

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 563.125.5:551.781.4 (477.75)

**ПЕРВАЯ НАХОДКА ФРАМБОИДАЛЬНОГО ПИРИТА В РАКОВИНЕ НУММУЛИТА
ИЗ СИМФЕРОПОЛЬСКОЙ СВИТЫ (ЭОЦЕН) ГОРНОГО КРЫМА**

В.Н. КОМАРОВ¹, П.Э. СИНКИН¹, Г.В. АГАФОНОВА^{1,2}, Е.В. КОВАЛЬЧУК³

*¹Российский государственный геологоразведочный университет
117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23; e-mail: komarovmgri@mail.ru*

*²ФГБУ «ВНИГНИ»
105118, Россия, г. Москва, ш. Энтузиастов, 36, e-mail: agafonovagalina@inbox.ru*

*³ИГЕМ РАН
119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., 35*

Приведены данные изучения пиритизированной раковины *Nummulites* sp. из нуммулитовых известняков симферопольской свиты (эоцен), относящейся к нуммулитовым зонам *Nummulites nemkovi*, *N. distans* и *N. polygatus*. Выявлен пирит двух генераций: наиболее ранний — диагенетический фрамбоидальный, связанный с раскристаллизацией аморфных сульфидов железа, и поздний — идиоморфный, образующий скопления кристаллов. Агрегаты кристаллического пирита, по всей видимости, возникли на основе пиритовых фрамбоидов и представляют собой поздние продукты их перекристаллизации и переогранки. Подробно описаны фрамбоидальные структуры, среди которых выявлены две композиционные разновидности. Фрамбоиды представлены сферическими и овальными объектами размером от 1,25 до 15,7 мкм. Они сложены кристаллитами пирита размером от 0,26 до 1,08 мкм. Единственная обнаруженная до настоящего времени раковина нуммулита, содержащая фрамбоиды пирита, может свидетельствовать о чрезвычайной редкости подходивших для образования фрамбоидов локальных очагов восстановительных условий. Полученные новые данные окажутся полезными для решения вопроса о связи кристаллографических модификаций фрамбоидов с внешней средой и о критериях определения биогенности фрамбоидальных структур.

К л ю ч е в ы е с л о в а: тафономия; фоссилизация; фрамбоиды пирита; нуммулиты; симферопольская свита; эоцен; Горный Крым.

**A FIRST FINDING OF THE FRAMBOIDAL PYRITE IN THE NUMMULITE SHELL
FROM THE SIMFEROPOLSKAYA FORMATION (EOCENE) OF MOUNTAIN CRIMEA**

V.N. KOMAROV¹, P.E. SINKIN¹, G.V. AGAFONOVA^{1,2}, E.V. KOVALCHUK³

*¹Russian State Geological Prospecting University
117997, Russia, Moscow, Miklouho-Maklaya street, 23; e-mail: komarovmgri@mail.ru*

*²Federal State Budgetary Institution «All-Russian Research Geological Oil Institute»
105118, Russia, Moscow, Entuziastov highway, 36; e-mail: agafonovagalina@inbox.ru*

*³Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS (IGEM)
119017, Russia, Moscow, Staromonetny per., 35*

The paper considers the data, concerning the studying of the pyritized shell *Nummulites* sp. from the nummulite limestones of simferopolskaya formation (Eocene), referred to the nummulite zones *Nummulites nemkovi*, *N. distans* и *N. polygyratus*. The pyrites of two generations are discovered. The first one is the earliest diagenetic framboidal pyrite, connected with the crystallization of the amorphous iron sulfides, and the second one is an idiomorphic pyrite, which forms the aggregates in a form of crystals. Aggregates of the crystalloid pyrite obviously formed on the base of the pyrite framboids and represent the latest products of their recrystallization and recut. The detailed description of the framboidal formations is given. Among them the two compositional types are distinguished. Framboids are represented by the spherical and oval objects by size from 1,25 to 15,7 microns. They are built up with pyrite crystals, being from 0,26 to 1,08 microns in size. The only one nummulite shell, containing the pyrite framboids, which has been discovered up to the present time, can justify the ultimately rareness of the suitable for the framboids formation local centers of the reduction conditions. The obtained new data can be helpful for the solving of the question about the dependence of the crystallographic modifications of the framboids on the environment and about the criteria of the definition of the biogenetic nature of the framboidal structures.

Key words: taphonomy; fossilization; framboidal pyrites; nummulites; simferopolskaya formation; Eocene; Mountain Crimea.

Тафономия, изучающая процессы захоронения остатков организмов, их фоссилизацию и условия образования местонахождений окаменелостей, представляет собой самостоятельный раздел палеонтологии, основанный на всестороннем анализе геологических, палеонтологических и биологических данных. К настоящему времени накопился огромный фактический материал по тафономии различных групп ископаемых, что способствует внедрению тафономического метода в практику палеонтологических исследований и делает его необходимым средством комплексного литолого-фациального исследования осадочных толщ, а также детальной корреляции отложений.

Фоссилизация представляет собой крайне сложный, многоступенчатый и длительный процесс. Физико-химические явления, включающие осаждение вещества из морской воды и многочисленные более поздние события, приводят к образованию в осадке агрегатов самых различных аутигенных компонентов, которые могут принимать участие в заполнении пустот в скелете погибших организмов либо замещении его исходного вещества. По первому пути идёт минерализация остатков, по второму — процесс замещения (метасоматоз) [22]. Минерализация и замещение часто начинаются сразу же после гибели организма и продолжаются на стадии формирования местонахождения в зоне седиментации и литификации осадка, а также в ходе его преобразования в процессах метаморфизма, выветривания и др. В конечном итоге остатки, преобразованные фоссилизирующими минералами и их соединениями, часто становятся псевдоморфозами.

