

---

---

Научная статья

УДК. 552.144 и 551.734.5

DOI: 10.31084/2619-0087/2024-3-7

## КАЛЬЦИТИЗАЦИЯ В КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВЕРХНЕФАМЕНСКОГО ВОЗРАСТА ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО- ОРЕНБУРГСКОГО СВОДОВОГО ПОДНЯТИЯ

Н. С. Сагдеева

*Институт геологии — обособленное структурное подразделение  
Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального  
исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа, sag-nyrija@mail.ru*

В статье рассматриваются особенности развития кальцитизации в карбонатных отложениях верхнефаменского возраста юго-западной части Восточно-Оренбургского сводового поднятия. Кальцитизация развита преимущественно в слоистых фенестровых микробиялитах и представлена блоковым кальцитом. Также выделяется отдельный тип кальцитизации — крустификация. Согласно литературным источникам и литологическим исследованием kernового материала нескольких скважин, кальцитизация зависит от комплекса факторов, таких как скорость осадконакопления, структурная сложность отложений, гидродинамическая активность, частота осушений и наличие органогенных пленок. На биологический контроль кальцитизации в керне указывают характерные ламинарные, волнистые микритовые прослои (микробиялиты) и обилие сгустков известковых водорослей, хорошо наблюдаемых на микроскопическом уровне. Таким образом, кальцитизация типичный постседиментационный процесс для карбонатных отложений верхнефаменского возраста, среди микробияльных прослоев фенестрового литотипа.

*Ключевые слова:* Восточно-Оренбургское сводовое поднятие, фаменский ярус, фенестры, кальцитизация, крустификация

*Благодарности:* Работа выполнена в соответствии с темой НИР гос. задания FMRS-2022–0010.

Original article

## CALCIFICATION IN CARBONATE DEPOSITS OF THE UPPER FAMEN STAGE IN THE SOUTH-WESTERN PART OF THE EAST ORENBURG ARCH-SHAPED UPLIFT

N. S. Sagdeeva

*Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Ufa, sag-nyrija@mail.ru*

The article deals with the features of calcification development in carbonate deposits of the Upper Famen stage of the fenestral lithotype within the south-western part of the East Orenburg arch-shaped uplift. Calcification is developed mainly in layered fenestration microbioliths and is represented by block calcite. There is also a separate type of calcification — croutification. This process is common, reducing the capacitance properties of rocks. According to literature sources and lithological studies of the core material of several wells, calcification depends on a complex of factors such as sedimentation rate, structural complexity of sediments, hydrodynamic activity, frequency of drainage and the pres-

---

Для цитирования: Сагдеева Н. С. Кальцитизация в карбонатных отложениях верхнефаменского возраста юго-западной части Восточно-Оренбургского сводового поднятия // Геологический вестник. 2024. № 3. С. 70–76. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-3-7

For citation: Sagdeeva N. S. (2024) Calcification in carbonate deposits of the Upper Famen stage in the south-western part of the East Orenburg arch-shaped uplift. *Geologicheskii vestnik*. 2024. No. 3. P. 70–76. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-3-7

---

© Н. С. Сагдеева, 2024

ence of organogenic films. Since the shallow water conditions of the sedimentation basin are favorable for the development of a wide range of groups of organisms, primarily microbes, calcification is often closely interrelated with the vital activity of organisms. The biological control of calcification in the core is indicated by characteristic laminar, wavy micrite interlayers (microbialites) and an abundance of clumps of calcareous algae, well observed at the microscopic level. Thus, calcification is a typical post-sedimentation process for carbonate deposits of the Upper Famen stage, among the microbial layers of the fenestral lithotype.

*Keywords:* East Orenburg arch-shaped uplift, Famen stage, fenestra, calcification, croustification

*Acknowledgments:* The work was performed in accordance with the research topic of the state assignment FMRS-2022–0010.

