



ФОСФАТИЗИРОВАННЫЕ БАКТЕРИИ ИЗ МЕЛОВЫХ ФОСФОРИТОВ СИРИИ, РАЙОН ПАЛЬМИРЫ

М. АЛЗАММАР^{1,*}, Е.А. ЖЕГАЛЛО²

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

² Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН
123, ул. Профсоюзная, г. Москва 117647, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Фосфатизированные бактерии различной формы и многочисленные структуры, являющиеся результатом их жизнедеятельности, обнаружены в пальмирских фосфоритах в Сирии, относящихся к позднему мелу (кампан). Ранее они не изучались и не описаны в работах, посвященных сирийским фосфоритам, несмотря на их огромное значение в процессах формирования месторождений фосфоритов, отсюда важность и уникальность данного исследования.

Цель. Выявить и охарактеризовать разновидности бактериальных микрофоссилий в сирийских фосфоритах.

Материалы и методы. Фактическую основу исследования составила авторская коллекция фосфоритов из фосфатных пластов карьера Альшаркия, прозрачных шлифов оптической микроскопии и препаратов для электронно-микроскопического анализа. Фото шлифов получено на световом микроскопе МИКМЕД-5 (Россия). Исследование образцов методом СЭМ проводили на электронных микроскопах TESCAN VEGA-3, TESCAN VEGA-2 (Чехия) и EVO-50 Zeiss с микроанализатором INCA Oxford 350 (Великобритания). Образцы были напылены золотом.

Результаты. Установлено пять разновидностей фосфатизированных бактерий и пять разных структур, образовавшихся в результате их жизнедеятельности; показано внутреннее строение фосфатных зерен, обусловленное деятельностью бактерий.

Выводы. В образовании сирийских фосфоритов помимо макробионтов (фораминиферы, двустворки, костные и другие органические остатки) участвовали разнообразные бактерии, активно действовавшие на стадии осадконакопления и в диагенезе.

Ключевые слова: фосфатизированные бактерии, бактериальные формы, микробиолиты, электронная микроскопия, верхний кампан, фосфорит, Пальмира, Сирия

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Алзаммар М., Жегалло Е.А. Фосфатизированные бактерии из меловых фосфоритов Сирии, район Пальмиры. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(3):18—27. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-18-27>

Статья поступила в редакцию 12.05.2023

Принята к публикации 24.05.2023

Опубликована 30.06.2023

* Автор, ответственный за переписку

PHOSPHATIZED BACTERIA FROM THE CRETACEOUS PHOSPHORITES OF SYRIA, PALMYRA REGION

MAZEN ALZAMMAR^{1,*}, ELENA A. ZHEGALLO²

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

² *Paleontological Institute named after A.A. Borisyak of the RAS
123, Profsoyuznaya str., Moscow 117647, Russia*

ABSTRACT

Background. Phosphatized bacteria of various shapes and numerous structures resulting from their vital activity have been found in the Late Cretaceous (Campanian) of Palmyra phosphorites deposits in Syria. Despite their great importance in the formation of phosphorite deposits, these bacteria have not been previously described in publications on Syrian phosphorites. This fact determines the relevance and originality of this study.

Aim. To identify and describe varieties of bacterial microfossils in Syrian phosphorites.

Materials and methods. The research material included the authors' collection of phosphorites from the phosphate layers of the Alsharqiya quarry, thin sections for optical microscopy and samples for electron microscopic analysis. The photos of thin sections were obtained using a MIKMED-5 optical microscope (Russia). A SEM analysis was conducted using a TESCAN VEGA-3, TESCAN VEGA-2 electron microscope (Czech Republic). A semi-quantitative elemental analysis of the sample composition was performed using an EVO-50 Zeiss electron microscope with an INCA Oxford 350 microanalyzer (UK). The samples were sputtered with gold.

Results. Five varieties of phosphatized bacteria, and five different structures formed as a result of their vital activity were identified. The internal structure of phosphate grains due to the activity of bacteria was established.

Conclusions. In addition to macrobionts (foraminifera, bivalves, bone remains, and other organic remains), a variety of bacteria were involved in the formation of Syrian phosphorites at the stage of sedimentation and diagenesis.

Keywords: phosphatized bacteria, bacterial forms, microbiolites, electron microscopy, upper Campanian, phosphorite, Palmyra, Syria

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

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

For citation: Alzammar M., Zhegallo E.A. Phosphatized bacteria from the cretaceous phosphorites of Syria, Palmyra region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(3):18—27. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-18-27>

Manuscript received 12 May 2023

Accepted 24 May 2023

Published 30 June 2023

* Corresponding author

Сирийские фосфориты являются частью крупного и важного в экономическом отношении фосфоритоносного мегабассейна Северной Африки — Ближнего Востока. В этом обширном регионе промышленные месторождения локализованы в отдельных бассейнах, в целом относящихся к южной периферии Тетиса и восточной — Палеоатлантики [6, С. 56; 9]. Район исследования расположен в южной части горной

цепи Пальмиры (Сирия) и входит в Пальмирский фосфоритоносный бассейн. В районе открытым способом добывают фосфориты месторождений Альшаркия из двух карьеров — А и Б. Продуктивной является толща верхнего кампана [11], формация Саваней, которая является частью группы Сухней. Мощность толщи варьирует от 17 до 317 м, мощность фосфоритовых пластов достигает 10—12 м [8, 9].

