



МИКРОБИАЛЬНЫЕ КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ — СОСТАВ, СТРУКТУРЫ, ТЕКСТУРЫ, МЕХАНИЗМЫ И ОБСТАНОВКИ ОБРАЗОВАНИЯ. ВОЗНИКНОВЕНИЕ УЧЕНИЯ О МИКРОБИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ И ИХ ФОРМАХ. СТАТЬЯ 1

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. Представления о влиянии бактерий на минералообразование, и прежде всего на формирование карбонатных отложений появились в конце XIX века, в том числе среди российских геологов. Было показано, что осаждение материала происходит непосредственно на стадии седиментации, а также продолжается и в осадке в процессах диагенеза. В настоящее время это направление в мировой науке активно развивается. Составные части пород, а также и сами породы, созданные в результате жизнедеятельности бактериальных форм, получили самостоятельное название «биоседиментарные структуры» или «микробиолиты».

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. В первой статье рассматриваются основные морфологические типы подобных образований карбонатного состава как в виде отдельных структурных компонентов осадка-породы, так непосредственно самих пород со своеобразными структурными характеристиками.

Результаты. Выделены и охарактеризованы две основные морфологические группы микробиолитов карбонатного состава. Образования первой группы представляют собой обособленные и самостоятельные формы карбонатного материала, как кальцитового, так и высокомагнезиального — доломитового и даже чисто магнезитового состава. В составе представителей этого типа минерализованные остатки собственно бактериальных форм в виде кокколлитов, трубочек, нитевидных форм, а также пластинчатые и листоватые структуры — минерализованные следы гликокаликса. В этой же группе давно известные литологам изолированные карбонатные объекты: оолиты, онколиты, микросгустки пелитоморфного карбонатного материала, тромболиты, по-видимому, такие специфические образования, как тубифиты и т. д. Вторая группа — это слоистые формы в виде строматолитов, со своей внутренней структурой, а также минерализованные микробиальные пленки, маты со своей сложной структурой и др.

Выводы. В подавляющем большинстве случаев микробиолиты формируются на стадии седиментации, их морфология и тип микробиолитов определяются конкретными палеогеографическими и палеоклиматическими условиями.

Ключевые слова: бактериальные формы, микробиолиты, оолиты, онколиты, строматолиты

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. Возникновение учения о микробиальных образованиях и их формах. Статья 1. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(3):8—18. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-8-18>

Статья поступила в редакцию 16.07.2020

Принята к публикации 21.09.2022

Опубликована 17.10.2022

* Автор, ответственный за переписку

MICROBIAL CARBONATE ROCKS: COMPOSITION, STRUCTURES, TEXTURES, MECHANISMS AND ENVIRONMENTS OF FORMATION. EMERGENCE OF THE DOCTRINE OF MICROBIAL FORMATIONS AND THEIR FORMS. ARTICLE 1

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. Concepts describing bacterial effects on mineral formation and, first of all, on the formation of carbonate deposits, started to appear late in the 19th century both in Russia and globally. The precipitation of materials was demonstrated to take place directly at the sedimentation stage and continue in the formed precipitate during diagenetic processes. Research in this direction has recently intensified. Rocks and their constituent parts formed as a result of bacterial activity have been referred to as “biosedimentary structures” or “microbiolites”.

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. Article 1 considers the main morphological types of such carbonate formations, both in the form of individual structural components of sedimentary rocks and rocks themselves with peculiar structural characteristics.

Results. Two main morphological groups of carbonate microbiolites were identified and characterized. The first group represents individual and independent forms of carbonate material, both of calcite, highly magnesian-dolomite and even pure magnesite composition. This type includes mineralized precipitates of bacterial forms represented by coccolites, tubules, filaments, as well as by plate and sheet structures – mineralized glycolyx traces. In addition, this group features isolated carbonate objects, familiar to lithologists, including oolites, oncolites, microclusters of pelitic carbonate materials, thrombolites and, apparently, such specific formations as tubiphytes, etc. The second group includes laminated forms of stromatolites with their specific internal structure, as well as mineralized microbial films and mats with a complex structure, etc.

Conclusions. In the overwhelming majority of cases, microbiolites are formed at the sedimentation stage, and their morphology and type are determined by specific paleogeographic and paleoclimatic conditions.

Keywords: bacterial forms, microbiolites, oolites, oncolites, stromatolites

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. Emergence of the doctrine of microbial formations and their forms. Article 1. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(3):8—18. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-8-18>

Manuscript received 16 July 2022

Accepted 21 September 2022

Published 17 October 2022

* Corresponding author

Становление и развитие учения о микробиальных образованиях

Начало научного исследования влияния микробиальной деятельности на осадочный процесс и, в частности, на карбонатонакопление относится к рубежу XIX и XX веков, причем работы, интересные геологам, проводились в основном микробиологами. Так, В.И. Вернадский неоднократно указывал, что знаменитый русский микробиолог С.Н. Виноградский в ряде работ последней четверти XIX века показал роль бактерий в образовании и преобразовании ряда осадочных минералов и пород [4, стр. 232 и др.].

В значительной степени пионерские работы в области геологической роли бактерий были проведены в нашей стране. Так, в глубоководных областях Черного моря Н.И. Андрусов обнаружил светлые комочки, сложенные карбонатом кальция, которые образуют прослойки того же цвета среди зеленоватых глинистых осадков. При микроскопическом изучении высушенные светлые осадки «...состоят из удлинённых зерен (наподобие пшеничных), поляризующих свет и иногда представляющих X-образные двойники» [1, стр. 392]. Образование карбонатов он связывал с жизнедеятельностью бактерий.

