позднее «хемогенность» образования была оставлена только за пелитоморфными и микрозернистыми разностями, а яснокристаллические структуры были признаны результатом вторичной перекристаллизации. Интересно отметить, что еще в 1911 году В. Ильин разделил подмосковные известняки каменноугольного возраста на органогенные и кристаллические — зернистые, не давая последним генетического значения [15].

Представления о кристаллических, а позднее о пелитоморфных известняках, а тем более, доломитах как хемогенных, прочно укоренилось и вошло в учебники, по крайней мере, вплоть до издания второй половины девяностых годов прошлого столетия.

Вместе с тем их «хемогенность» в общепринятом «классическом» понимании вызывала все больше и больше вопросов. Дело в том, что хемогенная садка вещества происходит, когда его концентрация в растворе превышает предел растворимости. Для карбонатной системы ситуация неизмеримо более сложная. Так, в тропических зонах современных океанов содержание карбонатов в 7—8 раз превышает произведение растворимости [1, 2], то есть данная схема здесь не «работает» и механизм осаждения карбонатного материала иной: формой нахождения в растворе морской воды ионов кальция является бикарбонат — $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, который находится в динамическом равновесии с растворенным в воде CO_2 , поэтому для осаждения карбоната — уже твердого кальцита необходимо удаление CO_2 . Эту функцию — утилизацию CO_2 — реализуют автотрофные организмы, которые

усваивают его для генерации органической субстанции. Такое усвоение и снижение содержания CO_2 ведет к разрушению бикарбонатов и, соответственно, осаждению уже карбонатов. Современным примером подобных процессов является образование вайтингов — белесой мути, состоящей из микроскопических частиц карбоната кальция, которые возникают при цветении водорослей, усваивающих CO_2 , что ведет к деструкции бикарбонатов и появлению уже твердых карбонатов. Процессы эти в настоящее время подробно изучены, в частности, микробиальный механизм образования вайтингов описан в ряде работ [19, 21]. При активной утилизации углекислоты щелочность среды существенно повышается и осаждаются не только кальциевые, но и магниевые карбонаты, то есть происходит формирование доломитов [3, 9–12, 22]. Важно отметить, что подобные процессы реализуются как за счет фотосинтезирующих, так и за счет хемосинтезирующих организмов — они могут происходить при отсутствии солнечного света, то есть уже в осадке.

Поскольку суммарная производительность бактериальной биоты неизмеримо выше таковой у растений, их значение в карбонатонакоплении существенно, а скорее, весьма существенно больше, чем значение водорослей. Таким образом, в процессе жизнедеятельности бактерии создают соответствующие кислотно-щелочные обстановки, которые способствуют химическому, точнее биохимическому, осаждению карбонатов, переводя их из бикарбонатной растворимой формы в карбонатную нерастворимую. При этом по мере повышения щелочности может осаждаться и осаждался примерно следующий ряд минералов — сидерит и его разновидности, в частности, сидероплезит, — кальцит — высокомагнезиальный кальцит — доломит — магнезит. Во-вторых, бактерии генерируют и выделяют внеклеточное полимерное вещество — гликокаликс (или международное название — extracellular polymeric substance — EPS), на котором сорбируются находящиеся в воде ионы, образующие затем соответствующие минералы, а также крайне дисперсные глинистые частицы.

Таким образом, процесс образования осадочного материала и его осаждение оказываются несколько различными. Само образование твердой фазы определяется результатами биохимической деятельности микробиальной биоты и, прежде всего, созданием геохимических условий, способствующих появлению твердого карбонатного материала. Фиксация же его в осадке реализуется либо в виде «скелетных» форм — шарообразных

(кокколиты), трубчатых, в том числе в виде тубифитов, либо осаждением в результате сорбции на гликокаликсе, либо образованием различных, как изолированных, обособленных форм — микросгустков (тромболитов), оолитов, онколитов, так и слоистых (стороматолиты). Добавим, что бактериальная природа подобных микросгустков установлена достаточно давно [17, 18].

2. Обстановки формирования микробиолитов

Переходя к вопросу об обстановках образования микробиолитов, надо сразу же отметить, что обстановки эти достаточно разнообразны, что можно показать на примере формирования их отдельных видов. Так, оолиты формируются, как правило, в подвижной среде, где во взвеси находится какая-то «затравка» — обломок, раковина, пузырек воздуха и т. д., и на этом фрагменте осаждался карбонат кальция в виде обволакивающих пленок. Достигнув определенного размера, новообразованный оолит осаждался на дно, происходит перекристаллизация кальцита с образованием радиально-лучистой структуры с сохранением, однако, реликтов первично концентрического строения.

