

УДК 551.733.13

DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-4-557-572

## Верхнеордовикский риф Большая Косью, р. Илыч, Северный Урал (структура, палеобиоценозы, микрофации, модель формирования)

Л. А. Шмелёва

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54, e-mail: lyubov.shmeleva@inbox.ru

Поступила в редакцию 26.08.2019 г., принята к печати 27.11.2019 г.

*Объект исследований.* Верхнеордовикский риф Большая Косью, расположенный на западном склоне Северного Урала в бассейне р. Илыч, является уникальным объектом среди разновозрастных рифов благодаря слабой доломитизации пород и возможности проследить фазы его развития. *Материалы и методы.* В статье представлены результаты палеонтологического, палеоэкологического и микрофациального анализов рифовых известняков, отобранных автором из 12 естественных выходов суммарной мощностью около 150 м, расположенных вдоль обоих берегов р. Большая Косью. *Результаты.* Установлена структура рифа, морфология и таксономический состав каркасообразующей биоты, впервые выявлена важная роль сфинктозойных губок. Среди рифовых известняков по основным генетическим признакам, отражающим конкретные обстановки осадконакопления, выделено три типа микрофаций. Тип 1 – рифовые микрофации – фреймстоуны и бафлстоуны. Тип 2 – микрофации межбиогермного пространства и межкаркасных полостей, подверженных волновому и приливно-отливному воздействию – биокластовые и пеллоидные пакстоуны, биолитокастовые грейнстоуны и литокастовые рудстоуны. Тип 3 – микрофации скрытых межкаркасных полостей, защищенных от активного волнового воздействия – вакстоуны. *Выводы.* Состав микрофаций и каркасообразующей биоты характеризует сложно дифференцированный как по разрезу, так и структуре риф, формировавшийся в обстановках окраины карбонатной платформы-шельфа с активной гидродинамикой. Его рост происходил при трансгрессии, завершившейся к концу среднего катия крупной регрессией, прекратившей его развитие. Полученные палеонтологические, палеоэкологические и микрофациальные данные свидетельствуют о том, что начиная со среднего катия впервые выявленные сфинктозойные губки могли поселяться в сублиторальных обстановках с активной гидродинамикой на глубинах до 20 м.

**Ключевые слова:** сфинктозоа, палеобиоценозы, микрофации, риф, верхний ордовик, р. Илыч, Северный Урал

### Источник финансирования

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00331

## The Upper Ordovician reef Bol'shaya Kos'yu, Ilych River, the Northern Urals (structure, paleobiocenosis, microfacies, model of formation)

Lyubov A. Shmeleva

Institute of Geology Komi Science Centre Urals Branch of RAS, 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar 167982, Russia, e-mail: lyubov.shmeleva@inbox.ru

Received 26.08.2019, accepted 27.11.2019

*Subject.* The Upper Ordovician reef Bol'shaya Kos'yu, located on the western slope of the Northern Urals in the basin of the Ilych River is a unique object among coeval reefs due to the weak dolomitization of rocks and the ability to trace the phases of its development. *Materials and methods.* The article presents the results of paleontological, paleoecological and microfacial analyses of reef limestones selected by the author from 12 natural outcrops with a total capacity of about 150 m located along both banks of the Bol'shaya Kos'yu River. *Results.* The structure of the reef, morphology and taxonomic composition of the frame-forming biota were established, and the important role of sphinctozoal sponges was first identified. Among the reef limestones in the main genetic characteristics that reflect specific depositional environments, was identified three types of microfacies. Type 1 – reef microfacies – framestones and bafflestones. Type 2 – microfacies of interbiohermic space and inter-carass cavities exposed to wave and tidal action – bioclastic and peloid packstones, biolithoclastic grainstones and lithoclastic rudstones. Type 3 – microfacies of the hidden microcosmic cavities, protected from the active wave impact – wackstone. *Conclusion.* The composition of the microfacies and frame-forming biota characterize difficult differentiated, both on a section, and structure the reef, which was formed in the conditions of the carbonate platform-

**Для цитирования:** Шмелёва Л.А. (2020) Верхнеордовикский риф Большая Косью, р. Илыч, Северный Урал (структура, палеобиоценозы, микрофации, модель формирования). *Литосфера*, 20(4), 557-572. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-4-557-572

**For citation:** Shmeleva L.A. (2020) The Upper Ordovician reef Bol'shaya Kos'yu, Ilych River, the Northern Urals (structure, paleobiocenosis, microfacies, model of formation). *Litosfera*, 20(4), 557-572. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-4-557-572

shelf margin with active hydrodynamics. Its growth occurred during transgression, which ended by the end of the middle katian a major regression that stopped its development. The revealed paleontological, paleoecological and microfacial data indicate that starting from the middle katian the first identified sphinctozoal sponges could settle in sublittoral environments with active hydrodynamics at depths up to 20 m.

