

УДК 551.72

П. В. Медведев, Ю. Л. Войтеховский, С. Ю. Чаженина, И. В. Чикирёв

О возрасте отложений п-овов Средний, Рыбачий и о-ва Кильдин (Кольский регион) в связи с находкой пластовых строматолитов

P. V. Medvedev, Yu. L. Voytekhovsky, S. Yu. Chazhengina, I. V. Chickiryov

On the age of sediments from the Sredni, Rybachy Peninsulars and Kildin Island (the Kola region) in connection with the finding of strata stromatolites

Аннотация. В статье приводится обоснование возраста кильдинской, волоковской, эйновской и баргоутной серий, слагающих п-ова Средний, Рыбачий и о-ва Кильдин. С помощью лазерного сканирующего микроскопа в пластовых строматолитах п-ова Средний обнаружены признаки следов микробной жизни в виде нитевидных выделений и ленточных микрообразований. Доказано, что изученные пластовые строматолиты не могут быть отнесены к формальному раннерифейскому виду *Stratifera flexurata* Komar 1966.

Abstract. Substantiation of the age of Kildin, Volokov, Eina and Bargout formations from the Sredny and Rybachy Peninsulars and Kildin Island has been presented in the paper. The traces of microbial life as filamentous and ribbon-like forms were detected using the scanning laser microscopy in stratiform stromatolites of the Sredny Peninsula. It has been proved that the studied stratiform stromatolites cannot be referred to the formal Early Riphean species *Stratifera flexurata* Komar 1966.

Ключевые слова: верхнепротерозойские отложения, пластовые строматолиты, п-ов Средний, п-ов Рыбачий, о-ва Кильдин.
Key words: Upper Proterozoic successions, stratiform stromatolites, Sredny Peninsula, Rybachy Peninsula, Kildin Island.

Введение

Территория п-овов Средний, Рыбачий и о-ва Кильдин является частью единого позднепротерозойского (непротерозойского) Тимано-Варангерского складчато-разрывного пояса, обрамляющего Восточно-Европейскую платформу с северо-востока. Исследуемая территория занимает срединное положение между п-овом Варангер, расположенным в западной части пояса, и Тиманским кряжем, представляющим собой восточное окончание пояса. Корреляция разрезов верхнего протерозоя (непротерозоя) п-ова Варангер и Тиманского кряжа осуществляется через сопоставление с разрезами верхнего докембрия п-овов Средний, Рыбачий и о-ва Кильдин. Отсюда понятно, насколько важно знать соотношения и возраст осадочных разрезов исследуемого региона. Одним из основных методов, позволяющим установить стратиграфическое положение осадочных пород верхнего протерозоя, является палеонтологический. Относительный возраст непротерозойских отложений может определяться по строматолитам, которые представляют собой сложные биогенно-седиментационные постройки, образующиеся в результате жизнедеятельности цианобактерий. Неповторяющиеся последовательности формальных таксонов строматолитов в наиболее полных разрезах Северной Евразии распадаются на отчетливые по составу комплексы, определяющие узнаваемость таких крупных подразделений докембрия, как нижний протерозой (карелий), три эратемы рифея (бурзаний, юрматиний, каратавий) и венд [1]. В пределах Кольского региона столбчатые строматолитовые постройки наиболее широко распространены в карбонатных породах коровинской свиты (кильдинская серия) верхнего рифея на о-ве Кильдин [2; 3]. В 2006 г. впервые для исследуемого района – на п-ове Средний, среди карбонатных пород каруярвинской свиты (кильдинская серия) были выявлены пластовые строматолиты, описанные как нижнерифейские *Stratifera flexurata* Komar 1966 [4; 5]. Однако такое определение противоречит позднерифейскому возрасту кильдинской серии, полученному по изотопным данным, и не согласуется с описаниями И. Н. Крылова, В. В. Любцова и М. Е. Раабен верхнерифейских форм столбчатых строматолитов среди отложений кильдинской серии на о-ве Кильдин. Для того чтобы разрешить возникшее противоречие, авторы статьи провели самостоятельное исследование пластовых строматолитов из карбонатных пород каруярвинской свиты (кильдинская серия) п-ова Средний.

Краткая характеристика геологического строения

В пределах исследуемого района выделяется две структурно-формационные зоны: зона перикратонного опускания, включающая территорию п-ова Средний, о-ва Кильдин и мыса Мотка (п-ов Рыбачий), и зона пассивной окраины, занимающая значительную часть территории п-ова Рыбачий. Считается, что осадочные образования п-ова Рыбачий слагают аллохтонную пластину, надвинутую на отложения п-ова Средний (рис. 1).

Зона перикратонного опускания. Согласно существующей стратиграфической схеме среди отложений, распространенных на п-ове Средний и мысе Мотка (см. рис. 1), выделяются две серии (снизу вверх): кильдинская (пяряярвинская, палвинская, поропелонская, землепахтинская и каруярвинская свиты) и волоковская (куяканская и пуманская свиты).

Кильдинская и волоковая серии сложены аркозовыми, олигомиктовыми, кварцевыми крупно-, среднезернистыми песчаниками, а также алевролитами и аргиллитами (рис. 2). Подчиненную роль в разрезе играют конгломераты и гравелиты. Карбонатные породы, представленные в основном доломитами, встречаются лишь среди отложений палвинской и каруярвинской свит. Отложения кильдинской серии распространены также на о-ве Кильдин, где подразделяются (снизу вверх) на коровинскую, безмянную, чернореченскую, песцовоозерскую, придорожную и сланцевоозерскую свиту. Главным отличием верхнерифейских разрезов п-ова Средний и о-ва Кильдин является широкое развитие карбонатных фаций в пределах последнего. Наблюдаемую фациальную изменчивость прежде всего следует связывать с более глубоководными обстановками накопления осадков о-ва Кильдин.