## Введение

Восточно-Оренбургское сводовое поднятие (ВОСП) — это положительная тектоническая структура 4-ого порядка в пределах Восточно-Европейской платформы, с востока граничащая с Предуральским краевым прогибом (рис. 1А) [Геологическое ..., 1997]. Фаменские отложения в пределах структуры характеризуются повсеместным распространением и рассматриваются в объеме нерасчлененных нижнего и среднего подъярусов и заволжского надгоризонта верхнего подъяруса фаменского яруса девонской системы [Геологическое ..., 1997; Стратиграфическая ..., 2016]. В составе карбонатных отложений верхнего фамена, согласно литературным данным, выделяются фации сублиторального и литорального генезиса [Геологическое ..., 1997].

Процесс кальцитизации характерен для мелко-водных отложений и связан с заполнением первичного пустотно-порового пространства карбонатом кальция. Развитие процесса зависит от комплекса факторов, таких как скорость осадконакопления, структурная сложность отложений, гидродинамическая активность, частота осушений и наличие органогенных пленок [Flügel, 2010]. Так как мелко-водные обстановки бассейна осадконакопления благоприятны для развития широкого спектра групп организмов, прежде всего микробов, кальцитизация зачастую взаимосвязана с жизнедеятельностью организмов. На биологический контроль кальцитизации указывают характерные ламинарные, волнистые микритовые прослои (микробяллиты) и обилие сгустков известковых водорослей, хорошо наблюдаемых на микроскопическом уровне (см. рис. 1, 3).

К микроорганизмам относятся бактерии, и другие простейшие. Бактерии состоят из двух основных групп — археи и бактерии (включая цианобактерии). Цианобактериальная кальцитизация связана с фотосинтезом при участии углекислого газа и/или анионов угольной кислоты, что приводит

к обызвествлению слизистых оболочек организмов. В палеозойских морских бассейнах древние цианобактерии имели широкое распространение в литоральной среде [Flügel, 2010].

Известковые водоросли — разнообразная группа водорослей, бентосного и нектонного образа обитания. Кальцитизация типична для данной группы организмов. Они способны потреблять углекислый газ из морской воды и вырабатывать карбонат кальция, который откладывается вокруг их тел. Особенности кальцитизации водорослей являются предметом дискуссий. Распространено мнение, что для известковых водорослей она имела несколько функций: прежде всего кристаллы кальцита позволяли водорослям получать больше света и питательных веществ, а также кальцитовые обрастания обеспечивали защиту слоевищ от хищников [Антошкина и др., 2014; Flügel, 2010].

## Кальцитизация и пустотно-поровое пространство

Фенестры — это диагенетические пустоты в тонко- и мелкокристаллическом карбонате. Данный термин был предложен Теббатом [Tebbutt, 1965] для обозначения полостей различного размера в карбонатных породах, открытого типа и/или заполненных кальцитом или микритом. Генезис фенестр может быть связан с осушением отложений в приливно-отливных условиях, а также с высушиванием микробяльных матов и дегазацией разлагающегося органического материала, связанного с уплотнением субсферических пузырьков газа. [Антошкина и др., 2014; Flügel, 2010] Кальцитизация в виде крустификационных корок характерна для крупных фенестровых пустот и других межслоевых заполнений [Фортунова и др., 2005; Flügel, 2010].

В исследуемом керновом материале встречаются многочисленные участки развития кавернозности, на которых нередко наблюдаются нарастания кристаллических щеток. Как видно на рисунке

(рис. 5), их формирование связано с синседиментационными деформациями слоев, сложенных тонкозернистым карбонатным материалом.

### Методы и материалы

Методика седиментологических исследований включает макроскопическое описание кернового материала карбонатного состава нескольких скважин, расположенных в пределах юго-западной части ВОСП и петрографический анализ шлифов с целью выделения структурных и текстурных особенностей [Фортунова и др., 2005; Dunham, 1962]. Общая протяженность исследованного кернового материала составляет 144 м, где отобрано 100 образцов, по которым выполнено описание шлифов. Керновый материал нескольких скважин предоставлен ООО «Газпромнефть-Оренбург».

Петрографическое изучение шлифов проведено на поляризационном микроскопе «БиОптик СР-400» в проходящем свете и с использованием скрещенных николей, и с изготовлением снимков шлифов в проходящем свете при увеличении 4х. Также выполнены снимки образцов при помощи сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega compact.

### Литологическая характеристика

Карбонаты фаменского возраста, вскрытые скважинами в пределах ВОСП, представлены несколькими литотипами известняков: нодулярно-слоистого строения, доломитизированного и фенестрового.