Число аутигенных компонентов, которые могут принимать участие в заполнении пустот и в замещении вещества остатков организмов в карбонатных отложениях невелико. К основным из них относятся кальцит и доломит; подчинённую роль играют сульфатные минералы (гипс, ангидрит), кварц и другие минеральные формы кремнезёма, пирит, глауконит, оксиды и гидроксиды железа [19]. Часть новообразованных компонентов появляется в осадке на стадии диагенеза в условиях из-

менчивости параметров физико-химических обстановок, причиной чего в значительной мере является жизнедеятельность бактерий. На этом этапе в процессе литификации осадка происходит, в том числе выпадение вещества из поровых растворов и кристаллизация различных минералов в пустотах. В процессе диагенеза и катагенеза скелетные остатки могут быть также в различной степени замещены аутигенными компонентами — с частичным или полным нарушением первоначальной микроструктуры.

Главным аутигенным железистым минералом карбонатных отложений является пирит. Основная его масса образуется на ранних стадиях диагенетического перераспределения вещества в осадке — с этим связано присутствие прослоев и конкреций пирита среди известняков. Более поздние, катагенетические формы пирита чаще всего встречаются в отложениях нефтяных месторождений, где его образование происходит в присутствии серных бактерий, развивающихся за счёт углеводов [19]. Возможно образование пирита и при высокотемпературных гидротермальных глубинных процессах.

Псевдоморфозы пирита образуются в основном в результате замещения органического вещества, наиболее часто — растительного происхождения. Пиритизация мягких частей захоронённых животных также довольно обычное явление. При данном процессе обычно происходит полное уничтожение любой структуры мягких тканей. Нередко у двусторчатых моллюсков на внутренней поверхности створок в местах прикрепления мускулов можно обнаружить кристаллы пирита, свидетельствующие о захоронении раковин вместе с остатками мягкого тела, по крайней мере, с фрагментами мускулов. Нередко пирит образуется и на поверхности скелетного остатка, когда внутри него сохранилось мягкое тело. Замещение часто начинается с заполнения внутрискелетных частей после образования инкрустационных кристаллических щёток. Мелкие объекты выполняются и замещаются пиритом обычно целиком, а крупные лишь частично.

Интереснейшей формой кристаллизации пирита являются фрамбоиды — сфероидальные агрега-

ты, сложенные многочисленными, плотно упакованными кристаллитами, приблизительно равными по форме и размеру в пределах одного фрамбоида. Кристаллиты, как правило, идиоморфны (кубы, октаэдры, пентагондодекаэдры, их комбинации). Диаметр отдельных фрамбоидов колеблется от < 1 до 250 мкм. Фрамбоиды крупнее 50 мкм редки. В одной сфере содержится 10^2 – 10^6 микрокристаллов размером от 0,2 до 2 мкм, с отношением диаметров фрамбоида и кристаллита от 5 до 30 [25].

Фрамбоиды весьма часто встречаются в осадочных породах различного возраста и являются доминирующей формой пирита в современных илистых морских или озёрных отложениях, в осадках солёных болот, образующихся в аноксичных условиях, а также в водной массе современных аноксических бассейнов [4, 14, 19]. Также фрамбоидный пирит широко распространён в золотокварцевых, золотосульфидных, золотосеребряных, колчеданно-полиметаллических месторождениях гидротермально-осадочного генезиса, где может выступать как главная форма выделения дисульфида железа [1, 18]. Известен он даже в метеоритах (карбонатных хондритах) [3].

Общепринятого мнения о механизме образования фрамбоидального пирита до сих пор нет [8]. Считается, что он образуется в осадке на стадии раннего диагенеза в восстановительных геохимических условиях ниже границы раздела осадка с

поверхностными водами в местах разложения органического вещества. Сульфатредуцирующие бактерии, восстанавливая сульфаты морской воды, используют кислород молекулы CaSO_4 для окисления органического вещества. Вовлечение сульфатов в жизненный цикл бактерий сопровождается изменением валентности серы. Положительная шестивалентная сера в молекуле сульфата переходит в отрицательную двухвалентную. Двухвалентный ион серы реагирует с ионом водорода, который всегда присутствует в природных водах в результате диссоциации воды, образуя биогенный сероводород. Последний реагирует с ионами растворённого двухвалентного железа, связанного с поровыми водами окружающего осадка. Это приводит к образованию моносульфида железа, кристаллизация которого через ряд промежуточных стадий завершается образованием пирита [4, 9, 10, 24]. Считается, что органические соединения, растворённые в воде, увеличивают вязкость среды и обеспечивают осаждение тонких сульфидов в большем диапазоне концентраций, чем это возможно в чистой воде. Гидрофобные органические соединения обеспечивают агрегацию кристаллитов и защищают фрамбоиды от разрушения.