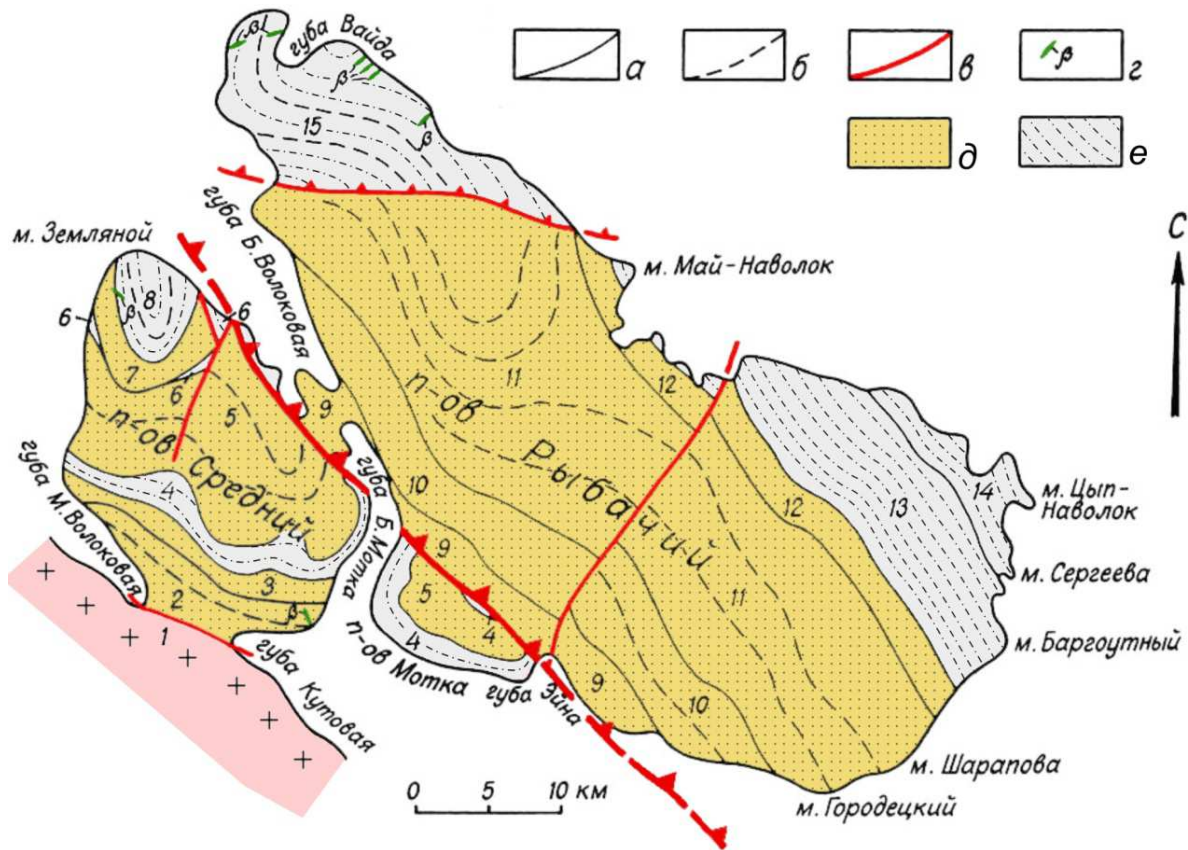


Рис. 1. Схема геологического строения п-овов Средний и Рыбачий (составлена с использованием данных В. З. Негруцы [6]. Условные обозначения:
 1 – архей-нижнепротерозойский фундамент. 2–6 – Свиты кильдинской серии: 2 – пярярвинская; 3 – палвинская; 4 – поропелонская; 5 – землепахтинская; 6 – каруярвинская. 7–8. Свиты волоковой серии: 7 – куйканская; 8 – пуманская. 9–11. Свиты эйновской серии: 9 – мотовская; 10 – лонская; 11 – перевальная. 12–15. Свиты баргоутной серии: 12 – майская; 13 – зубовская; 14 – цыпнаволоцкая; 15 – скарбеевская; а – геологические границы установленные; б – геологические границы предполагаемые; в – разрывные нарушения; г – дайки долеритов; д – поля преимущественного развития псаммитов; е – поля преимущественного развития аргиллитов и сланцев

Степень преобразования пород п-ова Средний и о-ва Кильдин не превышает позднего (глубинного) катагенеза, о чем говорит широкое развитие в псаммитах регенерационного цемента и инкорпорационного сочленения зерен.

Отложения кильдинской и волоковой серий характеризуются высокой степенью дифференциации материала, химической зрелостью, сортированностью и окатанностью алевропсаммитовых фракций. Формирование отложений кильдинской и волоковой серий происходило в подводно-дельтовых обстановках, о чем говорят структурно-текстурные признаки (преобладание в разрезе хорошо- и среднесортированных псаммитов, однонаправленная косая слоистость потокового типа, сменяющаяся разнонаправленной и др.).

Зона пассивной окраины. Эйновская и баргоутная серии п-ова Рыбачий характеризуются флишоидным строением и представлены переслаиванием псефитов, псаммитов, алевролитов и алевропелитов (рис. 2). Ярko выражена тенденция уменьшения доли грубообломочных пород за счет увеличения объема тонкозернистых разностей снизу вверх по разрезу для отдельных свит и в целом. Степень изменения пород п-ова Рыбачий отвечает стадии метагенеза, о чем говорит широкое развитие в псаммитах хлорита, серицита и эпидота.

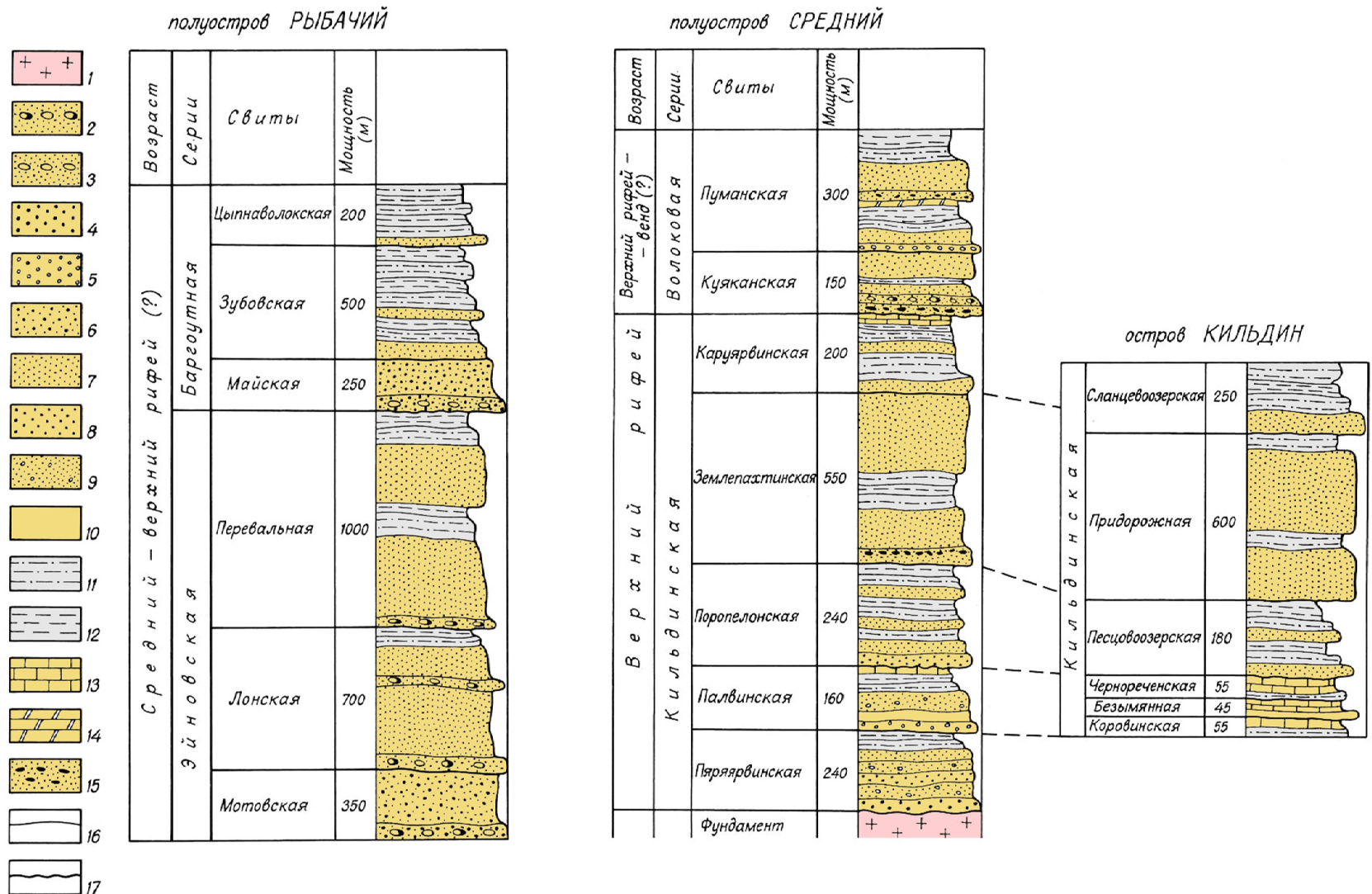


Рис. 2. Стратиграфический разрез п-овов Средний, Рыбачий и о-ва Кильдин. 1 – породы фундамента; псефиты: 2 – полимиктовые, 3 – кварцевые; гравелиты: 4 – полимиктовые, 5 – кварцевые; псаммиты: 6 – кварцевые граувакки, 7 – аркозовые, 8 – мезомиктовые, 9 – олигомиктовые, 10 – кварцевые; 11 – алевролиты; 12 – аргиллиты и сланцы; 13 – доломиты; 14 – мергели; 15 – обломочные фосфориты; границы: 16 – согласные, 17 – эрозийные

Характер ритмичности комплекса п-ова Рыбачий и закономерности ее изменения в направлении снизу (мотовская свита) вверх (цыпнаволоцкая свита) свидетельствуют о нормальной последовательности отложений, отвечающей трансгрессии бассейна в условиях лавинной седиментации, когда каждый последующий слой формировался в условиях более удаленных от береговой линии, чем предыдущий. С лавинным типом седиментации согласуются петрографические (широкое развитие кварцевых граувакк, несортированность и неокатанность алевропсаммитовых фракций) и геохимические (низкая степень дифференциации осадочного материала, его химическая незрелость) свойства пород. Отложения эйновской серии могут рассматриваться как проксимальные фации подводного конуса выноса, а баргоутной – как дистальные.