*Известняк нодулярно-слоистого строения (брекчиевидного)* характеризуются сложным литологическим строением. Порода представлена интракластами мелкокристаллического известняка в карбонатно-глинистом матриксе. Она содержит крупные реликты морской фауны: строматопор, кораллов, брахиопод, которые рассматриваются как продукты размыва органогенных построек. В керновом материале скважин нодулярно-слоистый известняк является основным литотипом, составляя до 70% разреза. Интракласты в брекчиях представлены вакстоуном с обрывками трубчатых водорослей *Kamaena*, а также мелкого криноидного детрита, раковин остракод, брахиопод, гастропод. Размер интракластов от 0.5 до 5.0 см, форма овальная со сглаженными углами. Матрикс брекчий карбонатно-глинистый, битуминозный, доломитизированный.



Рис. 1. Схематическое положение объекта исследований — юго-западная часть ВОСП

Fig. 1. Schematic position of the research object — the south-western part of the EOASU

*Известняк доломитизированный*, тонкокристаллический, тонкослоистый, содержащий небольшую терригенную примесь — вакстоун, который включает многочисленные реликты известковых водорослей рода *Kamaena*, а также раковины остракод. Для известняка характерны текстурные особенности, такие как горизонтальная тонкая слоистость и двойной характер приливно-отливных слоев.

*Известняк фенестровый*, тонкокристаллический, неяснослоистый. Ламинарно-фенестровый текстурный рисунок обусловлен чередованием тонких слоев, различных по структуре и составу. Нередко в литотипе отмечаются микробиялитовые прослои пластовой и кустистой формы (рис. 4). Слоистость подчеркнута фенестровыми пустотами вытянутой формы, размером от 1.2 до 7.0 см в длину. Микроскопически данный литотип представлен вакстоунами-пакстоунами сферово-сгустковыми (пелоидными с кальцисферами), содержащими трубчатые водоросли, кальцисферы, остракоды и гастроподы (рис. 2).

В разрезе наблюдается плавный переход от известняков фенестровых тонкокристаллических с редкими прослоями микробиялитов к известнякам мелкокристаллическим, фенестровым микробияльным и онколитовым. Микробиялиты представлены пластовыми и столбчатыми разновидностями — строматолитами, тромболитами, онколитами и т.п. Отмечаются послойно расположенные зональные «жилы», сложенные шесто-

ватым, углеводород-содержащим кальцитом, так называемая «текстура зебры» (см. рис. 5Б), а также пустоты типа «строматактис», также отличающиеся повышенным содержанием углеводорода (см. рис. 5 А, В) [Flügel, 2010]. Согласно [Flügel, 2010], генезис подобных текстур связан с лоферитовым комплексом карбонатных отложений приливно-отливной равнины верхней литорали.

Парагенетическая ассоциация фенестр и микробиальных образований, а также образование пустотного пространства среди микробиалитов указывают на периодические волновые воздействия и колебания уровня воды в приливно-отливной зоне. Предполагается, что микробиальные пленки служили упругим каркасом карбонатного ила, целостность которого была нарушена синседиментационными деформациями, вероятно, в результате волновых воздействий [Flügel, 2010]. Последующее осушение территории способствовало развитию фенестр в карбонатах и других разновидностей пустот среди микробиалитов.

### Кальцитизация в фенестровых известняках верхнефаменского возраста юго-западной части ВОСП

Кальцитизация развита преимущественно в слоистых микробиалитах и представлена блоковым кальцитом. Блоковый кальцит залечивает все первичные пустоты, как мелкие, так и более крупные. Данный процесс является распространенным, снижающим емкостные свойства пород.

