

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Поступила в редакцию 30.10.2025 г.

Принята к публикации 19.12.2025 г.

EDN: EZGFJE

УДК 552.541:579.2:551.735.1(470.13)

Сандула А.Н., Шадрин А.Н.

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия, sandula@geo.komisc.ru, anshadrin@geo.komisc.ru

МИКРОБИОЛИТЫ ИЗВЕСТНИКОВОГО ТИПА РАЗРЕЗОВ ВИЗЕЙСКО-СЕРПУХОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ Р. УНЬЯ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)

Представлены результаты исследований формы выделения, распределения и условий образования микробиолитов в визейско-серпуховских отложениях известнякового типа, развитых на юго-восточном ограничении Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна (разрез «Унинская пещера», р. Унья, Северный Урал). Установлено, что микробиолиты подразделяются на обособленные формы (микросгустки, бактериальные биопленки, колонии цианобактерий), оолиты, онколиты, строматолиты, тромболиты и дендролиты. Снизу вверх по разрезу меняется их состав и количество. Относительно глубоководные визейские известняки содержат только обособленные микробиальные формы в небольших количествах. Мелководные породы верхней части косогорского горизонта серпуховского яруса – столбчатые и пластовые строматолиты. Крайне мелководные отложения протвинского горизонта серпуховского яруса – оoidsы, строматолиты, тромболиты и дендролиты. Сделано предположение, что к началу протвинского времени в районе развития разреза «Унинская пещера» сформирована мелководно-отмельная зона.

Ключевые слова: микробиолиты, известняковый тип разреза, визейский и серпуховский ярусы, Северный Урал.

Для цитирования: Сандула А.Н., Шадрин А.Н. Микробиолиты известнякового типа разрезов визейско-серпуховских отложений р. Унья (Северный Урал) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2025. - Т.20. - №4. - https://www.ngtp.ru/rub/2025/48_2025.html EDN: EZGFJE

Введение

В палеозойской истории геологического развития выделяется несколько этапов рифообразования [Кузнецов, 2020]. В поздневизейско-серпуховском этапе кроме скелетных рифостроителей принципиальное значение имели разнообразные водоросли и микробные сообщества [Кузнецов, Антошина, 2005]. Однако несмотря на то, что на северо-восточном ограничении Европейской платформы этот этап проявился практически на всем протяжении Печорского Урала, на Пай-Хое и Новой Земле, в пределах Верхнепечорского палеобассейна¹ масштабные органогенные сооружения данного возраста не отмечены. Встречаются лишь небольшие биогермы и постройки незначительной мощности в верховье р. Унья и в среднем

¹ Верхнепечорский палеобассейн существовал в каменноугольно-раннепермское время на территории бассейна верхней Печоры (рр. Унья, Печора, Ильч, Северный Урал) в пределах Верхнепечорской впадины Предуральского краевого прогиба и Верхнепечорского поперечного опускания Западной складчатой зоны Урала [Сандула, 2023].

течении р. Илыч (в районе ск. «Лёк-из»²) [Пономаренко, Иванова, Сандула, 2015; Шадрин, Иванова, Пономаренко, 2023]. По своему составу, строению и микроструктурным признакам они являются слоистыми или неслоистыми микробиолитами³ – органоседиментационными образованиями, сформировавшимися под контролем бентосных микробных сообществ, за счет обызвествления биопленок, улавливания осадка и биоиндуцированного карбонатонакопления в процессе переработки органической материи и свободного органического вещества [Burne, Moore, 1987; Riding, 2011]. Их конструирование обычно протекает в литоральных и сублиторальных условиях [Flügel, Hillmer, Scholz, 1993; Flügel, 2010]. В связи с чем обнаружение и идентификация микробиолитов в изученных разрезах имеет важную роль в определении условий осадконакопления и реконструкции палеогеографии Верхнепечорского моря, располагавшегося на юго-восточной оконечности Тимано-Печорского осадочного бассейна.

Материал и методы исследований

Разрез «Уньинская пещера»⁴ расположен на юго-востоке верхней Печоры, в верхнем течении р. Унья, на правом берегу, в 3 км выше устьев Дубровок, в 300 м выше Большого пещерного острова (рис. 1). Вскрытые здесь нижнекаменноугольные отложения представлены известняковым типом разреза [Шадрин, Сандула, 2019]. В его строении участвуют преимущественно биокластовые известняки, часто с заметным содержанием крупной органики (отдельные створки и ядра брахиопод, колонии кораллов и губок). Доломитизация и окремнение отмечается крайне редко. Примечательно, что южнее в Колво-Вишерский крае на данной долготе наблюдается известняково-доломитовый тип разреза [Чочиа, 1955], а севернее в верхнем течении р. Печора – известняково-брекчийский [Варсаноффьева, 1965].

Нижнекаменноугольные отложения разреза «Уньинская пещера» авторами детально описаны в ходе полевых работ 2004 и 2014 гг. Ранее уточнено их стратиграфическое расчленение [Пономаренко, Иванова, Сандула, 2015], определены литологическая характеристика и ход эволюции осадконакопления [Шадрин, Сандула, 2004, 2010, 2020; Шадрин, 2011; Сандула, Шадрин, 2025]. Для характеристики морфологии и текстурно-структурных особенностей изготовлены полировки отобранных образцов, для детального

² Группа скал (геологический памятник природы), расположенная в среднем течении р. Илыч, в 7 км выше устья р. Испередью.

³ В некоторых публикациях встречается написание термина «микробиолиты» по [Burne, Moore, 1987], однако согласно российской классификации осадочных пород употребляется термин «микробиолиты» [Кузнецов, Журавлева, 2022а; Геологический словарь..., 2012].

⁴ Свое название разрез получил по наименованию геологического памятника природы «Уньинская пещера».

изучения микроструктуры и состава их компонентов – ориентированные шлифы пород.

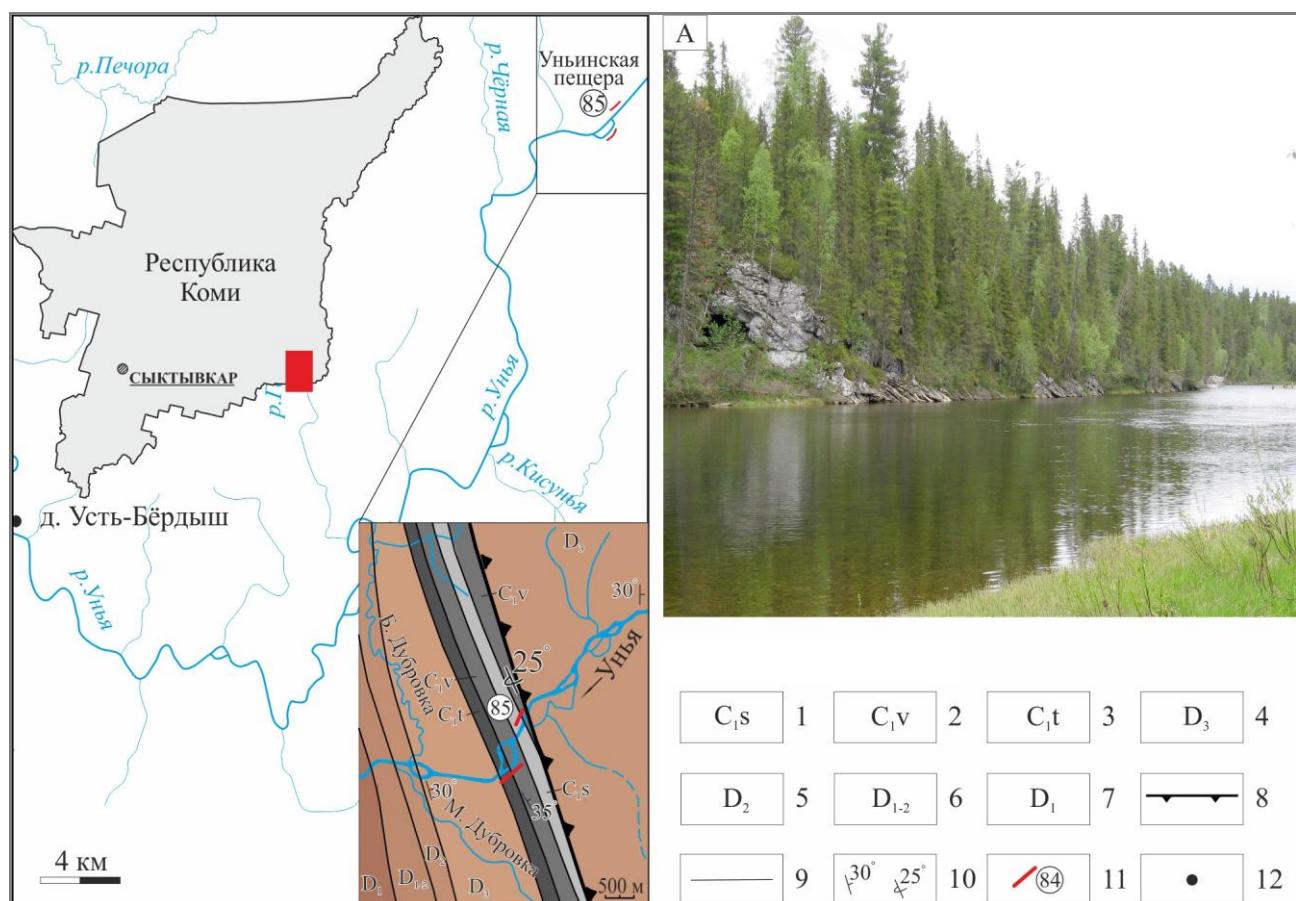


Рис. 1. Местоположение разреза «Унинская пещера» (А) в бассейне р. Унья и схема геологического строения района работ (составлена авторами с использованием материалов [Варсанофьева, 1933; Калашников, 1970; Варсанофьева, Калашников, Липина, 1990; Государственная геологическая..., 2008])

1-3 - нижний карбон: серпуховский (1), визейский (2) и турнейский (3) ярусы; 4-7 - верхний (4), средний (5), нижний-средний нерасчлененный (6) и нижний (7) девон; 8 - шаръяж; 9 - геологические границы; 10 - элементы залегания; 11 - обнажения и их номера [Варсанофьева, 1933]; 12 - населенный пункт.

Описание разреза

В разрезе «Унинская пещера» можно наблюдать породы верхней части михайловского и веневского горизонтов визейского яруса, косогорского и противинского горизонтов серпуховского яруса (рис. 2) [Пономаренко, Иванова, Сандула, 2015]. Слои имеют опрокинутое залегание, разрез наращивается сверху вниз по реке.