**Keywords:** *sphinctozoa, paleobiocenosis, microfacies, reef, Upper Ordovician, Ilych River, Northern Urals*

#### Funding information

*The study was performed with financial support RFBR, research project No. 18-35-00331*

#### Acknowledgements

The author expresses gratitude to A.I. Antoshkina and E.S. Ponomarenko for consultations, valuable comments and useful recommendations in the preparation of the article for publication

## ВВЕДЕНИЕ

Рифы как важнейшие источники информации о былых состояниях биосферы являются уникальными объектами исследования. На западном склоне Севера Урала в настоящее время известно три верхнеордовикских рифа – Лек-Елец, Бадья и Большая Косью. Лишь один из них – риф Большая Косью – практически не затронут процессами доломитизации, что делает его уникальным геологическим объектом палеоэкологического изучения развития позднеордовикской рифовой экосистемы Урала. Первые упоминания о присутствии на Северном Урале биогермных известняков верхнего ордовика принадлежат А.Г. Кондаин (1967). Позднее риф Большая Косью изучался А.И. Антошкиной, впервые проследившей в его структуре смену стадий развития палеосообществ (Антошкина, 1992а, 1994). В настоящее время установлены разнофациальный палеоландшафтный профиль рифа (Шмелёва, 2014) и отчетливо выраженная рифовая экологическая сукцессия, состоящая из четырех стадий (стабилизации, колонизации, диверсификации и климакса), характеризующих зрелый экологический риф (Шмелёва, 2016). Впервые такая модель развития рифовой экосистемы была разработана на среднеордовикских органогенных постройках Теннеси (Alberstadt et al., 1974; James, Bourque, 1992), и, по мнению А.И. Антошкиной (2003), она наилучшим образом отражает процесс постепенного формирования рифов – от зарождения до угасания. Кроме того, в структуре рифа Большая Косью автором впервые на Урале выявлены позднеордовикские сфинктозоа (Шмелёва, 2016), которые не были типичными каркасостроителями рифов этой эпохи (Talent, 1988; Webby, 2002; Li et al., 2015). Поскольку развитие рифовой экосистемы напрямую зависит от каркасообразующего потенциала ее компонентов, возникают вопросы о роли сфинктозоа в формировании рифа Большая Косью. При этом первостепенное значение имеют пространственно-временные взаимоотношения и палеоэкологические особенности рифовых сообществ. Эти исследования позволяют расширить знания об ареале

обитания сфинктозоа и эволюции рифовых экосистем в ордовике.

Целью статьи является установление пространственно-временной и палеоэкологической структур сообществ рифа Большая Косью для выявления роли сфинктозойных губок в его развитии и поздне ордовике на Севере Урала.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом для данного исследования послужили 12 естественных выходов верхнеордовикских рифовых отложений на Северном Урале (бассейн р. Илыч) суммарной мощностью около 150 м, представленные образцами горных пород (более 400 шт.), шлифов (183), пришлифовок (35) и химических анализов (36 шт.). Разрезы расположены вдоль обоих берегов р. Б. Косью и исследовались автором во время полевых сезонов 2014–2015 гг. Отбор образцов осуществлялся через 1 м, однако при возможности детальных наблюдений, позволяющих выделить литологические и фациальные различия, образцы отбирались дополнительно. Для достижения поставленной цели проведен микрофациальный анализ, который является одним из перспективных направлений современных фациальных и палеоэкологических исследований и важнейшим инструментом для реконструкции обстановок осадконакопления. Для микрофациального анализа применялась классификация карбонатных пород Р. Данема (Dunham, 1962), усовершенствованная Э. Эмбраем и Э. Кловеном (Embry, Klovan, 1971). В полевых исследованиях первоочередными задачами были выявление каркасообразующей биоты, документирование всех других биогенных компонентов и несkeletalных зерен с последующим выделением микрофаций и описанием их характеристик. Под микрофацией понимается совокупность литологических и палеоэкологических характеристик, которые могут быть описаны и классифицированы в шлифах, спилах и отполированных образцах (Flügel, 2004). Все аналитические исследования выполнены в ЦКП “Геонаука” Института геологии им. академика Н.П. Юш-

кина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Кроме собственных материалов, автор использовал полевые материалы А.И. Антошкиной (1974 г.) и фондовый отчет Б.Я. Дембовского (1992 г.). Определения различных групп фоссилей выполнялись в разные годы следующими специалистами-палеонтологами: Н.А. Боринцевой, Е.Ю. Лобановой, В.Ю. Лукиным (табулятоморфные кораллы), М.В. Шурыгиной, В.С. Цыганко (ругозы, рецептакулиты), О.В. Богоявленской, Е.В. Антроповой (строматопороидеи), В.С. Милициной (криноидеи), В.М. Богоявленской (брахиоподы), В.П. Шуйским (водоросли, гидроиды). Для определения губок проводились консультации с А.Ю. Журавлёвым (ГИН РАН, Москва) и Ци-Цзянь Ли (Qi-Jian Li, Нанкийский институт геологии и палеонтологии, Китай), которые подтвердили предположение автора о присутствии среди них сфинктозоа и их видовой принадлежности.

#### КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Север Урала, включающий в себя западный склон Северного, Приполярного и Полярного Урала, является восточной частью Тимано-Североуральского региона (Печорская плита), который в современном структурно-тектоническом плане расположен на эпибайкальском Тимано-Североуральском литосферном блоке, относящемся к северо-восточной части Европейской платформы. История его развития в раннем палеозое тесно связана с тектонической эволюцией Печорской плиты и формированием Палеоуральского океана. Позднеордовикский этап развития региона характеризовался становлением карбонатной платформы с терригенно-карбонатными трансгрессивными трактами (сандбийский век и раннекатийское время), образованием депрессий с эвапоритовым осадконакоплением, шельфовых лагун и локальных рифов на континентальной окраине (среднекатийское время), сменившихся в позднекатийское время глинисто-карбонатными трансгрессивными трактами с разнообразным комплексом бентосной фауны. Завершился он тектонической активизацией блоков фундамента на рубеже ордовика и силура в хирнантском веке, обусловившей резкую дифференциацию мелководных обстановок осадконакопления от супра- до сублиторальных (Антошкина, Шмелёва, 2018).