Обоснование возраста отложений

Вопрос о возрасте отложений п-овов Средний и Рыбачий окончательно не решен. Лишь отложения кильдинской серии имеют достаточно надежно доказанный позднерифейский возраст. Цифры 1 059–762 млн лет получены калий-аргоновым методом по глаукониту из песчаников, залегающих в нижней части серии (палвинская свита) [7]. Кроме того, по комплексу микрофоссилий Н. С. Михайлова определяет также позднерифейский возраст для отложений кильдинской серии [8]. По комплексу микрофоссилий, акритарх и цианобактерий, собранных из пород поропелонской и каруярвинской свит, И. Самюэльсон подтверждает возраст кильдинской серии как позднерифейский [9].

Изучение столбчатых построек строматолитов среди карбонатных прослоев кильдинской серии на о-ве Кильдин также свидетельствует о ее принадлежности к верхнему рифею. И. Н. Крыловым и В. В. Любцовым в отложениях коровинской свиты были выделены формы столбчатых ветвистых строматолитов *Gymnosolen ramsayi* Steinm [2]. Позднее М. Е. Раабен и В. В. Любцов описали сходные строматолитовые ассоциации родов *Inzeria*, *Minjaria* и *Gymnosolen* верхнего каратавия в отложениях п-ова Варангер, п-ова Канин и отложениях коровинской свиты о-ва Кильдин [3].

Менее определен возраст волоковой серии. Исходя из ее залегания непосредственно выше кильдинской серии и по аналогии с опорными разрезами верхнего докембрия смежных районов Б. М. Келлер с Б. С. Соколовым и Ю. Р. Беккер предполагают ее вендский возраст [10; 11]. Правомерность такого предположения подтверждается размывом и несогласием на границе волоковой и кильдинской серий. В. В. Любцов с соавторами показали, что для волоковой серии, так же как и кильдинской, характерен комплекс микрофоссилий позднерифейского возраста [8]. Таким образом, возраст волоковой серии можно условно принять как позднерифейско-вендский.

По комплексу микрофоссилий отложения п-ова Рыбачий Б. В. Тимофеев относил к нижнему – среднему рифею [12], а Н. С. Михайлова – условно к верхнему рифею – венду, при этом отмечая в нижней части разреза (эйновская серия) микрофоссилии, характерные для среднего рифея, а в верхней части (баргоутная серия) – микрофоссилии, типичные для позднего рифея [8]. Следует заметить, что представление о вендском возрасте пород п-ова Рыбачий было основано на данных В. З. Негруцы о стратиграфическом контакте между отложениями мотовской свиты и комплексом пород п-ова Средний [6].

Однако последующие исследования подтвердили первоначальную точку зрения А. А. Полканова об аллохтонном залегании отложений п-ова Рыбачий на породах п-ова Средний [13]. Следовательно, наиболее логично отнести отложения комплекса п-ова Рыбачий к среднему – верхнему рифею. Данное предположение подтверждается и тем, что сланцы скарбеевской и цынаволоцкой свит, венчающих разрез п-ова Рыбачий, по литолого-геохимическим данным хорошо коррелируются с породами формации Конгсфиорд, залегающих в основании всего спарагмитового комплекса Северной Норвегии [14]. Позднерифейский возраст для последних считается наиболее вероятным [15].

Таким образом, наиболее доказанным считается позднерифейский возраст кильдинской серии, что же касается возраста отложений волоковой, эйновской и баргоутной серий, то он во многом определяется исходя из их взаимоотношений с породами кильдинской серии.

Методика работ и обсуждение полученных результатов

Как уже было отмечено выше, недавняя находка пластовых строматолитов среди карбонатных отложений каруярвинской свиты на п-ове Средний заставила вернуться к вопросу о возрасте кильдинской серии. Обнаруженные в доломитах каруярвинской свиты на п-ове Средний пластовые строматолиты после детального изучения С. А. Анисимовой были отнесены к формальному раннерифейскому виду *Stratifera flexurata* Komar 1966 [4; 5]. Изучив коллекцию образцов и шлифов данных строматолитов, можно сделать вывод о необоснованности их определения как *Stratifera flexurata* Komar 1966. Главным противоречием является отсутствие у пластовых строматолитов п-ова Средний "сближенных между собой, иногда разветвляющихся столбиков" [16, с. 91; табл. XII, рис. 1]. Учитывая пластообразную морфологию и простейшую структуру строматолитовых наслоений у стратифер, наличие "ложных столбиков" у *Stratifera flexurata* Komar 1966 является важным диагностическим признаком, отсутствие которого не позволяет отнести изученные строматолиты к данному формальному виду.

Рассматривая строматолиты как микробиальные постройки, необходимо обосновать их биогенность. Для этого существует ряд критериев, важнейшим из которых является наличие в элементарных наслоениях фоссилизированных микроорганизмов или следов их жизнедеятельности [17]. С целью обнаружения таких структур шлифы строматолитов внимательно изучались на лазерном сканирующем микроскопе VK 9710 под различными увеличениями. Признаки следов микробиальной жизни в пластовых строматолитах полуострова Средний отмечались предыдущими исследователями в виде ступчатой (комковатой) структуры пелитоморфного доломита, наличия темных нитевидных и трубчатых микрообразований [4; 5]. Помимо нитевидных выделений углеродистого вещества (УВ) в темных наслоениях (рис. 3) нами были обнаружены многочисленные ленточные микрообразования в светлых слоях, сложенных кристаллическим доломитом (рис. 4).

Углеродистое вещество темных наслоений изучено методом спектрального комбинационного рассеивания. Этот метод (рамановская спектроскопия) может быть использован непосредственно для изучения строматолитов *in situ*, не разрушая образец. В последнее время метод рамановской спектроскопии широко применяется для исследования микробиальных фоссилий в горных породах докембрийского возраста [18–22], т. к. он позволяет на микроуровне определить минеральный состав пород и, что особенно важно – идентифицировать УВ и определить его спектральные характеристики.

По результатам изучения образцов строматолитов 509 и 905 методом рамановской спектроскопии установлено, что эти породы имеют сходный минеральный состав, представленный преимущественно доломитом, кварцем, рутилом, анатазом, мусковитом, альбитом, микроклином, пиритом, гематитом и УВ. Темные слои представляют собой матрицу из доломита и УВ с зернами кварца, анатаза, рутила и мусковита, светлые слои представлены мелкокристаллическим доломитом с зернами кварца, анатаза и рутила, УВ образцов строматолитов 509 и 905 – слоями разной толщины от 0,05 до 0,5 мм (рис. 5).

Характеристики рамановского спектра УВ не являются индикаторами его биогенного или абиогенного генезиса. Однако помимо того, что даже идентификация УВ в древних строматолитах имеет большое значение, метод рамановской спектроскопии дает возможность определить степень метаморфических преобразований УВ, и, следовательно, судить о его сингенетичном происхождении.