**Характеристики фосфоритов месторождения
Альшаркия**

На основании изучения прозрачных шлифов из руд месторождения Альшаркия установлено, что фосфатные компоненты представлены различными видами фосфатных зерен. Среди них установлены фосфатные оолиты, пеллеты, онколиты,

дазикладиевые водоросли, а также фораминиферы, диатомовые водоросли, фрагменты раковин беспозвоночных, много обломков скелетов позвоночных, в том числе и зубов рыб, копролиты. Размеры фосфатных зерен по большей части составляют от 0,05 до 0,5 мм, хотя встречаются миллиметровые и редко сантиметровые (рис. 1).

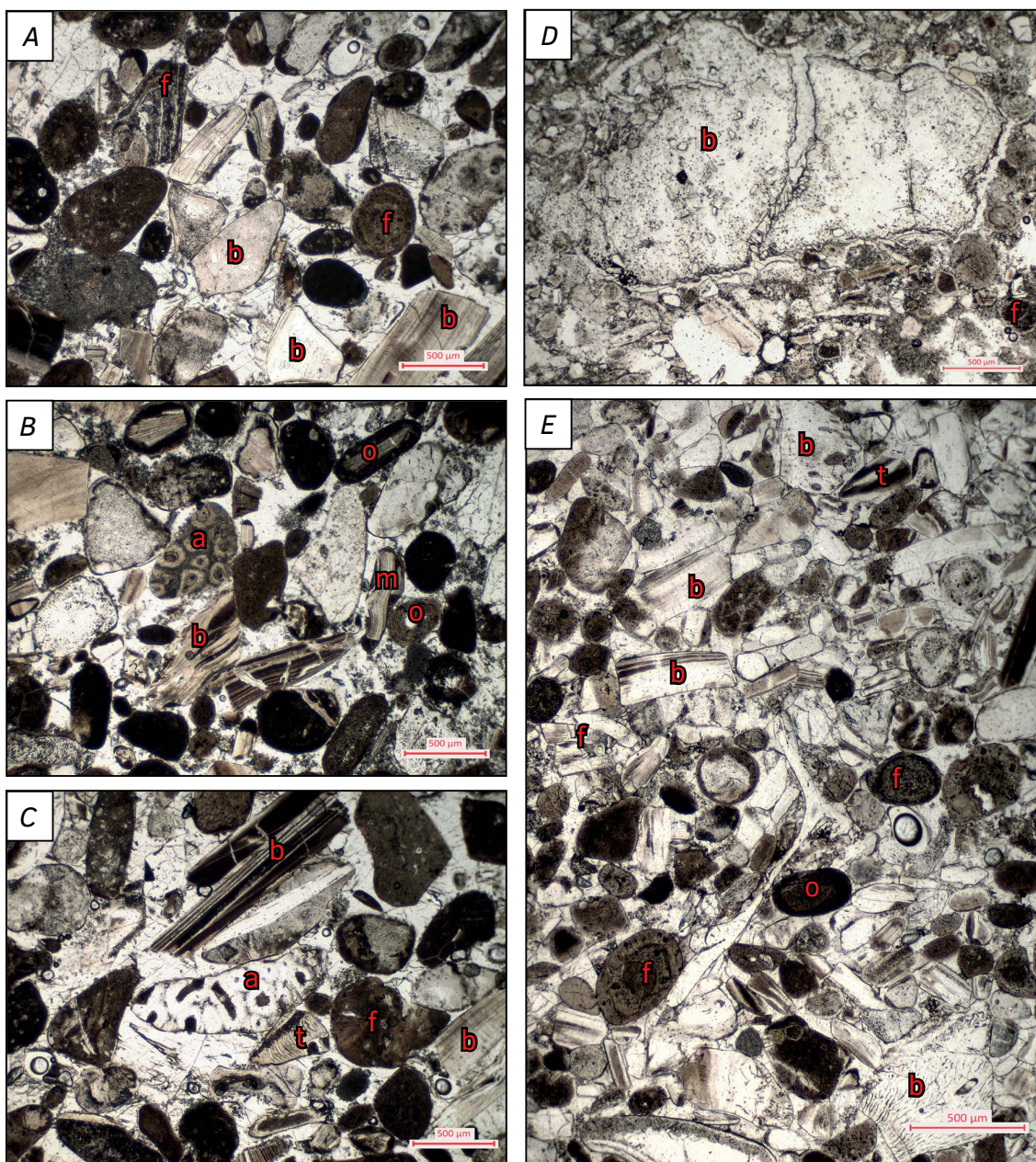


Рис. 1. Прозрачные шлифы из месторождения фосфорита Альшаркия, Сирия. А, В, С, D — образцы из карьера Б; Е — образец из карьера А, содержащий органические остатки: а — водоросли, b — кости, f — фораминиферы, o — оолиты, t — зубы, m — двустворчатые (моллюски)

Fig. 1. Thin sections from the Alsharqiya phosphorite deposit, Syria. A, B, C, D — samples from quarry B; E — sample from quarry A, containing organic remains: a — algae, b — bones, f — foraminifers, o — oolites, t — teeth, m — bivalve (mollusc)

Все фосфатные зерна, если они не затронуты перекристаллизацией, проявляются как фрагменты фосфатизированных органических остатков биологических сообществ и скелетных частей беспозвоночных и позвоночных.

Цемент преимущественно карбонатный: микрокристаллический и мелкозернистый (спаррит), сложен кальцитом и микрокристаллическим доломитом. В некоторых случаях можно наблюдать большие хорошо сформированные ромбодры доломита и новообразованный кальцит. Конечно, многие органические структуры в случае наложенных диагенетических и катагенетических процессов определить просто невозможно.