Риф Большая Косью расположен на территории Печоро-Илычского биосферного заповедника, в субширотном течении р. Б. Косью, правого притока р. Илыч (рис. 1). Он с тектоническим контактом залегает на слоистых глинистых сланцах, аргиллитах и известняках большекосьюнской свиты, возраст которой датируется конодонтами *Baltoniodus*

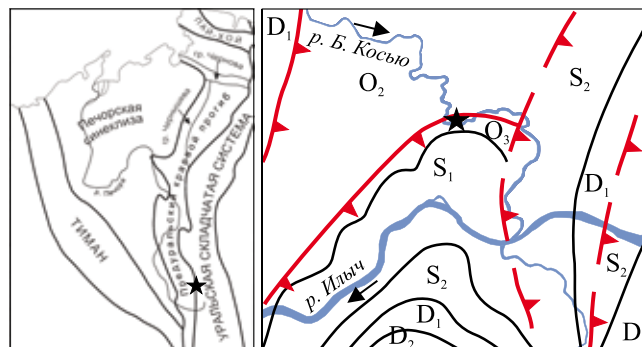


Рис. 1. Местонахождение рифа Большая Косью.

Fig. 1. The location of the Bol'shaya Kos'yu Reef.

*alobatus* как сандбий-ранний катий (Антошкина и др., 2017). Перекрывающие риф слоистые комковатые известняки яптикшорской свиты с брахиоподами *Proconchidium* cf. *munsteri* (Kiaer) имеют позднекатийский возраст (Антошкина, 1992б; Шмелёва, 2016). Палеогеографическое положение рифа в позднем ордовике соответствовало окраине карбонатной платформы-шельфа и было сходно с позицией рифов Лек-Елец и Бадъя на Полярном и Приполярном Урале (Антошкина и др., 2015).

#### ХАРАКТЕРИСТИКА СТРОЕНИЯ РИФА

В строении рифа выделены четыре интервала, соответствующие фазам/стадиям его формирования (Шмелёва, 2016). Интервал I (17 м) характеризуют слои массивных биокластовых известняков, в которых встречаются небольшие линзы брахиопод и скопления табулят и ругоз (*стадия стабилизации*). Интервал II (19 м) представляют изолированные биогермные тела, достигающие 3–5 м в высоту, сложенные массивными известняками с обилием строматопороидей, кораллов, сфинктозоа и зеленых водорослей. Межбиогермное пространство заполнено биокластовыми и литокластовыми известняками (*стадия колонизации*). Интервал III (75 м) формируют рифовые ядра из тесно расположенных биогермов высотой 3–10 м, которые сформированы разнообразными каркасными организмами: строматопороидеями, кораллами, зелеными и красными водорослями, сфинктозоа, рецептакулитами, гидроидами и цианобактериями. На склонах биогермов развиты био-литокластовые разности, редко – линзочки пелоидных известняков (*стадия диверсификации*). Интервал IV (26 м) характеризуется обилием био- и литокластовых известняков, среди которых локально присутствуют небольшие линзовидные органогенные постройки мощностью до 3 м из пластинчатых табулят и сфинктозоа (*стадия климакса*). Разрез рифовой толщи завершается плитчатыми био-литокластовыми известняками.

## КАРКАСООБРАЗУЮЩИЕ ОРГАНИЗМЫ И ДРУГИЕ БИОГЕННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Губки являются одной из основных групп каркастроителей исследуемого рифа и представлены строматопороидеями, сфинктозоа и соленопорами. Термин “сфинктозоа” (*Sphinctozoa*, синоним *Thalamida*) традиционно относится к камерным губкам с жестким известковым скелетом. Обычно эти организмы включали в класс известковых губок (*Calcarea* Bowerbank, 1864, или *Calcispongia* Johnston, 1842). На сегодняшний день доказано, что камерные губки имеют полифилетическое происхождение и поэтому термины *Sphinctozoa* или *Thalamida* не применяются в систематическом контексте (Senowbari-Daryan, 1991). Автором данной работы термин “сфинктозоа” используется для камерных губок в целом. Соленопоры рассматриваются в составе губок, поскольку их внутренняя микроморфология, как показали исследования последних нескольких десятилетий, не характерна для кальцинированных красных водорослей, а наиболее близка к классу губок (Riding, 2004).

Строматопороидеи представлены четырьмя видами: *Clathrodictyon mammilatum* (Schmidt), *Cystostroma* sp., *Ecclimadictyon* cf. *koigiense* (Nestor), *Ecclimadictyon fastigiatum* (Nicholson), которые приурочены к биогермным постройкам (рис. 2, фиг. 1–3). *C. mammilatum* выделяются крупными массивными колониями от 5 × 30 до 40 × 70 см, которые многочисленны в нижней части интервала III. Скелет сложен из четких вертикальных и горизонтальных элементов (столбиков и ламин). Столбики короткие, соединяют две соседние ламины. Представители *Cystostroma* sp. имеют небольшие колонии плоскосферической или пластинчатой формы, которые распространены преимущественно в интервале II, реже – в интервале III. Скелет состоит из плоских выпуклых сверху горизонтальных элементов (цист), вертикальные отсутствуют. Колонии строматопороидей рода *Ecclimadictyon* в основном небольшие (редко более 10–15 см в высоту и диаметре) и встречаются эпизодически в интервале III.