Образование оолитов долгое время считалось чисто хемогенным равномерным обрастанием зародыша кальцитом (арагонитом) во время нахождения его во взвешенном состоянии. Однако исследование современных оолитов, в частности Карибского бассейна, показало, что между концентрическими микрослойками карбоната существуют оболочки органического материала — реликты бактериальных пленок и живые бактерии. Именно они создают ту локальную геохимическую обстановку, и прежде всего, по значению pH, которая обуславливает выделение карбоната в виде обволакивающих пленок. В ископаемых оолитах эти бывшие микробиальные пленки представлены уже только органическим веществом — липидными компонентами [20].

Как отмечалось выше, в зависимости от величины щелочности создаваемой среды осаждаются либо карбонаты кальция, либо магнезиальные карбонаты в виде доломита и магнезита. При этом абсолютные величины солёности значения не имеют. Современные оолиты формируются в пределах значительно опресненных вод (мелководье Северного Каспия), в обстановке среднеокеанической солёности, а также в резко осолоненных озерах.

Аналогичен оолитам механизм образования онколитов, однако, в отличие от первых, они формируются не во взвеси, а непосредственно на дне,

причем тоже в условиях достаточно подвижной среды.

Поскольку в этом случае карбонатный материал не подтягивается со всех сторон, как в случае оолитов, что обеспечивает им в целом правильную округлую форму, а поступает, если можно так сказать, однонаправленно, наложение микрослойков не очень правильное. Более того, периодическое перевертывание создающихся фрагментов приводит к не столь правильной сферичности — она имеет более сложную конфигурацию. Не исключено, что, в отличие от оолитов, при образовании онколитов плотность поселения микробных сообществ более высока, что определяет появление более высоких значений pH, обуславливающих, в свою очередь, осаждение уже магнезиальных карбонатов.

В охарактеризованных ранее отложениях, вмещающих онколиты Северного Кавказа, присутствует разнообразная, в том числе стеногалинная фауна, что свидетельствует о среднеокеанической солености и «нормальном» гидрохимическом составе вод бассейна. Таким образом, доломитизация обусловлена именно активной микробной деятельностью, которая сугубо локально определила высокую щелочность среды и осаждение в связи с этим магнезиальных карбонатов. Последние, скорее всего, в диагенезе кристаллизовались в виде доломита в ядрах онколитов, по концентрам, в цементе, иногда с разрушением некоторых форм, что наглядно видно на рисунке 3 первой статьи.

Весьма широк диапазон обстановок формирования микробных сгустков. Они образуются, например, в небольших пространствах между веточками кораллов или мшанок, в щелевидных пустотах между наложениями в травертинах, то есть, по сути дела, в субаэральных условиях, а также непосредственно как фрагменты осадков обширных открытых морских водоемов, как, например, в фамене востока Русской платформы, где сферово-сгустковые известняки распространены от Печорской синеклизы на севере до Прикаспийской на юге.

Аналогичная ситуация и с химизмом, точнее соленостью, вод. В коралловых постройках это средняя океаническая соленость; в миоценовых рифах сарматского яруса Керченского полуострова, где подобные образования достаточно многочисленны, сгустки формировались в «неполносолёном» водоеме с концентрацией солей ниже среднеокеанической. Фаменский бассейн востока Русской платформы, по мнению А.И. Антошкиной,

Е.С. Пономаренко и Н.А. Каневой, также периодически несколько распреснялся [4].

Однако во всех случаях их формирование происходило в свободном пространстве, они практически нигде не соприкасались ни друг с другом, ни с другими твердыми компонентами. Об этом свидетельствует тот факт, что во всех изученных объектах микробные сгустки обрамляются крустификационными корочками кристалликов кальцита. Образование последних может происходить только в том случае, если сгусток со всех сторон омывался водами (рис. 1).

Наличие сгустков микробного материала в пустотах между веточками кораллов и мшанок позволяет думать, что здесь при отсутствии солнечного света реализовывались процессы хемосинтеза, а не фотосинтеза.