Позднее вводя лекцию к курсу «Геология» он посвятил взаимоотношениям геологии и бактериологии, поставив задачу показать «...геологическое значение бактерий и ту роль, которая выпадает на их долю в изменениях земной коры» [2, стр. 1].

В этой лекции Н.А. Андрусов указал, что «...механическая деятельность, по-видимому, чужда бактериям. Зато химическая деятельность необыкновенно обширна» [там же, стр. 1]. При этом он наметил ряд направлений влияния бактерий на геологические процессы, в частности на образование осадочных пород и осадочный процесс в целом. Это влияние проявляется уже на первых стадиях осадкообразования, которые сейчас

определяются как стадии образования осадочного материала, его переноса и далее — диагенеза: «...благодаря продуктам деятельности почвенных микробов происходит растворение составных частей почвы и подпочвы, разрыхление поверхностных частей земной коры, но вместе с тем перенесение и отложение вновь образовавшихся соединений на других местах земной поверхности или в море» [там же, стр. 17]; одновременно он подчеркивает, что «...именно в почвенном слое в атмосферную воду поступает главное количество растворителей, так как почвенные слои являются ареной необыкновенной деятельности разнообразнейших микробов, содержащихся в почве в огромных количествах индивидуумов» [там же, стр. 16].

Геологическая деятельность бактерий продолжается и позднее, в диагенезе: «...благодаря бактериям здесь (в морских осадках. — В.К., Л.Ж.) должны совершаться различные преобразования, в особенности же, вероятно, тот ряд изменений в осадках, которые Гюмбель и И. Вальтер называли диагенезом» [там же, стр. 18].

По Н.И. Андрусову, большую роль играли бактерии при образовании ряда серных месторождений и железных руд.

Обращаясь к описанным ранее карбонатным сгусткам глубоководных илов Черного моря, он добавляет и расширяет список морфологии этих образований: «...шарики, участки или тоненькие слойки порошкообразной углекислой извести» [там же, стр. 11] и приводит пример подобного ила в одном из шотландских заливов «...пропитанного клочковатым осадком CaCO_3 » [там же, стр. 13], еще раз подчеркивает, что «...продуктом жизнедеятельности бактерий... является образование карбонатов» [там же, стр. 11], и, что симптоматично, вводит понятие «бактериогенных осадков CaCO_3 » [там же, стр. 14].

Не так важно, что не все предложенные им конкретные механизмы бактериального

карбонатакопления получили подтверждение и развитие, важно, что Н.И. Андрусов если не первым, то, по крайней мере, одним из первых показал роль и значение бактериальной деятельности в осадочном процессе начиная от момента образования осадочного материала, включая его перенос и формирование тех или иных осадков, их преобразование в диагенезе, и, в частности, сформулировал понятие «бактериогенных» образований, в том числе карбонатных.

В начале XX века отечественный микробиолог Г.А. Надсон в осадках соляного озера — «лечебной грязи» обнаружил комочки известняка (точнее, карбоната кальция) или, скорее, доломита, так как они «не растворялись в уксусной кислоте, очень медленно растворялись в разведенной соляной кислоте... и быстро — в горячей» [13, стр. 85]. Позднее он поставил опыт с культурой бактерий *Proteus vulgaris*, и через 1,5 года в осадке появились шарики диаметром 1,5—2 мм, состоящие из карбонатов кальция и магния с преобладанием первого.

По ряду причин исследование бактериальной деятельности в геологических процессах в нашей стране было ограниченным, но уже в последней четверти двадцатого столетия работы этого плана получили достаточно широкое распространение, причем, как и ранее, в значительной степени вначале в среде микробиологов. Обстоятельное описание подобных форм, правда, среди других структурных элементов карбонатных пород, приведено в капитальной сводке сотрудников ВНИГНИ [3]. Следует, однако, подчеркнуть, что геологическое осмысление материала, как и ранее, проводилось микробиологами.

Возможно, одной из первых обобщающих работ, посвященных непосредственно геологической деятельности микробов, была книга С.И. Кузнецова, М.В. Иванова и Н.Н. Ляликовой, опубликованная в 1962 году [11]. Позднее в нашей стране работы в этом направлении вели академик Г.А. Заварзин и сотрудники его лаборатории в Институте микробиологии РАН — Л.М. Герасименко, В.К. Орлеанский и др., к которым присоединились сотрудники Института палеонтологии — А.Ю. Розанов, Г.Т. Ушатинская, Е.А. Жегалло, Л.В. Зайцева и др. [5—9, 15, 20].

Естественно, что если микробиологи больше внимания обращали на механизмы, способы воздействия микробиальной деятельности на осадочный процесс, то геологи и, в более узком значении, литологи концентрировались на обстановках, где эти процессы реализовывались, и на итоговые,

чисто вещественные и морфологические формы новообразований.

Применительно к осадочным образованиям подобного рода был введен термин «биоседиментарные структуры», или «микробиалиты», получивший широкое распространение. Авторы термина Роберт Бурне и Линда Мур определили его как «оргаоосадочные (органоседиментационные) образования, возникшие как результат деятельности донных микробиальных сообществ, улавливающих и связывающих частицы вещества и/или образующиеся в результате осаждения хемотрогенного материала» [18, стр. 241—242]. Следует обратить внимание на специфическое написание «биалиты», хотя корень этого термина «биос» — жизнь. Авторы настоящей статьи предпочитают использовать оригинальное написание от латинского *bios* — микробиолиты.

Так или иначе, проблема микробиолитов в полной мере вошла в сферу интересов и работ геологов. В значительной мере этому способствовало появление и достаточно широкое использование сканирующего электронного микроскопа, микронного анализа и другой прецизионной техники, которая позволила реально «увидеть» подобные объекты, изучить их состав, строение и взаимоотношения между собой. Другими словами, на микро- и ультрамикроразрешении ныне возможно изучать три составные части, которые и определяют само существование осадочной горной породы: ее состав, структуру и текстуру. В целом два последних понятия нередко объединяются общим термином «строение породы», аналогом чему являются соответствующие иностранные термины *fabric* в английском языке и *das Gefüge* в немецком.