Соленопоры (*Solenopora* Dybowski, 1878) рифа Б. Косью образованы плотно прилегающими друг к другу концентрически расположенными трубками с продольно-волнистыми стенками (рис. 2, фиг. 4). Трубки дихотомически ветвятся и имеют поперечные перегородки, слегка вогнутые вниз. Часто обломки соленопор изменены по краям сверлящими организмами. В структуре рифа они чаще всего присутствуют во фланкирующих слоях биогермов III интервала совместно с иглокожими и брахиоподами.

Сфинктозоа представлены видами *Corymbospongia* sp. и *Amblysiphonelloides reticulata* (Rigby et Potter), которые, согласно современным представлениям (Senowbari-Daryan, García-Bellido, 2002), отно-

сятся к классу обыкновенных губок *Demospongiae* Sollas, 1875. *Corymbospongia* sp. имеют сферические или субсферические камеры размером 1.0–1.8 см, которые часто располагаются одна над другой в виде ветви либо формируют скопления неправильной конфигурации (рис. 2, фиг. 5). В отдельных камерах наблюдаются геопетальные структуры. Межкамерное пространство в колониях заселено цианобактериями *Renalcis*. В структуре рифа эти губки были распространены повсеместно. В основном они предпочитали полости, защищенные от активного волнового воздействия водных масс (интервалы II, III), однако также могли участвовать в формировании каркасной структуры биогермов совместно с другими организмами в обстановках с активной гидродинамикой (интервал IV). Губки *Amblysiphonelloides reticulata* имеют ветвистые колонии из кольцевидных (в сечении) камер с максимальной длиной ветвей до 12 см и шириной до 6 см (рис. 2, фиг. 6, 7). Камеры округлой формы, с четкими пережимами. Предпочитали склоны биогермов и обнаружены в интервалах II и III.

Кораллы представлены ругозами и табулятами. Комплекс табулят насчитывает девять видов, которые принадлежат к семи родам. Среди них в строении рифа преобладают представители подотряда *Heliolitina* (рис. 2, фиг. 8, 9): *Heliolites* sp., *Stelliporella* sp., *Plasmoporella* cf. *angusta* (Yanet), *P.* aff. *chamomilla* (Bondarenko), *P. convexotabulata* (Kiaer), *Propora* sp., *Protaraea* aff. *ungerni* (Eichwald). Они имеют массивные колонии куполовидной и пластинчатой формы размером от 30 × 5 до 15 × 20 см и являются преобладающей группой организмов интервалов III и IV. Представители подотряда *Halysitina* – *Catenipora* cf. *oblique* (Fischer-Benzoni), *Palaeohalysites* sp. – небольшие (около 5 см) и наблюдаются значительно реже. Комплекс ругоз насчитывает пять видов, которые принадлежат к четырем родам. Ругозы встречаются как одиночные, так и колониальные, последние достигают в отдельных случаях крупных размеров (60 × 40 см) (рис. 2, фиг. 10, 11). Колониальные формы характеризуются видами *Palaeophyllum* ex. gr. *tubuliferum* (Reiman), *P.* cf. *tubuliferum* (Reiman), *P. soshkinae columellaris* (Shurygina). Среди одиночных ругоз распространены кораллы конической или цилиндрической формы: *Crassilasma* ex. gr. *simplex* (Ivanovsky), *Grewinkia* cf. *bilateralis* (Neuman), *Streptelasma* sp. indet. cf. *primum* (Wedekind). Ругозы отмечаются во всех четырех выделенных интервалах, но наиболее характерны для I и II.

Известковые водоросли рифа Большая Косья представлены двумя видами – зелеными *Vermiporella* sp. и красными *Kozhymella dembowskii* (Shuysky). Зеленые водоросли *Vermiporella* sp. (рис. 2, фиг. 12) в изобилии присутствуют в изученном рифовом массиве не только в биогермах, но и в биокластовых известняках, в которых их

фрагменты обычно трудно распознаваемы и могут быть уверенно идентифицированы только при наличии микритовой оболочки. При хорошей сохранности водорослей можно видеть, что их цилиндрические и ветвящиеся таллиты пронизаны прямыми или слегка изогнутыми порами. Красные водоросли *Kozhymella dembowskii* (рис. 2, фиг. 13) редки и встречаются в полостях, защищенных от активного волнового воздействия. Они имеют разветвленное слоевище, образованное слегка изогнутыми темными карбонатными сегментами, разделенными между собой узкой полоской светлого карбоната.