Интересно отметить, что при изучении образцов под электронным микроскопом роль бактерий в образовании и концентрации фосфорита оказывается более важной и существенной в регионе Пальмиры, чем предполагалось ранее (рис. 2). Во многих недавних исследованиях, посвященных сирийским фосфоритам, роль бактерий как существенного фактора их формирования не рассматривалась. Большинство зерен фосфорита представляют собой фосфатизированные фрагменты сообществ бактерий в виде кокков, трубочек, нитевидных форм, а также минерализованного гликокаликса в виде пластинчатых микробиальных пленок и листоватых структур, что свидетельствует о важной роли бактерий не только на стадии осадконакопления, но и позднее, в диагенезе. И эта огромная роль, которую играют бактерии

в геологических процессах, обусловлена их ничтожными размерами, так как бактерии легко проникают в трещины и поры, и они приспособлены к неблагоприятным условиям: высыханию, холодам, нагреванию до 80—90 °С, не теряя при этом жизнеспособности, а их споры выдерживают кипячение [2].

Необходимо подчеркнуть, что продуктом жизнедеятельности бактерий является образование карбонатов [1] и, что симптоматично, это вводит понятие бактериогенных осадков [там же, стр. 14]. В том случае если фосфор будет присутствовать в среде в достаточном количестве, с помощью бактерий образуется фосфорит. Обогащение фосфором произошло из глубинных вод на северном краю Аравийской платформы потоками, которые поднимались на эту обширную платформу [10].

Для описания формы и структур, возникших в результате жизнедеятельности бактерий, использован термин «микробиолиты», означающий органоосадочные образования, возникшие как результат деятельности донных микробиальных сообществ, улавливающих и связывающих частицы вещества и/или образующиеся в результате осаждения хемогенного материала [5, 12]. Авторы разделили эти формы на две основные группы: в первую входят сами бактериальные формы, эта группа делится на 5 морфологически отличающихся друг от друга типов бактерий, а во вторую группу входят структуры, возникшие в результате жизнедеятельности бактерий,

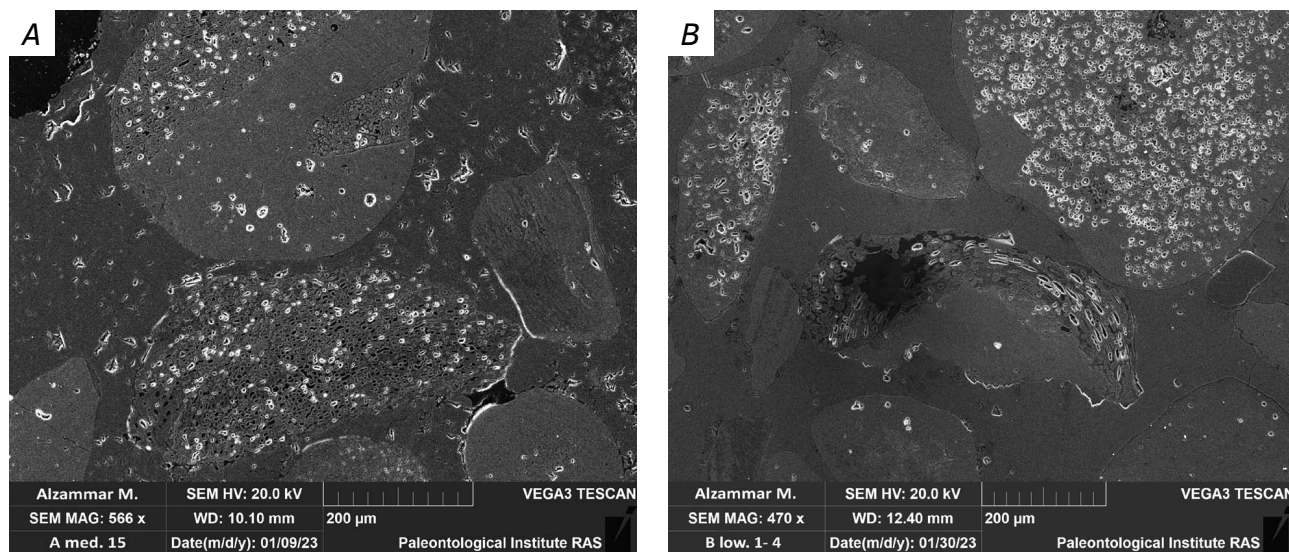


Рис. 2. Прозрачные шлифы из месторождения фосфорита Альшаркия под СЭМ, показывающие жизнедеятельность бактерий на фосфоритных зернах

Fig. 2. Thin sections from the Alsharqiya phosphorite deposit, under SEM, showing the the vital activity of bacteria on phosphorite grains

эта группа делится также на 5 морфологически различных типов.

Морфологические типы фосфатизированных бактерий и микробиолитов в сирийских меловых фосфоритах Альшаркии включают следующие разновидности.

1. Кокковидные бактерии — фосфатизированные кокковидные бактерии слагают зерна диаметром от 1 до 3,5 мкм, редко до 5 мкм. Они встречаются в виде отдельных зерен, колоний и агрегатов (рис. 3), они разбросаны по поверхности зерен и наблюдались в пустотах диаметром 30—600 мкм, часто имеющих правильную округлую форму. Эти пустоты наверняка являлись местами обитания более крупных организмов (рис. 3Е) или находятся в каналах, трубках, и пустотах диаметром 5—15 мкм, которые наблюдались при изучении шлифов при СЭМ (рис. 3В, С, D).