Таким образом, возникновение фрамбоидов является биологически индуцированным процессом между железом и биологически образованным сероводородом — это подтверждается тем, что фрамбоиды часто находят внутри таких органических



Рис. 1. Выходы нуммулитовых известняков симферопольской свиты на южном склоне горы Сувлу-Кая

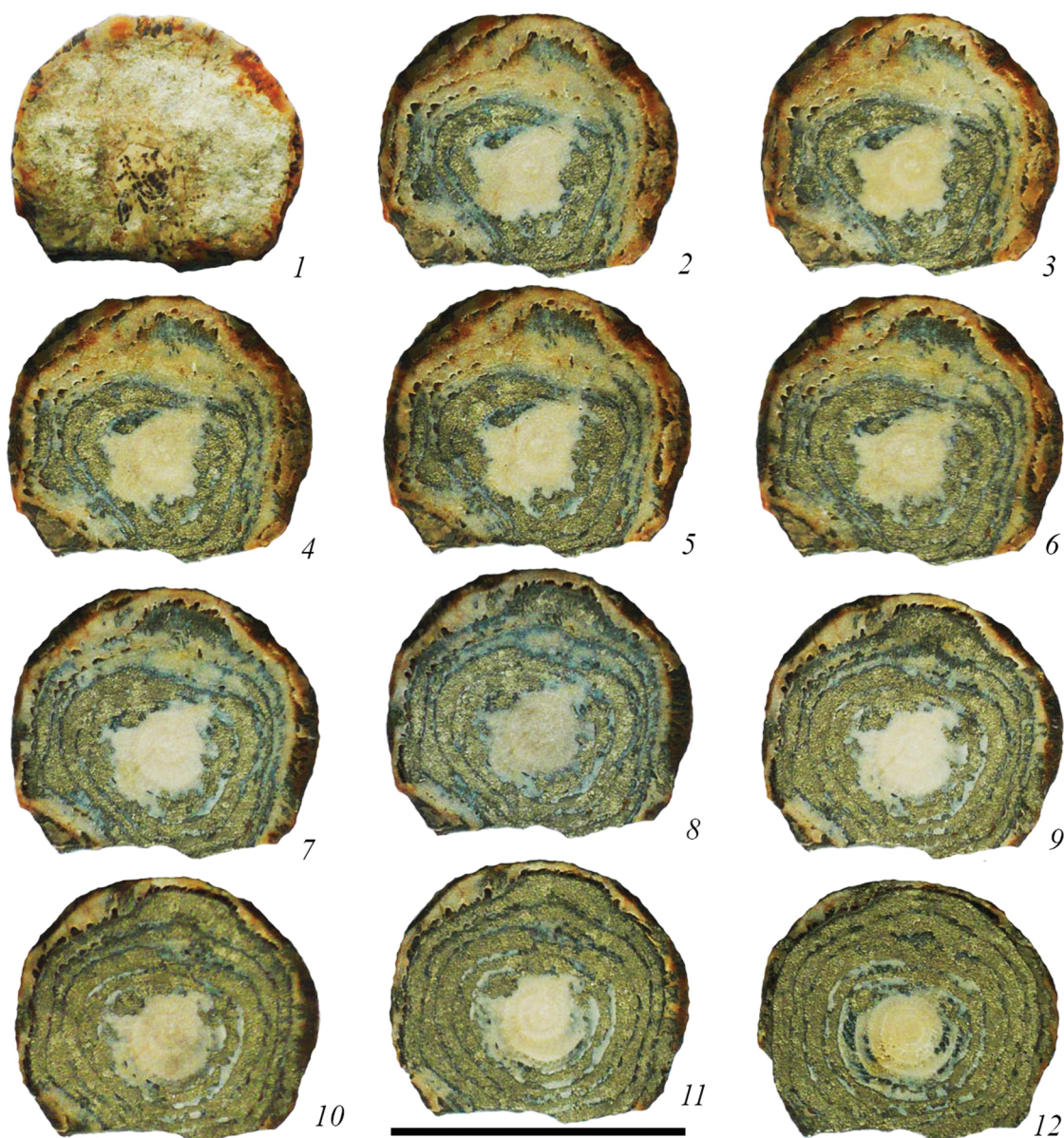


Рис. 2. *Nummulites* sp.: 1 – раковина; 2–12 – последовательные поперечные сечения раковины. Фотографии выполнены с помощью цифрового фотоаппарата Panasonic DMC-LS80; длина масштабной линейки 2 см

пространств, как раковины радиоларий и мелких фораминифер, диатомовые фрустулы, трубки полихет и клетки растений [4, 14].

Тем не менее, как показывает осаждение фрамбоидов из гидротермальных растворов [23], а также эксперименты, в ходе которых были получены агрегаты, сходные с фрамбоидами, присутствие органического вещества не является обязательным для их образования. Однако ограниченная устойчивость фрамбоидов в отсутствии органических веществ, вероятно, объясняет относительную редкость в природе фрамбоидов, кристаллизовавшихся из неорганического геля сульфида железа.

В ходе проведения Крымской учебной геологической практики МГРИ-РГГРУ в 2016 г. студент П.Э. Синкин обнаружил в разрезе на горе Сувлук-Кая (рис. 1) очень интересную с точки зрения сох-

ранности пиритизированную раковину *Nummulites* sp. (рис. 2). Она найдена в осыпи, но происходит, несомненно, из нуммулитовых известняков симферопольской свиты [20], относящейся к нуммулитовым зонам *Nummulites nemkovi*, *N. distans* и *N. polygyratus*.

Разрез представлен известняками белыми, с лёгким желтоватым оттенком нуммулитовыми, органично-обломочными плотными, с яснокристаллическим кальцитовым цементом. В породе отмечается обилие глауконита (30–40 %) [6, 12]. В рельефе отложения образуют отчётливо выраженный навес над обрывом, своеобразные формы выветривания в виде «каменных истуканов», а также пологий ступенчатый склон «надыстуканной» части. Фация нуммулитовых известняков в Горном Крыму представляет собой нуммулитовую банку