Использование упомянутой техники при изучении микробиальных образований обусловило становление некоей отдельной отрасли литологии, которую по аналогии с микробиальной палеонтологией [15] можно назвать микробиальной литологией.

Не ставя целью систематически классифицировать и описать все микробиальные структуры и разрешить терминологические разногласия, в первой статье кратко характеризуются основные, самые распространенные морфологические типы микробиальных образований карбонатного состава, то есть те, которые состоят из кальцита, доломита, в существенно меньшей степени из сидерита и магнезита, а во второй статье обсуждаются механизмы (процессы) и обстановки их образования.

Морфологические типы карбонатных микробиолитов

В первом, самом общем подходе все карбонатные микробиолиты можно объединить в две морфологические группы — во-первых, одиночные изолированные, пространственно обособленные формы и, во-вторых, слоистые образования.

В свою очередь, среди первых выделяются несколько видов — непосредственно минерализованные остатки собственно бактерий, а также оолиты, онколиты, микросгустки пелитоморфного карбоната.

По-видимому, наиболее распространенными среди первых являются остатки некоторых форм — округлые образования либо в виде единичных обособленных шариков диаметром 1—3 микрона,

либо сообщество подобных форм. Кроме того, встречаются трубочки, нитчатые фоссилии различной морфологии: прямолинейные, изгибающиеся, ветвящиеся и т. д. (рис. 1). Важное обстоятельство — карбонаты, содержащие подобные собственно литифицированные остатки бактериальных форм, представлены не обычными для карбонатных пород кристаллическими формами, а имеют листоватую, в лучшем случае пластинчатую морфологию. По-видимому, это продукты литификации пленок, выделяемых бактериями внеклеточной слизи — гликокаликса, о чем см. ниже (статья 2). Следует отметить, что подобные образования имеют не только карбонатный состав — описаны фосфатные, кремнистые и другие минеральные виды.

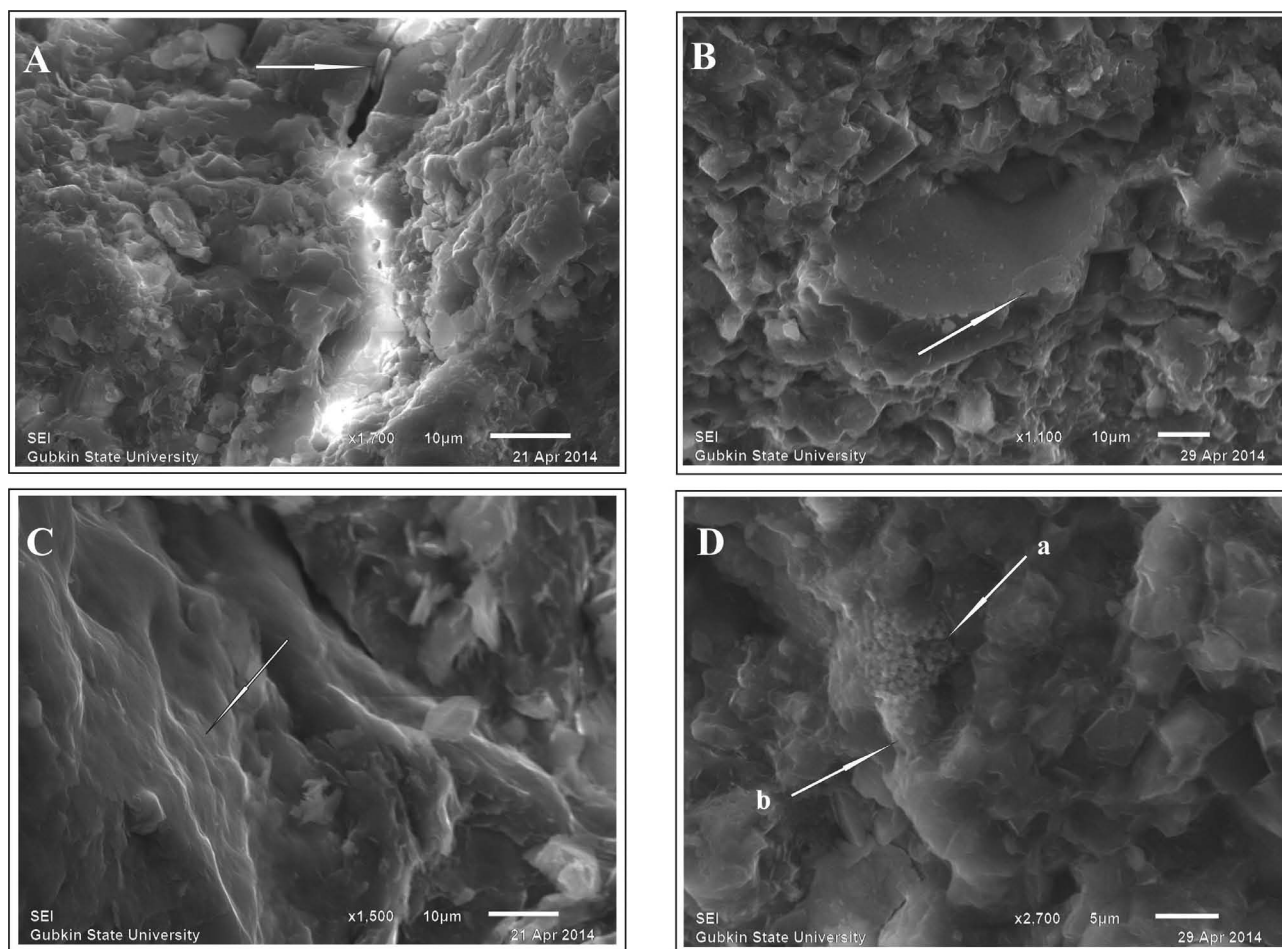


Рис. 1. Микробиальные формы и минерализованные биопленки: А — нитевидная форма цианобактерий; В — листоватая форма нахождения кальцита — вещественное выражение гликокаликса; С — минерализованные биопленки, покрывающие плотные ассоциации кокков; D — фрамбоидальное выделение пирита (а), венчающее остаток трубчатого организма (b). Нижний девон. Печорская синеклиза