2. Стрептококковидные бактерии — округлые кокковидные бактерии диаметром от 0,3 до 0,8 мкм, собраны в цепочки длиной от 5 до 10 мкм, из-за чисто внешнего сходства названы нами стрептококками (рис. 4). Они встречаются в трубках и пустотах диаметром от 5 до 20 мкм, а длиной до 40 мкм, также покрывают внутренние стенки этих трубок и пустот. Некоторые из этих пустот выглядят так, как если бы они были вызваны растворением раковин фораминифер и других организмов.

3. Клеточные бактерии — фосфатизированные бактериальные клетки длиной от 1 до 1,5 мкм и шириной около 0,5 мкм, связанные в виде цепочек, располагаются на внешней поверхности зерен (рис. 5А).

4. Овальные (цилиндрические) бактерии — удлиненно-цилиндрической формы с сужающимися концами, длиной 7—10 мкм и диаметром

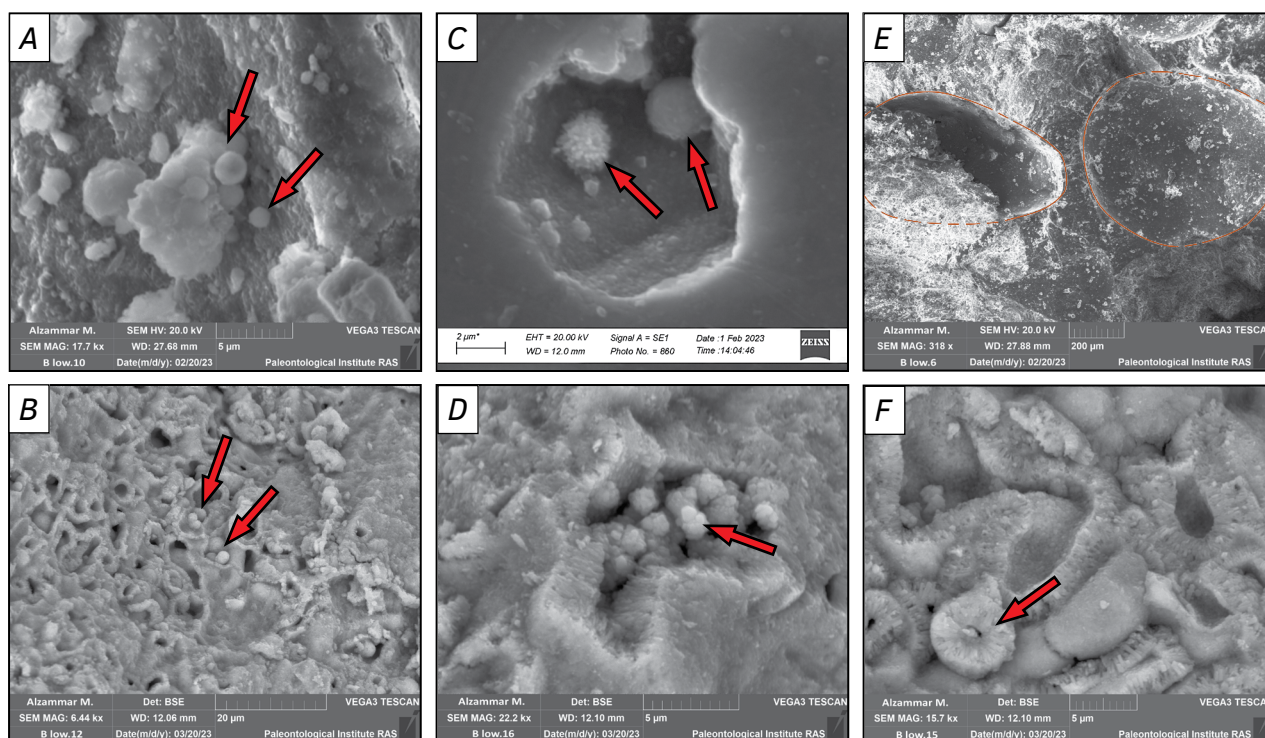


Рис. 3. Кокковидные фосфатизированные бактерии месторождения Альшаркия, Сирия. А — кокковидные бактерии в виде отдельных зерен, и индивидуальное объединение; В, С — кокковидные бактерии находятся в каналах, трубках, созданных бактериями в бактериальном сообществе; D — фрагмент фото В показывает кокковидные бактериальные скопления; Е — поверхностные пустоты, вызванные более крупными организмами, которые являются благоприятными местами для бактерий; F — место разрыва, где можно увидеть минерализованную внутреннюю структуру бактерий

Fig. 3. Cocco-like phosphatized bacteria from the Alsharqiya deposit, Syria. A — cocco-like bacteria in the form of individual grains, and individual association; B, C — cocco-like bacteria, found in channels, tubes created by bacteria in the bacterial community; D — fragment of photo B, shows cocco-like bacterial clusters; E — surface voids caused by larger organisms, which are favorable places for bacteria; F — place of a break, where you can see the mineralized internal structure of the bacteria