Весьма широко распространенные и достаточно подробно изученные строматолиты формируются в фотической зоне на дне водоемов в обстановках разной солености; основным условием, как и везде, является щелочность, которая определяет минеральный состав строматолитов. Общее глобальное изменение этого показателя — pH среды — в истории Земли обусловило в целом смену доломитового, а местами и магнезитового состава протерозойских и раннекембрийских строматолитов на преобладающе кальцитовый в более поздние геологические эпохи.

В природе нередко сочетание различных микробных образований, которые дают возможность восстанавливать детали обстановок седиментации и их изменений во времени. В этом отношении интересные детали обстановок унаследованы в силурийских отложениях на острове Сааремаа, Эстония (рис. 2).

В условиях мелководного бассейна с достаточно активной, однако, гидродинамикой формировались онколиты (стрелка а) до 2 и более см в поперечнике. При общем обмелении наряду с илистым по размеру и консистенции осадком образовались и карбонатные обломки — возможно, продукты перемыва, и, наконец, наступало полное осушение, деструкция уже сформированных ранее онколитов (стрелка б). Экспонированная поверхность была неровной, с амплитудой «высот» в несколько мм, реже — см (стрелка с). После кратковременного перерыва и перекрытия поверхности водой относительно приподнятые участки дна в условиях крайнего мелководья колонизировались теми же цианобактериальными сообществами, которые создали небольшие строматолитовые постройки — столбики высотой до 2—2,5 см (стрелка d). После