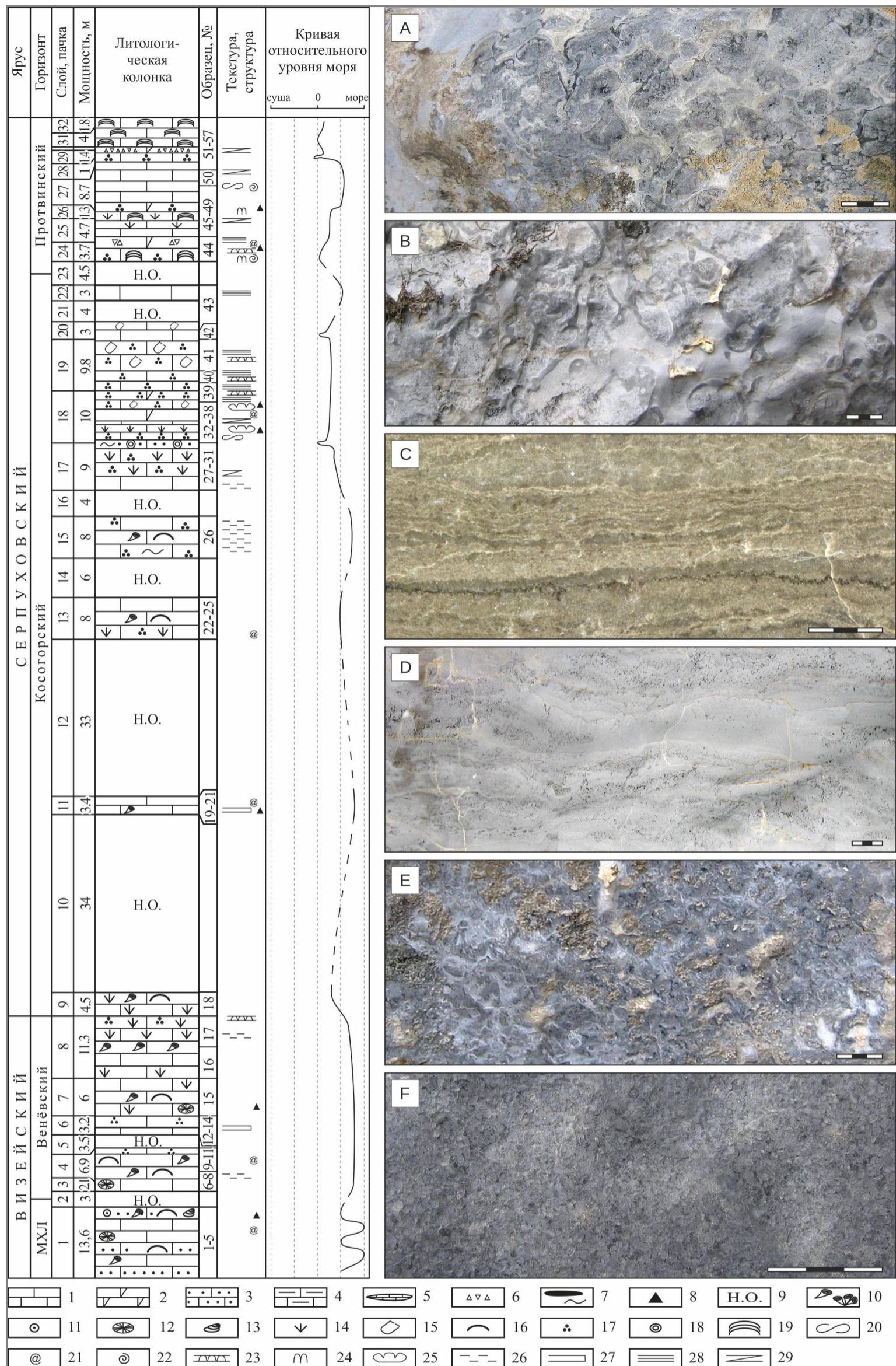


Рис. 2. Литолого-стратиграфический разрез нижнекаменноугольных отложений обн. 85 на р. Унья с кривой колебания уровня моря

Чис. 2. Анголито-строматолитический разрез нижнекаменноугольных отложений юж. Урала с кривой колебания уровня моря

A-F - структурно-текстурные особенности известняков с микробиолитами: A - хаотично-пятнистая текстура микробиальных известняков (н. 31, участок отбора обр. У85/55); B - скопления столбиков строматолитов и дендролитов, окруженные темными микритовыми оболочками (н. 27, У85/47-1); C - ламинарная слоистость пластовых строматолитов (пришлифовка обр. Ун85/54 из коллекции А.И. Елисеева сбора 1972 г., н. 19, участок отбора обр. У85/41); D - волнисто-слоистая текстура микрокомковато-сгустковых известняков (н. 19, участок отбора обр. У85/39-4-39-6); E - пятнистая и фенестровая текстуры микробиальных известняков (н. 18, участок отбора обр. У85/33); F - массивная текстура оолито-литокластового известнякового песчаника (н. 1, участок отбора обр. У85/1). 1 - известняк; 2 - известняк доломитизированный; 3 - органогенно-обломочный известняковый песчаник; 4 - известняк глинистый; 5 - линзы известняка; 6 - литокласти; 7 - кремневые образования (желваки и выборочное окремнение); 8 - флюорит; 9 - не обнажено; 10 - кораллы (колониальные и одиночные); 11 - криноиды; 12 - губки; 13 - гастраподы; 14 - водоросли; 15 - серпулы, 16 - створки брахиопод; 17 - бактериальные образования; 18 - оoidsы; 19 - строматолиты; 20 - следы ихнофоссилий, биотурбация; 21-25 - формы выделения микробиолитов (21 - желвачки, колонии, 22 - онколиты, 23 - пластовые, 24 - столбчатые, 25 - биогермы); 26-29 - слоистость (26 - неясно выраженная, 27 - горизонтальная, 28 - тонкая, 29 - линзовидная). МХЛ - михайловский горизонт визейского яруса. Масштабная линейка равна 1 см.

Визейский ярус, михайловский горизонт (13,6 м, видимая)

1. Массивные известняки, мелко-среднебиокластовые, криноидно-фораминиферовые.

Мощность пачки – 13,6 м.

В составе пород отмечается обилие ядер брахиопод размером до 10 см, обломков колониальных кораллов (до 15 см) и губок. Их количество возрастает вверх по разрезу от единичных экземпляров до скоплений в отдельных пластах. В отдельных слоях наблюдаются известняковые биокластовые песчаники (рис. 2F). Их структурные компоненты имеют тот же состав, что и во вмещающих породах, однако детрит хорошо окатан, сортирован, слабо гранулирован и часто окружен тонкими микритовыми оболочками.

2. Не обнажено. Мощность пачки – 3 м.

Веневский горизонт (33 м)

3. Толстоплитчатые (по 0,4-0,5 м) серые известняки, шламовые, микрокомковатые и пелитоморфные, с брахиоподами и колониями губок *Chaetetes*. Мощность пачки – 2,1 м.

4. Толстоплитчатые серые известняки, средне-грубобиокластовые. Мощность пачки – 6,9 м.

В пластах по отдельным прослойям наблюдаются скопления крупных брахиопод, единичные шаровидные (до 25 см в поперечнике) колонии губок *Chaetetes* и кораллов *Rugosa* (частично доломитизированные), а также прослои известняков микрокомковато-сгусткового строения.

5. Не обнажено. Мощность пачки – 3,5 м.

6. Толстонапластованные серые известняки, брахиоподово-биокластовые, с большим количеством кораллов (в основании пачки). Мощность пачки – 3,2 м.

7. Массивные трещиноватые серые известняки, средне-грубобиокластовые, с редкими крупными (до 15 см) створками брахиопод и обломками веток кораллов. Мощность пачки – 6,0 м.

В составе пород детрит занимает не более 20-30% от общего объема, основная часть – это микрокомковато-сгустковый или шламовый матрикс (70-80%).

8. Пластовые серые известняки с неясно выраженной слоистостью. Мощность пачки – 11,3 м.

В основании пачки породы представлены шламовыми и шламово-мелкобиокластовыми типами, в матриксе которых присутствует заметное количество микробиальных комков и сгустков. Вверх по разрезу среди структурных компонентов отмечается постепенное увеличение доли талломов зеленых водорослей *Kamaena delicata* Anthr., *Palaeoberesella lahuseni* (Moell.), *Crassikamaena foraminosa* Brenckle, *Nanopora fragilissima* Masl., *Proninella* sp., *Kulikia kunarensis* R. Ivan., *Epimastopora* sp., *Asphalatinella horowitzi* Mamet et Roux,

Calcifolium okense Schvetz. et Bir., *Fasciella kizilia* R. Ivan. [Пономаренко, Иванова, Сандула, 2015]. Породы становятся мелкобиокластово-водорослевыми, с литокластами микрокомковатых карбонатов. В кровле пачки выступает слой (0,1 м) пятнисто-узорчатого фенестрового микробиолита, с микрокомковато-сгустковой структурой.

Серпуховский ярус, косогорский горизонт (141,7 м, с учетом продолжительных не обнаженных участков в нижней части горизонта и выше кровли)

9. Массивные светло-серые биокластово-водорослевые известняки с множеством разнообразных кораллов и мелких брахиопод. Мощность пачки – 4,5 м.

10. Не обнажено. Мощность пачки – 34,0 м.

11. Трециноватые толстоплитчатые темно-серые известняки, биокластовые и биокластово-водорослевые. Мощность пачки – 3,4 м.

В средней части выступает пласт (1 м) кораллового (сирингопорового) известняка с микрокомковато-сгустковыми прослойками толщиной до 15 мм.

12. Не обнажено. Мощность пачки – 33,0 м.

13. Плитчатые серые и темно-серые слоистые известняки, шламово-мелкобиокластовые и мелко-среднебиокластовые, с большим количеством брахиопод, частыми колониями губок и кораллов. Мощность пачки – 8,0 м.

14. Не обнажено. Мощность пачки – 6,0 м.

15. Серые тонкозернистые известняки, шламовые и мелкокомковато-сферовые. Мощность пачки – 8,0 м.

В пачке встречаются прослои с брахиоподами, остатками кораллов *Rugosa* (иногда окремненные) и небольшими колониями *Syringopora*. Один из пластов нацело сложен колониями кораллов *Lithostrotion*.

16. Не обнажено. Мощность пачки – 4,0 м.

17. Чередование пачек известняков с толстоплитчатым (1,5-4 м) и тонкоплитчатым (до 0,6 м) напластованием. Мощность пачки – 9,0 м.

Породы слоистые, пятнисто-узорчатые, микрокомковато-пелитоморфные, с различным содержанием мелко-среднебиокластового материала (от 1% в основании до 40% в кровле). Слоистость на микроуровне подчеркивается наличием значительного количества фенестр (тонких извилистых, ~0,05-0,1*1-20 мм). В одном из пластов верхней части интервала встречены водорослевые известняки, сложенные преимущественно обрывками и целыми талломами красных водорослей *Ungdarella* со спаритовым цементом.

18. Плитчатые (по 0,1 м) биокластово-водорослевые известняки с прослойями и линзами микробиолитов. Мощность пачки – 10,0 м.

Основная часть пород пачки представлена горизонтально слоистыми

мелкобиокластовыми разностями, сложенными преимущественно дегритом зеленых водорослей (до 60%) и примесью биокластов (менее 10%). Матрикс пород образован микробиальными комочками и сгустками размером 0,03 мм. В подошве пачки наблюдается слой (0,6 м) частично окремненного оолитово-литокластового песчаника с градационной сортировкой структурных компонентов, в средней части отмечается повышенное содержание мелких члеников криноидей и колонии кораллов *Lithostrotion*, а также линза (0,4*2,5 м) биогермного серпулового известняка, переходящего в прослой литокластового песчаника. Микробиальные известняки встречены в нижней части – фенестровые биогермы (тромболиты⁵) с невыраженной ламинарной слоистостью (рис. 2Е) (линзы до 0,3*3 м) – и в кровле пачки – чередование тромболитов и строматолитов с редкими серпулами (рис. 2Д) (линзы до 0,1*1,5 м).

19. Плитчатые (по 0,2-0,4 м) известняки, микробиальные, неравномерно-ламинитовые (рис. 2С), в отдельных слоях со сплющенными серпулами (до 20%). Мощность пачки – 9,8 м.

20. Тонкоплитчатые пелоидные и водорослево-мелкобиокластовые известняки прослойми с большим количеством серпул. Мощность пачки – 3,0 м.

21. Не обнажено. Мощность пачки – 4,0 м.

22. Плитчатые (по 0,2 м) тонкослоистые известняки, шламовые и мелкобиокластовые. Мощность пачки – 3,0 м.

23. Не обнажено. Мощность пачки – 4,5 м.

Протвинский горизонт (29,6 м)

24. Серые органогенные известняки с микробиальными образованиями. Мощность пачки – 3,7 м.