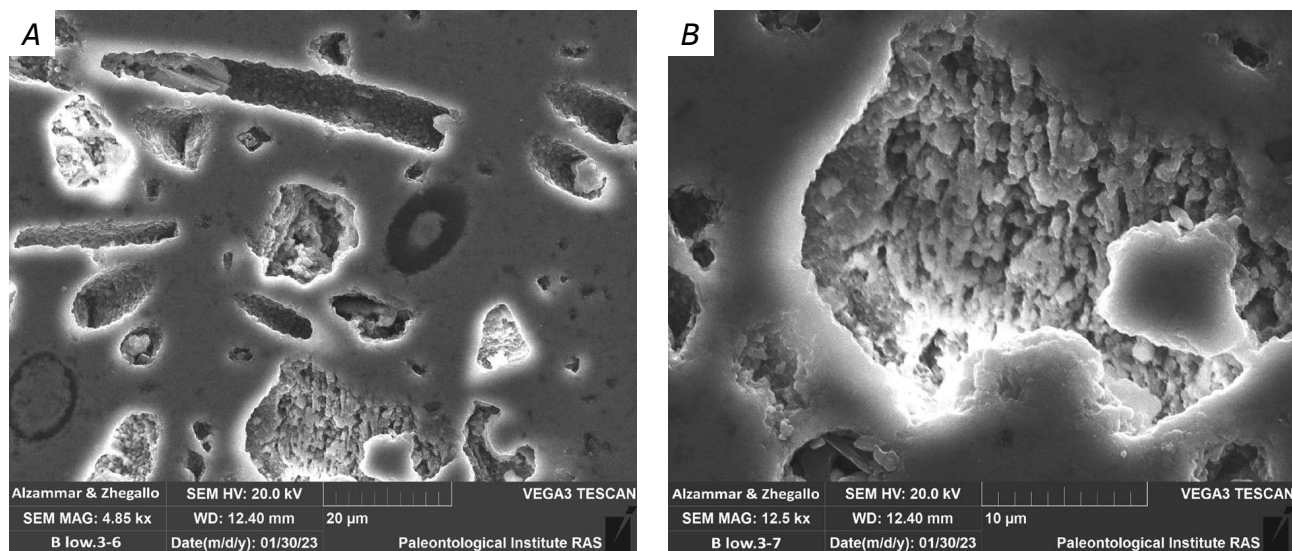


Рис. 4. Прозрачный шлиф из месторождения фосфорита Альшаркия, карьер Б, А — стрептококковидные бактерии в пустотах и каналах различного происхождения; В — фрагмент фото А

Fig. 4. Thin section from the Alsharqiya phosphorite deposits, quarry B, A — streptococcus-like bacteria within voids and channels of multiple origin; B — fragment of photo A

4—5 мкм (рис. 5В), по внешнему виду сходны с бациллами (Bacilli). Они обнаружены прикрепленными к твердой стенке поверхностных пустот, которые, очевидно, являлись местами обитания более крупных организмов.

5. Палочковидные бактерии — это бактерии, которые чем-то похожи на предыдущие, но с меньшими размерами, длиной от 1 до 3 мкм и диаметром около 0,5 мкм (рис. 5С). Они иногда соединены друг с другом в продольном направлении и выглядят как нити, по форме и размерам напоминающие цианобактерии и пурпурные бактерии.

Помимо фосфатизированных бактериальных форм выделено несколько микробиальных структур, возникших в результате жизнедеятельности бактерий. Их классифицировали на 5 типов.

1. Листоватые формы биопленок (гликокаликс) — остатки бактериальных форм, имеющие листоватую или пластинчатую форму. Предполагается, что это продукты литификации внеклеточной слизи — гликокаликса, выделяемого бактериями. Они встречаются как обособленные и самостоятельные формы прикрепленными к твердым стенкам поверхностных пустот или других зерен либо встречаются в виде минерализованных скоплений внутри трубок, образованных в основном бактериями (рис. 6А—С).

2. Минерализованные микробиальные пленки представлены скоплениями минерализованных бактериальных биопленок в виде фоссилизи-

рованных слоев, покрывающих другие плотные ассоциации, и имеют относительно крупные размеры, превышающие 100 мкм (рис. 6Д).

3. Трубовидные формы представляют собой трубки и каналы различной морфологии и размеров: прямолинейные, изгибающиеся, ветвящиеся (рис. 2, 3В), которые, по-видимому, формировались в результате жизнедеятельности бактерий, их диаметр имеет размеры от 5 до 20 мкм. Часть из них распределены разнонаправленно, а другие имеют определенную направленность (рис. 2В). Изнутри их стенки покрыты скоплениями бактериальных пленок (рис. 6А). В некоторых случаях они также содержат бактерии кокковидного типа или покрыты изнутри бактериями стрептококковидного типа.

4. Нитевидные формы — нитевидные образования, скорее всего, являются бактериями, состоят из бактериальных клеток, прикреплены к поверхностям, диаметром от 0,1 до 1 мкм (рис. 5Аб, Д).

5. Гранулы и микробиальные маты — объекты и формы, созданные бактериями, или участвующие в их создании, будь то изолированные объекты или слоистые формы, к этому типу относятся: оолиты, онколиты, микросгустки пелитоморфного карбонатного материала, слоистые формы в виде строматолитов и др. Размеры гранул разные, но большинство от 50 до 500 мкм (рис. 1).

Сохранившиеся остатки ископаемых микроорганизмов в древних фосфоритах часто имеют прекрасную сохранность [7]. Это объясняется тем,