Спектры комбинационного рассеяния УВ строматолитов были получены с поверхности петрографических шлифов на дисперсионном Раман-спектрометре Nicolet Almega XR с возбуждением аргоновым лазером с длиной волны 532 нм. Для фокусировки лазерного луча на поверхности образца использовался 50-кратный объектив конфокального микроскопа, что позволяло получить сигнал с области размером около 2 мкм.

Вопрос о влиянии полировки образца УВ и его ориентации относительно лазерного пучка на параметры спектра остается дискуссионным [23–25], однако известно, что для разупорядоченного УВ влияние этих факторов незначительно [26; 27]. Параметры спектра, такие как положение, интенсивность, интегральная интенсивность и ширина на половине высоты линий (полуширина), были рассчитаны путем разложения исходных спектров с использованием функции Войта в программе OMNIC.

Рамановские спектры УВ всех образцов строматолитов сходны друг с другом и аналогичны спектрам разупорядоченного (аморфного) УВ [24; 28; 29]. В области рассеяния первого порядка спектры всех изученных образцов представлены наиболее интенсивными линиями D1 и G (рис. 6).

Следует отметить, что для всех образцов интенсивность линии G значительно выше, чем интенсивность линии D1, тогда как полуширина (ширина на половине высоты) линии D1 значительно больше, чем линии G (рис. 6). Кроме наиболее интенсивных линий D1 и G, при разложении спектра УВ всех образцов были выделены малоинтенсивные линии D2 (~ 1 610 см⁻¹), D3 (~ 1 530 см⁻¹) и D4 (~ 1 260 см⁻¹), характерные для УВ с высокой степенью разупорядоченности. В спектральной области второго порядка УВ всех образцов пики, например S1 и S2, характерные для аморфного УВ относительно высокой степени упорядоченности [24], не выявлены (рис. 6). Это также свидетельствует о низкой степени упорядоченности УВ исследованных строматолитов.

Степень упорядоченности УВ зависит от степени его метаморфических преобразований (под действием высоких температур и давлений), кинетики процессов и исходного состояния углерода. Для количественной оценки степени упорядоченности УВ чаще всего используют параметры соотношения интенсивностей ($R1 = D1/G$) и интегральных площадей ($R2 = D1/(D1 + G + D2)$) полос D1 и G, причем уменьшение значений этих параметров свидетельствует об увеличении степени упорядоченности УВ [24; 29; 30].

Для УВ осадочных пород была установлена зависимость между степенью упорядоченности углеродистого вещества, выраженной параметром R2, и температурой метаморфических преобразований [25; 31; 32]. УВ изученных строматолитов характеризуется относительно низкими параметрами R1 и R2, соответствующими температурам метаморфических преобразований ~ 400–500 °С, рассчитанным по геотермометру [24], т. е. зеленосланцевой фации метаморфизма.

Однако параметры R1 и R2 являются достаточно информативными для УВ из относительно высокометаморфизованных пород, но, как было показано [24; 33], недостаточными для характеристики УВ, испытавшего незначительные метаморфические преобразования (< 250 °С). Для слабометаморфизованного УВ, наряду с параметрами R1 и R2, необходимо также учитывать и полуширины линий D1 и G [19; 27; 34].

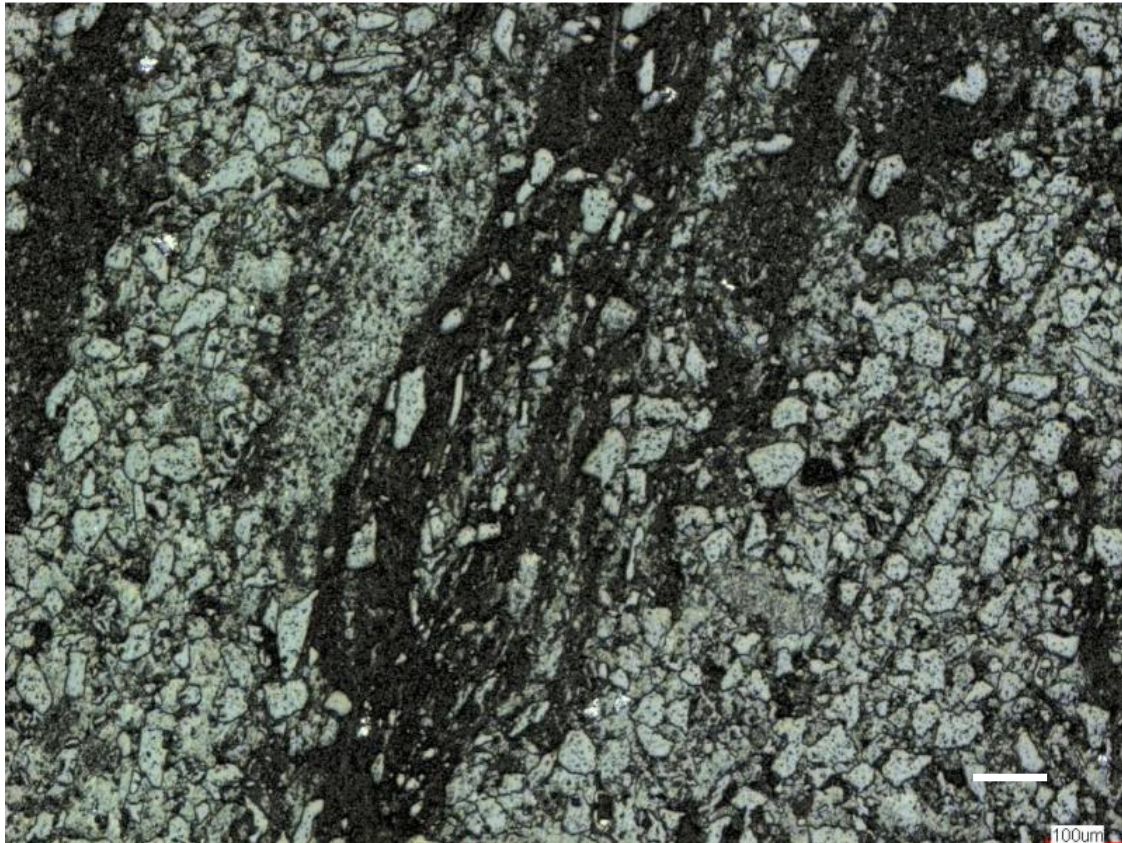


Рис. 3. Нитевидные выделения углеродистого вещества в шлифе 905. Изображение под лазерным сканирующим микроскопом, объектив 10. Масштабный отрезок 100 микрон