Также выделяется отдельный тип кальцитизации — крустификация. Развитие крустификационных корочек характерно для органогенного и фенестрового литотипов [Flügel, 2010]. Полости, заполненные крустификационными корками, биогенного или синседиментационного характера, являются характерным признаком для карбонатов рифового типа [Flügel, 2010]. Крустификации подвержены как скелетные, так и мягкотелые организмы — биогенные корки на верхней поверхности колониальных окаменелостей или внутри полостей и каверн образуются бентосными и нектонными организмами, включая бактерии, водоросли, фораминиферы, губки, мшанки, кораллы, а также моллюски. Корочками покрываются как одиночные, так и колониальные организмы. Крустификационные корочки на колониальных организмах демонстрируют различные формы роста [Flügel, 2010], включающие линейные формы (например, некоторые мшанки), листы, холмики,

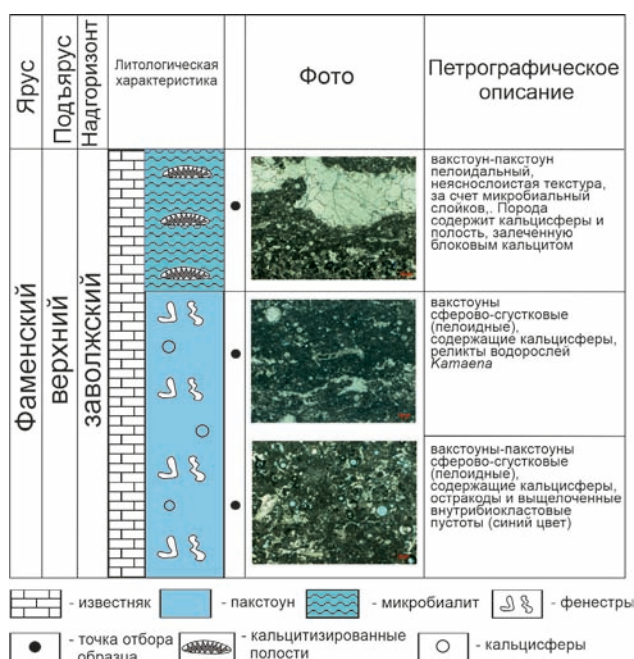


Рис. 2. Литологическая колонка фрагмента верхнефаменского разреза скважины 1

Fig. 2. Lithological column of a fragment of the Upper Famen section of well 1

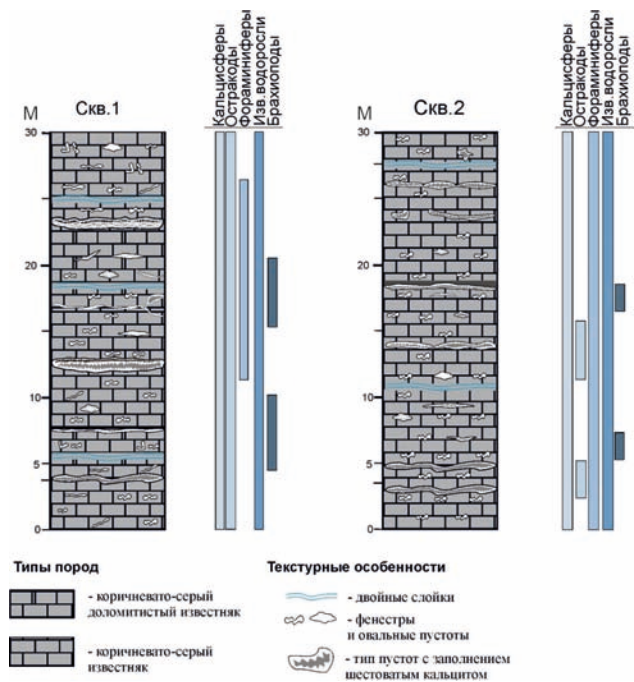


Рис.3. Фрагменты верхнефаменского разреза скважин 1 и 2, отражающие распространение пустотно-порового пространства и групп организмов, парагенетически взаимосвязанных с кальцитизацией

Fig.3. Fragments of the Upper Famen section of wells 1 and 2, reflecting the distribution of void-pore space and groups of organisms paragenetically interconnected with calcification