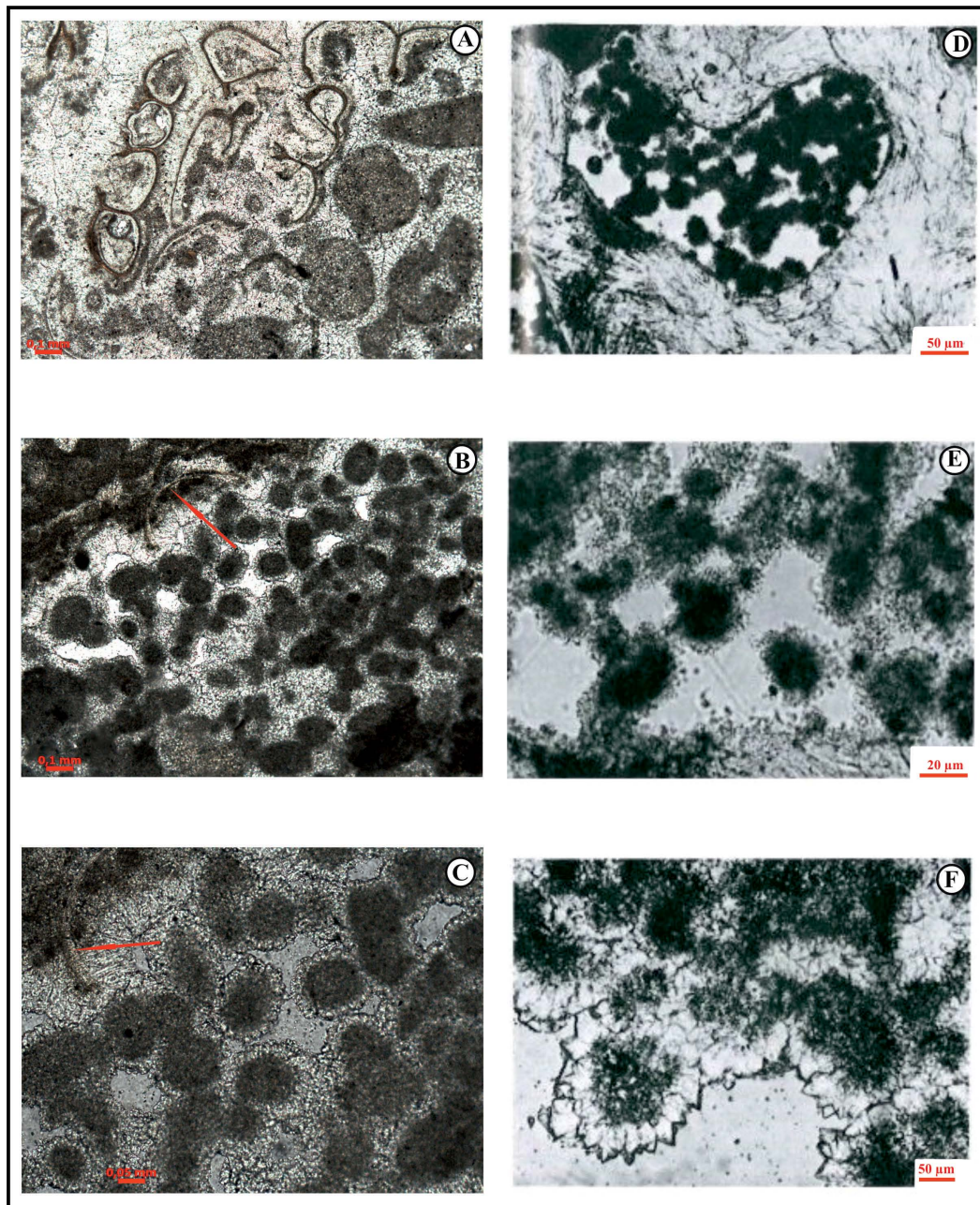


Рис. 1. Бактериальные микросгустки в породах разного происхождения. А, В, С — мшанковые известняки рифа Казантип, миоцен, Крым: А — округлые и овальные ячейки, обрамленные каемками волосяных кристаллов кальцита, ориентированных нормально к стенкам; среди них единичные микросгустки пелитоморфного карбоната; В — пространство между веточками мшанок: обрывок стенки колонии мшанок (показано стрелкой) и обильные микросгустки; С — диагенетические (?) крустификационные каемки развитые по микросгусткам пелитоморфного кальцита. D, E, F — современные образования [17]: D, E — микросгустки пелитоморфного кальцита, окаймленные эвгедральными кристалликами кальцита в коралловых постройках Белиза; F — то же в известковых туфах.

Fig. 1. Bacterial microclots in different origin rocks. A, B, C — bryozoan limestones of the Kazantip reef, Miocene, Crimea: A — rounded and oval cells framed by the edges of calcite capillary crystals oriented normally to the walls; there are single microclots consisting of pelitic carbonate among them; B — the space between the bryozoan branches: bryozoan wall fragments (shown by the arrow) and abundant microclots; C — diagenetic (?) crustified edges of pelitic calcite microclots. D, E, F — modern formations [17]: D, E — pelitic calcite microclots bordered by euhedral calcite crystals in coral structures of Belize; F — the same in calcareous tuffs



Рис. 2. Онколиты и столбики строматолитов в крайне мелководных отложениях со следами перерыва. Описание см. в тексте. Силур. Остров Сааремаа

Fig. 2. Oncolites and stromatolite columns in extremely shallow sediments with traces of interruption. See description in the text. Silurus. Saaremaa Island

некоторого повышения уровня воды и возобновившейся в связи с этим гидродинамической активности вновь начали формироваться онколиты (стрелка е).

На ряде приведенных выше примеров видно, что микробиальные процессы генерируют карбонатный материал и образуют те или иные формы его нахождения не только непосредственно на стадии седиментации, но и в диагенезе. Таковы, например, различные конкреционные образования, а также разнообразные крустификационные

каемки, обрастания в водонасыщенных пустотах, линзовидных и щелевидных пространствах между микробиальными пленками в строматолитах и микробиальных матах.

Более того, в ряде случаев затруднительно строго отделить процессы седиментации от процессов диагенеза, то есть обозначить границу между ними. Так, если линзовидные пустоты между бактериальными наложениями в строматолитах изолированы от вод бассейна, то это процессы диагенетические. Если же они не изолированы, свободно связаны

с водоемом, то это еще стадия седиментогенеза, который, как это было отмечено ранее, является в процессах карбонатакопления не одноактным, а растянутым во времени [8]. В полной мере сказанное относится и к описанному выше образованию микросгустков в пространствах между веточками кораллов и мшанок.

Примером «многоактного» формирования микробиолитов и созданных в результате микробиальной деятельности геологических форм являются особые образования, созданные в результате жизнедеятельности в микробиальных пленках — бактериальных матах. Специфическая геохимическая зональность вертикального разреза подобных слоев описана Г.А. Заварзиным [7], Л.М. Герасименко и Г.Т. Ушатинской [5], а в ископаемом состоянии изучена, например, в отложениях овинпармского горизонта нижнего девона Печорской синеклизы [6, 14].