**Цианобактерии.** Комплекс цианобактерий насчитывает пять видов: *Renalcis* ex. gr. *granosus* (Vologdin), *Girvanella* ex. gr. *problematica* (Nicholson et Etheridge), *Botominella* ex. gr. *problematica* (Nicholson et Etheridge), *Proaulopora* ex. gr. *glabra* (Krasnop) и *Ikella* sp. Доминирующими кальцимикробами исследуемого рифа являются *Renalcis*. Они наблюдаются в виде либо корок на сфинктозойных губках *Corymbospongia* sp. и известковых водорослях (рис. 2, фиг. 14), либо обильных колоний в биокластовых известняках (рис. 2, фиг. 15). Колонии состоят из полых толстостенных камер, как правило, почковидной формы, которые интерпретируются как посмертная кальцитизация цианобактерий (Pratt, 1984). *Girvanella* ex. gr. *problematica* представляют собой неразветвленные цилиндрические извилистые нити, образующие клубки (рис. 2, фиг. 16). Они спорадически отмечаются вместе зелеными водорослями в биогермных известняках II и III интервалов. Гирванеллоподобные скопления *Botominella* ex. gr. *problematica* также состоят из цилиндрических слегка скрученных между собой нитей, соединенных в пучки. Трубочки *Proaulopora* ex. gr. *glabra* членистые прямые или слабоизогнутые. Цианобактерии *Botominella* ex. gr. *problematica* и *Proaulopora* ex. gr. *glabra* редки и обычно сохраняются в биокластовых пакстоунах вместе с фрагментами водорослей и криноидей. Колониальные нитчатые цианобактерии *Ikella* sp. встречаются в виде однослойных пленок вокруг полипов гидроидов *Fistulella*.

**Гидроиды** представлены видами *Fistulella variabilis* (Shuysky) и *F. undosa* (Shuysky). Они имеют древовидно разветвленные колонии сложного строения. Основанием колонии служит стелющаяся базальная пластина (гидрофитон), от которой перпендикулярно отходят толстые цилиндрические трубки (полипы), достигающие 4 мм в диаметре. На некотором расстоянии они начинают интенсивно ветвиться с образованием густой кроны из беспорядочно переплетающихся отростков (рис. 2, фиг. 17). Колонии гидроидов отмечаются на склонах небольших биогермов III интервала, построенных преимущественно пластинчатыми и массивными табулятами. Пространство между полипами заполнено либо литокластовым и биокла-

стовым материалом, либо инкрустационным кальцитовым цементом.

**Рецептакулиты.** Ранее считалось, что рецептакулиты (*Receptaculita*) близки к губкам, кишечно-полостным или водорослям (Уилсон, 1980; Журавлев, Нитецкий, 1985; Журавлева, Мягкова, 1987), по современным представлениям это – отдельная группа организмов, систематическое положение которых продолжает обсуждаться палеонтологами (Nitecki et al., 1999). В строении рифа вероятные рецептакулиты характеризуются известковыми телами конической формы размером до 20 см в высоту и 14 см в поперечнике (рис. 2, фиг. 18). Скелет известковый, радиально-лучистый, с внешней и внутренней стороны стенок пористый, с центральной полостью внутри. Наблюдаются спорадически на склонах небольших биогермов II интервала вместе со сфинктозоа *Amblysiphonelloides reticulata* и зелеными водорослями.

**Другие биогенные компоненты.** Широко распространены криноидеи с преимущественно узким длинным пятилопастным осевым каналом, занимающим менее половины членика. Другие компоненты представлены мшанками, моллюсками, панцирями трилобитов. Среди них определены криноидеи *Apertocrinus* cf. *apertus* (Yeltyschewa et Stukalina), *Bystrowicrinus* cf. *bilobatus* (Yeltyschewa et Stukalina) и брахиоподы *Sowerbyella* sp. и *Rhynchonellida* sp.