Известняки, пятнистые, крупно-желвачковые, тонкослоистые, представлены преимущественно мелко-биокластово-шламовыми разностями, включающими фрагменты пелеципод, гастропод, брахиопод и обрывки зеленых водорослей *Koninckopora*, *Fasciella* и *Claracrusta*. Микробиальные образования (онколиты, биогермы до 50-60 см в поперечнике, столбчатые строматолиты размером 0,3-1*3 см) могут занимать значительную часть от объема породы (30-40%).

25. Серые средне- и мелкобиокластовые известняки с редкими обломками (до 5-8 мм) микробиально-водорослевых строматолитов. Мощность пачки – 4,7 м.

26. Плитчатые (по 0,5-0,6 м) серые мелкобиокластово-шламовые известняки с многочисленными мелкими столбчатыми строматолитами (рис. 2В). Мощность пачки – 1,3 м.

⁵ Тромболиты – микробиальные породы с массивной (неслоистой) текстурой и сгустковой (комковато-сгустковой) структурой, состоящей из дискретных колоний или форм роста преимущественно коккоидных сообществ [Kennard, James, 1986].

27. Чередование серий светло-серых толстоплитчатых (по 0,6-1 м) и темно-серых тонкоплитчатых (по 5-15 см) известняков, шламово-мелкобиокластовых. Мощность пачки – 8,7 м.

По составу детрита породы разных серий аналогичны друг другу: шлам – 30%; мелкий детрит (форамииниферы, обрывки водорослей *Kamaena minuta* R. Ivan., *Koninckopora* sp., обломки мшанок и брахиопод) – (до 40%); обломки микрокомковато-пелитоморфных известняков с крупными фрагментами гастропод, мшанок и члеников криноидей – до 5-7%; единичные онколиты. Толстонапластованные известняки обычно имеют массивную текстуру, тонконапластованные – пятнистую с признаками биотурбации, иногда тонкослоистую. В основании пачки известняки частично доломитизированы (до 10%).

28. Темно-серый мелкозернистый известняк с многочисленными более светлыми « пятнами » (участками до 0,6 м) тонкоузорчатого строения (рис. 3). Мощность пачки – 1,0 м.

На темных участках порода слоистая, сложена микробиальными комками и сгустками размером 0,05-0,1 мм (доля тонкой фракции – до 50%, мелкой – 25-30%), а также единичными створками остракод, ниточками гирванелл и сферами с тонкими крустикационными пленками (см. рис. 3В, С). Цемент по отдельным слоям поровый дисмикритовый или базальный спаритовый крупнозернистый кальцит.

Светлые участки (« пятна ») не имеют четких очертаний и хаотично расположены по объему породы. В их пределах порода представлена мелкозернистым тонко- крустикационным биоцементолитом, по ряду признаков образованного, вероятно, в результате изменения вмещающего известняка в субаэральной обстановке. Так как структурно-текстурные характеристики напоминают те, что наблюдаются на сопредельных участках, отмечаются срезы почек палеомикрокодий [Антошкина, 2014], залеченные поры (1-3 мм, до 20%) неправильной формы, часто с тёмными микрозернистыми ватерпасами (см. рис. 3Е-Ф).

29. Светло-серые линзовидно-наслоенные (0,1x0,25 м) мелкообломочные известняковые конглобрекции, слабодоломитизированные. Мощность пачки – 1,4 м.

Литокласти представлены фрагментами тонко-микрозернистых и микрокомковатых известняков и тонкоузорчатых биоцементолитов, встречающихся в подстилающих слоях. Обломки в основной массе мелкие (0,3-3 см), округлые. Матрикс – микрокомковато-сгустковая масса с известняковыми литокластами (20-30%, 0,25-0,5 мм) и тонкими мелкими (до 2 мм) створками и обломками пелеципод (до 10%).

30. Тонкослоистый известняковый песчаник (обр. У85/54-3). Мощность пачки – 0,5 м.

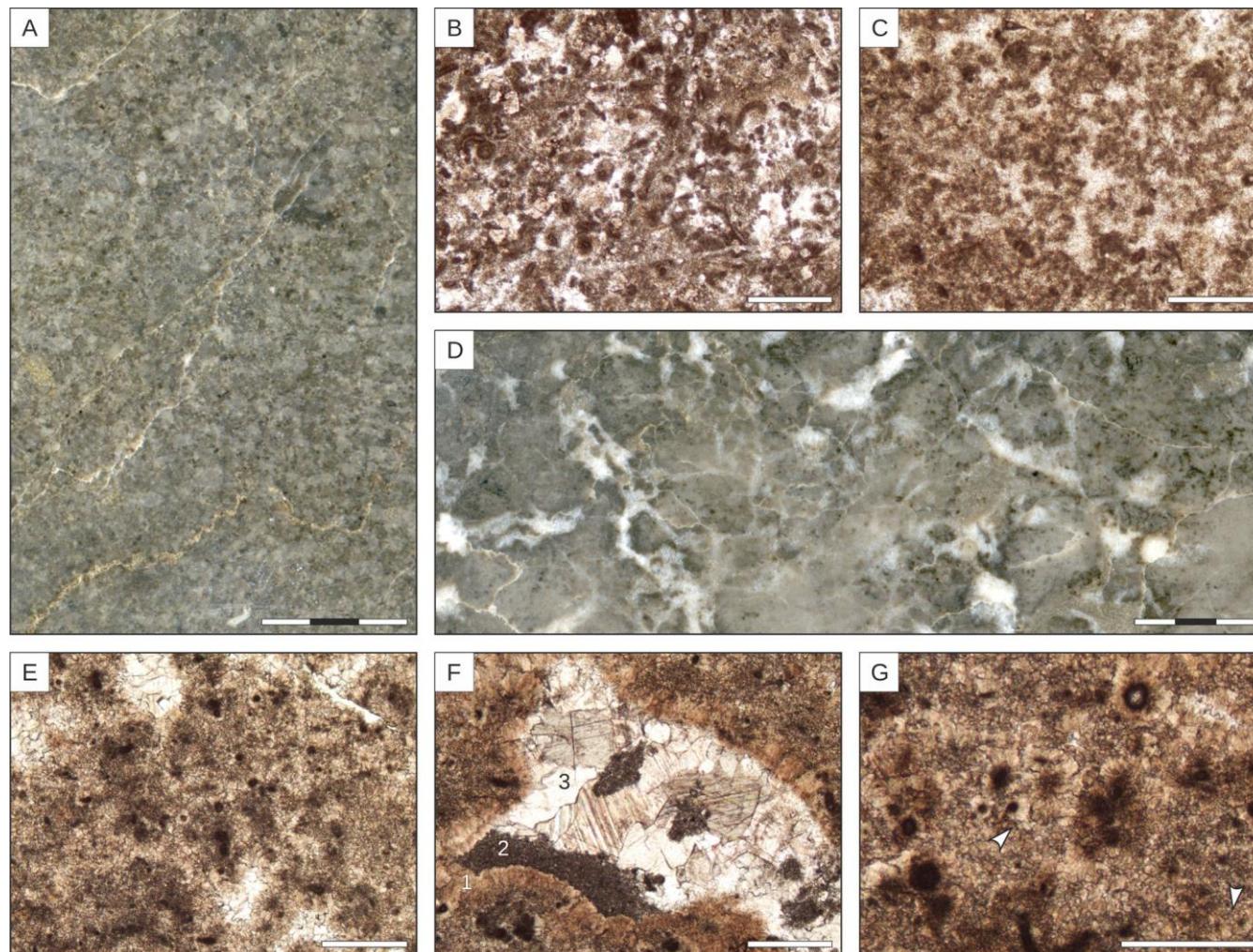


Рис. 3. Фото особенностей строения комковато-сгустковых известняков и признаков их субаэрального выветривания (пачка 28)

A, D - фото пришлифовок пород с темных (A, обр. У85/53-1) и со светлых (D, D-G, обр. У85/53) участков. Микрофотографии шлифов: B-C - комковато-сгустковая (B) и сгустковая (C) структура неизмененных известняков (обр. У85/53-1); E - комковато-сгустковая структура после перекристаллизации (обр. У85/53); F - заполнение полости выщелачивания кrustификационным фиброзным кальцитом (1), известковым илом (2) и яснокристаллическим (3) кальцитом (обр. У85/53); G - срезы розеток палеомикрокодий (стрелки) в микрозернистом известняке (обр. У85/53). Масштабная линейка равна 1 см (A, D) и 500 мкм.

Порода сложена хорошо окатанными (круглыми и изогнуто-овальными) обломками пелитоморфных известняков (0,25-0,5 мм, ~ 60%). Песчинки в породе скреплены пленочным менисковым и поровым спаритовым среднезернистым кальцитом.

31. Серые микробиальные известняки (см. рис. 2А). Мощность пачки – 4,0 м.

Структура пород микрокомковато-желвачковая. В нижней части они линзовидно (0,15*0,6 м) переслаиваются с известняковыми песчаниками, аналогичными подстилающим. В верхней части наблюдается пластовое налегание пород. В пластах основную роль играют строматолитовые биогермы (толщиной до 0,5 м), сочетающиеся по латерали с мелкообиокластово-шламово-микрокомковатым известняком. Микробиолиты имеют волнисто-слоистое строение, образованное нарастающими друг на друга слоевищами *Ortonella*.

32. Светло-серые псевдообломочные известняки. Мощность пачки – 1,8 м.

Псевдообломочная структура породы обусловлена наличием в породе биостромов (высотой до 8 см), образованных тонкостолбчатыми микробиолитами, и многочисленных ядер мелких брахиопод (до 2 см).

Бактериальные образования в разрезе «Уньинская пещера»

Анализ полученного фактического материала показывает, что в разрезе «Уньинская пещера» можно наблюдать различные по способу формирования, морфологии и строению бактериальные образования. Среди них можно выделить обособленные формы (микросгустки, бактериальные биопленки на скелетных остатках, отдельно расположенные колонии цианобактерий), оолиты, онколиты, тромболиты, строматолиты и дендролиты [Coated Grains..., 1983; Flügel, 2010; Riding, 2011; Кузнецов, Журавлева, 2022а, 2022б].

Среди обособленных микробиальных образований наиболее распространены микросгустки, являющиеся, вероятно, результатом гетеротрофной кальцификации бактерий и (или) продуктов их жизнедеятельности, например, EPS⁶ [Riding, 2011; Кузнецов, 2015]. Они представляют собой круглые и овальные стяжения пелитоморфного кальцита размером до 20-30 мкм, обычно не имеющие четких очертаний и образующие в породе различного (0,1 мм и более) размера скопления скементированные светлым криптозернистым или яснокристаллическим кальцитом (рис. 4А). Такие скопления, в свою очередь, могут быть основными структурными компонентами микрокомковато-сгустковых известняков (рис. 4В), матрикса мелкообиокластовых или биокластово-водорослевых известняков (рис. 4С, D), а также входить в состав более крупных бактериальных форм (строматолитов, тромболитов и др.).

⁶ Внеклеточное полимерное вещество (EPS - extrapallial polymer substance) – слизистое выделение вокруг клеток бактерий [Ископаемые бактерии..., 2011].