В этих отложениях встречены прослои битуминозно-глинисто-карбонатного состава с несколько необычным набором сопутствующих минералов — ромбиков доломита, иногда ангидрита, фрамбoidalного пирита (рис. 3). Сочетание минералов, где присутствуют сульфатные и сульфидные

соединения, то есть имеется наличие ионов серы с валентностью 6^+ и одновременно 2^- ($S^{6+}O_4$ и S^{2-}), возможно только при различных геохимических обстановках, которые, однако, как в данном случае, были очень близки по своему местонахождению и, видимо, времени своего существования. Кроме того, наличие стеногалинной фауны, обитавшей в среде среднеокеанической солёности, как будто несовместимо с наличием ангидрита, формирующегося в обстановке повышенной солёности.

Подобные противоречия оказываются мнимыми и объясняются трофической структурой бактериального мата, которая характеризуется определенной вертикальной зональностью, причем мощности отдельных зон составляют миллиметры и доли миллиметров [5]. В верхнем слое бактериального мата обитают фототрофы, которые утилизируют углекислый газ и освобождают кислород. Ниже, уже в условиях аноксии, за счет углерода образуется метан, который удаляется из осадка. Важно при этом, что углекислый газ полностью утилизируется, что создает щелочные условия, определяющие осаждение именно карбонатов, в том числе магнезиальных.

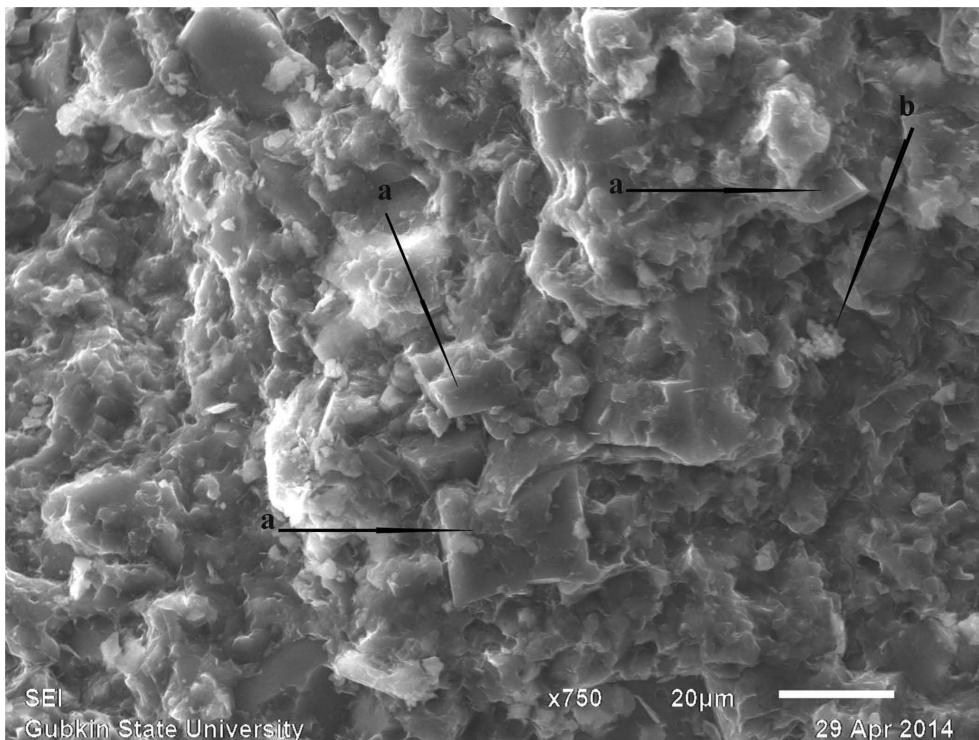


Рис. 3. Ромбики доломита (а) и фрамбoidы пирита (b) в составе битуминозно-глинисто-карбонатных прослоев отложений овинпармского горизонта нижнего девона Печорской синеклизы

Fig. 3. There are dolomite rhombs (a) and pyrite framboids (b) of the bituminous-clay-carbonate interlayers in the Ovinparm deposits. Lower Devonian of the Pechora syneclise

Нижележащий слой населен пурпурными серобактериями, деятельность которых генерирует сульфат-ион и, соответственно, способствует образованию гипса (ангидрита). В самом основании биомата обитают уже сульфатредуцирующие бактерии, создающие сероводородную среду, а наличие именно фрамбоидальных форм пирита подтверждает бактериальную природу образования последнего.