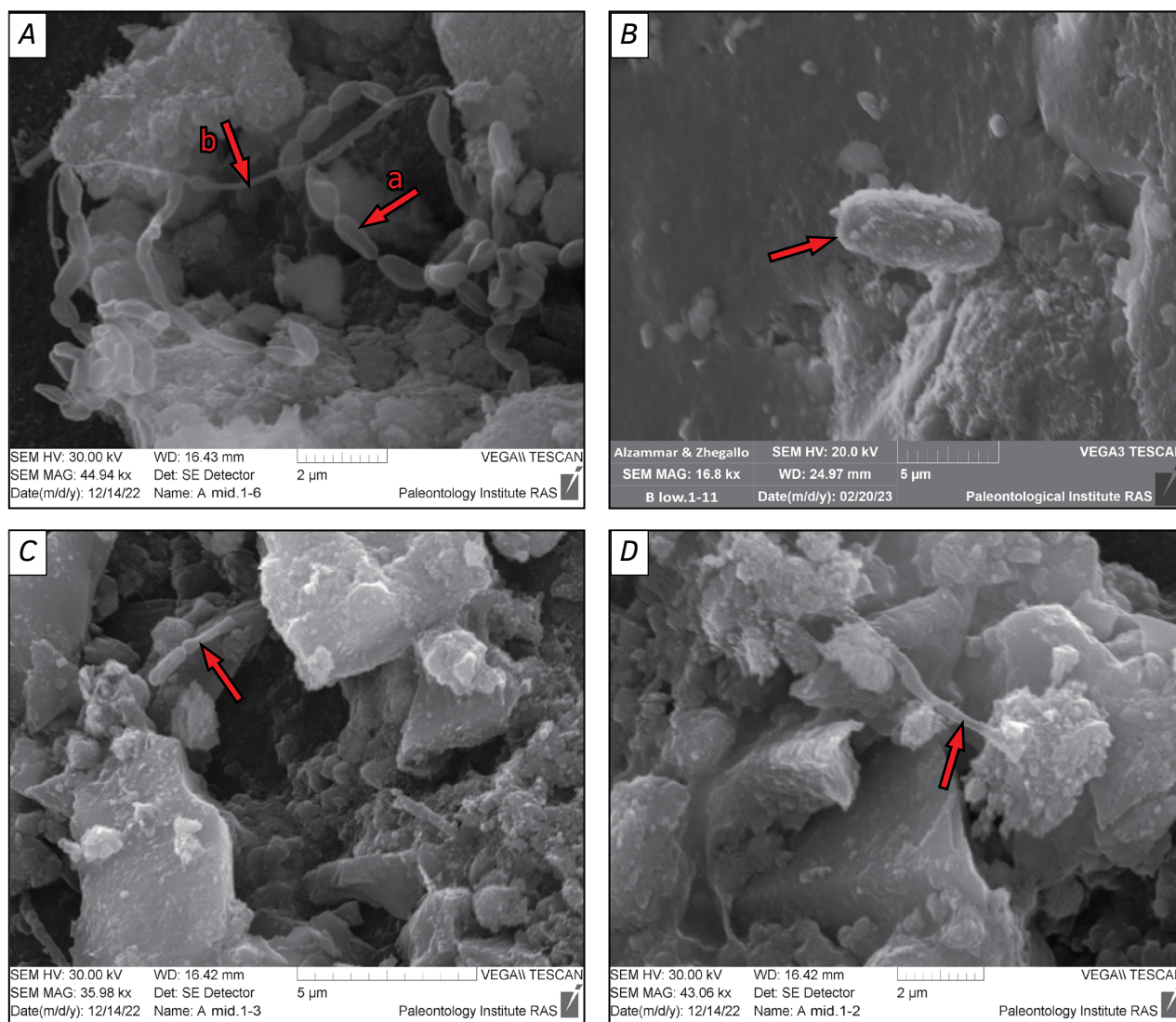


Рис. 5. Фосфатизированные бактерии месторождения Альшаркия, Сирия. А — клеточные бактерии (а), и нитевидные формы микробиолитов (b); В — овальные (цилиндрические) бактерии; С — палочковидные бактерии; D — нитевидные формы микробиолитов

Fig. 5. Phosphatized bacteria from Alsharqiya deposits, Syria. A — cell-shaped bacteria (a), and filamentous forms of microbiolites (b); B — oval (cylindrical) bacteria; C — rod-shaped bacteria; D — filamentous forms of microbiolites

что формирование фосфоритов связано с замещением биогенных остатков фосфатом кальция, которое происходит с большой скоростью в природе. Быстрая фосфатизация (часы, первые сутки) цианобактериальных сообществ была подтверждена экспериментально [3]. Значение бактерий в морском фосфоритообразовании можно рассматривать с разных точек зрения. Хорошо известна роль бактерий в минерализации органического фосфора как в почвах, так и в морских отложениях [13]. С другой стороны, сами бактерии в процессе жизнедеятельности активно

усваивают фосфор, способствуя в конечном итоге его концентрации. Еще одна роль бактерий — косвенная, выражающаяся в минерализации их клеток после отмирания так же, как и у многоклеточных организмов [4].

Заключение

Результаты данного исследования подтверждают, что в образовании сирийских фосфоритов, помимо макробионтов (фораминиферы, двустворки, костные и другие органические остатки), участвовали несколько видов бактерий. Впервые