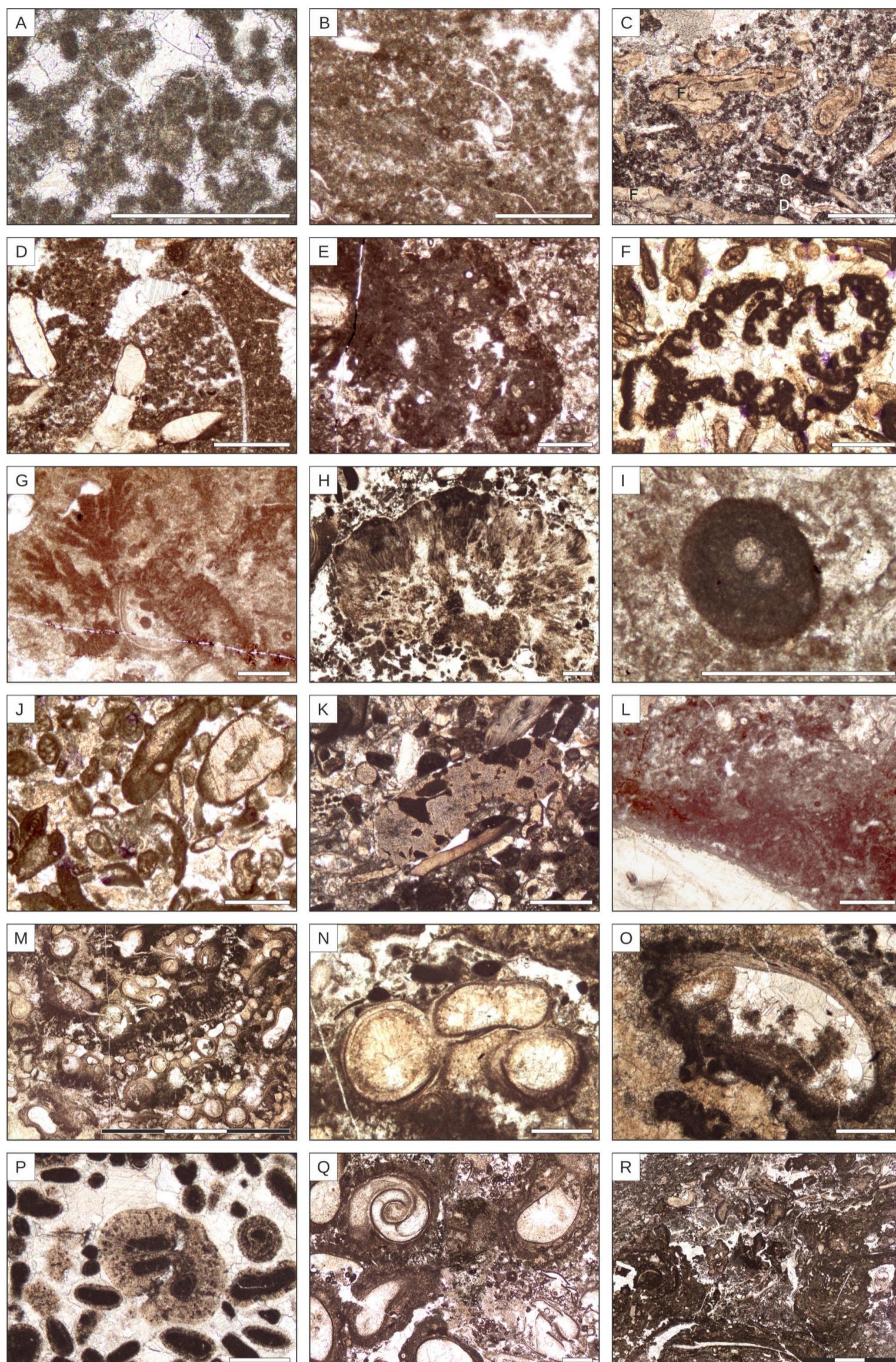


Рис. 4. Фото обоснованных форм выделения бактериальных образований

А - бактериальные микросгустки, схожие с *Bactéries coccoïdes* [Mamet, Preat, 2010, Pl. 4, figs. 9-12] (обр. У85/7); В - известняк, сложенный микробиальными комочками и сгустками (обр. У85/40.2); С - остатки водорослей *Fasciella* sp. (F), *Calcifolium okense* (C), *Donezella* sp. (D) в комковато-сгустковом матриксе (обр. У85/18-1); D - микробиальные сгустки в полости раковины пелециподы (обр. У85/18); Е - мегасгусток в мелкобиокластовом известняке (обр. У85/22-1); F - черная контрастная оболочка *Renalcis* sp. (?) вокруг неправильной светлой полости (обр. У85/4-2); G - ветвистые остатки *Epiphyton* sp. и обломок колонии *Girvanella* sp. (обр. У85/31-1); H - *Ortonella* sp. (обр. У85/37-1); I - бактериальная колония, схожая с *Tubiphyses* (обр. У85/10-3); J - бактериальные биопленки на скелетных остатках (обр. У85/2-1); К - членик криноидии инкрустированный темным микрозернистым кальцитом (обр. У85/21-1); L - бактериальный мат на раковине брахиоподы (видны тонкие ниточки *Girvanella*, обр. У85/26-8); М-О - детали строения микробиально-серпулового биогерма (обр. У85/37): общий вид (М), сросшиеся серпулы (N), биопленка на серпуле (O); Р - простые и сложнопостроенные оолиты (У85/32-2); Q - онколиты вокруг полихет (*Serpula* и *Spirorbis* [Фортунатова и др., 2005, стр. 132]) кольчатах червей (обр. У85/42-2); R - столбчатые строматолиты, сформировавшиеся на скоплении крупных онколитов вокруг створок брахиопод и обрывков талломов водорослей (обр. У85/44-1). Масштабная линейка равна 5 мм (М, Р) и 500 мкм.

В гораздо меньшей степени в изученном разрезе встречаются бактериальные биопленки вокруг скелетных остатков организмов. Они представляют собой тёмные оболочки микробиально-генерированного кальцита вокруг биокластов (рис. 4J). Как правило, такие образования наблюдаются в биокластовых известняковых песчаниках михайловского времени из основания изученного разреза. Их природа, конечно, может быть объяснена только механическими факторами, например, налипанием карбонатного ила в процессе транспортировки биокластов. В этом случае, можно наблюдать равномерную толщину каёмок у большинства зерен. Однако количество зерен с оболочками в изученных породах не превышает 10%, в некоторых случаях такие пленки имеют неравномерную толщину или располагаются только с одной стороны органогенных обломков, а поверхность последних корродирована благодаря, возможно, процессам биокоррозии (рис. 4J-L).

Еще один тип обволакивания бактериальными пленками можно наблюдать в кровле косогорского горизонта серпуховского яруса. В этих отложениях (п. 18) формирование бактериальных пленок способствовало сохранению серпулового биогерма (рис. 4M). Первоначально его развитие, вероятно, обусловлено срастанием трубочек полихет друг с другом (рис. 4N), наподобие *Serpula vermicularis* L. [Фортунатова и др., 2005], чем обусловлено их субупорядоченное расположение в пространстве. Сами серпулиды, обычно из нижней части, облекались биопленками неравномерной толщины (до 0,1 мм), сложенными темным тонкозернистым кальцитом (рис. 4O). Они, в свою очередь, в межструктурном пространстве сочетались с областями скопления пелоидов микросгусткового строения и полостями, выполнеными биоиндуцированным крустикационным [Антошкина, Пономаренко, 2014] и яснокристаллическим кальцитом. Серпулиды без микробиальных оболочек не сохранили своих форм, раздавлены в процессе уплотнения осадка, что наблюдается в слоях данной пачки (п. 18) и выше по разрезу.

Цианобактериальные сообщества в большинстве своем формируют достаточно крупные образования (онколиты, строматолиты и т.п.) или являются их составной частью, которые в обилии встречаются в верхней части разреза (см. описание ниже). В известняках нижней его части (визейский и нижнесерпуховский интервалы) среди основной биокластовой массы присутствуют небольшого размера (до 1,5 мм) редкие обособленные колонии цианобактерий родов *Renalcis*, *Epiphyton*, *Girvanella*, *Ortonella*, микросгустковые желвачки (рис. 4E–I).

Оолиты и онколиты в изученном разрезе встречаются в пограничных отложениях косогорского и противинского горизонтов серпуховского яруса. Первые из них входят в состав известнякового оолито-литокластового песчаника (п. 18), где они составляют 20-25% от объема породы (рис. 4P). В качестве их ядер выступают обломки схожие с литокластами из

основной массы породы: округлые и овальные фрагменты (0,25-0,5 мм) пелитоморфного известняка, аналогичного породе подстилающего слоя. Размер оолитов в зависимости от количества концентров варьирует от 0,3 до 1,2 мм. Основная их часть имеет 1-2 концентра радиально-лучистого строения толщиной до 25 мкм, в меньшей степени – 5-7 оболочек. Наиболее крупными являются редкие двух-трехядерные агрегаты. Цемент песчаника двухфазный: тонкий (до 50 мкм), пленочный, крустикационный и яснокристаллический кальцит.

Онколиты отмечены в составе известняков верхней части косогорского и низов противинского горизонтов. В одном из слоев п. 20 они образованы вокруг мелких (до 1 мм) трубочек полихет родов *Serpula* и *Spirorbis* (рис. 4Q) [Фортунатова и др., 2005]. Микробиальные корки данных образований толщиной до 0,3 мм имеют неравномерное волнисто-слоистое строение. Отдельные слойки в них обычно сложены темным микрозернистым кальцитом. Они включают в себя раковинки сфер и мелких фораминифер, а также (редко) обрывки ниточек *Girvanella*. Более крупные онколиты размером 2-6 мм входят в состав мелкобиокластовых известняков (п. 24-27). Ядрами (около 1 мм в поперечнике) данных онколитов обычно выступают створки брахиопод, пелеципод и обрывки водорослей *Koninckopora*. Микробиальные корки имеют волнисто-слоистое строение и неравномерную толщину, в онколитах с одним ядром – от 0,5 до 1 мм, а в сложнопостроенных – от 1 до 5 мм. Слойки корок сложены темным тонкозернистым кальцитом, часто с микритизированными тонкими ниточками гирванелл и реже с раковинками сфер. В сложнопостроенных агрегатах можно наблюдать совокупность из нескольких одноядерных онколитов, скрепленных комковато-сгустковой массой с крупными (до 1-1,5 мм) фенестрами и слоевищами *Hedstroemia* (?) и *Ortonella*. По всей видимости, такие онколиты в последствии могли развиться в полноценные столбчатые строматолиты (рис. 4R).

Строматолиты – слоистые микробиолиты [Riding, 2011, Кузнецов, 2015] – в изученном разрезе наиболее интенсивно развиты в отложениях противинского горизонта, однако в небольшом количестве начинают встречаться в верхней части косогорского горизонта серпуховского яруса. По морфологии они подразделяются на пластовые, столбчатые и тонкостолбчатые разновидности (см. рис. 4).