Fig. 1. Microbial forms and mineralized biofilms: A — the filamentous form of cyanophytes; B — the leafy form of calcite — the material expression of glycocalyx; C — mineralized biofilms covering dense cocci associations; D — framboidal pyrite secretion (a) crowning the remainder of the tubular organism (b). Lower Devonian. Pechora syneclise

Среди следующих структурных форм широко развиты образования, названия которых из-за своей округлой формы в научной литологической литературе восходят к греческому названию *оо́п* — яйцо, *о́пкос* — нарост и т. д.

Вообще округлые карбонатные образования разного типа достаточно разнообразны, обзор подобного рода зерен приведен, например, в специальном сборнике [19].

Одной из самых распространенных и известных форм этой группы являются оолиты — округлые, нередко практически сферические, иногда овальные образования размером обычно менее 2 мм, имеющие своеобразное внутреннее строение. Как правило, это сочетание концентрических более светлых и более темных слоев пелитоморфного и микрозернистого карбоната и одновременно радиально ориентированных тончайших, по сути дела, волосяных кристалликов кальцита. Нередко в центре оолита имеются зерна кварца или другого минерала, обломок раковинки, кристаллики кальцита и т. д. (рис. 2).

Еще одной формой изолированных и в целом округлых, овальных форм являются онколиты. По сравнению с оолитами их форма менее правильная, чаще и более отчетливо проявляется неправильное концентрическое внутреннее строение.

В качестве примера на рисунке 3 показаны онколитовые известняки берриаса — валанжи на района Кисловодска на Северном Кавказе.

В некоторых случаях внутри онколитов встречаются остатки раковин, вокруг которых образуются темные пленки пелитоморфного кальцита. Среди скелетных остатков раковины гастропод, пелеципод, членики криноидей (рис. 3 А—F).

В других случаях каких-либо включений, вокруг которых формировались онколиты, не установлено, однако концентрически слоистое строение наглядно проявляется практически всегда, отмечены «срастания» двух онколитов в один за счет обволакивания их едиными микробиальными каемками (рис. 3 G—I). Спецификой данных конкретных отложений является высокая степень их доломитизации.

Своеобразным, но достаточно широко распространенным видом изолированных микробиальных образований являются сгустки пелитоморфного карбоната, обычно кальцитового по составу. В отечественной литературе давно известны известняки микросгустковые, где отдельные, обычно округлые или овальные, стяжения цементируются яснокристаллическим кальцитом (рис. 4).

Размеры сгустков обычно составляют доли миллиметра. Строго говоря, не все сгустки микрозернистого и пелитоморфного карбоната являются микробиолитами. Аналогичные, близкие по форме фрагменты образуются при грануляции раковинок фораминифер, могут представлять фекалии других организмов, причем в большинстве случаев последние отличаются морфологией и внутренним строением самих сгустков. В зарубежной литературе сгустки пелитоморфного материала позже названы тромболитами (*τρομβολίτης* — сгусток, *λίθος* — камень) [17].

Микросгустки отечественных геологов, видимо, не являются полным аналогом тромболитов западных седиментологов. Первые, как только что отмечено, имеют обычно размеры менее 1 мм, в то время как тромболиты имеют поперечник до сантиметра и более, последние у нас описываются как комки и в целом комковато-сгустковые структуры карбонатной породы.

В группе округлых изолированных микробиальных образований следует указать онкоиды, хотя надо отметить, что характеристика этих форм и само выделение их как отдельных образований далеко не однозначно. Это тоже в целом округлые, овальные, но, как правило, значительно более

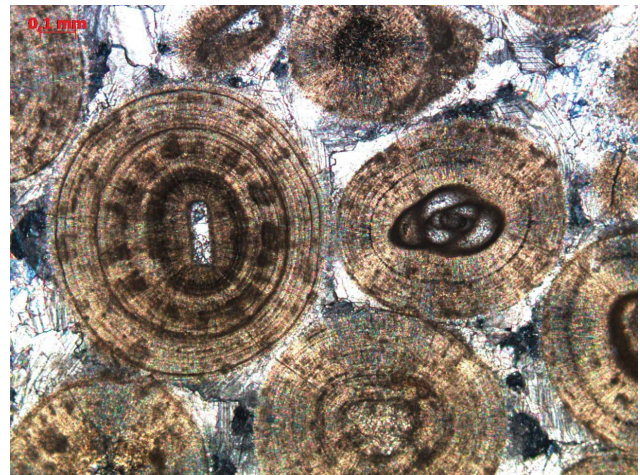


Рис. 2. Известняк оолитовый. Округлые или овальные формы с отчетливо концентрической и одновременно радиально-лучистой внутренней структурой. В ядрах оолитов раковинка фораминиферы (справа) и обломок раковины двустворки (слева). Палеоген. Ферганская долина

Fig. 2. Oolitic limestone. Rounded or oval shapes with a distinctly concentric and at the same time radially radiant internal structure. There are shell of the foraminifera (right) and the fragment of the shell of the bivalve (left) in the nuclei of oolites. Paleogene. Ferghana Valley