Как отмечено выше, микробиальная деятельность продолжается в диагенезе и ниже самых приповерхностных участков, где формируются конкреции — по-видимому, образования диагенетические. Они образуются за счет перераспределения и стягивания в определенных точках растворенного и рассеянного в осадке вещества с образованием здесь уже твердых минеральных форм. Роль бактерий в этом процессе была давно отмечена Н.М. Страховым: «Причина перераспределения новообразованных минералов кроется

в большой пестроте физико-химических условий, Eh, pH, концентраций отдельных компонентов, возникающих в осадке вследствие жизнедеятельности микроорганизмов в первые моменты диагенеза» [16].

Поскольку основной причиной изменения геохимических обстановок и, в данном случае, щелочности являются микроорганизмы, новообразованные конкреции полностью подпадают под определение микробиолитов и дополняют список подобных объектов.

При этом формируются не только карбонатные по составу конкреции. Растворенные карбонаты цементируют и другие компоненты осадка. Так образуются, например, стяжения песчаного материала, сцементированные кальцитом, нередко очень своеобразных форм (рис. 4). При этом гранулометрический спектр обломочного материала в конкрециях и вмещающих отложениях совершенно идентичен.



Рис. 4. Гроздь шаровидных песчаных образований с кальцитовым цементом — пример диагенетического карбонатного конкрециобразования. Мел. Прикаспийская впадина

Fig. 4. A botryoidal cluster of spherical sand formations with calcite cement is an example of diagenetic carbonate concretion. Cretaceous. The Caspian basin

Заключение

Бактериальные формы жизни появились на ранних этапах развития Земли, и их массовое развитие во многом определило геохимическую обстановку и, соответственно, вещественный состав образующихся под их воздействием осадков и специфических осадочных тел.

Микробиолиты, непосредственно сложенные минерализованными бактериальными остатками различной морфологии, относительно редки. Большинство видов микробиолитов генерируется, главным образом, за счет создания микробиотой соответствующих условий и сорбцией частиц осадка внеклеточным органическим веществом — гликокаликсом.

Морфологические типы микробиолитов весьма разнообразны: имеются обособленные образования — пелитоморфные сгустки, оолиты, онколиты, ооиды, конкреции, а также слоистые, бугристые и столбчатые формы — строматолиты, минерализованные бактериальные маты и т. д.

Образование микробиолитов происходит на стадиях седиментогенеза, а частично — в диа-

генезе. При этом соленость водоемов принципиального значения не имеет, поскольку микробиолиты формируются как в опресненных, так и в аномально соленых бассейнах. Но во всех случаях осаждение материала было обусловлено либо непосредственно бактериями, либо, в более общем и частом случае, влияние было косвенным, через создание определенной геохимической среды и генерацию особой субстанции — гликокаликса, на которой материал осаждался.

Несмотря на «простоту» цианобактерий как организмов, которые либо не эволюционировали в течение длительной геологической истории, либо эволюционировали относительно незначительно, эволюция созданных ими карбонатных микробиолитов все же отмечается [13]. Так, доломитовые по составу микробиолиты, со временем сменялись известковыми, устанавливается абсолютное и относительное сокращение строматолитов и, напротив, возрастание доли изолированных, обособленных форм — онколитов, оолитов и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 444 с.
2. *Алекин О.А., Ляхин Ю.И.* Химия океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 343 с.
3. *Антошкина А.И., Шебошкин Д.Н., Шмелева Л.А., Исаенко С.Н.* Биохомогенные известняки и доломиты в нанометровом масштабе: значение для геологической летописи // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2019. № 8. С. 3—13. DOI: 10.19110/2221-1381-2019-8-3-13
4. *Антошкина А.И., Пономаренко Е.С., Канева Н.А.* Фенестровые известняки — специфика позднедевонских морей, Тимано-Североуральский регион // Литология и полезные ископаемые. 2014. № 6. С. 493—505. DOI: 10.7868/S0024497X14060020
5. *Бактериальная палеонтология.* Под ред. А.Ю. Розанова. М.: ПИН РАН, 2002. 188 с.
6. *Журавлева Л.М.* Доломит и ангидрит в карбонатных отложениях овинпармского горизонта лохковского яруса в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2013. № 5. С. 26—29.
7. *Заварзин Г.А.* Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2003. 348 с.
8. *Кузнецов В.Г.* Специфика литогенеза разнофациальных карбонатных отложений в свете учения Л.В. Пустовалова об этапности осадочного породообразования // Проблемы эндогенного и метаморфогенного породо- и рудообразования. М.: Наука, 1985. С. 60—72.
9. *Кузнецов В.Г.* Эволюция карбонатонакопления в истории Земли. М.: ГЕОС. 2003. 262 с.
10. *Кузнецов В.Г.* Связь эволюции цианофитов и стратиграфического размещения магнетитов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2004. № 4. С. 30—36.
11. *Кузнецов В.Г.* Эволюция доломитообразования и ее возможные причины // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2005. Т. 80. Вып. 4. С. 49—66.
12. *Кузнецов В.Г.* Эволюция осадочного породообразования в истории Земли. М.: Научный мир, 2016. 212 с.
13. *Кузнецов В.Г.* Некоторые аспекты эволюции микробиального породообразования в истории Земли // Доклады АН. 2018. Т. 478. № 1. С. 59—62. DOI: 10.7868/S0869565218010127
14. *Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М.* Фации отмели среди отложений овинпармского горизонта лохковского яруса. Нижний девон, Тимано-Печорская синеклиза // Литосфера. 2014. № 4. С. 22—35.
15. *Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов.* СПб.: Недра, 1998. 352 с.
16. *Страхов Н.М.* К познанию диагенеза // Вопросы минералогии осадочных образований. Кн. 3-4. Львов: Изд-во Львовского гос. ун-та, 1956. С. 7—26. Цитируется по: Страхов Н.М. Избранные труды. Общие проблемы геологии, литологии, геохимии. М.: Наука, 1983. С. 341—359.
17. *Chafetz H.S.* Marine peloids: a product of bacterially induced precipitation of calcite // Journ. of