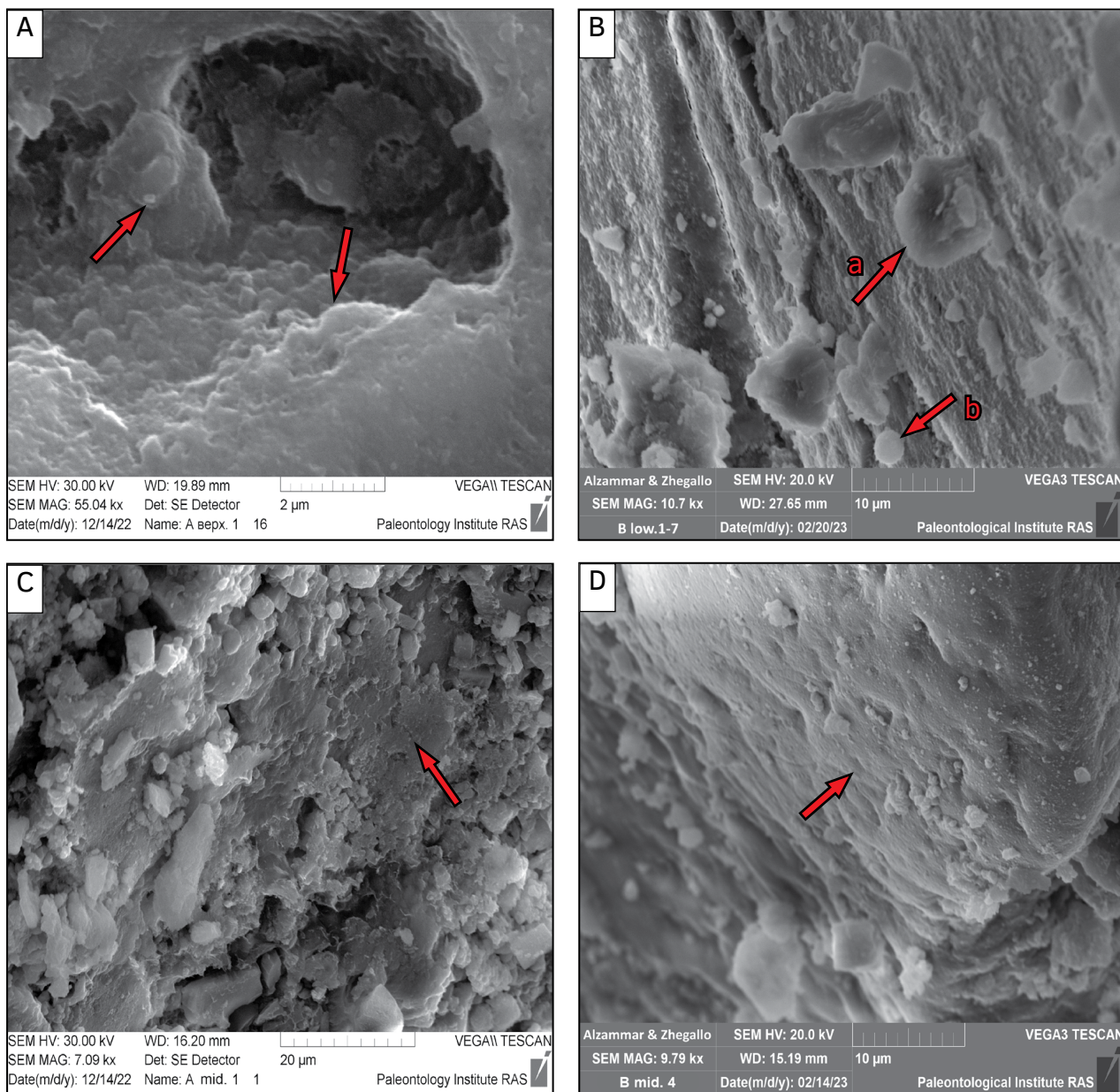


Рис. 6. Микробиальные формы и минерализованные биопленки месторождения Альшаркия, Сирия. А — биопленки, покрывающие внутренние стенки каналов/трубок; В — листоватая форма биопленки — вещественное выражение гликокаликса (а), кокковидные бактерии (b); С — скопления биопленок; D — минерализованные биопленки

Fig. 6. Microbial forms and mineralized biofilms of the Alsharqiya deposits, Syria. A — biofilms covering the inner walls of canals/tubes; B — leafy form of the biofilm — the real expression of the glycocalyx (a), coccoid bacteria (b); C — accumulations of biofilms; D — mineralized biofilms

выявлено и описано пять разновидностей бактерий и пять разных структур, образовавшихся в результате их жизнедеятельности. Обосновано

значение бактерий как ключевого фактора образования сирийских фосфоритов на стадии осадконакопления и в диагенезе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрусов Н.И. Бактериология и геология, их взаимные отношения. Вступительная лекция // Ученые записки Юрьевского университета. 1897. № 1. С. 1—20.
2. Антошкина А.И. Бактериальное породообразование — реальность современных методов исследований // Ученые записки Казанского университета. Естественные науки. 2011. Т. 153, кн. 4. С. 114—126.
3. Герасименко Л.М., Гончарова И.В., Жегалло Е.А., Заварзин Г.А., Зайцева Л.В., Орлеанский В.К., Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. Процесс минерализации (фосфатизации) нитчатых цианобактерий // Литология и полезн. ископаемые. 1996. № 2. С. 208—214.
4. Занину Ю.Н., Летов С.В., Красильникова Н.А., Миртов Ю.В. Фосфатизированные бактерии из меловых фосфоритов Восточно-Европейской платформы и палеоценовых фосфоритов Марокко // В сб.: Фосфориты: Шестой международный полевой семинар и семинар по фосфоритам. I.G.C.P. 156. Марокко — Сенегал, окт. — ноябрь. 1983. Страсбург: Институт геологии — Университет Луи Пастера, 1985. С. 79—81. (Геологические науки. Мемуар, 77).
5. 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). С. 8—18.
6. Природа фосфатных зерен и фосфоритов крупнейших бассейнов мира / Э.Л. Школьник, Тан Тяньфу, Е.А. Жегалло, и др. Владивосток: Дальнаука, 1999. 207 с.
7. Розанов А.Ю., Жегалло Е.А. К проблеме генезиса древних фосфоритов Азии // Литология и полезные ископаемые. 1989. № 3. С. 67—82.
8. Al Maleh A.Kh., Mouty M. The sedimentary and paleogeographic evolution of the Palmyridean region during Cretaceous // In book: Proceedings 3rd Jordan Geological Conference. 1988. P. 213—244.
9. Al Maleh A.Kh. The geology of the phosphatic deposits in Syria (Senonian and Palaeogene) // In book: 10th International Field Workshop and Symposium. 1987. P. 34—35.
10. Abed A.M. The eastern Mediterranean phosphorite giants: An interplay between tectonics and upwelling // Geoarabia "Manama". April 2013. P. 67—94.
11. Al-Maleh K., Mouty M. Lithostratigraphic characteristics of phosphorite deposits and the regional sedimentational and paleogeographic framework of their formation in the Palmyrides mountain chain, Middle Syria // Proceedings of the 29th International Geological Congress, part C. VSP. 1994. P. 225—235.
12. Burne R.V., Moore L.S. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities // Palaios. 1987. V. 3. No. 3. P. 241—254.
13. Pochon J., De Barjac H. Traité de microbiologie des sols. Dunod, Paris, 1958. P. 1—685.