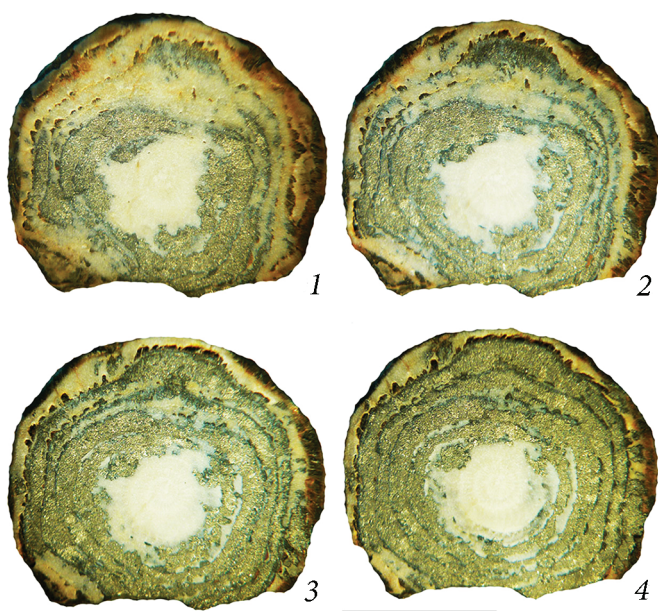


Рис. 3. Последовательные поперечные сечения раковины *Nummulites* sp. Фотографии выполнены с помощью цифрового фотоаппарата Panasonic DMC-LS80 и бинокулярного микроскопа МБС-1; длина масштабной линейки 1 см

[12]. Отложения накапливались в открытом тепловодном бассейне с нормальной солёностью в пределах шельфовой равнины под воздействием донных течений [11].

Сульфидная минерализация в осадочных и магматических породах Горного Крыма была изучена в [15—17]. Однако в ходе детального комплексного минералого-геохимического исследования пиритов данного региона фрамбоиды дисульфида железа обнаружены не были. В [15] упомянут и изображён образец титонских известняков из карьера Мраморный (северный склон плато Чатырдаг) со сферолитами пирита, однако эти образования размером от 2,7 до 4,5 мм являются микроконкрециями. Следует отметить, что нам не удалось обнаружить и публикации, свидетельствующие о находках пирита в раковинах нуммулитов. Нет их, в частности, в капитальной сводке [22]. Ни разу не встречались нам пиритизированные остатки нуммулитов и за много лет проведения Крымской учебной геологической практики. Имеются указания на то, что полости в раковинах нуммулитов и дискоциклин нередко заполнены аутигенным глауконитом [12, 13]. Неоднократно наблюдали это и мы на лабораторных занятиях по основам палеонтологии, в ходе которых студенты для изучения строения нуммулитов в массовом количестве раскалывают их раковины. По устному сообщению Е.Ю. Закревской (Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН) ей приходилось наблюдать полости раковин нуммулитов, частично выполненные глауконитом и гидроксидами железа (возникшими, вероятно, в процессе разложения пирита в окислительных условиях) с растворением

стенки раковины в разной степени: от частичного до полного.

Таким образом, сделанная нами находка, по всей видимости, является первой находкой фрамбоидального пирита в Горном Крыму.

Для изучения внутреннего строения обнаруженной раковины нами была использована методика серийных поперечных сечений. Раковина вручную пришлифовывалась на стекле абразивными порошками, которые последовательно менялись от грубых к тонким. После промывки приполированная поверхность фотографировалась (рис. 2, 3).

Анализ образца проводился в лаборатории физических методов исследования руд и минералов МГРИ-РГГРУ методом рентгенографии на приборе ДРОН-3М (аналитик А.В. Фёдоров), а также в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН на электронно-зондовом микроанализаторе JEOL-8200. Полученные данные соответствуют двум минералам — пириту и кальциту. Изученный материал хранится в геолого-палеонтологическом музее МГРИ-РГГРУ под № 3/336.

Результаты и их обсуждение

Проведённое исследование показало, что интенсивность пиритизации раковины отчётливо уменьшается от внешнего оборота к внутренним (рис. 2, 3). Центральная часть раковины (на долю которой приходится примерно 25% от её общего диаметра) с несколькими внутренними оборотами пиритизацией совершенно не затронута. Камеры при этом частично заполнены аутигенным кальцитом (рис. 7). В пределах средних оборотов полностью пиритизированные участки чередуются с сохранившимися первичными карбонатными фрагментами стенки раковины и септ — границы между ними чёткие, неровные. Внешние обороты, на долю которых приходится примерно 35% от диаметра раковины, демонстрируют практически тотальную пиритизацию раковинного вещества — в основном сохранились редкие реликты оборотов. Септы, насколько можно судить, почти полностью замещены и потеряли индивидуальность. Заполнено пиритом и почти всё пустотное пространство этой части скелета. Лишь в пределах последнего оборота наблюдался ряд камер, свободных от пирита, а также несколько сохранившихся септ. Следует отметить, что только в этой части раковины в виде небольших локальных очагов был отмечен лимонит, в который, разлагаясь, превратился пирит, оказавшись в зоне окисления. В изученном образце наблюдаются два морфологических типа пирита — фрамбоиды и кристаллические агрегаты.

Фрамбоидальные структуры очень многочисленны и представлены как россыпями кристаллитов, слагающих фрамбоиды, так и отдельными хорошо оформленными фрамбоидами, относящимися-

ся к двум композиционными разновидностям. К первой могут быть отнесены фрамбоиды с микроструктурой низкоупорядоченного композиционного типа (рис. 4, б). Кристаллиты, слагающие подобные формы пирита характеризуются похожими размерами в пределах одного фрамбоида и расположены довольно рыхло. В кристаллографическом отношении кристаллиты имеют форму октаэдров.