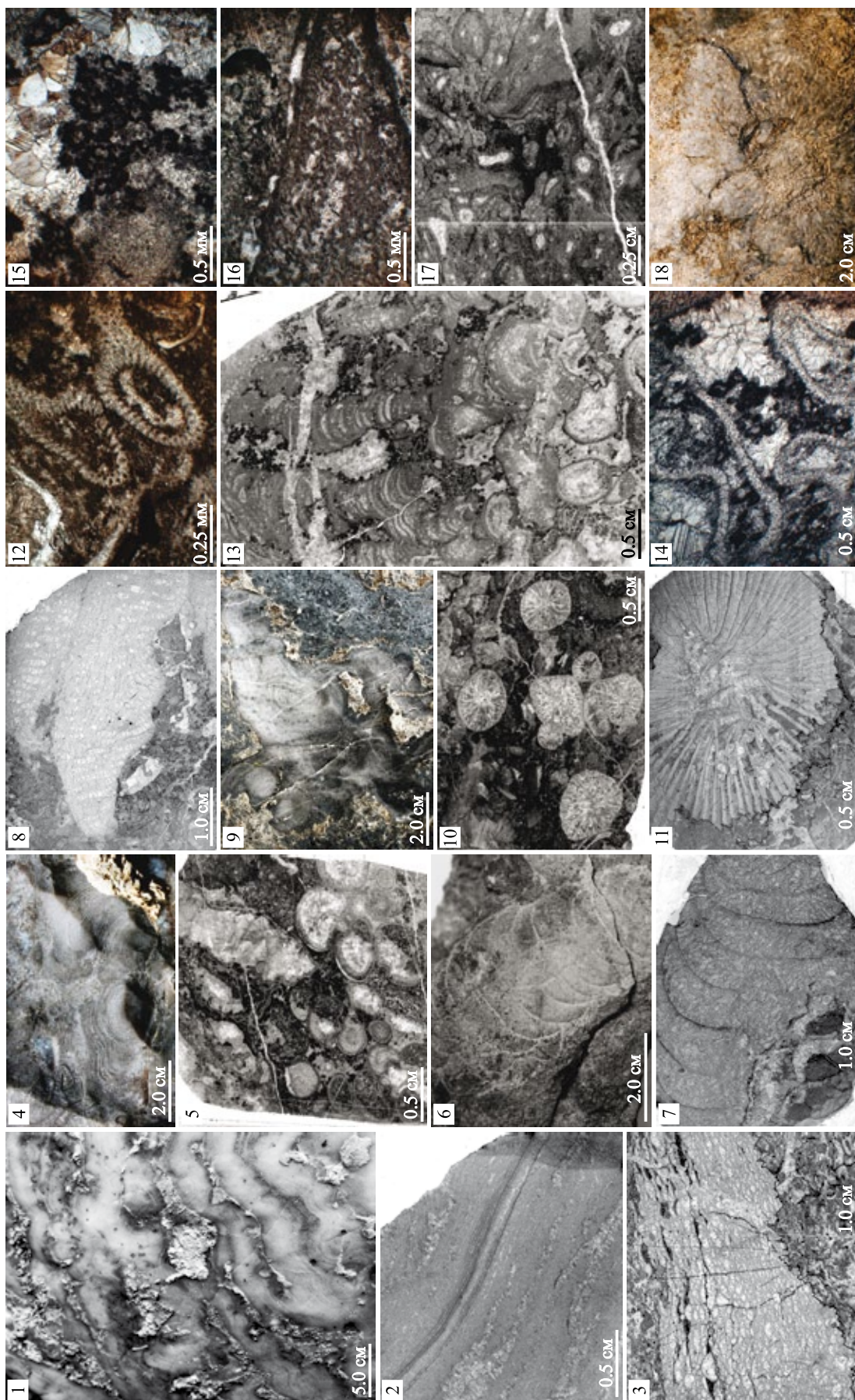
**Нескелетные компоненты/зерна.** Пелоиды как общий термин (Flügel, 2004) применяется для разного размера и формы пелитоморфных зерен, присутствующих в разных типах известняков всех четырех интервалов. Они состоят из круглых и овальных довольно четко очерченных хорошо отсортированных зерен размером 0.1–0.3 мм пелитоморфного кальцита и наиболее характерны для окружающих биогермы пород и межкаркасных полостей интервала III. Часто формируют слоистую текстуру, указывающую на активность микробов, связывающих карбонатный песок.

## МИКРОФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Среди известняков по структурным особенностям были выделены фреймстоуны, бафлстоуны, биокластовые и пелоидные пакстоуны, биолитокластовые грейнстоуны, литокластовые рудстоуны и вакстоуны. Все они характеризуются практически чистым известняковым составом (содержание  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  – 2.63–4.33%) с незначительной примесью терригенного материала (0.10–1.10%).

**Фреймстоуны** являются наиболее распространенным структурным типом известняков и наблюдаются в интервалах II–IV (рис. 3, фиг. 1–3). Они сложены массивными и пластинчатыми скелетами кораллов (табулят и ругоз) и губок (строматопоридей, сфинктозоа), которые строили каркас орго-





**Рис. 2.** Каркасообразующие организмы и другие биогенные компоненты.

1-3 – строматолиты (1, 2 – *Clathrodichyon mammillatum*, обр. 14БК5/91; 3 – *Cystostroma* sp., обр. 14БК8/1-1); 4 – *Solenopora* sp. (обр. 15БК5/36); 5-7 – сфинкстоа (5 – *Corymbosporangia* sp., обр. 14БК4/12; 6, 7 – *Amblyospheronelloides reticulata*, обр. 14БК5/66); 8, 9 – табуляты подотряда *Helolittina* (8 – *Helolittina* sp., обр. 14БК5/26);