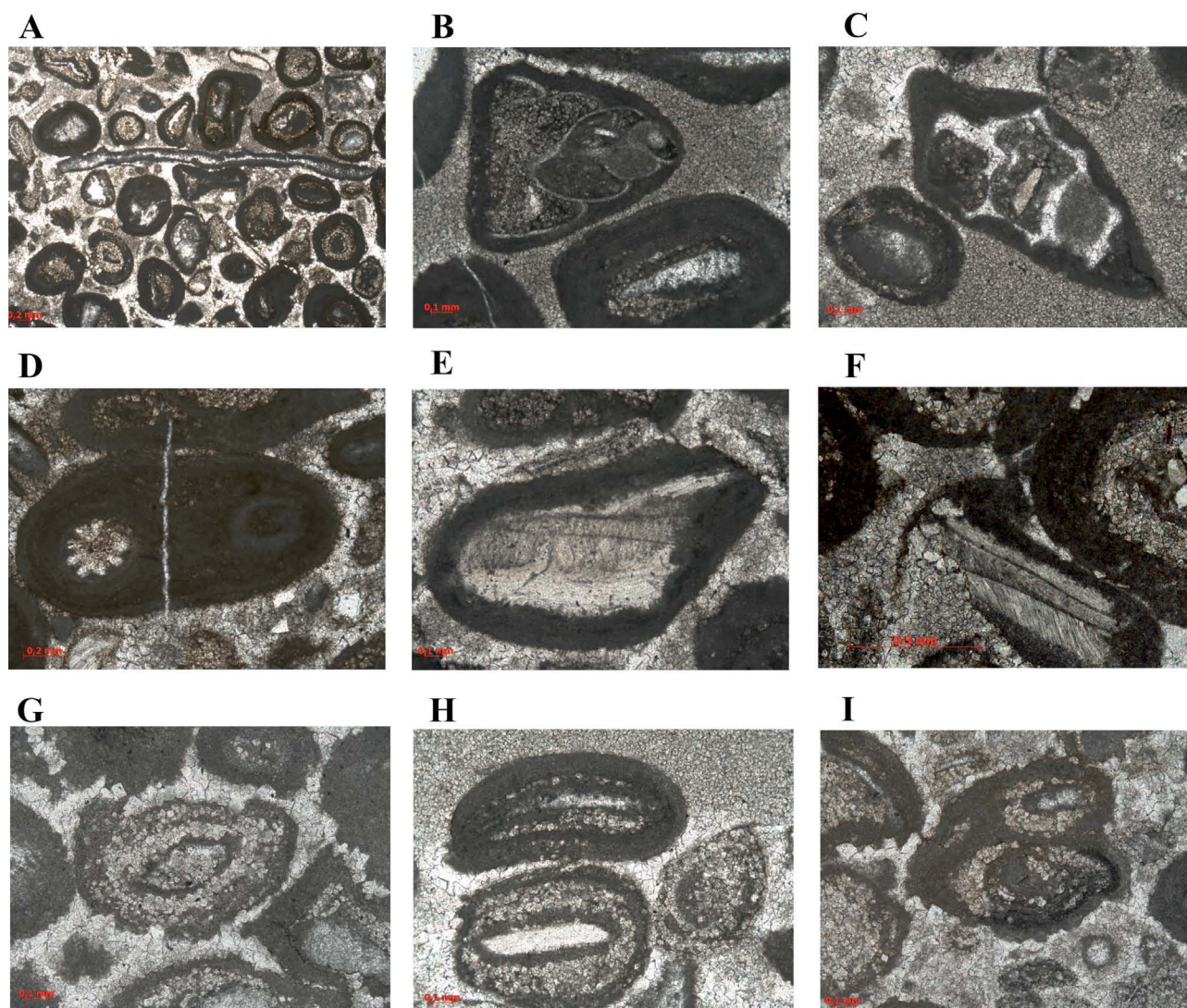


Рис. 3. Онколитовые известняки. А — общий вид: онколиты в виде концентрически слоистых образований округлой, овальной, удлиненной формы, доломитизированные по концентралам и в ядре; В, С — темные каемки микробально генерированного кальцита вокруг раковин гастропод; D, E, F — то же вокруг членика криноидеи и обломков раковин пелеципод; G, H — интенсивная доломитизация ядер и концентрала онколитов, которая местами разрушает микробальные пленки; I — объединение двух онколитов в единый, более крупный, с их последующей доломитизацией. Берриас–валанжин. Северный Кавказ. Река Аликоновка

Fig. 3. Oncolithic limestones. A — general appearance: oncoliths have the of concentric layered fabric and rounded, oval, elongated shape, they are dolomitized in concentration and in the core; B, C — dark edges of microbially generated calcite around gastropod shells; D, E, F — the same around the crinoid segment and fragments of pelecypod shells; G, H — intensive dolomitization of oncolith core and concentric laminae, which in places destroys microbial films; I — the union of two oncoliths into a single, larger one, with their subsequent dolomitization. Berrias–Valangin. The North Caucasus. Alikonovka River

крупные, чем оолиты и онколиты, формы размером до 10—15 мм и более, с отчетливо концентрическим строением, с относительно правильными границами. Внутреннее строение онкоидов представляет собой серию довольно правильных концентрических микрослоев пелитоморфного карбоната. Один из видов подобных образований

под названием Stromaria был описан И. Вальтером [21] в цехштейновых рифах Германии, а позднее подобные формы обнаружены в разновозрастных рифах Литвы.