Считается, что фрамбоидальные структуры с кристаллитами такой формы имеют биогенное происхождение, а не связаны с чисто химическими процессами [4]. Некоторые кристаллиты иногда обманчиво выглядят, как прямоугольник (при взгляде со стороны вершины, в которой сходятся четыре треугольные грани), хотя в действительности они являются октаэдрами. Фрамбоиды рассматривае-

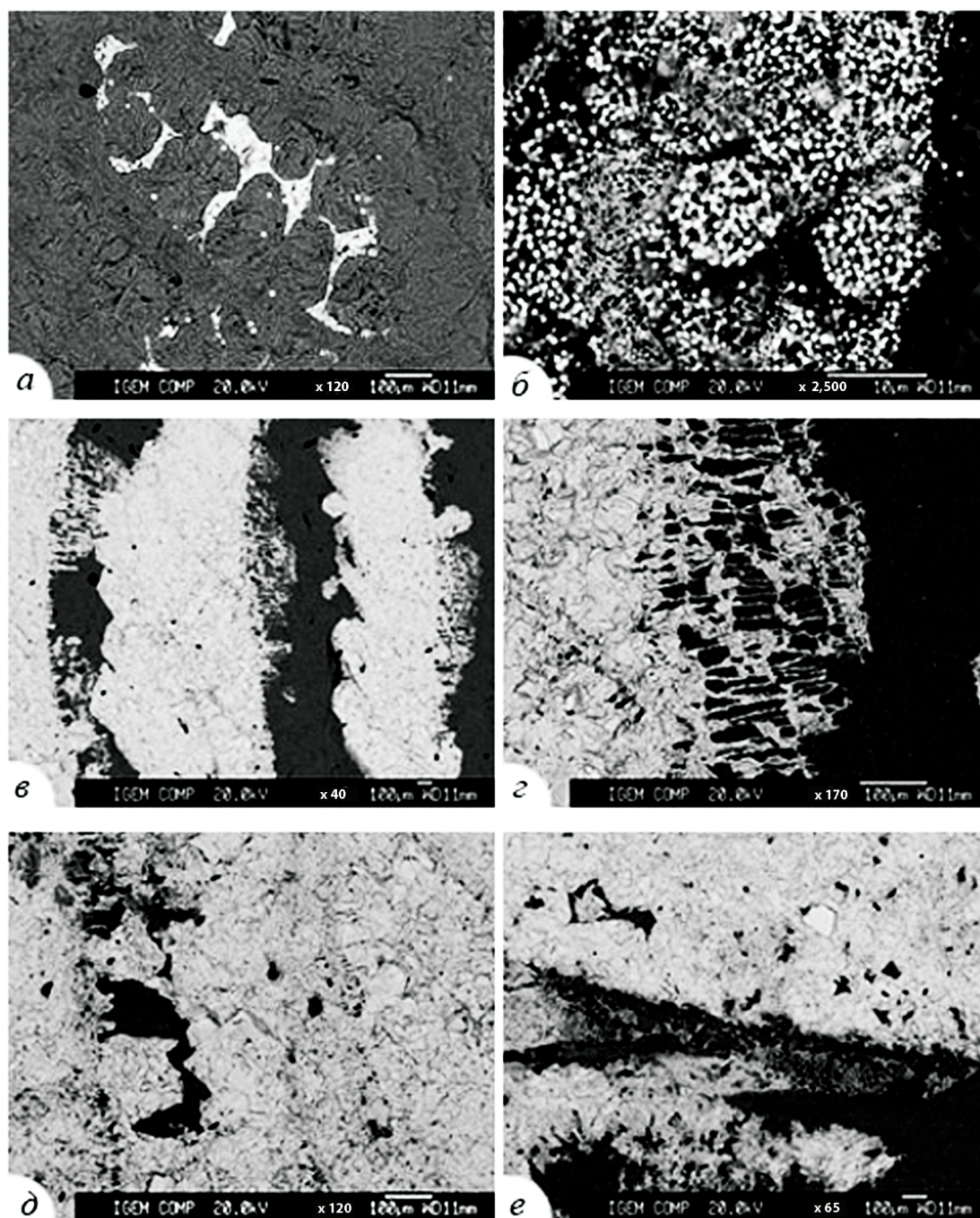


Рис. 4. Экваториальное сечение раковины *Nummulites* sp.: а – замещение карбоната раковины (тёмное) агрегатами и фрамбоидами пирита (светлое); прямые контакты связаны с развитием пирита вдоль кристаллографических границ кальцита; б – пиритовые фрамбоиды разных генераций с кристаллитами в форме октаэдров; вокруг – россыпь кристаллитов; в–г – замещение кальцита агрегатами пирита, представленного разными по форме и размеру кристаллами; д – реликты кальцита среди агрегатов пирита; кристаллы пирита характеризуются разными размерами, формами и степенью выраженности отдельных граней; е – замещение кальцита агрегатами пирита; в центре – скопление фрамбоидов пирита (фото в обратно-рассеянных электронах)

мого композиционного типа представлены двумя генерациями, кристаллизация которых, по всей видимости, происходила в разное время (рис. 4, б). Фрамбоиды ранней генерации являются довольно большими правильными сферическими (объекты другой формы не обнаружены) структурами размером от 5 до 10,83 мкм (преобладающий размер 10,33–10,83 мкм). Они сложены относительно

крупными кристаллитами пирита размером от 0,48 до 1 мкм (преобладающий размер 0,8–0,87 мкм). Фрамбоиды поздней генерации представлены маленькими правильными сферическими (другие очертания не встречены) структурами размером от 1,25 до 2,08 мкм. Состоят они из небольших микроиндивидов размером от 0,26 до 0,46 мкм (преобладающий размер 0,26–0,33 мкм).