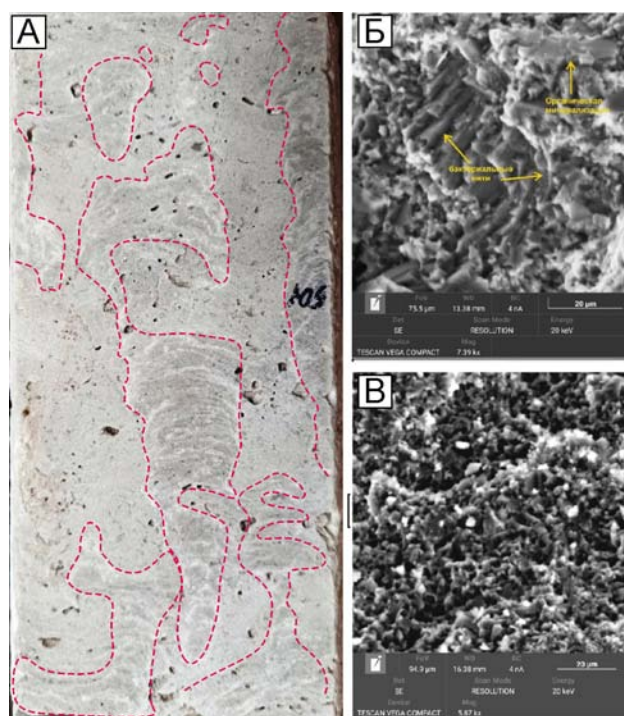
пластины (с заостренными основаниями), лианы (от линейных до разветвленных, полустоячих форм) и деревья (прямостоячие формы). Пластовая и холмистая формы распространены среди рифовых отложений, образующих корки, ориентированные параллельно основанию. Обилие таких форм указывает на плотное скопление тел организмов в пределах площади осадконакопления. Преобладание же вертикально ориентированных кристификационных корок указывают на плохое поступление осадков (или перерыв в осадконакоплении) на этапе седиментогенеза [Flügel, 2010].

### Структура строматактис

В микробильных прослоях обильно встречаются полости, отвечающие строению структуры «строматактис» — полости специфического строения с ровным «дном», где наблюдается послойное микритовое заполнение и неровная, «крыша» с зубчатым строением по краям [Flügel, 2010]. Заполнение радиально-лучистым кальцитом, нередко бурого цвета. Наблюдаются как овальные одиночные формы, так и вытянутые. Строматактисовое заполнение бурым кальцитом затрагивает только микробильные прослои в фенестровом литотипе и отсутствует в фенестровых разности. Явление кальцитизации по типу строматактис широко распространено в верхней части пласта, и, поскольку оно связано с бурым, нефть-содержащим кальцитом, вероятно, оказывает определенное влияние на общую нефтенасыщенность и фильтрационные свойства. Строматактисовые прожилки, как правило, обладают очень малой прочностью (возможно из-за нефтенасыщения) и по ним нередко происходит формирование трещин.

Генезис текстуры строматактис дискусионен. Основной вопрос заключается о причинах образования такой неординарной формы. Является ли строматактис отражением тафономического процесса или же полость образовалась в результате хемогенного выветривания [Flügel, 2010].

Биогенная версия предлагает несколько вариантов. Первый вариант предполагает образование полости в результате скопления организмов-фильтраторов. Основным критерием этой версии являются встречаемость строматактиса совместно с реликтами губок. Второй вариант предполагает микробильную природу строматактиса: в связи с ассоциацией бактериальных матов с пелоидальными известняками, третья модель предполагает расширение и деформацию мягких отложений, связанные с оседанием.