Особой формой микробиолитов являются образования, описанные сначала как шамовеллы [14], а затем как тубифиты [12] — термин, получивший

уже практически международное признание. Это тоненькие трубочки длиной до 4—5,5 мм и диаметром в десятые доли, но не более 1 мм (рис. 5А). Поперечные сечения тубифитов в шлифах — это округлые или овальные тельца с внутренним осевым каналом, сложенные крайне микрозернистым кальцитом, что делает толстые (относительно диаметра осевого канала) стенки непрозрачными, почти черными (рис. 5В, С). Первоначально тубифиты были установлены в нижнепермских отложениях Приуралья, но теперь диапазон их развития охватывает верхний карбон, пермь и мезозой, включая нижний мел [подробнее см. 10].

Тубифиты — это эпифитные бактериальные сообщества, обволакивающие какие-то трубчатые организмы, причем морфология последних в значительной степени предопределяет морфологию самих тубифитов, что послужило основой их во многом формальной, условной классификации как биологических объектов. Нередко вокруг этих трубочек, сложенных пелитоморфным кальцитом, нормально к их поверхности нарастают удлиненные игольчатые кристаллы кальцита, образуя своеобразные крустификационные каемки (см. рис. 5 В, С).

Своеобразными и достаточно широко распространенными геологическими образованиями, формирование которых обусловлено жизнедеятельностью бактерий, являются конкреции, однако идентификация последних как микробио-

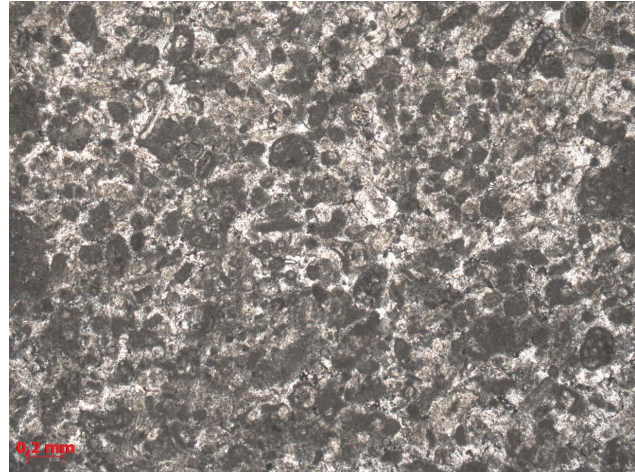


Рис. 4. Известняк сгустковый. Округлые и овальные стяжения пелитоморфного кальцита и редкие раковины фораминиферы, сцементированные ясно-кристаллическим кальцитом. Турне. Оренбургская область

Fig. 4. Clump limestone. Rounded and oval nodules of pelitomorphic calcite and rare foraminifera shells are cemented sparite. Tournaisian. Orenburg region

литов стала появляться сравнительно недавно (см., например, [16]).

Конкреции — округлые, иногда линзовидные стяжения неправильной формы иного, чем вмещающие породы, состава. Существуют конкреции чисто карбонатные — сидеритовые,

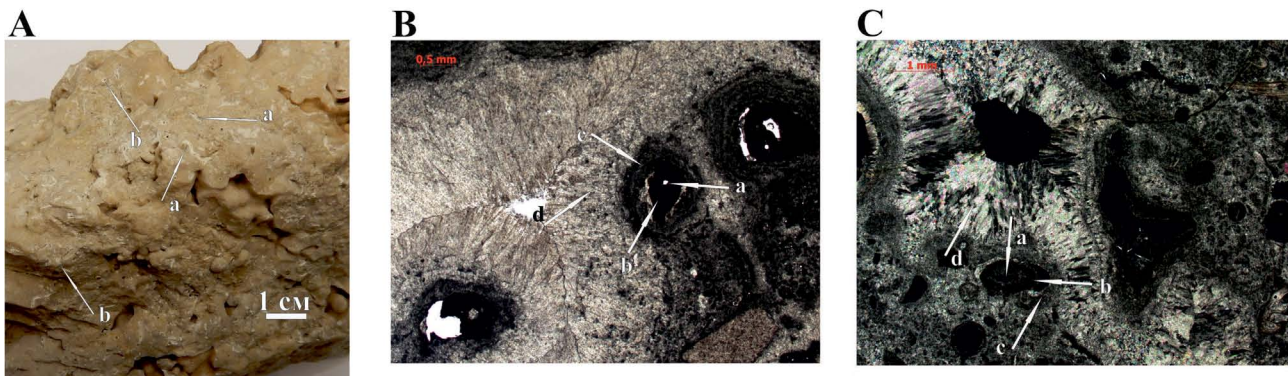


Рис. 5. Эпифитные бактериальные формы — тубифиты: А — в образце: трубочки продольного — (а) и поперечного (b) сечения; В, С — в петрографических шлифах, В — в параллельном свете, С — в скрещенных николях. Вокруг пустотного осевого канала (а) образуется плотная оболочка пелитоморфного кальцита (b), которая нередко обрамляется каемкой пелитоморфного карбоната с концентрической микротекстурой (с); последняя, в свою очередь, обрастает радиально-лучистыми игольчатыми кристалликами кальцита (d). Нижняя пермь. Приуралье

Fig. 5. Epiphyte bacterial forms — tubiphytes: A — in the sample: tubes of longitudinal (a) and transverse (b) cross-section; B, C — in petrographic sections, B — in parallel light, C — in crossed light. A dense overgrowth of pelitomorphic calcite (b) is formed around the hollow axial channel (a), which is often framed by a rim of pelitomorphic carbonate with a concentric microtexture (c); the latter, in turn, is overgrown with radially radiant needle-like calcite crystals (d). Lower Permian. The Urals

кальцитовые, доломитовые, и не только карбонатные, что, равно как и механизм формирования конкреций и роли бактерий в этом процессе, будет обсуждаться во второй статье.