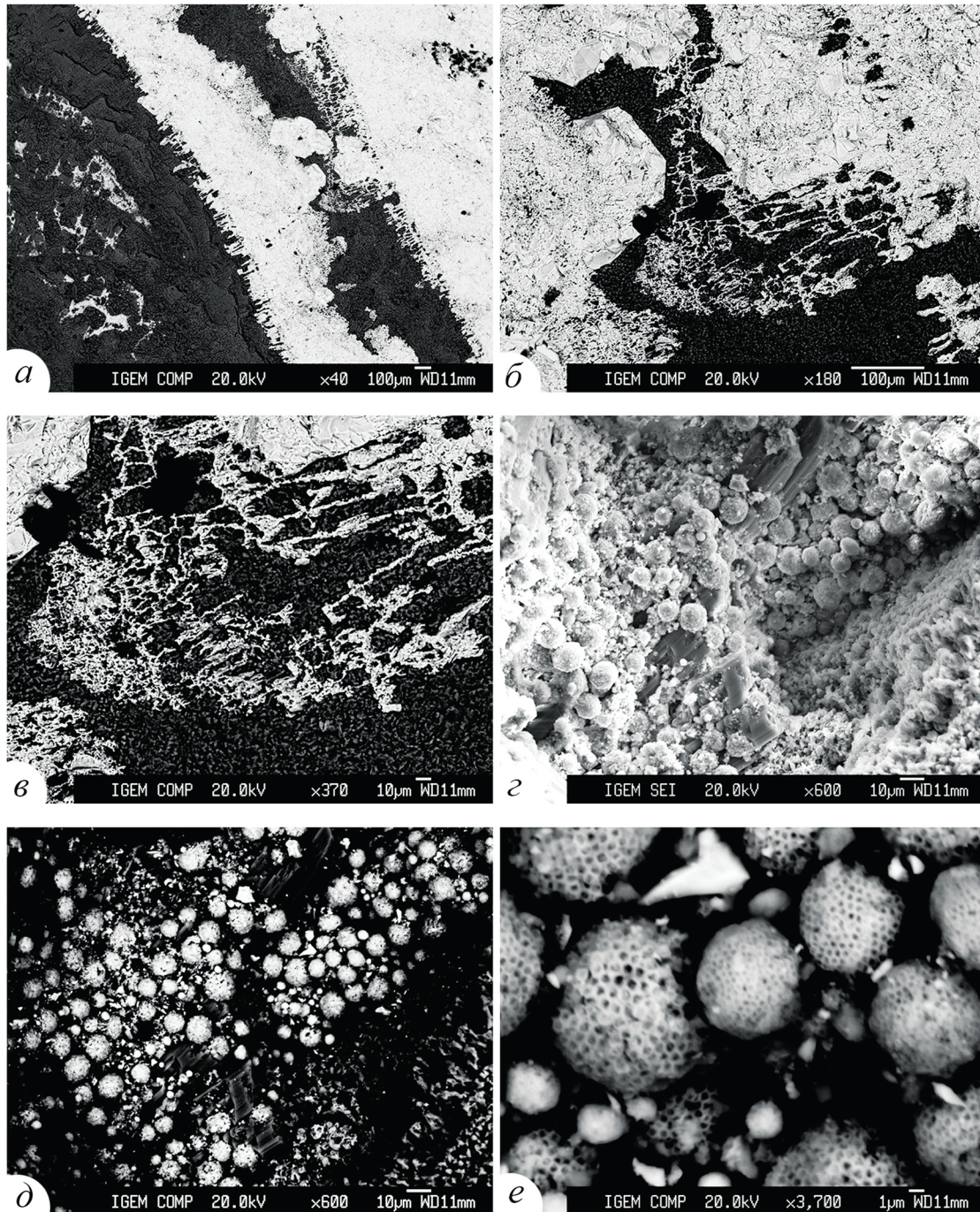


Рис. 5. Экваториальное сечение раковины *Nummulites* sp.: а–в – замещение карбоната раковины агрегатами пирита, представленного разными по форме и размеру кристаллами; г–д – реликты кальцитовых кристаллов среди фрамбоидов пирита; е – скопление фрамбоидов пирита; (фото: г – во вторичных электронах, остальные в обратно-рассеянных электронах)

Вторую группу образуют фрамбоиды, микро-структуру которых можно отнести к высокоупорядоченному композиционному типу. Они образованы кристаллитами пентагонального габитуса (рис. 5, *г-е*). Их размер в пределах конкретного фрамбоида практически одинаков, микроструктуры упакованы очень плотно. Фрамбоиды данного композиционного типа наблюдаются в виде очень правильных сферических и изредка овальных структур размером от 3 до 15,7 мкм (обычный размер 3–12,3 мкм). Размер отдельных кристаллитов варьирует от 0,3 до 1,08 мкм (преобладающий размер 0,3–0,56 мкм). В ассоциации с фрамбоидами рассмотренного типа были встречены такие же ажурные агрегаты, напоминающие соты (рис. 5, *д-е*). Размер и форма ячеек соответствует таковым у кристаллитов. Отмеченные структуры по заклю-

чению М.М. Астафьевой (Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН) также являются фрамбоидами пирита.

Следует отметить, что в литературе отмечены случаи, когда фрамбоидальные сферы собраны вместе и формируют отчётливые сферические и субсферические группы — мультифрамбоиды [14]. На изученном материале наблюдать это не удалось. Не выявлены также случаи окисления фрамбоидального пирита.