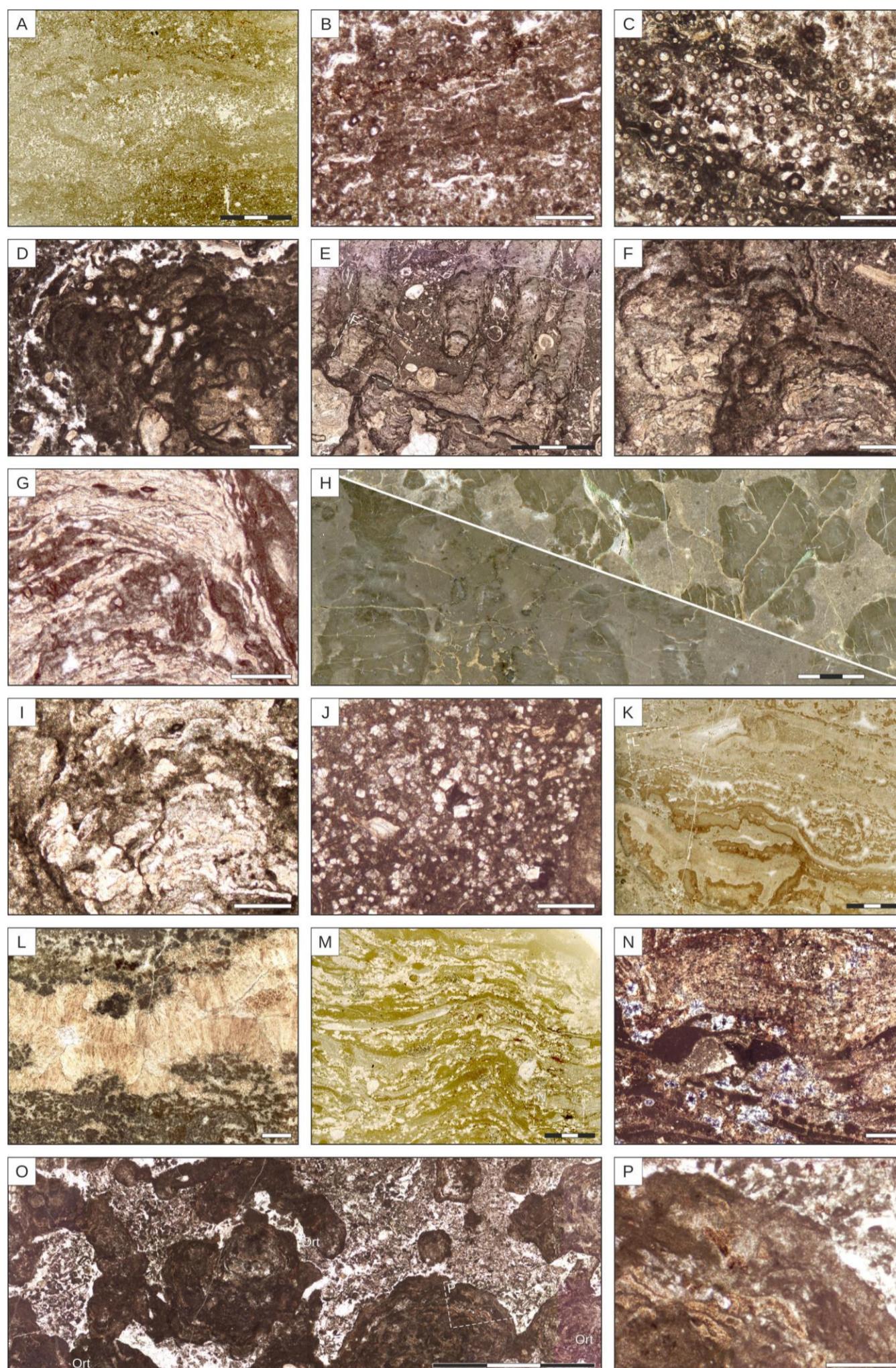


Рис. 5. Фото структурно-текстурных особенностей строматолитов

A, B - характер наслоения (A, обр. У85/39-3) и распределения структурных компонентов (B, обр. У85/39) волнисто-слоистых микрокомковато-сгустковых известняков (рис. 2D); C - чередование слойков с различным содержанием микрозернистого кальцита, бактериальных микросгустков и раковинок *Calcisphaera* и *Pachysphaerina* (обр. У85/41) в пластовых строматолитах (см. рис. 2C); D - ламинитовая слоистость столбчатых строматолитов (обр. У85/44-1, деталь см. рис. 3R); E, F - характер нарастания тонкостолбчатых строматолитов (E, обр. У85/44-1) и тонкое чередование сгустковых и водорослевых (фасциелловых) слоев в их строении (F); G - столбчатые строматолиты, образованные чередованием водорослевых (фасциелловых) и микробиальных (ортонелловых) серий слойков (обр. У85/45-2); H-J - известняк со столбчатыми строматолитами (обр. У85/47-3): H - пришлифовка перпендикулярно (внизу слева) и параллельно (вверху справа) наслоению, I - строение столбиков (видно чередование микрозернистых и водорослевых серий слойков с *Claracrusta?* sp.), J - заполнение межстолбчатых полостей - мелкозернистый известняк с многочисленными корродированными мелкими (30-100 мкм) зернами доломита; K-L - строение столбчатого строматолита, сложенного светлыми минерализованными и темными слойками с комками и пелоидами (обр. У85/5561); M-N - строение столбчатого строматолита, сложенного слойками с различным содержанием комковато-сгусткового материала (обр. У85/5564); O-P - неравномерно нарастающие столбчатые строматолиты, образованные чередованием микробиальных, водорослевых и аглютинированных слоев, а также зон роста цианобактерий *Ortonella* (обр. У/57-1). Масштабная линейка равна 1 см (H), 5 мм (A, E, K, M, O) и 500 мкм.

Пластовые строматолиты наблюдаются в кровле п. 18 и 19. Здесь среди плитчатых (по 0,1 и 0,2-0,4 м) тонкослоистых мелкобиокластовых и водорослево-биокластовых известняков они образуют прослои и протяженные (до 1,5 м) линзы тонко-волнистослоистого наслойения (см. рис. 2D, 4A). Слоистость в них обусловлена различным содержанием микробиальных комков (пелоидов) и сгустков (см. рис. 4C), а также включениями тонких створок ostracод и сфер, в отдельных слоях встречаются скопления сплющенных серпул, заключенных преимущественно в пелитоморфном матриксе. Параллельно слоистости отмечаются также тонкие (~ 250 мкм) фенестры извилисто-неправильной формы (см. рис. 3В).

Столбчатые строматолиты в изученном разрезе в большом количестве встречаются только в известняках противинского горизонта. Они образуют столбики шириной до 1,5 см (см. рис. 2B, 5H). Высота их обособленных разностей не превышает 1-2 см, а при совместном формировании – до 5-7 см. Разделяются они и по вкладу в их строении различных структурообразующих компонентов. При этом снизу вверх по разрезу отмечается тенденция изменения их преобладающего состава. В нижней части противинского горизонта (п. 24-26) основными строматолито-образователями являются бактериальные пленки, концентрирующие в себе микробиальный комковато-сгустковый и шламово-алевритовый материал, а также талломы зеленых водорослей. Первоначально (основание п. 24) столбчатые строматолиты образованы исключительно только за счет бактериальной жизнедеятельности. Основанием для их формирования служили онколиты или их скопления (см. рис. 4R, 5D), при этом остатки зеленых водорослей входят в состав только вмещающей массы. Позднее (п. 25-26) в строматолитах начинают встречаться (часто в преобладающем количестве) налипающие друг на друга слоевища зелёных водорослей *Fasciella* и *Claracrusta* (рис. 5F, G, I). Среди таких образований по своей морфологии выделяются тонкостолбчатые строматолиты (рис. 5E), формирующие небольшие биогермные тела толщиной в первые сантиметры и с шириной столбиков не более 3 мм. В верхней части противинского горизонта (п. 31-32) строматолиты строят более крупные и изометричные столбики. Как по ширине, так и по высоте они достигают 5-7 см (рис. 5K, M). В их строении бактериальные пленки и водорослевые налипания (рис. 5N, P) часто чередуются со светлыми минерализованными слоями (рис. 5L), сложенными фиброзным кальцитом, а также зонами роста цианобактерий *Ortonella* (рис. 5O).

Тромболиты представляют собой макроскопически «сгустковые» образования, размер «сгустков» («мегасгустков») в которых варьирует в пределах нескольких сантиметров [Riding, 2000, Кузнецов, 2015]. В изученном разрезе они развиты в известняках верхней части косогорского и противинского горизонтов. Тромболиты, формирующие довольно крупные биогермы (линзы до 0,3*3 м, п. 18, обр. У85/33), макроскопически выглядят как фенестровые

известняки со своеобразной пятнистой текстурой (рис. 6А). Микроструктура отдельных «мегасгустков», имеющих размеры до 1,5 см, различна. Часть из них имеет микросгустковое строение с включениями мелких пелоидов, сфер, а также редких трубочек гирванелл (рис. 6В). Другие содержат признаки направленного роста бактериальных колоний, от центра к периферии, и могут быть окружены темными микрозернистыми биопленками (рис. 6С). В тромболитах в виде отдельных прослоев мощностью до 10 см «мегасгустки» представляют собой хаотично расположенные небольшие (до 1 мм в наибольшем измерении) колонии *Ortonella* (рис. 6Д, Е). В известняках противинского горизонта тромболиты редко образуют отдельные тела. Здесь они часто сочетаются с другими типами микробиолитов. Пятнистая («мегасгустковая») текстура в них обусловлена преимущественно темноокрашенными колониями *Ortonella* (рис. 6F-Н).

Дендролиты, по определению [Riding, 2000, Кузнецов, 2015], формируются в результате кальцификации микробов и представляют собой образования с макроскопически выраженной кустовидной текстурой. В изученном разрезе данные микробиолиты – обычно небольшие столбчатые или куполовидные постройки, сложенные нарастающими друг на друга колониями цианобактерий *Ortonella*, поэтому их дендролитовая природа различима только в шлифах (рис. 6I-K). В единичном случае в верхней части противинского горизонта (кровля п. 31) можно наблюдать пласт доломитизированного известняка (15 см толщиной), основную часть которого составляет частично раздробленный, вероятно, в синседименто- и (или) диагенезе ветвистостолбчатый дендролит (рис. 6L). Его микроструктура образована колониями *Ortonella*, нарастающими друг на друга (рис. 6N), а межкаркасное пространство – микрозернисто-сгустковой массой с мелкими биокластами (рис. 6O).

Обсуждение полученных результатов

Микробиальные образования в изученных породах распределены по разрезу неравномерно. Так, в известняках михайловского горизонта визейского яруса можно наблюдать только редкие тонкие микритовые оболочки вокруг биокластов.