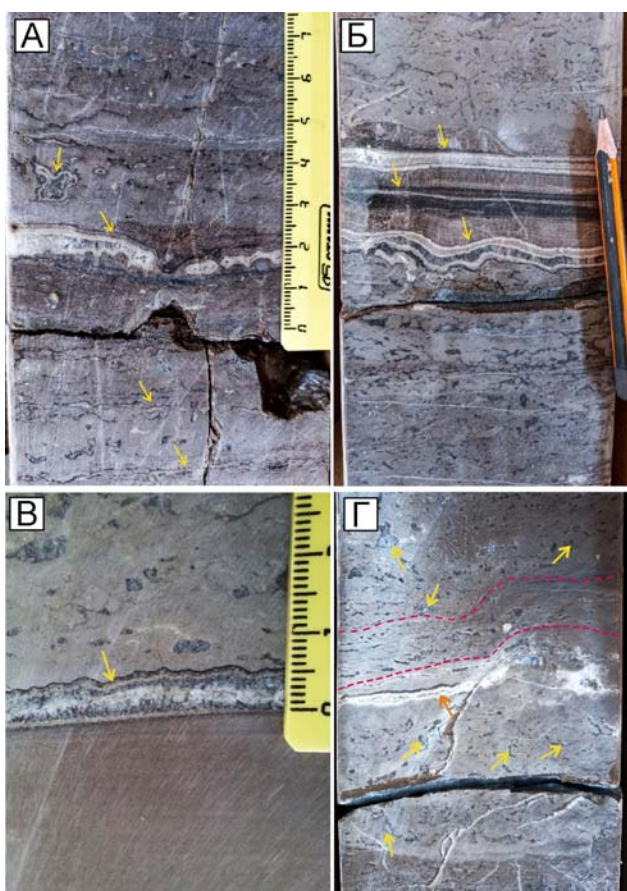


**Рис. 4.** Микробильный прослой в разрезе скважины 2. А — Строматолиты кустистой формы (выделены пунктирной красной линией); Б, В — Микрофотографии, выполненные на сканирующем электронном микроскопе, отражают элементы бактериального генезиса

**Fig. 4.** Microbial layer in the section of the well 2. A — Bushy stromatolites (highlighted with a dotted red line); Б, В — Micrographs made with a scanning electron microscope reflecting shaped elements of bacterial genesis

Абиогенная версия предполагает варианты: разрушения карбонатных гелей, литифицирование корок-пластин с межкристаллитными слоями, заполненными цементом, а также образование текстур в связи с распадом газовых гидратов. Сведения о структуре строматактис суммированы Э. Флюгелем [Flügel, 2010].

Как видно из предоставленных фото (см. рис 3, 4, 5), на рассматриваемом участке структуры «строматактис» и «зебра» возможны, если карбонатный ил был скреплен каким-то гибким каркасом. Вероятнее всего, слойки представляли собой бактериальные маты, состоящие из кальций-фиксирующих бактерий — кальцимикробов. Возникавшее в результате смятия или отрыва мата пустое пространство быстро закристаллизовывалось шестоватым кальцитом. Такой же процесс, вероятно, происходил и в крупных фенестрах. Из-за обилия бактерий первая генерация кальцита захватывала



**Рис. 5. Известняк микробалитовый фенестровый с послойно расположенными зональными жилами, сложенными чередованием шестоватого белого и УВ-содержащего кальцита. Аналогичные агрегаты белого и бурого кальцита выполняют крупные фенестровые полости. А, Б, В — скважина 1; Г — скважина 2. А, В — структура строматактис; Б — структура «зебра»**  
Условные обозначения: желтыми стрелками отмечены заполненные бурым кальцитом пустоты в микробальном прослое; оранжевой стрелкой отмечена полость, заполненная крустификационным кальцитом.

Стрелками отмечены синседиментационные деформации (смятия и оползания) слоев микритового известняка; Пунктирной линией выделено микробальное тело, подверженное синседиментационной деформации (смятие).

**Fig. 5. Microbialite fenestral limestone with layered zonal veins composed of alternating shaggy white and hydrocarbon-containing calcite. Similar aggregates of white and brown calcite perform large fenestration cavities. А, Б, В — well 1; Г — well 2. А, В — the stromatactis structure; Б — the zebra structure**

Legend: — yellow arrows indicate voids filled with brown calcite in the microbial layer. The orange arrow marks the cavity filled with croustification calcite.

The arrows indicate synsedimentation deformations (crumpling and sliding) of micrite limestone layers; The dotted line highlights the microbial body, which is subject to synsedimentation deformation (crumpling).

органическое вещество во время кристаллизации, в результате возникла его коричневато-бурая разновидность (УВ-содержащий кальцит). Слойки, сложенные пелитоморфным тонкозернистым карбонатным материалом можно диагностировать как бактериальный мат (см. рис. 2, 3).

## Выводы

Кальцитизация является широко распространенным вторичным диагенетическим и постдиагенетическим процессом в карбонатных породах. Она характерна для мелководных обстановок осадконакопления и тесно связана с жизнедеятельностью простейших групп организмов, обитающих на мелководном шельфе.