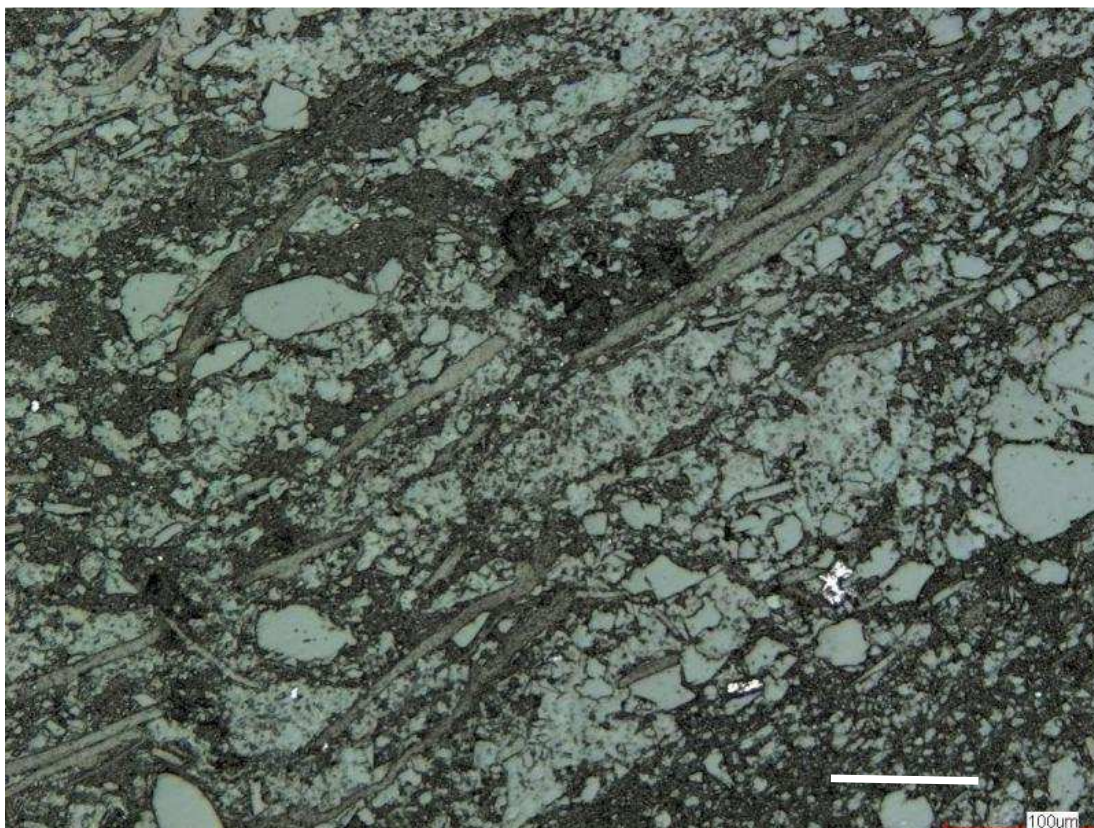


Рис. 4. Ленточные микрообразования в светлом наслоении. Шлиф 905А. Изображение под лазерным сканирующим микроскопом, объектив 20. Масштабный отрезок 100 микрон

Графитовый пик G соответствует колебаниям атомов углерода в плоскости шестиугольных графеновых слоев и присутствует в спектрах углеродистых веществ с sp^2 -гибридизацией [28; 29]. В аморфных и (или) дефектных фазах углерода появляется дополнительная линия D, свидетельствующая о краевых дефектах графеновых слоев [28]. Положение линии D1 примерно одинаково для всех образцов и близко к 1354 см^{-1} . В отличие от линии D1, положение линии G в рамановских спектрах УВ изученных строматолитов находится в диапазоне значений длин волн от 1584 (905A) и 1601 (905C) см^{-1} .

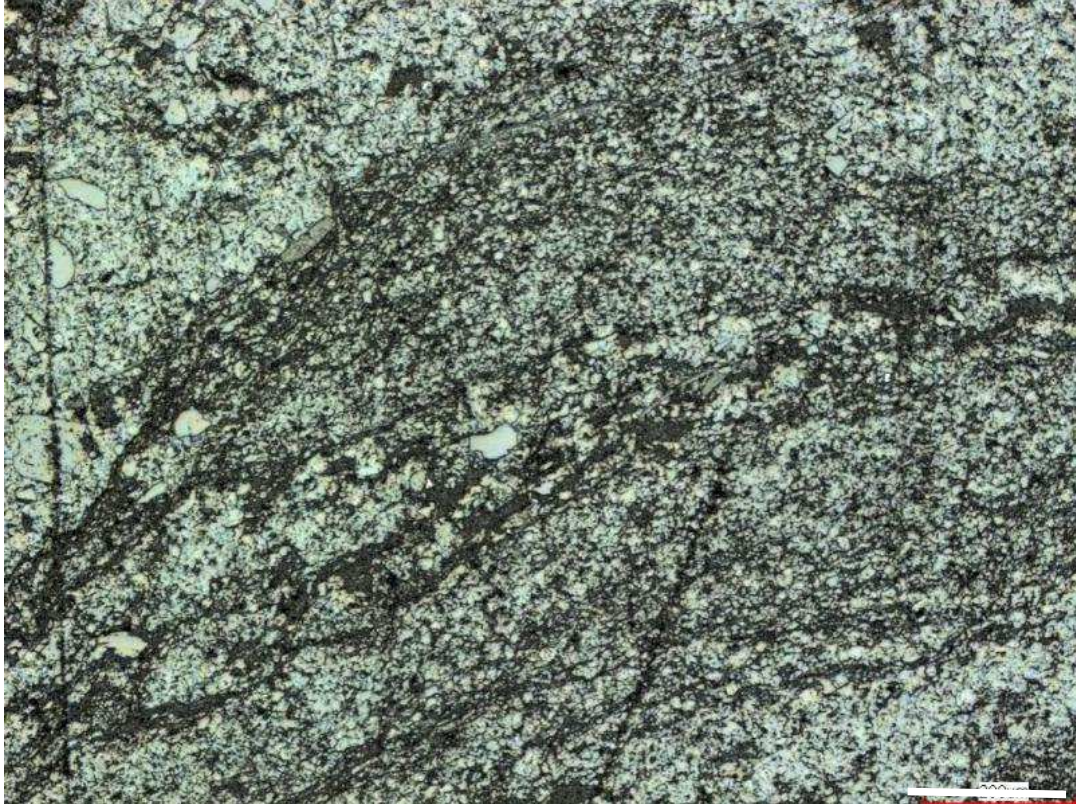


Рис. 5. Характер строматолитовых наслоений. Темные прослойки обогащены углеродистым веществом. Шлиф 905В. Изображение под лазерным сканирующим микроскопом, объектив 10. Масштабный отрезок 200 микрон

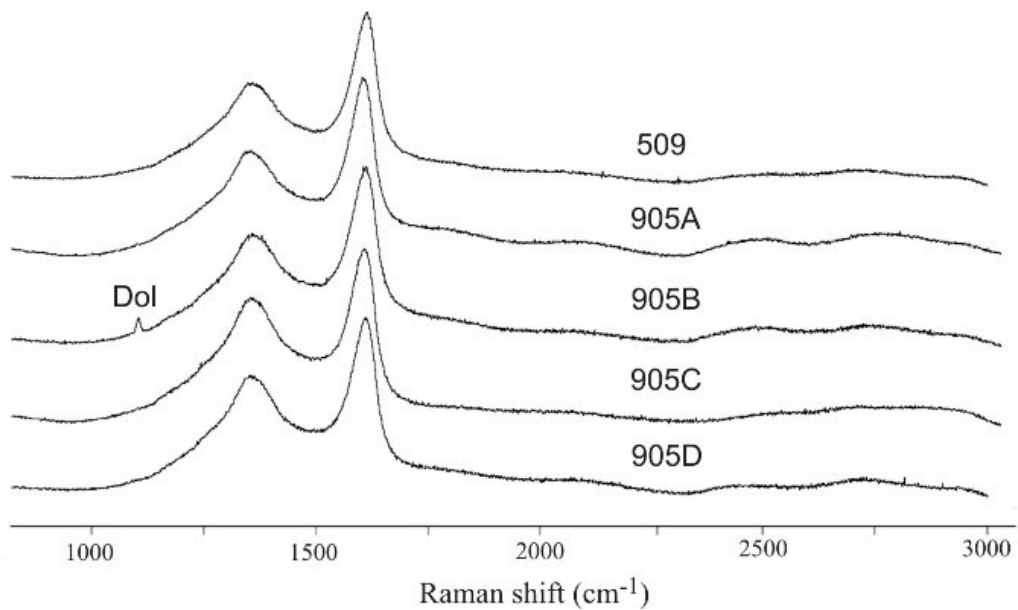


Рис. 6. Рамановские спектры углеродистого вещества строматолитов

На рис. 7 представлен график зависимости полуширины линии D1 от параметра R1, построенный [34] для УВ микрофоссилий различного возраста.