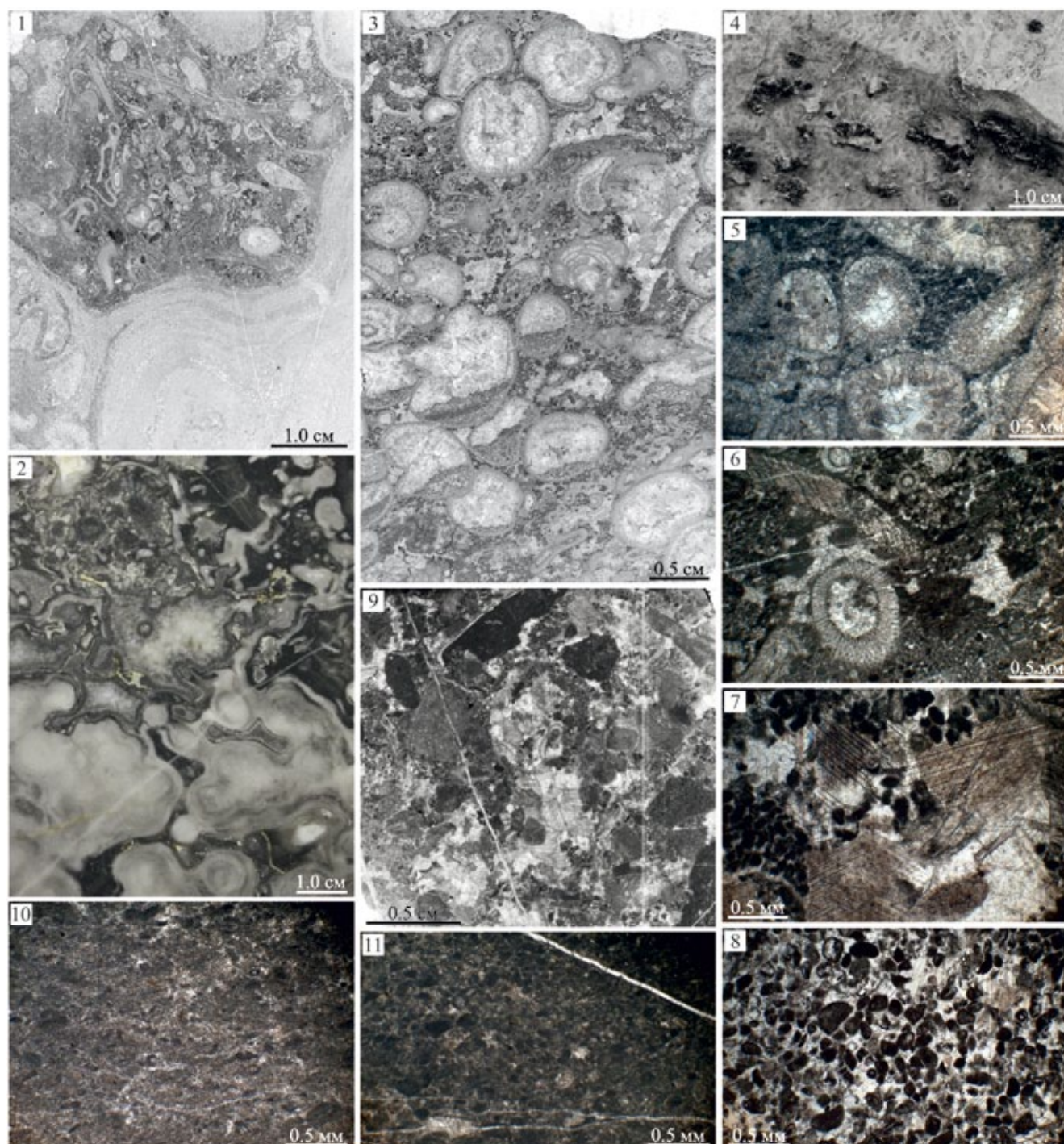
10, 11 – ругозы (10 – *Palaeophyllum* cf. *tubuliferum*, обр. 14BK4/12; 11 – обр. 14BK5/30-1); 12 – зеленые водоросли *Vermiporella* sp., обр. 14BK4/18; 13 – водоросли *Kozhymella dembowskii* в ассоциации с сфинктозоа *Corymbospongia* sp. и цианобактериями, обр. 15BK10/5-1; 14 – *Vermiporella* sp. и цианобактерии *Renalcis* sp., обр. 15BK10/5-2; 15, 16 – цианобактерии (15 – *Renalcis* ex. gr. *granosus*, обр. 15BK10/3; 16 – *Girvanella* ex. gr. *problematica*); 17 – гидроиды *Fistulella* sp., обр. 2a/33-2; 18 – ретептакулиты, обр. 15BK10/8.

**Fig. 2.** Reef-building organisms and other biogenic components.

1–3 – stromatoporoids (1, 2 – *Clathrodictyon mammillatum*, sample 14BK5/91; 3 – *Cystostroma* sp., sample 14BK8/1-1); 4 – *Solenopora* sp. (sample 15BK5/36); 5–7 – sphinctozoa (5 – *Corymbospongia* sp., sample 14BK4/12; 6, 7 – *Amblysyphonelloides reticulata*, sample 14BK5/66); 8, 9 – tabulate *Heliolites* sp., sample 14BK5/26); 10, 11 – rugoses (10 – *Palaeophyllum* cf. *tubuliferum*, sample 14BK4/12; 11 – sample 14BK5/30-1); 12 – green algae *Vermiporella* sp., sample 14BK4/18; 13 – algae *Kozhymella dembowskii* in association with sphinctozoa *Corymbospongia* sp. and cyanobacteria, sample 15BK10/5-1; 14 – algae *Vermiporella* sp. and cyanobacteria *Renalcis* sp., sample 15BK10/5-2; 15, 16 – cyanobacteria (15 – *Renalcis* ex. gr. *granosus*, sample 15BK10/3; 16 – *Girvanella* ex. gr. *problematica*); 17 – hydroids *Fistulella* sp., sample 14BK2a/33-2; 18 – *Receptaculites*, sample 15BK10/8.