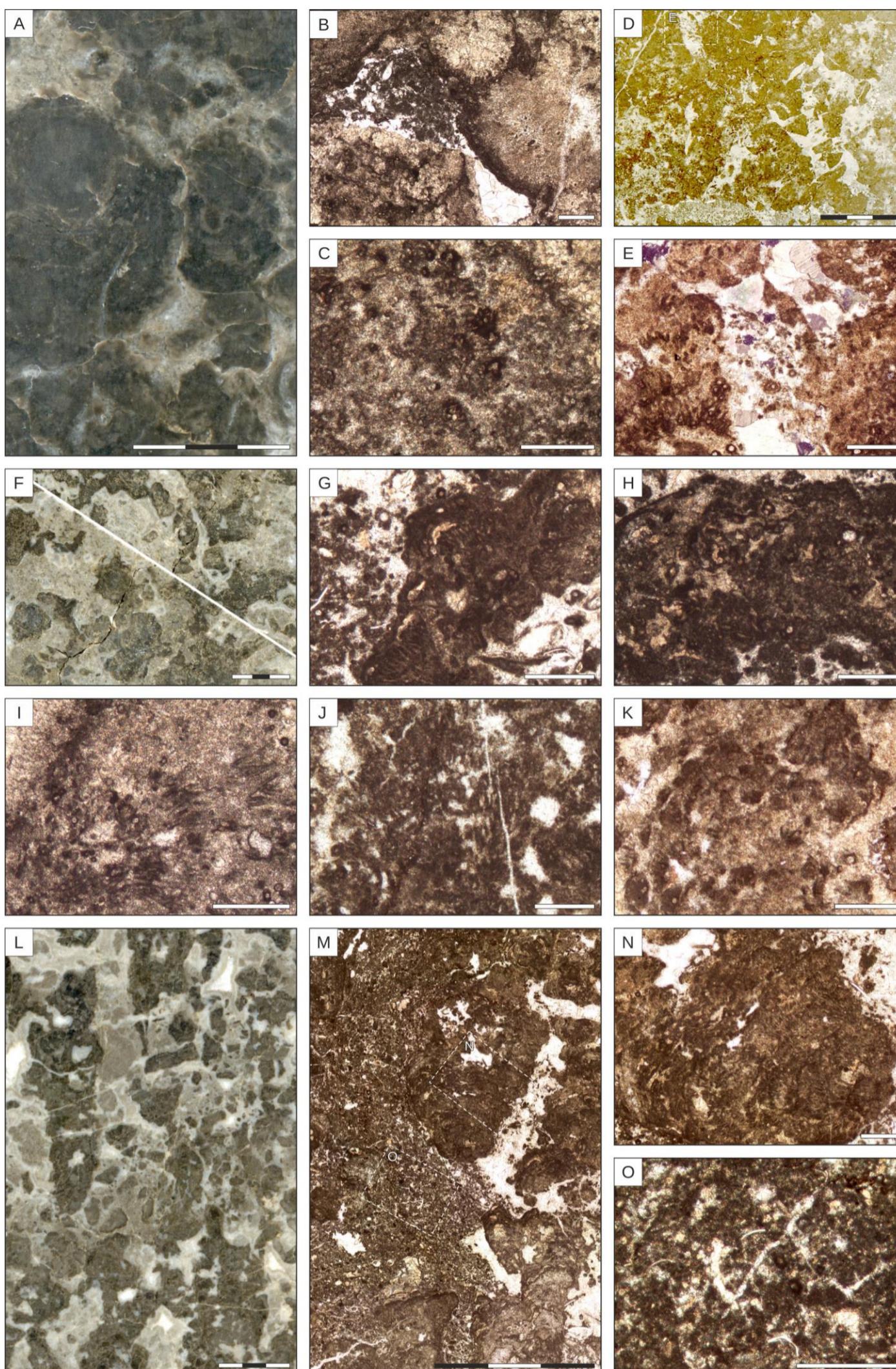


Рис. 6. Фото структурно-текстурных особенностей тромболитов и дендролитов

A-C - пятнистая (тромболитовая) текстура фенестровых известняков (A, обр. У85/33) и микроструктура отдельных мегасгустков: B - микросгустковое строение с отдельными трубочками гирванелл и аглютинированными мелкими пелоидами и сферами; C - микрозернистое строение с признаками направленного роста от центра к периферии бактериальных колоний, окруженных темными микрозернистыми биопленками; D-E - пятнистая текстура фенестрового известняка с брекчированными участками (D, обр. У85/39вод), сложенного кустиками *Ortonella* разной ориентации (E); F-H - строение тромболитового известняка (F, пришлифовка обр. У85/55, перпендикулярно (внизу слева) и параллельно (вверху справа) наслоению) и микроструктура отдельных сгустков: G - колония *Ortonella* sp. (обр. У85/55-2), H - микросгустковое строение с аглютинированными мелкими пелоидами, талломами водорослей и шламом (обр. У85/55); I-K - нарастающие друг на друга колонии *Ortonella*: I - вееробразная колония, зоны роста отделены слоями светлого микрозернистого кальцита (обр. У85/47-1), J - ветвистое нарастание (обр. У85/55-1), K - куполовидная колония, образованная мелкими (до 20 мкм) желвачками ортонелл (обр. У85/57); L-O - столбчатый дендролит (L, пришлифовка обр. Ун85/72 из коллекции А.И. Елисеева сбора 1972 г., п. 31, участок отбора обр. У85/56) и его микроструктура: M - характер нарастания друг на друга колоний *Ortonella* (N), O - микрозернисто-сгустковый известняк с мелкими биокластами из межскаркасного пространства (деталь M). Масштабная линейка равна 1 см (A, F, L), 5 мм (D, M) и 500 мкм.

В породах веневского горизонта (п. 2-8) микрокомковато-сгустковый материал, возможно, бактериального генезиса часто встречается в матриксе шламово-мелкобиокластовых известняков. Его количество снизу вверх по разрезу увеличивается с одновременным ростом доли в составе биокластового материала талломов зеленых водорослей [Пономаренко, Иванова, Сандула, 2015]. Это, по всей видимости, обусловлено постепенным уменьшением глубины морского бассейна на северо-востоке Верхнепечорского палеобассейна, что к концу визейского времени привело к образованию здесь мелководной области, где могли формироваться заросли зеленых водорослей и микробиальные маты в затишных зонах. Это подтверждается присутствием в разрезе верхней части горизонта мелкобиокластово-водорослевых известняков с литокластами, а в кровле слоя (0,1 м) – пятнисто-узорчатого фенестрового микрокомковато-сгусткового тромболита.

Косогорский горизонт серпуховского яруса по литологическим данным и по содержанию в породах микробиальных образований в изученном разрезе можно условно разделить на четыре интервала.

Интервал п. 9-13: некоторое время сохранялись условия осадконакопления конца веневского времени, после чего вместе с небольшим углублением моря усилилась и гидродинамика вод. Как результат – породы основания горизонта аналогичны подстилающим, а выше по разрезу представлены и горизонтально-тонкослоистыми биокластовыми известняками с пелитоморфным и спаритовым цементом. Микробиолиты встречены лишь в средней части п. 11 в виде микрокомковато-сгустковых прослоев (до 15 мм) в пласте кораллового (сирингопорового) известняка.

Интервал п. 15-17: осадконакопление происходило преимущественно при спокойной гидродинамике, возможно, после некоторого углубления моря. Об этом свидетельствуют накопленные в это время слоистые шламовые и мелкокомковато-сферовые, пятнисто-узорчатые микрокомковато-пелитоморфные известняки. Среди них присутствуют прослои с фрагментами крупной фауны (брахиопод, кораллов) и, единично, нацело сложенного обрывками водорослей *Ungarella* sp., что может быть отражением кратковременных периодов активизации гидродинамики. В тоже время, на протяжении второго интервала происходил постепенный возврат данной области осадконакопления в крайне мелководную зону, так как в составе известняков снизу вверх по разрезу наблюдается постепенное увеличение доли мелко-среднебиокластового материала от 0 до 40%.

Интервал п. 18-19: условия осадконакопления благоприятствовали процветанию зеленых водорослей и накоплению в затишных зонах микробиальных матов. Разрез этого отрезка времени образован переслаиванием плитчатых горизонтально-слоистых мелкобиокластово-водорослевых известняков и микробиолитов. Первые из них сложены

преимущественно детритом зеленых водорослей (до 60%) и биокластами (менее 10%), микрокомковато-сгустковым матриксом. Микробиолиты – совокупностью комочеков и сгустков (более 40%), створок остакод (менее 15%, размером до 0,05 мм) и раковинками редких сфер, а также содержат обильное количество (до 15%) тонких (~ 0,25 мм) фенестр извилисто-неправильной морфологии. В нижней части данной толщи микробиальные известняки образуют обычно маломощные (до 0,1 м) прослои, линзы и, реже, фенестровые биогермы (размером до 0,3*3 м), сочетающиеся в разрезе со слоями серпулового известняка. Выше по разрезу соотношение меняется, основную массу играют пластовые микробиолиты с неравномерно-ламинитовыми текстурами.

Интервал п. 20-22: в конце косогорского времени на северо-востоке Верхнепечорского палеобассейна, по всей видимости, сформировалась мелководно-островная зона. В результате в район разреза «Унгинская пещера» начал поступать грубый лито- и биоклатовый материал, что привело к накоплению толщи переслаивания тонкоплитчатых (0,1-0,2 м) литокластовых, грубобиокластовых и шламовых известняков. Снизу вверх по разрезу наблюдается изменение размера и состава структурных компонентов: от 2-3 см к 1-2 мм; от литокластового (фрагменты пелитоморфных известняков) к тонко-груборазмерному детриту (обрывки зеленых водорослей).

Осадконакопление противинского времени серпуховского века здесь также проходило в области крайнего мелководья, но с более частыми колебаниями уровня моря. Поэтому, несмотря на небольшую вскрытую в разрезе «Унгинская пещера» мощность отложений этого диапазона (27,1 м), его также можно разделить на четыре интервала.

Интервал п. 23-26: на фоне накопления полибиокластовых и мелкобиокластово-шламовых осадков начала проявляться тенденция к образованию микробиальных форм, которые здесь весьма разнообразны и могут занимать значительную часть от объема породы (30-40%). Так, в основании толщи этого диапазона встречаются онколиты (2-6 мм в поперечнике), ядрами которых выступают мелкие створки брахиопод или обрывки водорослей *Koninckorora*, а также петельчатые и мелкофенестровые биогермы до 0,5-0,6 м в поперечнике, сложенные микрокомковато-сгустковыми агрегатами. Выше по разрезу отмечаются мелкостолбчатые строматолиты и их обломки размером 0,3-1*3 см, слойчатость которых обусловлена чередованиями сгустковых и водорослевых (фасциелловых) слойков. В кровле толщи (п. 26) основной объем пород составляют строматолиты: столбчатые (шириной 1-2 см), неравномерно извилистые, перетекающие друг в друга (соединяющиеся и расходящиеся). Сложенены они зачастую микрокомковато-сгустковой массой со своеобразными узочато-петельчатыми текстурами без признаков направленного роста, или слоевищами зелёных водорослей *Claracrusta* sp.

Интервал п. 27-28: после небольшой трансгрессии осадконакопление некоторое время происходило при относительном углублении, что привело к формированию мощной (8,7 м) пачки чередования серий светло-серых толстоплитчатых и темно-серых тонкоплитчатых шламово-мелкобиокластовых известняков. Зона крайнего мелководья, по всей видимости, существовала поблизости от данной области осадконакопления, так как в составе пород наблюдаются литокласти микрокомковато-пелитоморфных известняков с включенными в них крупными биокластами, а также «зародыши» онколитов⁷. К концу второго интервала условия осадконакопления вновь стали крайнемелководными. Это способствовало накоплению довольно мощного бактериального мата, послужившего основой пласта (п. 28) слоистого комковато-сгусткового микробиолита (строматолита) с признаками эпигенетических изменений (см. рис. 3), возможно, в области субаэральной экспозиции.

Интервал п. 29-30: по всей видимости, в прибрежной зоне происходило образование пачки светло-серых линзовидно-наслоенных (по 0,1*0,25 м) литокластовых известняков (мелкообломочных конлобрекций и известняковых песчаников).

Интервал п. 31-32: в условиях крайнего мелководья формировалась толща пластовых серых и светло-серых микробиальных известняков. Первоначально они сложены скоплениями микробиальных желвачков (размером 0,5-2 см, 20-50%), в которых нарастающие друг на друга слоевища *Ortonella* чередуются с прослойками микросгусткового и микрозернистого строения, включающие единичные палочки *Fasciella*, а позднее – строматолитами с шириной столбиков от 5-7 мм до 7 см, сложенных микрокомковато-сгустковыми, микрозернистыми слойками, с редкими ниточками гирванелл, зонами роста цианобактерий *Ortonella*.

Заключение

Согласно полученным данным в разрезе «Унинская пещера» в составе верхневизейских и серпуховских отложений микробиальные образования встречаются в виде обособленных форм (микросгустки, бактериальные биопленки, колонии цианобактерий), оолитов, онколитов, строматолитов, тромболитов и дендролитов. Снизу вверх по разрезу меняется их состав и количество. На протяжении визейского и начале серпуховского времени чаще всего развивались обособленные микробиальные формы. Их можно наблюдать в виде тонких биопленок вокруг биокластов в известняковых песчаниках михайловского, а также в качестве основного компонента микрокомковато-сгусткового матрикса полибиокластовых известняков веневского и нижней части косогорского горизонтов. Позднее, вслед за

⁷ В строении таких онколитов наблюдаются единичные концентры до 1 мм толщиной вокруг органогенных фрагментов.

изменениями условий осадконакопления: уменьшение глубины морского бассейна (присутствие известняковых песчаников, оолитовых и обломочных известняков) на фоне теплого климата (преобладание в составе известняков остатки зеленых водорослей), увеличивается разнообразие микробиолитов, а также интенсивность их формирования. В позднекосогорско-протвинское время в периоды крайнемелководных условий происходило образование как микробиальных пелоидов и сгустков, выполнявших матрикс биокластовых известняков, так и прослоев или биогермов узорчато-фенестровых тромболитов, микробиальных и микробиально-водорослевых желвачков, онколитов и строматолитов. Причем, если в верхней части косогорского горизонта серпуховского яруса в отдельных пластах известняков с микробиолитами отмечается преобладание ограниченного числа из вышеперечисленных типов (одного-двух), то в породах протвинского горизонта обычно наблюдается их смешанный состав, особенно в кровле изученного разреза (п. 31-32). Возможно, это связано с большим развитием к концу протвинского времени цианобактерий *Ortonella* в области седиментации отложений разреза «Уньинская пещера», послуживших основой для строительства и строматолитов, и тромболитов, и дендролитов. Нужно отметить, что несмотря на большое разнообразие и основную породообразующую роль микробиолитов в наблюдаемом разрезе протвинского горизонта, они все же не образуют крупных биогермных тел.