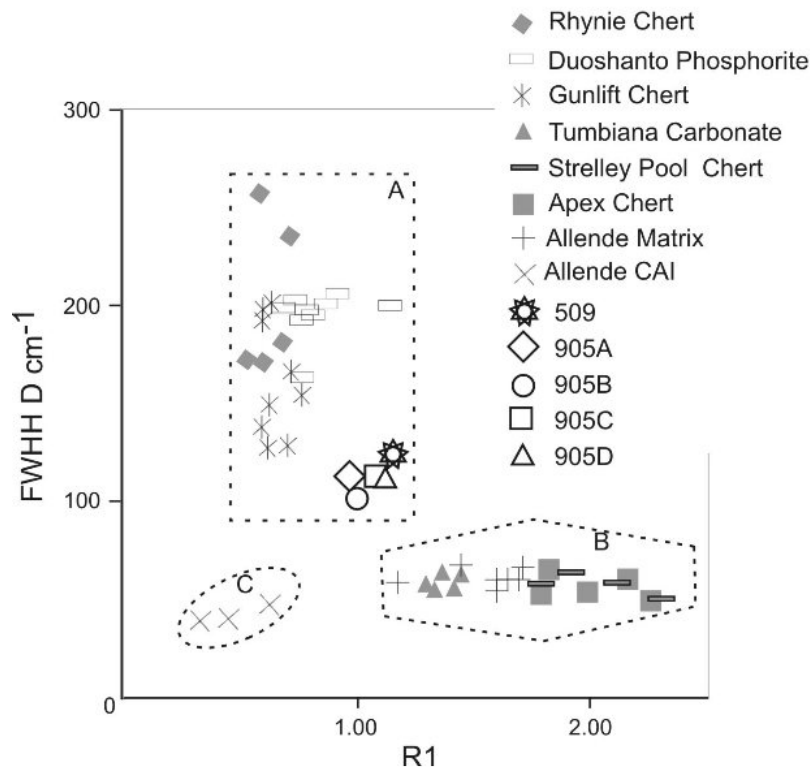


Рис. 7. Зависимость параметра R1 от полуширины (FWHM) пика D [34]

Условия образования УВ микрофоссилий: А – метаморфизм при $\sim 27^\circ\text{C} > T < \sim 150^\circ\text{C}$, исходное УВ сложного состава; В – метаморфизм при $\sim 300^\circ\text{C} > T < \sim 1000^\circ\text{C}$, исходное УВ менее сложного состава; С – графит, метаморфизм $T > \sim 1000^\circ\text{C}$. Характеристики изученных строматолитов 509 и 905 А, В, С, D нанесены на график.

Значения параметров рамановских спектров изученных строматолитов попадают в область значений, соответствующую УВ, испытывавшему слабые метаморфические преобразования ($\sim 27^\circ\text{C} > T < \sim 150^\circ\text{C}$), и источником происхождения (исходным УВ) которого, вероятно, являлось УВ сложного состава. Эти температуры соответствуют степени метаморфических преобразований вмещающих пород, что позволяет сделать вывод о сингенетичном происхождении УВ, а сложный состав исходного УВ может служить аргументом в пользу его биогенного происхождения. В эту же область попадает УВ микробиалитов девонского (Rhynie chert) и докембрийского возраста (Duoshanto phosphorite и Gunflint chert).

Заключение

Результаты проведенного исследования говорят о том, что пластовые строматолиты в доломитах каруярвинской свиты на п-ове Средний действительно являются ископаемыми микробиальными постройками. Однако отнесение их к формальному виду *Stratifera flexurata* Komar 1966 вряд ли оправдано, и, следовательно, нет оснований для кардинального пересмотра стратиграфической схемы осадочных разрезов верхнего протерозоя (неопротерозоя) п-овов Средний, Рыбачий и о-ва Кильдин.

Библиографический список

1. Семихатов М. А. Методическая основа стратиграфии рифея // Стратиграфия. Геол. Корреляция. 1995. Т. 3, № 6. С. 33–50.
2. Крылов И. Н., Любцов В. В. Строматолитовые бигермы острова Кильдин // Природа и хозяйство Севера. Вып. 4. Мурманск, 1976. С. 50–56.
3. Raaben M. E., Lyubtsov V. V. Stromatolites on Kildin Island, Kanin Peninsula (Russia) and Grasdalen Formation and Porsanger Dolomite (Northern Norway) // Norwegian-Russian Collaboration Programme "North Area", 1-st International Barents Symposium, 21–24 October, 1993, Kirkenes, Norway. Abstracts. P. 33.
4. Михайленко Ю. В., Иванов Н. Ф. О рифейских пластовых строматолитах каруярвинской свиты полуострова Средний (северное побережье Кольского полуострова) // Проблемы современной палинологии: материалы XIII Рос. палинолог. конф., 2011. Т. 1. С. 267–271.