- Sedimentology Petrology. 1986. V. 56. No. 6. P. 812—817.
18. Kennard J.M., James N.P. Thrombolites and Stromatolites: two distinct types of microbial structures // *Palaaios*. 1986. V. 1. No. 5. P. 492—503.
 19. Robbins L.L., Tao Y., Evans C.A. Temporal and spatial distribution of whittings on Great Bahama Bank // *Geology*. 1997. V. 25. No. 10. P. 947—950.
 20. Summons R.F., 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. P. 420—426.
 21. Thompson J.B. Microbial whittings. In.: *Microbialsediments*. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2000. P. 250—260.
 22. Vasconcelos Cr., McKenzie Yu., Bmasconi St., Grulic D., Tien A. Microbial mediation as a possible mechanism for dolomite formation at low temperatures // *Nature*. 1995. V. 377. P. 220—222.
- ### REFERENCES
1. Alekin O.A. Basics of hydrochemistry. Leningrad: *Gidrometeoizdat Publ.*, 1970. 444 p. (In Russian).
 2. Alekin O.A., Lyahin Yu.I. Ocean Chemistry. Leningrad: *Gidrometeoizdat Publ.*, 1984. 343 p. (In Russian).
 3. Antoshkina A.I., Shebolkin D.N., Shmeleva L.A., Isaenko S.N. Biochemical limestones and dolomites on a nanometer scale: significance for the geological record // *Vestnik. Institute of Geology of Komi Science Center of Ural Branch RAS*. 2019. No. 8. P. 3—13 (In Russian). DOI: 10.19110/2221-1381-2019-8-3-13
 4. Antoshkina A.I., Ponomarenko E.S., Kaneva N.A. Fenestral limestones: specific features of Late Devonian seas in the Timan-Northern Ural region // *Lithology and mineral resources*. 2014. No. 6. P. 493—505 (In Russian). DOI: 10.7868/S0024497X14060020
 5. Bacterial paleontology. By ed. A.Yu. Rozanov. Moscow: *PIN RAS Publ.*, 2002. 188 p. (In Russian).
 6. Zhuravleva L.M. Dolomites and anhydrides in the carbonate deposits of the Oviparmsky horizon of Lohkovsky stage in Timan-Pechora oil-gas province // *Proceeding of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2013. No. 5. P. 26—29 (In Russian).
 7. Zavarzin G.A. Lectures on natural science Microbiology. Moscow: *Nauka Publ.*, 2003. 348 p. (In Russian).
 8. Kuznecov V.G. Specifics of lithogenesis of different facies carbonate deposits in the light of L. V. Pustovalov's teaching on the stages of sedimentary rock formation // *Problems of endogenous and metamorphogenic rock and ore formation*. Moscow: *Nauka Publ.*, 1985. P. 60—72 (In Russian).
 9. Kuznecov V.G. Evolution of the carbonate formation in the Earth's history. Moscow: *GEOS Publ.*, 2003. 262 p. (In Russian).
 10. Kuznecov V.G. Relationship between cyanophyte evolution and stratigraphic placement of magnesites // *Proceeding of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2004. No. 4. P. 30—36 (In Russian).
 11. Kuznecov V.G. Evolution of dolomite formation and its possible reasons // *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological series*. 2005. V. 80. Iss. 4. P. 49—66 (In Russian).
 12. Kuznecov V.G. Evolution of sedimentary rock formation in the Earth's history. Moscow: *Scientific World Publ.*, 2016. 212 p.
 13. Kuznecov V.G. Some aspects of evolution of microbial rock-formation in the Earth's history // *Doklady Earth Sciences*. 2018. V. 478. No. 1. P. 59—62 (In Russian). DOI: 10.7868/S0869565218010127
 14. Kuznecov V.G., Zhuravleva L.M. Tidal (shallow) facies of Ovinparm horizon of Lohkovian Unit. Lower Devonian. Timan-Pechora syncline // *Litosfera*. 2014. No. 4. P. 22—35 (In Russian).
 15. Systematics and classification of sedimentary rocks and their analogues. Saint-Peterburg: *Nedra Publ.*, 1998. 352 p. (In Russian).
 16. Strahov N.M. To the knowledge of diagenesis // *Questions of Mineralogy of sedimentary formations*. V. 3-4. Lvov: *Lvov University Publ.*, 1956. P. 7—26. Quoted by: Strahov N.M. Selected works. General problems of Geology, Lithology, and Geochemistry. Moscow: *Nauka Publ.*, 1983. P. 341—359 (In Russian).
 17. Chafetz H.S. Marine peloids: a product of bacterially induced precipitation of calcite // *Journ. of Sedimentology Petrology*. 1986. V. 56. No. 6. P. 812—817.
 18. Kennard J.M., James N.P. Thrombolites and Stromatolites: two distinct types of microbial structures // *Palaaios*. 1986. V. 1. No. 5. P. 492—503.
 19. Robbins L.L., Tao Y., Evans C.A. Temporal and spatial distribution of whittings on Great Bahama Bank // *Geology*. 1997. V. 25. No. 10. P. 947—950.
 20. Summons R.F., 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. P. 420—426.
 21. Thompson J.B. Microbial whittings. In.: *Microbialsediments*. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2000. P. 250—260.
 22. Vasconcelos Cr., McKenzie Yu., Bmasconi St., Grulic D., Tien A. Microbial mediation as a possible mechanism for dolomite formation at low temperatures // *Nature*. 1995. V. 377. P. 220—222.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHORS CONTRIBUTIONS