Перечисленные факты могут говорить о формировании к концу протвинского времени в районе развития разреза «Уньинская Пещера» мелководно-отмельной зоны, которая ограничивала Верхнепечорский палеобассейн с юго-востока.

Работа выполнена в рамках темы НИР ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (ГР № 122040600013-9).

Литература

Антошикина А.И. Палеомикрокодии: новый взгляд на их генезис // Палеонтологический журнал. - 2014. - № 4. - С. 15-31. DOI: [10.7868/S0031031X14040047](https://doi.org/10.7868/S0031031X14040047)

Антошикина А.И., Пономаренко Е.С. Биоиндукция крустификация как реакция позднекаменноугольно-раннепермских рифовых экосистем на изменения биосферы // Становление скелета у различных групп организмов и биоминерализация в истории Земли. Серия «Гео-биологические процессы в прошлом». - М: ПИН РАН, 2014. - С. 44-62.

Варсанофеева В.А. Предварительный отчет о работах 1927 г. в западной части юго-восточной четверти 124-го листа (бассейн р. Уньи). - М.-Л., 1933. - 47 с. (Тр. ВГРО, вып. 289).

Варсанофеева В.А. К характеристике визейских отложений бассейна Малой Печоры // Геология северо-востока Русской платформы и Приполярного Урала. - Сыктывкар: Коми книжное издательство, 1965. - С. 3-20. (Труды Института геологии / АН СССР. Коми филиал; Вып. 5).

Варсанофеева В.А., Калашников Н.В., Липина О.А. Турнейские отложения бассейна Верхней Печоры. - Сыктывкар: Коми научный центр УрО АН СССР, 1990. - С. 52-86.

Геологический словарь. В трех томах. Издание третье, перераб. и доп. / Гл. ред. О.В. Петров. Т. 1. А-Й. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. - 432 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000 (второе издание). Северо-Уральская серия Лист Р-40-ХХIII (Талово). Объяснительная записка / В.Н. Иванов, С.И. Кириллин, И.Ю. Курзанов, Д.В. Зархидзе, Н.А. Кузенков, Г.А. Чуприяновская, Н.А. Васильченко; ред. Г.Г. Морозов. - Санкт-Петербург, 2008. - 141 с.

Калашников Н.В. Нижнекаменноугольные отложения бассейна реки Уны // Стратиграфия каменноугольных отложений западного склона Северного и Приполярного Урала. - Сыктывкар: Коми Книжное издательство, 1970. - С. 25-40. (Труды Института геологии/ АН СССР. Коми филиал; вып. 11). EDN: [QZTTLX](#)

Кузнецов В.Г. Литология микробиолитов // Вестник Российской академии наук. - 2015. - Т. 85. - № 12. - С. 1092-1102. DOI: [10.7868/S0869587315120087](https://doi.org/10.7868/S0869587315120087)

Кузнецов В.Г. Асинхронность развития рифов и рифостроющей биоты. Палеозой // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. - 2020. - Т. 63(1). - С. 54-62. DOI: [10.32454/0016-7762-2020-63-1-54-62](https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-54-62)

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. - 2022а. - Т. 64(3). - С. 8-18. DOI: [10.32454/0016-7762-2022-64-3-8-18](https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-8-18)

Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М. Микробиальные карбонатные породы - состав, структуры, текстуры, механизмы и обстановки образования. Процессы и обстановки образования микробиолитов. Статья 2 // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. - 2022б. - Т. 64(4). - С. 10-21. DOI: [10.32454/0016-7762-2022-64-4-10-21](https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-4-10-21)

Кузнецов В.Г., Антошкина А.И. Поздневизайско-серпуховский этап палеозойского рифообразования // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. - Т. 13. - №4. - С. 61-77. EDN: [HSJACN](#)

Пономаренко Е.С., Иванова Р.М., Сандула А.Н. Первые находки Камаена (*Chlorophyta*) в серпуховских отложениях (разрез «Уньинская Пещера», Северный Урал) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. - 2015. - № 7. - С. 3-8. EDN: [UJKCNZ](#)

Сандула А.Н. Формации каменноугольно-нижнепермских карбонатных отложений западного склона Печорского Урала (бассейн Верхней Печоры) // Вестник геонаук. - 2023. - №12. - С. 4-15. DOI: [10.19110/geov.2023.12.1](https://doi.org/10.19110/geov.2023.12.1)

Сандула А.Н., Шадрин А.Н. Микробиалиты в разрезе «Уньинская пещера» (нижний карбон, р. Уня, Северный Урал) // Геология рифов - 2025: материалы Всероссийского литологического совещания с международным участием. - Сыктывкар: ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2025. - С. 90-92.

Фортунатова Н.К., Карцева О.А., Баранова А.В., Агафонова Г.В., Офман И.П. Атлас структурных компонентов карбонатных пород. - М.: ВНИГНИ, 2005. - 440 с. EDN: [OKNUJV](#)

Чочиа Н.Г. Геологическое строение Колво-Вишерского края. - Л.: Изд-во АН СССР, 1955. - 403 с. (Тр. ВНИГРИ, вып. 91.)

Шадрин А.Н. Визайское осадконакопление на северном Урале // Палеозойское осадконакопление на внешней зоне шельфа пассивной континентальной окраины северо-востока Европейской платформы; отв. ред. А.И. Антошкина, В.А. Салдин. - Гл. 6. -

Сыктывкар: Геопрингт, 2011. - С. 91-108.

Шадрин А.Н., Иванова Р.М., Пономаренко Е.С. Строматолиты в верхневизейских отложениях разреза «Пача-Ласта» (р. Илыч, Северный Урал) // Вестник геонаук. - 2023. - № 12 (348). - С. 16-23. DOI: [10.19110/geov.2023.12.2](https://doi.org/10.19110/geov.2023.12.2)

Шадрин А.Н., Сандула А.Н. Типы пород верхневизейско-нижнесерпуховских отложений в разрезе р. Унья (Северный Урал) // Карбонатные осадочные последовательности Урала и сопредельных территорий: седименто- и литогенез, минерагения: материалы 6 Уральского регионального литологического совещания. - Екатеринбург, 2004. - С. 193-195.

Шадрин А.Н., Сандула А.Н. Известняковый тип разреза верхневизейско-серпуховских отложений бассейна р. Унья (Северный Урал) // Структура, вещество, история литосфера Тимано-Североуральского сегмента: материалы 19-й научной конференции. - Сыктывкар: Геопрингт, 2010. - С. 202-205.

Шадрин А.Н., Сандула А.Н. Строение разреза нижнекаменноугольных отложений известнякового типа в бассейне р. Унья (Северный Урал) // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: материалы 17 Геологического съезда Республики Коми. - Сыктывкар: Геопрингт, 2019. - Т. 2. - С. 233-235.

Шадрин А.Н., Сандула А.Н. Литогенетические особенности верхневизейских отложений известнякового типа Верхней Печоры (Северный Урал) // От анализа вещества - к бассейновому анализу: материалы 13-го Уральского литологического совещания. - Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2020. - С. 298-300. EDN: [LPKBZW](https://doi.org/10.2307/3514674)

Burne R.V., Moore L. Microbialites; organosedimentary deposits of benthic microbial communities // Palaios. - 1987. - No. 2. - P. 241-254. DOI: [10.2307/3514674](https://doi.org/10.2307/3514674)

Coated Grains / Ed. T.M. Peryt. - Springer Berlin–Heidelberg, New York, Tokio, 1983. - 655 p. DOI: [10.1007/978-3-642-68869-0](https://doi.org/10.1007/978-3-642-68869-0)

Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks Analysis, Interpretation and Application / Second Edition. With a contribution by A. Munnecke. - Springer. Berlin-New York, 2010. - 1006 p. DOI: [10.1007/10.1007/978-3-642-03796-2](https://doi.org/10.1007/10.1007/978-3-642-03796-2)

Flügel E., Hillmer G., Scholz J. Microbial carbonates and reefs: An introduction // Facies 29. - 1993. - No. 1-2. DOI: [10.1007/BF02536914](https://doi.org/10.1007/BF02536914)

Mamet B., Preat A. Un atlas d'algues calcaires. Carbonifère, Alaska arctique / Carnets de Géologie - Notebooks on Geology, Brest, Livre, 2010. - 60 p. (Publication Spéciale 2010/01 (CG2010_SP01)). DOI: [10.4267/2042/33628](https://doi.org/10.4267/2042/33628)

Riding R. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms // Sedimentology. - 2000. - Vol. 47 (Suppl. 1). - P. 179-214. DOI: [10.1046/j.1365-3091.2000.00003.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2000.00003.x)

Riding R. Microbialites, stromatolites, and thrombolites. In J. Reitner and V. Thiel (eds), Encyclopedia of Geobiology. - Encyclopedia of Earth Science Series, Springer, Heidelberg, 2011. - P. 635-654. DOI: [10.1007/978-1-4020-9212-1_196](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9212-1_196)

This is an open access article under the CC BY 4.0 license

Received 30.10.2025

Published 19.12.2025

Sandula A.N., Shadrin A.N.

Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia, sandula@geo.komisc.ru, anshadrin@geo.komisc.ru

LIMESTONE MICROBIALITES IN THE VISEAN-SERPUKHOVIAN SECTIONS OF THE UNYA RIVER (NORTHERN URALS)

The results of studies of the form of precipitation, distribution, and formation conditions of microbialites in limestone deposition types of the Visean-Serpukhovian, which are widespread in the southeastern boundary of the Timan-Pechora petroleum basin (Unya Cave section, Unya River, Northern Urals) are presented. It has been established that microbialites the Unya Cave section is divided into separate forms (microcloths, bacterial biofilms, colonies of cyanobacteria), ooliths, oncoids, stromatoliths, thromboliths, and dendroliths. Their composition and quantity change from base to top of section. The relatively deep-water Visean limestones contain only isolated microbial forms in small quantities. The shallow-water rocks of the upper part of the Kosogor level of the Serpukhovian section contain columnar and layered stromatolites. The extremely shallow deposits of the Protvian level of the Serpukhovian section contain ooids, stromatolites, thrombolites, and dendrolites. It is assumed that by the beginning of the Protvian time, a shallow-water zone had been formed in the area of the Unya Cave section.

Keywords: microbialite, limestone deposition type, Visean, Serpukhovian, Northern Urals.