В кристаллических агрегатах кристаллы пирита характеризуются разной формой и размером до 150 мкм (рис. 4, 5, 6). Хорошо оформленные кубические кристаллы встречаются редко. Крупные кристаллы собраны вместе и образуют яснокристаллические поля. Иногда пирит формирует мелкозернистые агрегаты, в которых некоторые зёрна со-

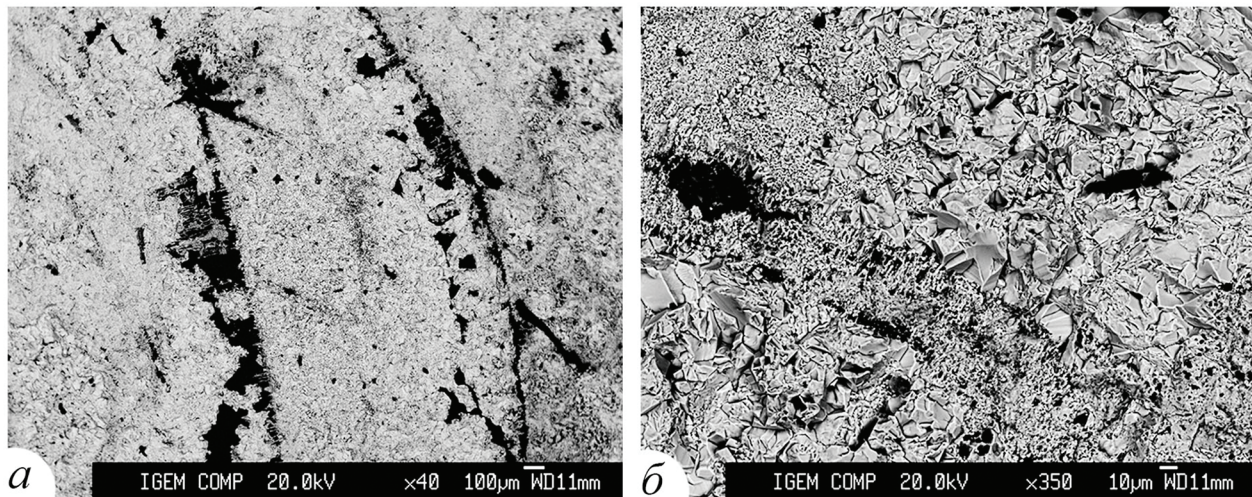


Рис. 6. Экваториальное сечение раковины *Nummulites* sp.: *а-б* — замещение карбоната раковины агрегатами пирита, представленного разными по форме и размеру кристаллами, а также фрамбоидами пирита (фото в обратно-рассеянных электронах)

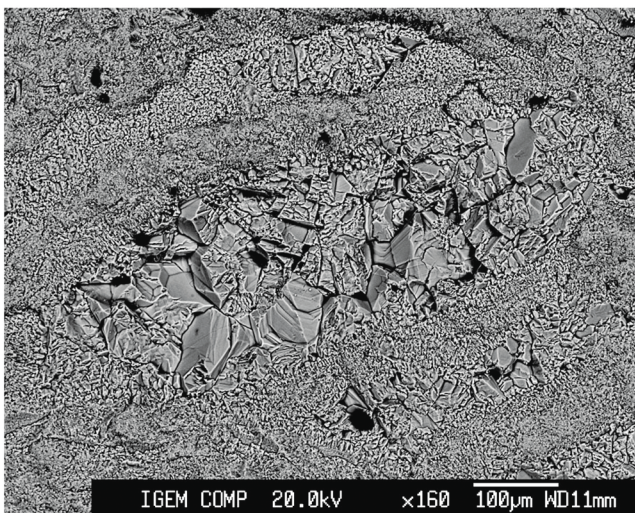


Рис. 7. Центральная часть экваториального сечения раковины *Nummulites* sp.: аутигенный кальцит (фото в обратно-рассеянных электронах)

храняют отдельные грани кристаллов. В ряде случаев наблюдается сплошная масса пиритового агрегата без видимой кристаллографической огранки.

Насколько можно судить, на внутренних оборотах пирит всегда начинает замещать стенку раковины с наружной стороны (рис. 4, *в-г*, рис. 5, *а-в*, рис. 6, *а*). Контакт двух разных минеральных агрегатов здесь очень неровный, как будто пирит «прорастает» через кальцит. С внутренней стороны стенки граница пирита и кальцита обычно резкая с прямыми контактами.

Боковая стенка раковины и септы нуммулитид имеют радиально-лучистую микроструктуру [7]. Характер расположения агрегатов пирита, замещающего кальцит, насколько можно судить, в некоторых случаях это подчёркивает (рис. 4, *в-г*; рис. 5, *а-в*).

Таким образом, изученный материал позволяет выделить пирит двух генераций — наиболее ранний диагенетический фрамбоидальный, связанный

с раскристаллизацией аморфных сульфидов железа, и идиоморфный, который образует скопления в виде кристаллов. Агрегаты кристаллического пирита, по всей видимости, возникли на основе пиритовых фрамбоидов и представляют собой поздние продукты перекристаллизации и переогранки. Подобная последовательность смены форм пирита, когда в условиях увеличения концентрации сероводорода в растворе фрамбоиды являются центром роста идиоморфных кристаллов пирита, подтверждается рядом исследований [2, 21].

В то же время причудливая форма выделений кристаллического пирита и внутри него многочисленные неровные реликты кальцита (рис. 4, а, г-е), безусловно, свидетельствуют о более поздней метасоматической природе значительного количества пирита, заполнившего полости в раковине нуммулита и заместившего скелет.

Единственная обнаруженная до настоящего времени раковина нуммулита, содержащая фрамбоиды пирита, может свидетельствовать о чрезвычайной редкости подходов для образования фрамбоидов локальных очагов восстановительных условий.

Несмотря на то, что Бахчисарайский разрез палеогена является одним из типовых в Крымско-Кавказской области, до сих пор его геохимические исследования на современном уровне являются единичными [5, 12, 15–17]. Полученные новые данные позволяют расширить наши представления о разнообразии проявления механизмов процесса фоссилизации. Они окажутся полезными для решения вопроса о зависимости кристаллографических модификаций фрамбоидов от внешней среды, а следовательно, и о критериях определения биогенности встречаемых фрамбоидальных структур.