5. Михайленко Ю. В. Состав и микроструктура пластовых строматолитов каруярвинской свиты п-ова Средний (северо-восточное обрамление Кольского полуострова) // Вестн. ИГ Коми НЦ РАН. 2015. № 5. С. 12–18.
6. Негруца В. З. Стратиграфия гиперборейских отложений полуостровов Среднего, Рыбачьего и острова Кильдина // Проблемы геологии докембрия Балтийского щита и покрова Русской платформы. Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. 1971. Т. 175. С. 153–186.
7. Беккер Ю. Р., Негруца В. З., Полевая Н. И. Возраст глауконитовых горизонтов и верхней границы гиперборея восточной части Балтийского щита // Докл. АН СССР. 1970. Т. 193, № 5. С. 1123–1126.
8. Любцов В. В., Михайлова Н. С., Предовский А. А. Литостратиграфия и микрофоссилии позднего докембрия Кольского полуострова. Апатиты, 1989. 130 с.
9. Samuelsson J. Biostratigraphy of Kildin Island and Sredni Peninsula: preliminary results // Norwegian-Russian Collaboration Programme "North Area" : 1-st International Barents Symposium, 21–24 October, 1993, Kirkenes, Norway. Abstracts. P. 39.
10. Келлер Б. М., Соколов Б. С. Поздний докембрий севера Мурманской области // Докл. АН СССР. 1960. Т. 133, № 5. С. 1154–1157.
11. Беккер Ю. Р. Молассы докембрия. Л. : Недра, 1988. 288 с.
12. Тимофеев Б. В. Микропалеонтологическое исследование древних свит. Л. : Наука, 1966. 147 с.
13. Полканов А. А. Геологический очерк Кольского полуострова // Тр. Аркт. ин-та, Геология. 1936. Т. 53. 171 с.
14. Коноплева Н. Г. О стратиграфии рифейских отложений полуострова Рыбачий // Новые данные по геологии и стратиграфии Северо-Запада РСФСР : тр. М-ва геологии РСФСР. М., 1977. Вып. 6. С. 62–80.
15. Siedlecka A., Roberts D. The bedrock geology of Varanger Peninsula, Finmark, North Norway: an excursion guide // Nor. Geol. Unders., Special Publ. 1992. V. 5. 45 p.
16. Комар В. А. Строматолиты верхнедокембрийских отложений севера Сибирской платформы. М. : Наука, 1966. 122 с.
17. Palaeoproterozoic stromatolites from the Lomagundi-Jatuli interval of the Fennoscandian Shield / N. McLoughlin, V. A. Melezhik, A. T. Brasier, P. V. Medvedev // Earth's Oxygenation and Associated Global Events: The FAR-DEEP Perspective // 7.8 Traces of Life // Volume 3: Global Events and the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project // Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Melezhik V.A. [et al.] (Eds.). Springer, 2013, XXII. P. 1298–1351.
18. Allwood A. C., Walter M. R., Marshall C. P. Raman spectroscopy reveals thermal palaeoenvironments of c. 3.5 billion-year-old organic matter // Vib. Spectrosc. 2006. V. 41. P. 190–197.
19. Bower D. M. Micro Raman spectroscopic investigations of mineral assemblages in parallel to bedding laminae in 2.9 Ga sandstones of the Pongola Supergroup, South Africa // J. Raman Spectrosc. 2011. V. 42. P. 1626–1633.
20. Marshall C. P., Edwards H. G. M., Jehlicka J. Understanding the application of Raman spectroscopy to the detection of traces of life // Astrobiology. 2010. V. 10. P. 229–243.
21. Schopf J. W., Kudryavstev A. B. Confocal laser scanning microscopy and Raman imagery of ancient microscopic fossils // Precambrian Res. 2009. V. 173. P. 39–49.
22. Raman imagery: A new approach to assess the geochemical maturity and biogenicity of permineralized Precambrian fossils / J. W. Schopf, A. B. Kudryavstev, D. G. Agresti, A. D. Czaja, T. J. Wdowiak // Astrobiology. 2005. V. 5. P. 333–371.
23. Extending the applicability of the Raman carbonaceous-material geothermometer using data from contact metamorphic rocks / M. Aoya, Y. Kouketsu, S. Endo, H. Shimizu, T. Mizukami, D. Nakamura, S. R. Wallis // J. Metamorphic Geol. 2010. V. 28. P. 895–914.
24. Beysac O., Goffé B., Chopin C., Rouzaud J.-N. Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: A new geothermometer // J. Metamorphic Geol. 2002. V. 20. P. 859–871.
25. Beysac O., Bollinger L., Avouac J. P., Goffé B. Thermal metamorphism in the lesser Himalaya of Nepal determined from Raman spectroscopy of carbonaceous material. Earth Planet. Sci. Lett. 2004. V. 225. P. 233–241.
26. Carbonaceous cherts of the Barberton greenstone belt, South Africa: Isotopic, chemical and structural characteristics of individual microstructures / M. A. van Zuilen, M. Chaussidon, C. Rollion-Bard, B. Marty // Geochim. Cosmochim. Acta. 2007. V. 71. P. 655–669.
27. Sforza M. C., van Zuilen M. A., Philippot P. Structural characterization by Raman hyperspectral mapping of organic carbon in the 3.46 billion-year-old Apex chert, Western Australia // Geochim. Cosmochim. Acta. 2014. V. 124. P. 18–33.
28. Ferrari A. C., Robertson J. Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon // Phys. Rev. 2000. V. 61. P. 14095–14107.

29. Wopenka B., Pasteris J. D. Structural characterization of kerogens to granulite-facies graphite: Applicability of Raman microprobe spectroscopy // *Am. Mineral.* 1993. V. 78. P. 533–557.
30. Jehlicka J., Urban O., Pokorny J. Raman spectroscopy of carbon and solid bitumens in sedimentary and metamorphic rocks // *Spectrochim. Acta. A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2003. V. 59. P. 2341–2352.
31. Conversion of carbonaceous material to graphite within the greywacke zone of the Eastern Alps / G. Rantitsch, W. Grogger, C. Teichert, F. Ebner, C. Hofer, E.-M. Maurer, B. Schaffer, M. Toth // *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch).* 2004. V. 93. P. 959–973.
32. 3-D assessment of peak-metamorphic conditions by Raman spectroscopy of carbonaceous material: An example from the margin of the Lepontine dome (Swiss Central Alps) / M. Wiederkehr, R. Bousquet, M. Ziemann, A. Berger, S. Schmid // *Int. J. Earth Sci.* 2011. V. 100. P. 1029–1063.
33. Raman spectroscopic carbonaceous material thermometry of low-grade metamorphic rocks: Calibration and application to tectonic exhumation in Crete, Greece / J. M. Rahl, K. M. Anderson, M. T. Brandon, C. Fassoulas // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2005. V. 240. P. 339–354.
34. Micro Raman spectroscopy of carbonaceous material in microfossils and meteorites: Improving a method for life detection / D. M. Bower, A. Steele, M. D. Fries, L. Kater // *Astrobiology.* 2013. V. 13. P. 103–113.

References

1. Semihatov M. A. Metodicheskaya osnova stratigrafii rifeya [Methodic basis of Riphean stratigraphy] // *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya.* 1995. V. 3, N 6. P. 33–50.
2. Krylov I. N., Lyubtsov V. V. Stromatolitovye bigermy ostrova Kildin [Stromatolitic biherms of Kildin Island] // *Priroda i hozyaystvo Severa. Vyp. 4. Murmansk, 1976. P. 50–56.*
3. Raaben M. E., Lyubtsov V. V. Stromatolites on Kildin Island, Kanin Peninsula (Russia) and Grasdalen Formation and Porsanger Dolomite (Northern Norway) // *Norwegian-Russian Collaboration Programme "North Area"*, 1-st International Barents Symposium, 21–24 October, 1993, Kirkenes, Norway. Abstracts. P. 33.
4. Mihaylenko Yu. V., Ivanov N. F. O rifeyskih plastovyh stromatolitah karuyarvinskoy svity poluostrova Sredniy (severnoe poberezhie Kolskogo poluostrova) [On riphean stratum stromatolites of Karuyarvi Suite, Sredny Peninsula (northern shore of the Kola Peninsula)] // *Problemy sovremennoy palinologii : materialy XIII Ros. palinolog. konf., 2011. V. 1. P. 267–271.*
5. Mihaylenko Yu. V. Sostav i mikrostruktura plastovyh stromatolitov karuyarvinskoy svity p-ova Sredniy (severo-vostochnoe obramlenie Kolskogo poluostrova) [Composition and microstructure of stratum stromatolites of Karuyarvi Suite, Sredny Peninsula (north-eastern rim of the Kola Peninsula)] // *Vestn. IG Komi NTs RAN.* 2015. N 5. P. 12–18.
6. Negrutsa V. Z. Stratigrafiya giperboreyskih otlozheniy poluostrovov Srednego, Rybachego i ostrova Kildina [Stratigraphy of hyperborean sediments of Sredny, Rybachi Peninsulas and Kildin Island] // *Problemy geologii dokembriya Baltiyskogo schita i pokrova Russkoy platformy. Tr. VSEGEI. Nov. ser.* 1971. V. 175. P. 153–186.
7. Bekker Yu. R., Negrutsa V. Z., Plevaya N. I. Vozrast glaukonitovyh gorizontov i verhney granitsy giperboreya vostochnoy chasti Baltiyskogo schita [Age of glauconitic horizons and upper boundary of the Hyperborean of eastern part of the Baltic Shield] // *Dokl. AN SSSR.* 1970. V. 193, N 5. P. 1123–1126.
8. Lyubtsov V. V., Mihaylova N. S., Predovskiy A. A. Litostratigrafiya i mikrofosilii pozdnego dokembriya Kolskogo poluostrova [Lithostratigraphy and microfossils of Late Precambrian of the Kola Peninsula]. *Apatity, 1989. 130 p.*
9. Samuelsson J. Biostratigraphy of Kildin Island and Sredni Peninsula: preliminary results // *Norwegian-Russian Collaboration Programme "North Area" : 1-st International Barents Symposium, 21–24 October, 1993, Kirkenes, Norway. Abstracts. P. 39.*
10. Keller B. M., Sokolov B. S. Pozdniy dokembriy severa Murmanskoy oblasti [Late Precambrian of the northern Murmansk region] // *Dokl. AN SSSR.* 1960. V. 133, N 5. P. 1154–1157.
11. Bekker Yu. R. Molassy dokembriya [Precambrian molasses]. L. : Nedra, 1988. 288 p.
12. Timofeev B. V. Mikropaleofitologicheskoe issledovanie drevnih svit [Micropaleobotanical studies of ancient suites]. L. : Nauka, 1966. 147 p.
13. Polkanov A. A. Geologicheskiy ocherk Kolskogo poluostrova [Geological essay of the Kola Peninsula] // *Tr. Arkt. in-ta, Geologiya.* 1936. V. 53. 171 p.
14. Konopleva N. G. O stratigrafii rifeyskih otlozheniy poluostrova Rybachi [On stratigraphy of riphean sediments of Rybachi Peninsula] // *Novye dannye po geologii i stratigrafii Severo-Zapada RSFSR : tr. M-va geologii RSFSR. M., 1977. Vyp. 6. P. 62–80.*
15. Siedlecka A., Roberts D. The bedrock geology of Varanger Peninsula, Finmark, North Norway: an excursion guide // *Nor. Geol. Unders., Special Publ.* 1992. V. 5. 45 p.
16. Komar V. A. Stromatolity verhnedokembriyskih otlozheniy severa Sibirskoy platform [Stromatolites of the upper Precambrian sediments of the Siberian platform]. M. : Nauka, 1966. 122 p.