Кузнецов В.Г. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Журавлева Л.М. — внесла вклад в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vitaly G. Kuznetsov — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to assume responsibility for all aspects of the work.

Liliya M. Zhuravleva — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кузнецов Виталий Германович — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры литологии ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»; ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт проблем нефти и газа Российской академии наук»

65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия

3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия

e-mail: vgkuz@yandex.ru

тел.: +7 (499) 507-85-77, +7 (495) 330-39-42

SPIN-код: 9477-8454

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-0119>

Vitaly G. Kuznetsov — Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof. of the Department of Lithology of Gubkin University; Leading Researcher at the Oil and Gas Research Institute of RAS

65, Leninsky Prospekt, Moscow 119991, Russia

Oil and Gas Research Institute of RAS

3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia

e-mail: vgkuz@yandex.ru

tel.: +7 (499) 507-85-77, +7 (905) 708-47-57

SPIN-code: 9477-8454

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-0119>

Журавлева Лилия Маратовна* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры литологии ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина».

65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия

e-mail: zhurawlewa.lilia@yandex.ru

тел.: +7 (499) 507-85-77, +7 (905) 708-47-57

SPIN-код: 1266-2519

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0360-5414>

Liliya M. Zhuravleva* — Cand. of Sci. (Geol.-Mineral.), Assoc. Prof. of the Department of Lithology of Gubkin University.

65 Leninsky Prospekt, Moscow 119991, Russia

e-mail: zhurawlewa.lilia@yandex.ru

tel.: +7 (499) 507-85-77, +7 (905) 708-47-57

SPIN-code: 1266-2519

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0360-5414>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author