ЛИТЕРАТУРА

- Акимов А.В., Акимов Г.Ю., Лоренц Д.А., Плотинская О.Ю. Фрамбоидальный пирит эпипериметальных золоторудных месторождений: условия нахождения и морфологические особенности // Роль минералогии в познании процессов рудообразования. Материалы Годичной сессии МО РМО, посвящённой 110-летию со дня рождения академика А.Г. Бетехтина (1897–2007). М.: ИГЕМ РАН, 2007. С. 20–25.
- Асочакова Е.М., Бухарова О.В. Микровключения в оолитовых железных рудах Бакчарского месторождения (Западная Сибирь) // Вестник ТГУ. 2013. № 369. С. 168–172.
- Астафьева М.М., Герасименко Л.М., Гептнер А.Р. и др. Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах / Науч. ред. А.Ю. Розанов, Г.Т. Ушатинская. М.: ПИН РАН, 2011. 172 с.
- Астафьева М.М., Розанов А.Ю., Хувер Р. Фрамбоиды: их структура и происхождение // Палеонтологический журнал. 2005. № 5. С. 3–9.
- Ветошкина О.С., Захревская Е.Ю. Изотопы углерода и кислорода в раковинах нуммулитид и известняках переходного ипрско-лютетского интервала Бахчисарайского разреза (Крым). Палеогеографическая интерпретация // Вестник Института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2011. № 8. С. 6–12.
- Воронина А.А. Палеогеновая система // Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма (стратиграфия кайнозой, магматические, метаморфические и метасоматические образования). М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 4–36.
- Захревская Е.Ю. Ассилины, оперкулины и раникательии Крыма и их биостратиграфическое значение. М.: Наука, 1993. 112 с.
- Кизильштейн Л.Я. Фрамбоидальный пирит причастен к возникновению жизни на Земле? // Природа. 2007. № 1. С. 49–54.
- Кизильштейн Л.Я. Сульфатвосстанавливающие бактерии: великие дела маленьких существ // Природа. 2016. № 2. С. 51–53.
- Кизильштейн Л.Я., Минаева Л.Г. Происхождение фрамбоидальных форм пирита // Доклады АН СССР. 1972. Т. 206. № 5. С. 1187–1189.
- Копаевич Л.Ф., Лыгина Е.А., Никишин А.М., Яковина Е.В. Крымская эоценовая нуммулитовая банка // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2008. № 3. С. 64–66.
- Лыгина Е.А., Копаевич Л.Ф., Никишин А.М., Шалимов И.В., Яковина Е.В. Нижне-среднеэоценовые отложения Крымского полуострова: фациальные особенности и условия осадконакопления // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2010. № 6. С. 11–22.
- Портная Е.Л. Палеоэкологические исследования пограничных горизонтов симферопольских и бодракских отложений Бахчисарайского района Крыма (район учебной практики МГРИ) // Известия вузов. Геология и разведка. 1979. № 6. С. 19–22.
- Савельева О.Л., Савельев Д.П., Чубаров В.М. Фрамбоиды пирита в углеродистых породах сфагинской ассоциации п-ва Камчатский Мыс // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. С. 144–151.
- Седаева К.М., Майорова Т.П., Устюгова К.С., Светов С.А., Филиппов В.Н. Пирит осадочных и магматических комплексов Горного Крыма и его минералого-геохимическая характеристика // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2013. № 5. С. 45–56.
- Седаева К.М., Майорова Т.П., Светов С.А., Устюгова К.С. От минералогии до геохимии (на примере пирита породных комплексов Горного Крыма) // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. Вып. 2 (19). С. 40–55.
- Седаева К.М., Майорова Т.П., Светов С.А. Состав микросульфидной минерализации породных комплексов Горного Крыма как отражение петрофонада вмещающих их пород // XI Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Доклады. Т. 1. М.: Ваш полиграфический партнёр, 2013. С. 90–92.
- Смирнов В.И. Колчеданные месторождения // Генезис эндогенных рудных месторождений. М.: Недра, 1967. С. 586–649.
- Фортунова Н.К., Карцева О.А., Баранова А.В., Агафонова Г.В., Офман И.П. Атлас структурных компонентов карбонатных пород М.: ВНИГНИ, 2005. 440 с.
- Цейслер В.М., Караулов В.Б., Туров А.В., Комаров В.Н. О местных стратиграфических подразделениях в восточной части Бахчисарайского района Крыма // Известия вузов. Геология и разведка. 1999. № 6. С. 8–18.
- Шнюков Е.Ф., Сокол Э.В., Козьменко О.А., Сокол И.А., Реутский В.Н., Кох С.Н., Кутний В.А. Нафтиды в тектонической брекчии Ломоносовского подводного массива, Чёрное море // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2012. № 4. С. 34–50.
- Янин Б.Т. Основы тафономии. М.: Недра, 1983. 184 с.
- Butler I.B., Rickard D. Framboidal pyrite formation via the oxidation of iron (II) monosulfide by hydrogen sulfide // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2000. V. 64. Iss. 15. P. 2665–2672.
- Farrand M. Framboidal sulfides precipitated synthetically // Miner. Deposita. 1970. V. 5. P. 237–247.
- Soliman M.F., El Goresy A. Framboidal and idiomorphic pyrite in the upper Maastrichtian sedimentary rocks at Gabal Oweina, Nile Valley, Egypt: Formation processes, oxidation products and genetic implications to the origin of fromboidal pyrite // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2012. V. 90. P. 195–220.