17. Palaeoproterozoic stromatolites from the Lomagundi-Jatuli interval of the Fennoscandian Shield / N. McLoughlin, V. A. Melezhik, A. T. Brasier, P. V. Medvedev // *Earth's Oxygenation and Associated Global Events: The FAR-DEEP Perspective // 7.8 Traces of Life // Volume 3: Global Events and the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project // Reading the Archive of Earth's Oxygenation*. Melezhik V.A. [et al.] (Eds.). Springer, 2013, XXII. P. 1298–1351.
18. Allwood A. C., Walter M. R., Marshall C. P. Raman spectroscopy reveals thermal palaeoenvironments of c. 3.5 billion-year-old organic matter // *Vib. Spectrosc.* 2006. V. 41. P. 190–197.
19. Bower D. M. Micro Raman spectroscopic investigations of mineral assemblages in parallel to bedding laminae in 2.9 Ga sandstones of the Pongola Supergroup, South Africa // *J. Raman Spectrosc.* 2011. V. 42. P. 1626–1633.
20. Marshall C. P., Edwards H. G. M., Jehlicka J. Understanding the application of Raman spectroscopy to the detection of traces of life // *Astrobiology.* 2010. V. 10. P. 229–243.
21. Schopf J. W., Kudryavstev A. B. Confocal laser scanning microscopy and Raman imagery of ancient microscopic fossils // *Precambrian Res.* 2009. V. 173. P. 39–49.
22. Raman imagery: A new approach to assess the geochemical maturity and biogenicity of permineralized Precambrian fossils / J. W. Schopf, A. B. Kudryavstev, D. G. Agresti, A. D. Czaja, T. J. Wdowiak // *Astrobiology.* 2005. V. 5. P. 333–371.
23. Extending the applicability of the Raman carbonaceous-material geothermometer using data from contact metamorphic rocks / M. Aoya, Y. Kouketsu, S. Endo, H. Shimizu, T. Mizukami, D. Nakamura, S. R. Wallis // *J. Metamorphic Geol.* 2010. V. 28. P. 895–914.
24. Beysac O., Goffé B., Chopin C., Rouzaud J.-N. Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: A new geothermometer // *J. Metamorphic Geol.* 2002. V. 20. P. 859–871.
25. Beysac O., Bollinger L., Avouac J. P., Goffé B. Thermal metamorphism in the lesser Himalaya of Nepal determined from Raman spectroscopy of carbonaceous material. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2004. V. 225. P. 233–241.
26. Carbonaceous cherts of the Barberton greenstone belt, South Africa: Isotopic, chemical and structural characteristics of individual microstructures / M. A. van Zuilen, M. Chaussidon, C. Rollion-Bard, B. Marty // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2007. V. 71. P. 655–669.
27. Sforza M. C., van Zuilen M. A., Philippot P. Structural characterization by Raman hyperspectral mapping of organic carbon in the 3.46 billion-year-old Apex chert, Western Australia // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2014. V. 124. P. 18–33.
28. Ferrari A. C., Robertson J. Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon // *Phys. Rev.* 2000. V. 61. P. 14095–14107.
29. Wopenka B., Pasteris J. D. Structural characterization of kerogens to granulite-facies graphite: Applicability of Raman microprobe spectroscopy // *Am. Mineral.* 1993. V. 78. P. 533–557.
30. Jehlicka J., Urban O., Pokorný J. Raman spectroscopy of carbon and solid bitumens in sedimentary and metamorphic rocks // *Spectrochim. Acta. A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2003. V. 59. P. 2341–2352.
31. Conversion of carbonaceous material to graphite within the greywacke zone of the Eastern Alps / G. Rantitsch, W. Grogger, C. Teichert, F. Ebner, C. Hofer, E.-M. Maurer, B. Schaffer, M. Toth // *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch).* 2004. V. 93. P. 959–973.
32. 3-D assessment of peak-metamorphic conditions by Raman spectroscopy of carbonaceous material: An example from the margin of the Lepontine dome (Swiss Central Alps) / M. Wiederkehr, R. Bousquet, M. Ziemann, A., Berger S. Schmid // *Int. J. Earth Sci.* 2011. V. 100. P. 1029–1063.
33. Raman spectroscopic carbonaceous material thermometry of low-grade metamorphic rocks: Calibration and application to tectonic exhumation in Crete, Greece / J. M. Rahl, K. M. Anderson, M. T. Brandon, C. Fassoulas // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2005. V. 240. P. 339–354.
34. Micro Raman spectroscopy of carbonaceous material in microfossils and meteorites: Improving a method for life detection / D. M. Bower, A. Steele, M. D. Fries, L. Kater // *Astrobiology.* 2013. V. 13. P. 103–113.

Сведения об авторах

Медведев Павел Владимирович – Институт геологии Кар. НЦ РАН, канд. геол.-мин наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: pmedved@krs.karelia.ru

Medvedev P. V. – Institute of Geology, Karelian RC RAS, Cand. of Geol. & Miner. Sci., Senior Researcher; e-mail: pmedved@krc.karelia.ru

Войтеховский Юрий Леонидович – Геологический институт КНЦ РАН, д-р геол.-мин. наук, профессор, директор; Апатитский филиал МГТУ, кафедра геологии и полезных ископаемых, зав. кафедрой; e-mail: voyt@geoksc.apatity.ru

Voytekhovsky Yu. L. – Geological Institute KRC RAS, Dr of Geol. & Miner. Sci., Professor, Director; MSTU Apatity Branch, Geology and Minerals Department, Head; e-mail: voyt@geoksc.apatity.ru

Чаженгина Светлана Юрьевна – Институт геологии Кар. НЦ РАН, канд. геол.-мин. наук, науч. сотрудник; e-mail: chazhengina@mail.ru

Chazhengina S. Yu. – Institute of Geology Karelian RC RAS, Cand. of Geol. & Miner. Sci., Researcher; e-mail: chazhengina@mail.ru

Чикирёв Игорь Владимирович – Геологический институт КНЦ РАН, канд. геол.-мин. наук, профессор, науч. сотрудник; Апатитский филиал МГТУ, кафедра геологии и полезных ископаемых, доцент, e-mail: officeaf@afmgtu.apatity.ru

Chickiryov I. V. – Geological Institute KRC RAS, Cand. of Geol. & Miner. Sci., Professor, Researcher; MSTU Apatity Branch, Geology and Minerals Department, Associate Professor; e-mail: officeaf@afmgtu.apatity.ru