Переходя к слоистым микробиолитам, необходимо прежде всего остановиться на строматолитах.

Микросгустковые и микрослоистые структурные элементы нередко особым образом соединяются, создавая своеобразные текстуры — особые геологические тела — строматолиты. Это пластовые, холмовидные или даже столбчатые образования, имеющие общее неправильно-слоистое строение. Строматолиты подробно изучены и описаны, библиография по ним весьма многочисленна, поэтому ограничимся краткой характеристикой их строения.

При микроскопическом изучении шлифов нередко можно видеть, что микробиолиты состоят из микробных сгустков, которые соединяются между собой в изгибающиеся слойки, имеющие поэтому не плоскопараллельные ограничения, а неправильную волнообразную форму. При этом поскольку новообразованные слойки в большинстве случаев не строго прямолинейны и изгибаются, то в отдельных участках они соприкасаются, в других они отделены друг от друга удлиненными линзовидными пустотами. Подобные внутренние пространства редко остаются полными, частично или даже целиком они заполняются иным, чаще всего карбонатным же, но в особых условиях и сульфатным материалом. При этом заполнение пустот может быть полным или неполным, одно или чаще многостадийным. На первой стадии, в осадке, как правило, еще при небольшой мощности покрывающего осадка из иловой воды по внутренним стенкам этих полостей нарастают треугольные и остроугольные кристаллики, которые

обрамляют верхнюю и нижнюю (а иногда и только верхнюю) поверхность этих стенок, образуя крустификационные каемки. Позднее оставшееся пространство может заполняться блоковым кальцитом — сплошными гипидиоморфными более или менее изометричными кристаллами (sparcalcite), либо, как это бывает в обстановках аридных литоралей, — себкхи — сульфатами кальция.

Описанные кристаллические образования формируются на диа- и катагенетической стадиях. Дело в том, что удлиненные линзовидные пустоты между твердыми слойками не полностью изолируются от вод самого бассейна, однако в них создается своеобразная геохимическая среда, а именно, такие значения pH, которые способствуют химическому осаждению карбоната. Возможно, что сюда еще проникает свет, и за счет фотосинтеза и утилизации CO₂ щелочность повышается, что обуславливает образование волосных, игольчатых субпараллельно ориентированных кристаллов.

Значительно реже наблюдается, видимо, заполнение пустот практически на стадии седиментации.

Специфическими микробными образованиями являются минерализованные бактериальные маты.

Петрографический состав подобных минерализованных карбонатных биопленок характеризуется в той или иной степени повышенной глинистостью, часто повышенной магниальностью карбонатного материала, его пелитоморфной и микрозернистой структурой, тонкослоистой текстурой и, главное, необычным, казалось бы, взаимоисключающим друг друга набором сопутствующих минералов, таких, например, как ангидрит и пирит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрусов Н.И. Некоторые результаты экспедиции «Черноморца» // Известия Императорского Русского географического общества. Т. XXVIII. СПб., 1892. С. 370—397.
2. Андрусов Н.И. Бактериология и геология, их взаимные отношения. Вступительная лекция // Ученые записки Юрьевского университета, 1897. № 1. Научный отдел. С. 1—20.
3. Атлас структурных компонентов карбонатных пород. М.: ВНИГНИ, 2005. 440 с. Авт.: Н.К. Фортунатова, О.А. Карцева, А.В. Баранова, Г.В. Агафонова, И.П. Офман.
4. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 374 с.
5. Герасименко Л.М., Заварзин Г.А., Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. Роль цианобактерий в образовании фосфатных минералов // Журнал общ. биологии, 1999. Т. 60. № 4. С. 415—430.
6. Заварзин Г.А. Литотрофные микроорганизмы. М.: Наука, 1972. 315 с.
7. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2003. 348 с.
8. Зайцева Л.В., Орлеанский В.К., Герасименко Л.М., Ушатинская Г.Т. Роль цианобактерий в кристаллизации магниальных кальцитов // Палеонтологический журнал, 2006. № 2. С. 14—20.
9. Зайцева Л.В., Орлеанский В.К., Алексеев Л.О., Ушатинская Г.Т., Герасименко Л.М. Трансформация

- карбонатных минералов в цианобактериальном мате при лабораторном моделировании // Микробиология, 2007. Т. 76, № 3. С. 390—404.
10. Кузнецов В.Г., Жегалло Е.А., Журавлева Л.М., Зайцева Л.В. Ультрамикроструктура стенок Tubiphytes // Палеонтологический журнал. 2020. № 2. С. 111—118. DOI: 10.31857/S0031031X20020063
 11. Кузнецов С.И., Иванов М.В., Ляликова Н.Н. Введение в геологическую микробиологию. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1962. 239 с.
 12. Маслов В.П. Ископаемые известковые водоросли СССР // Тр. ИГН АН СССР. Вып. 160. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 304 с.
 13. Надсон Г.А. Микроорганизмы как геологические деятели. СПб., 1903. 110 с.
 14. Раузер-Черноусова Д.М., Липина О.А. Фации верхнекаменноугольных и артинских отложений Стерлитамакско-Ишимбаевского Приуралья (на основе изучения фузулинид). Фораминиферы верхнего девона Русской платформы // Тр. ИГН АН СССР. Геол. сер. № 43: вып. 119. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 135 с.
 15. Розанов А.Ю., Заварзин Г.А. Бактериальная палеонтология // Вестник РАН. 1997. Т. 67. № 3. С. 241—245.
 16. Тугарова М.А. Микробиолиты триаса архипелага Шпицберген // Тр. НИИГА ВНИИОкеанологии. Т. 227. СПб., 2014. 198 с.
 17. Aitken J.D. Classification and environmental significance of criptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of Southwestern Alberta // J. of Sedimentary Petrology. 1967. V. 37. No. 4. P. 1163—1178.
 18. Burne R.V., Moore L.S. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities // Palaios. 1987. V. 3. No. 3. P. 241—254.
 19. Coated Grains. Springer Berlin–Heidelberg, New York, Tokio, 1983. 655 p. (Ed. T.M. Peryt).
 20. Ushatinskaya G.T., Gerasimenko L.M., Zegallo E.A., Zaitseva L.V., Orleanskii V.K. Significance of Bacteria in Natural and Experimental Sedimentation of Carbonates, Phosphates, and Silicates // Paleontological J. 2006. V. 40. Suppl. 4. P. S524—S531.
 21. Walther I. Geologische Heimatskunde vjn Thueringen. 3.Aufg., Iena, 1906. 205 p.