REFERENCES

1. Andrusov N.I. Bacteriology and geology, their mutual relations. Introductory lecture // Uchenye zapiski Yuryevskogo universiteta. 1897. No. 1. P. 1—20.
2. Antoshkina A.I. Bacterial rock formation — the reality of modern research methods // Scientific notes of Kazan University, Natural Sciences. 2011. Vol. 153, iss. 4. P. 114—126.
3. Gerasimenko L.M., Goncharova I.V., Zhegallo E.A., Zavarzin G.A., Zaitseva L.V., Orleansky V.K., Rozanov A.Yu., Ushatinskaya G.T. The process of mineralization (phosphatization) of filamentous cyanobacteria // Lithology and use. fossils. 1996. No. 2. P. 208—214.
4. Zaninu Yu.N., Letov S.V., Krasil'nikova N.A., Mirtov Yu.V. Phosphatized bacteria from Cretaceous phosphorites of East-European Platform and Paleocene phosphorites of Morocco // In book: Phosphorites. Sixth International Field-Workshop and Seminar on Phosphorites. I.G.C.P. 156. Maroc-Sénégal, oct.-nov. 1983. Strasbourg: Institut de Géologie — Université Louis- Pasteur, 1985. P. 79—81. (Sciences Géologiques. Mémoire, 77).
5. 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. Vol. 64(3). P. 8—18.
6. Nature of phosphate grains and phosphorites of the largest basins of the world / E.L. Scholnik, Tang Tianfu, E.A. Zhegallo, and etc. Vladivostok: Dalnauka, 1999. 207 c.
7. Rozanov A.Yu., Zhegallo E.A. On the problem of the genesis of ancient Asian phosphorites // Lithology and Useful. fossils. 1989. No. 3. P. 67—82.
8. Al Maleh A.Kh., Mouty M. The sedimentary and paleogeographic evolution of the Palmyridean region during Cretaceous // In book: Proceedings 3rd Jordan Geological Conference. 1988. P. 213—244.
9. Al Maleh A.Kh. The geology of the phosphatic deposits in Syria (Senonian and Palaeogene) // In book: 10th International Field Workshop and Symposium. 1987. P. 34—35.
10. Abed A.M. The eastern Mediterranean phosphorite giants: An interplay between tectonics and upwelling // Geoarabia "Manama". April 2013. P. 67—94.
11. Al-Maleh K., Mouty M. Lithostratigraphic characteristics of phosphorite deposits and the regional sedimentational and paleogeographic framework of their formation in the Palmyrides mountain chain, Middle Syria // Proceedings of the 29th International Geological Congress, part C. VSP. 1994. P. 225—235.

12. Burne R.V., Moore L.S. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities // *Palaios*. 1987. V. 3. No. 3. P. 241—254.
13. Pochon J., De Barjac H. *Traité de microbiologie des sols*. Dunod, Paris, 1958. P. 1—685.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Алзаммар М. — внес вклад в подготовку статьи, сбор, обработку и анализ образцов и шлифов с помощью сканирующего электронного микроскопа, изучение шлифов под микроскопом, создание и обработку изображений, подготовил текст и рисунки статьи, перевел текст на английский язык, утвердил публикуемую версию статьи и согласен взять на себя ответственность за все аспекты работы.

Жегалло Е.А. — внесла вклад в разработку концепции статьи, контроль подготовки и анализа образцов с помощью сканирующего электронного микроскопа, провела научную и лингвистическую корректуру текста, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Mazen Alzammar — contributed to the preparation the article, in the collection, processing and analyzing the samples and thin sections using scanning electron microscope, studying the thin sections under microscope, and creating and processing the images, prepared the text and the figures of the article, translated the text into English, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Elena A. Zhegallo — contributed to the development of the article concept, supervising the preparation and analysis of samples using a scanning electron microscope, scientific and linguistic proof-reading of the text, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Алзаммар Мазен* — аспирант кафедры геологии месторождений полезных ископаемых Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: alzammarm@gmail.com
тел.: +7 (903) 208-85-11
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5815-916X>

Жегалло Елена Александровна — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая кабинетом приборной аналитики Палеонтологического института им. А.А. Борисяка РАН.
123, Профсоюзная ул., г. Москва 117647, Россия
e-mail: ezheg@paleo.ru
тел.: +7 (903) 524-65-85
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6132-6268>

Alzammar Mazen* — postgraduate researcher of the Department of Geology of Mineral Deposits of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: alzammarm@gmail.com
tel.: +7 (903) 208-85-11
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5815-916X>

Zhegallo Elena A. — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Leading Research Fellow, Head of the Instrument Analytics Department of A.A. Borisyak paleontological institute of the RAS.
123, Profsoyuznaya str., Moscow 117647, Russia
e-mail: ezheg@paleo.ru
tel.: +7 (903) 524-65-85
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6132-6268>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author