Фаменские отложения юго-западной части ВОСП представлены известняками трех литотипов: нодулярно-слоистого строения, доломитизированного и фенестрового. Кальцитизация широко развита в фенестровом литотипе, в микробальных прослоях и представлена заполнением фенестр блоковым кальцитом, развитием крустификационных корочек, обрастанием каверн кристаллической щеткой и развитием специфичных структур «зебра» представляющей собой чередование белого бурого углеводород-содержащего шестоватого кальцита и структуры «строматактис» отличающего специфичной формой и также представляющего собой чередование белого и бурого кальцита ламинарного и шестоватого типов.

Таким образом, кальцитизация — типичный постседиментационный процесс для карбонатных отложений верхнефаменского возраста, среди микробальных прослоев фенестрового литотипа. Согласно литературным источникам и литологическим исследованием кернового материала скважин, кальцитизация зависит от комплекса факторов, таких как скорость осадконакопления, структурная сложность отложений, гидродинамическая активность, частота осушений и наличие органогенных пленок. Так как мелководные обстановки бассейна осадконакопления благоприятны для развития широкого спектра групп организмов, прежде всего микробов, кальцитизация зачастую тесно взаимосвязана с жизнедеятельностью организмов. На биологический контроль кальцитизации в керне указывают характерные ламинарные, волнистые микритовые прослои (микробалиты) и обилие сгустков известковых водорослей, хорошо наблюдаемых на микроскопическом уровне.

## Список литературы

Антошкина А. И., Пономаренко Е. С., Канева Н. А. Фенестровые известняки — специфика позднедевонских морей, Тимано-Североуральский регион // Литология и полез. ископаемые. 2014. № 6. С. 493–505.

Геологическое строение и нефтегазоносность Оренбургской области. Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 1997 272 с.

Стратиграфическая схема верхнедевонских отложений Волго-Уральского субрегиона. Объяснительная записка. М.: ВНИГНИ, 2016. С. 14–16.

Фортулатова Н. К., Карцева О. А., Баранова А. В., Агафонова Г. В., Офман И. П. Атлас структурных компонентов карбонатных пород. М.: ВНИГНИ, 2005. 440 с.

Dunham R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture // Classification of carbonate rocks: American Association of Petroleum Geologists. / Ed. W. E. Ham. 1962. V. 1. P. 108–121.

Flügel E. Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and applications // Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York, 2010. 984 p.

Tebbutt, G. E., Conley, C. D., Boyd, D. W.: Lithogenesis of a carbonate rock fabric. — Contributions to Geology, 1965. 4, 1–13

## References

Antoshkina A. I., Ponomarenko E. S., Kaneva N. A. (2014) Fenestral limestones — the specifics of the Late Devonian seas, Timan-North Ural region. Lithology and history. Fossils, (6), 493–505. (In Russian).

Geological structure and oil and gas potential of the Orenburg region (1997) Orenburg: Orenburg Book Publishing House. 272 p. (In Russian).

Stratigraphic scheme of the Upper Devonian sediments of the Volga-Ural subregion. Explanatory note (2016). M.: FSBI «VNIGNI». 14–16 p. (In Russian).

Fortunatova N. K., Kartseva O. A., Baranova A. V., Agafonova G. V., Ofman I. P. (2005) Atlas of structural components of carbonate rocks. M.: VNIGNI. 440 p. (In Russian).

Dunham R. J. (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture. Classification of carbonate rocks: American Association of Petroleum Geologists. / Ed. W. E. Ham. V. 1. P. 108–121.

Flügel E. (2010) Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and applications. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York. 984 p.

Tebbutt, G.E., Conley, C.D., Boyd, D.W.: Lithogenesis of a carbonate rock fabric. – Contributions to Geology, 1965. 4, 1-13

## Сведения об авторе:

**Сагдеева Нурия Сабировна**, младший научный сотрудник Института геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. sag-nyrija@mail.ru

## About the author:

**Sagdeeva Nuriya Sabirovna**, junior researcher, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. sag-nyrija@mail.ru

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.  
The author declares no conflicts of interests.*

Статья поступила в редакцию 27.08.2024; одобрена после рецензирования 06.09.2024; принята к публикации 01.10.2024

The article was submitted 27.08.2024; approved after reviewing 06.09.2024; accepted for publication 01.10.2024