REFERENCES

1. Andrusov N.I. Some results of the Chernomoretz expedition. // Izvestiya Imperatorskogo Russkogo geograficheskogo obshchestva. = Bulletin of Russian Geographical society. Saint-Peterburg, 1892. Vol. XXVIII. P. 370—397. (In Russian).
2. Andrusov N.I. Bacteriology and Geology, their loan relations. Introductory lecture. // Uchenye zapiski Yur'evskogo universiteta. Nauchnyj otdel. = Scientific notes of the Yuryev University. Scientific Department. 1897. No. 1. P. 1—20. (In Russian).
3. Atlas of structural components of carbonate rocks. Authors: N.K. Fortunatova, O.A. Karceva, A.V. Baranova, G.V. Agafonova, I.P. Ofman. Moscow: VNIGNI, 2005. 440 p. (In Russian).
4. Vernadskiy V.I. Chemical structure of the earth's biosphere and its environment. Moscow: Nauka Publ., 1965. 374 p. (In Russian).
5. Gerasimenko L.M., Zavarzin G.A., Rozanov A.Yu., Ushatinskaya G.T. The Role of cyanobacteria in the phosphate minerals formation // Zhurnal obshchey biologii = Journal of chemical biology. 1999. Vol. 60. No. 4. P. 415—430. (In Russian).
6. Zavarzin G.A. Lithotrophic microorganisms. Moscow: Nauka Publ., 1972. 315 p. (In Russian).
7. Zavarzin G.A. Lectures on natural science Microbiology. Moscow: Nauka Publ., 2003. 348 p. (In Russian).
8. Zayceva L.V., Orleanskii V.K., Gerasimenko L.M., Ushatinskaya G.T. The role of cyanobacteria in crystallization of magnesium calcites // Paleontologicheskii zhurnal = Paleontological Journal, 2006. Vol. 40. No. 2. P. 14—20. (In Russian).
9. Zayceva L.V., Orleanskii V.K., Alekseev L.O., Ushatinskaya G.T., Gerasimenko L.M. Transformation of carbonate minerals in a cyano-bacterial mat in the course of laboratory modeling // Mikrobiologiya = Microbiology, 2007. Vol. 76, No 3. P. 390—404. (In Russian).
10. Kuznetsov V.G., Zhegallo E.A., Zhuravleva L.M., Zajceva L.V. Ultramicrostructure of Tubiphyte walls // Paleontologicheskii zhurnal = Paleontological Journal. 2020. No. 2. P. 111—118. (In Russian).
11. Kuznetsov S.I., Ivanov M.V., Lyalikova N.N. Introduction to geological Microbiology. Moscow: Academy of Sciences Publ., 1962. 239 p. (In Russian).
12. Maslov V.P. Fossil calcareous algae of USSR // Trudy Academy of Sciences. Moscow: Academy of Sciences Publ., 1956. Iss. 160. 304 p. (In Russian).
13. Nadson G.A. Microorganisms as geological activists. Saint-Peterburg, 1903. 110 p. (In Russian).
14. Rauzer-Chernousova D.M., Lipina O.A. Facies of upper Carboniferous and Artinian deposits of the Sterlitamak-Ishimbay Cis-Ural (based on the study of fusulinids). Foraminifera from the upper Devonian of the Russian platform. // Tr. IGAN AN SSSR = Proc. of Geological Institute of the USSR Academy of Sciences. Moscow: Academy of Sciences of the Soviet Union Publ., 1950. Iss. 119. No. 43. 135 p. (In Russian).
15. Rozanov A.Yu., Zavarzin G.A. Bacterial paleontology // Vestnik RAN = Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 1997. Vol. 67. No. 3. P. 241—245. (In Russian).
16. Tugarova M.A. Triassic microbialites of Svalbard // Tr. NIIGA VNIIOkeanologii = Transactions of VNIIOkeangeologia. St. Petersburg: VNIIOkeangeologia Publ., 2014. Vol. 227. 198 p. (In Russian).
17. Aitken J.D. Classification and environmental significance of criptalgal limestones and dolomites, with

- illustrations from the Cambrian and Ordovician of Southwestern Alberta // *J. of Sedimentary Petrology*. 1967. V. 37. No. 4. P. 1163—1178.
18. Burne R.V., Moore L.S. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities // *Palaos*. 1987. V. 3. No. 3. P. 241—254.
19. Coated Grains. Springer Berlin–Heidelberg, New York, Tokio, 1983. 655 p. (Ed. T.M. Peryt).
20. Ushatinskaya G.T., Gerasimenko L.M., Zegallo E.A., Zaitseva L.V., Orleanskii V.K. Significance of Bacteria in Natural and Experimental Sedimentation of Carbonates, Phosphates, and Silicates // *Paleontological J.* 2006. V. 40. Suppl. 4. P. S524—S531.
21. Walther I. Geologische Heimatskunde von Thüringen. 3. Aufl., Jena, 1906. 205 p.

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