For citation: Sandula A.N., Shadrin A.N. Mikrobiolity izvestnyakovogo tipa razrezov vizeysko-serpukhovskikh otlozheniy r. Un'ya (Severnyy Ural) [Limestone microbialites in the Visean-Serpukhovian sections of the Unya River (Northern Urals)]. Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika, 2025, vol. 20, no. 4, available at: https://www.ngtp.ru/rub/2025/48_2025.html EDN: EZGFJE

References

- Antoshkina A.I. Paleomikrokodii: novyy vzglyad na ikh genezis [Palaeomicrocodium: a new view on its origin]. *Paleontologicheskiy zhurnal*, 2014, no. 4, pp. 15-31. (In Russ.). DOI: [10.7868/S0031031X14040047](https://doi.org/10.7868/S0031031X14040047)
- Antoshkina A.I., Ponomarenko E.S. Bioindutsirovannaya krustifikatsiya kak reaktsiya pozdnekamennougol'no-rannepermeskikh rifovykh ekosistem na izmeneniya biosfery [Bioinduced crustification as a reaction of Late Carboniferous-Early Permian reef ecosystems to changes in the biosphere]. *Stanovlenie skeleta u razlichnykh grupp organizmov i biomineralizatsiya v istorii Zemli*. Seriya «Geo-biologicheskie protsessy v proshlom». Moscow: PIN RAN, 2014, pp. 44-62. (In Russ.).
- Burne R.V., Moore L. Microbialites; organosedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaios*, 1987, no. 2, pp. 241-254. DOI: [10.2307/3514674](https://doi.org/10.2307/3514674)
- Chochia N.G. *Geologicheskoe stroenie Kolvo-Visherskogo kraya* [The geological structure of the Kolva-Vishera region]. Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1955, 403 p. (Tr. VNIGRI, issue 91) (In Russ.).
- Coated Grains*. Ed. T.M. Peryt. Springer Berlin–Heidelberg, New York, Tokio, 1983, 655 p. DOI: [10.1007/978-3-642-68869-0](https://doi.org/10.1007/978-3-642-68869-0)
- Flügel E. *Microfacies of Carbonate Rocks Analysis, Interpretation and Application*. Second Edition. With a contribution by A. Munnecke. Springer. Berlin-New York, 2010, 1006 p. DOI: [10.1007/10.1007/978-3-642-03796-2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03796-2)
- Flügel E., Hillmer G., Scholz J. Microbial carbonates and reefs: An introduction. *Facies* 29, 1993, no. 1-2. DOI: [10.1007/BF02536914](https://doi.org/10.1007/BF02536914)
- Fortunatova N.K., Kartseva O.A., Baranova A.V., Agafonova G.V., Ofman I.P. *Atlas*

strukturnykh komponentov karbonatnykh porod [Atlas of structural components of carbonate rocks]. Moscow: VNIGNI, 2005, 440 p. EDN: QKNUJV

Geologicheskiy slovar'. V trekh tomakh. Izdanie tret'e, pererab. i dop. [Geological dictionary]. V trekh tomakh. Izdanie tret'e, pererab. i dop.]. Editor-in-Chief O.V. Petrov. Vol. 1. A-Y. St. Petersburg: Izd-vo VSEGEI, 2010, 432 p. (In Russ.).

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:200000 (vtoroe izdanie). Severo-Ural'skaya seriya List R-40-XXIII (Talovo). Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200,000 (second edition). North Ural Series Sheet R-40-XXIII (Talovo). Explanatory Note]. V.N. Ivanov, S.I. Kirillin, I.Yu. Kurzanov, D.V. Zarkhidze, N.A. Kuzenkov, G.A. Chupriyanovskaya, N.A. Vasil'chenko; ed. G.G. Morozov. St. Peterburg, 2008, 141 p. (In Russ.).

Kalashnikov N.V. Nizhnekamennougol'nye otlozheniya basseyna reki Un'i [Lower carboniferous strata of the Un'ya River basin]. *Stratigrafiya kamennougol'nykh otlozheniy zapadnogo sklona Severnogo i Pripolyarnogo Urala*. Syktyvkar: Komi Knizhnoe izdatel'stvo, 1970, pp. 25-40. (Trudy Instituta geologii / AN SSSR. Komi filial; issue 11). (In Russ.). EDN: [QZTTLX](#)

Kuznetsov B.G., Antoshkina A.I. Pozdnevizeysko-serpukhovskiy etap paleozoyskogo rifoobrazovaniya [The Late Visean-Serpukhovian stage in Paleozoic reef formation]. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*, 2005, vol. 13, no. 4, pp. 61-77. (In Russ.). EDN: [HSJACN](#)

Kuznetsov V.G. Asinkhronnost' razvitiya rifov i rifostroyashchey bioty. Paleozoy [Asynchronous development of reefs and reef-building biota. Paleozoic]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 2020, vol. 63(1), pp. 54-62. (In Russ.). DOI: [10.32454/0016-7762-2020-63-1-54-62](#)

Kuznetsov V.G. Litologiya mikrobiolitov [Lithology of microbioliths]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2015, vol. 85, no. 12, pp. 1092-1102. (In Russ.). DOI: [10.7868/S0869587315120087](#)

Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Mikrobiyal'nye karbonatnye porody - sostav, struktury, tekstury, mekhanizmy i obstanovki obrazovaniya. Vozniknovenie ucheniya o mikrobiyal'nykh obrazovaniyah i ikh formakh. Stat'ya 1 [Microbial carbonate rocks: composition, structures, textures, mechanisms and environments of formation. Microbiolite formation processes and environments. Article 1]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 2022a, vol. 64(3), pp. 8-18. (In Russ.). DOI: [10.32454/0016-7762-2022-64-3-8-18](#)

Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Mikrobiyal'nye karbonatnye porody - sostav, struktury, tekstury, mekhanizmy i obstanovki obrazovaniya. Protsessy i obstanovki obrazovaniya mikrobiolitov. Stat'ya 2 [Microbial carbonate rocks: composition, structures, textures, mechanisms and environments of formation. Microbiolite formation processes and environments. Article 2]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 2022b, vol. 64(4), pp. 10-21. (In Russ.). DOI: [10.32454/0016-7762-2022-64-4-10-21](#)

Mamet B., Preat A. *Un atlas d'algues calcaires. Carbonifère, Alaska arctique*. Carnets de Géologie - Notebooks on Geology, Brest, Livre, 2010, 60 p. (Publication Spéciale 2010/01 (CG2010_SP01)). DOI: [10.4267/2042/33628](#)

Ponomarenko E.S., Ivanova R.M., Sandula A.N. Pervye nakhodki Kamaena (Chlorophyta) v serpukhovskikh otlozheniyakh (razrez «Un'inskaya Peshchera», Severnyy Ural) [The first finding of Kamaena (Chlorophyta) in the Serpukhovian strata ("Un'inskaya peschera" section, Northern Urals)]. *Vestnik IG Komi NTs UrO RAN*, 2015, no. 7, pp. 3-8. (In Russ.). EDN: [UJKCNZ](#)

Riding R. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms. *Sedimentology*, 2000, vol. 47 (suppl. 1), pp. 179-214. DOI: [10.1046/j.1365-3091.2000.00003.x](#)

Riding R. *Microbialites, stromatolites, and thrombolites*. In J. Reitner, V. Thiel (eds), Encyclopedia of Geobiology. Encyclopedia of Earth Science Series, Springer, Heidelberg, 2011, pp. 635-654. DOI: [10.1007/978-1-4020-9212-1_196](#)

Sandula A.N. Formatsii kamennougol'no-nizhnepermiskikh karbonatnykh otlozheniy zapadnogo sklona Pechorskogo Urala (basseyn Verkhney Pechory) [Formations of the

Carboniferous-Lower Permian carbonate strata of the Upper Pechora Basin (Northern Urals)]. *Vestnik geonauk*, 2023, no. 12, pp. 4-15. (In Russ.). DOI: [10.19110/geov.2023.12.1](https://doi.org/10.19110/geov.2023.12.1)

Sandula A.N., Shadrin A.N. Mikrobiality v razreze «Un'inskaya peshchera» (nizhniy karbon, r. Un'ya, Severnyy Ural) [Microbialites in the "Un'inskaya peschera (Un`ya Cave)" section (Lower Carboniferous, Un`ya River, Northern Urals)]. *Geologiya rifov - 2025: materialy Vserossiyskogo litologicheskogo soveshchaniya s mezhdunarodnym uchastием*. Syktyvkar: IG FITs Komi NTs UrO RAN, 2025, pp. 90-92. (In Russ.).

Shadrin A.N. Vizeyskoe osadkonakoplenie na severnom Urale [Visean sedimentation in the Northern Urals]. *Paleozoyskoe osadkonakoplenie na vneshney zone shelfa passivnoy kontinental'noy okrainy severo-vostoka Evropeyskoy platformy*; otv. red. A.I. Antoshkina, V.A. Saldin, part 6, Syktyvkar: Geoprint, 2011, pp. 91-108. (In Russ.).

Shadrin A.N., Ivanova R.M., Ponomarenko E.S. Stromatolity v verkhnevizeyskikh otlozheniyakh razreza «Pacha-Lasta» (r. Ilych, Severnyy Ural) [Stromatolites in the Upper Visean strata of the Pacha-Lasta section (Ilych River, Northern Urals)]. *Vestnik geonauk*, 2023, no. 12 (348), pp. 16-23. (In Russ.). DOI: [10.19110/geov.2023.12.2](https://doi.org/10.19110/geov.2023.12.2)

Shadrin A.N., Sandula A.N. Izvestnyakovyy tip razreza verkhnevizeysko-serpukhovskikh otlozheniy basseyna r. Un'ya (Severnyy Ural) [Limestone type of section of the Upper Visean-Serpukhovian strata of the Unya River basin (Northern Urals)]. *Struktura, veshchestvo, istoriya litosfery Timano-Severoural'skogo segmenta: materialy 19-y nauchnoy konferentsii*. Syktyvkar: Geoprint, 2010, pp. 202-205. (In Russ.).

Shadrin A.N., Sandula A.N. Litogeneticheskie osobennosti verkhnevizeyskikh otlozheniy izvestnyakovogo tipa Verkhney Pechory (Severnyy Ural) [Lithogenetic features of limestone strata types of Upper Viséan in the Upper Pechora Region (Northern Urals)]. *Ot analiza veshchestva - k basseynovomu analizu: materialy 13-go Ural'skogo litologicheskogo soveshchaniya*. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 2020, pp. 298-300. (In Russ.). EDN: [LPKBZW](#)

Shadrin A.N., Sandula A.N. Stroenie razreza nizhnekamennougol'nykh otlozheniy izvestnyakovogo tipa v basseyne r. Un'ya (Severnyy Ural) [Structure of the Lower Carboniferous limestone strata in the Un`ya River basin (Northern Urals)]. *Geologiya i mineral'nye resursy Evropeyskogo Severo-Vostoka Rossii: materialy 17 Geologicheskogo s"ezda Respubliki Komi*, Syktyvkar: Geoprint, 2019, vol. 2, pp. 233-235. (In Russ.).

Shadrin A.N., Sandula A.N. Tipy porod verkhnevizeysko-nizhneserpukhovskikh otlozheniy v razreze r. Un'ya (Severnyy Ural) [Types of rocks in the Upper Visean-Lower Serpukhovian strata in the Un`ya River section (Northern Urals)]. *Karbonatnye osadochnye posledovatel'nosti Urala i sopredel'nykh territoriy: sedimento- i litogenez, minerageniya: materialy 6 Ural'skogo regional'nogo litologicheskogo soveshchaniya*. Ekaterinburg, 2004, pp. 193-195.

Varsanof'eva V.A. K kharakteristike vizeyskikh otlozheniy basseyna Maloy Pechory [To characteristics of the Visean strata in the Malaya Pechora basin]. *Geologiya severo-vostoka Russkoy platformy i Pripolyarnogo Urala*. Syktyvkar: Komi knizhnoe izdatel'stvo, 1965, pp. 3-20. (Trudy Instituta geologii/ AN SSSR. Komi filial; issue 5). (In Russ.).

Varsanof'eva V.A. *Predvaritel'nyy otchet o rabotakh 1927 g. v zapadnoy chasti yugo-vostochnoy chetverti 124-go lista (basseyn r. Un'i)* [Preliminary report on the works of 1927 in the western part of the southeastern quarter of the 124th sheet (Basin of the Un`ya river)]. Moscow-Leningrad, 1933, 47 p. (Tr. VGRO, vyp. 289). (In Russ.).

Varsanof'eva V.A., Kalashnikov N.V., Lipina O.A. *Turneyskie otlozheniya basseyna Verkhney Pechory* [Tournaisian strata of the Upper Pechora basin]. Syktyvkar: Komi nauchnyy tsentr UrO AN SSSR, 1990, pp. 52-86. (In Russ.).