генных построек. Пространство между отдельными индивидами заполнено цианобактериями, зелеными и красными водорослями. **Бафлстоуны** образованы гидроидами *Fistulella* и зелеными водорослями *Vermiporella*, которые росли в толще воды преимущественно вертикально с образованием густой кроны. Она выступала в качестве своеобразного барьера, уменьшавшего скорость движения воды и способствовавшего улавливанию и осаждению первичных компонентов осадка, таких как микритовый материал и фрагменты водорослей, брахиопод, криноидей и мшанок (интервал III) (рис. 3, фиг. 4, 5). **Биокластовые пакстоуны** (рис. 3, фиг. 6) распространены наиболее широко. Они встречаются в виде массивных слоев в интервале I, заполняют пустоты между каркасостроителями и окружающее биогермные тела пространство в интервалах II–IV. Известняки характеризуются обилием и разнообразием фрагментов различных организмов, таких как водоросли, криноидеи, кораллы, губки, брахиоподы, трилобиты и др., которые составляют до 80% компонентов породы. Присутствуют пелоиды и скопления цианобактериальных сообществ. **Пелоидные пакстоуны** (рис. 3, фиг. 7) типичны для межкаркасных полостей интервала III. В основном они состоят из пелоидов и члеников криноидей, реже в их составе отмечаются фрагменты водорослей, двустворчатых моллюсков, кораллов и брахиопод. **Биолитокластовые грейнстоуны** (рис. 3, фиг. 8) являются наименее распространенным структурным типом известняков, который наблюдался в верхних частях интервалов III и IV. Они сложены хорошо окатанными обломками биокластовых пакстоунов и вакстоунов, пелоидами и разнообразными фрагментами организмов, для которых характерно развитие явлений обволакивания и сверления водорослями. Вокруг зерен часто наблюдаются ободки, состоящие из заостренных кристаллов кальцита удлиненной скаленоэдрической или ромбоэдрической формы, растущие нормально и субнормально к поверхности зерен (морской вадозный цемент типа dog tooth (Flügel, 2004)). **Литокластовые рудстоуны** (рис. 3, фиг. 9) широко представлены в интервалах II–IV. Они слагают линзы вокруг биогермных тел и заполняют межкаркасные полости. В составе литокластов (0.5–20.0 см) встречаются биокластовые пакстоуны, фреймстоуны и бафлстоуны. Они не сортированы и составляют 60–80% компонентов породы. Часто наблюдаются крупные фрагменты колоний кораллов и обильные биокласты – иглокожие, моллюски, брахиоподы, зеленые водоросли и губки. **Вакстоуны** (рис. 3, фиг. 10, 11) характерны для полостей, защищенных от активного волнового воздействия водных масс (интервалы II–IV). Они состоят из пелитоморфной массы, в которой рассеян мелкий (0.01–0.05 мм) био- и литокластовый материал. Фрагменты организмов редки, среди





**Рис. 3.** Структурные типы известняков.

1–3 – фреймстоун (1 – обр. 15BK4/18, 2 – обр. 15BK5/73, 3 – обр. 15BK10/3-1); 4, 5 – бафлстоун (4 – макрофотография, 5 – деталь строения, обр. 14BK5/115); 6 – биокластовый пакстоун (обр. 15BK10/18); 7 – пелоидный пакстоун (обр. 14BK1/5); 8 – биолитокластовый грейнстоун (обр. 15BK4/39); 9 – литокластовый рудстоун (обр. 15BK9/5-1); 10, 11 – вакстоун (10 – обр. 14BK9/42, 11 – обр. 15BK9/5-2).

**Fig. 3.** Structural types of limestones.

1–3 – framestone (1 – sample 15BK4/18, 2 – sample 15BK5/73, 3 – sample 15BK10/3-1); 4, 5 – buffstone (4 – macro photograph, 5 – detail of the structure of buffstone, sample 14BK5/115); 6 – bioclastic packstone (sample 15BK10/18); 7 – peloid packstone (sample 14BK1/5); 8 – bioliticlastic grainstone (sample 15BK4/39); 9 – litoclastic rudstone (sample 15BK9/5-1); 10, 11 – wackstone (10 – sample 14BK9/42, 11 – sample 15BK9/5-2).



них отмечаются обломки брахиопод, криноидей и водорослей. Они, как правило, не окатаны и спорадически распределены в объеме породы.

По основным генетическим признакам, отражающим конкретные обстановки осадконакопления, известняки были объединены в три типа микрофаций. *Tun 1* – рифовые микрофации – фреймстоуны и бафлстоуны – характеризуют каркасную структуру рифового тела. Широкое разнообразие организмов-каркасостроителей и их крупные размеры указывают на благоприятные для них условия существования: небольшие глубины, обилие света и подвижность вод. *Tun 2* – микрофации межбиогермного пространства и межкаркасных полостей, подверженных волновому и приливно-отливному воздействию, в результате чего образовывался обильный пелоидный и биолитокластовый материал, – биокластовые и пелоидные пакстоуны, биолитокластовые грейнстоуны и литокластовые рудстоуны. Морской вадозный цемент типа dog tooth, отмечаемый в биолитокластовых грейнстоунах в кровле рифа, свидетельствует об их выводе в субаэральные обстановки супралиторали. *Tun 3* – микрофации скрытых межкаркасных полостей, защищенных от активного волнового воздействия, – вакстоуны. Состав микрофаций характеризует сложно дифференцированное как по разрезу, так и структуре органогенное сооружение, формировавшееся в обстановках окраины карбонатной платформы-шельфа с активной гидродинамикой.

#### МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РИФА

На Севере Урала в палеозое рифообразование было инициировано раскрытием Палеоуральского океана на границе кембрия и ордовика (Пучков, 2010). Согласно имеющимся палеореконструкциям, эта территория в течение позднего ордовика-раннего девона располагалась в пределах северных приэкваториальных широт (Scotese et al., 2015). К началу среднего катия здесь оформилась карбонатная платформа-шельф, на окраине которой в условиях подвижной гидродинамики накапливались биокластовые пакстоуны (интервал I, стадия стабилизации) (рис. 4). Скелетный материал формировался в основном за счет криноидей, высокая карбонатная продуктивность которых наряду с присутствием цианобактериальных сообществ *Girvanella*, *Renalcis*, *Botominella*, *Proaulopora* и водорослей *Vermiporella* позволяла легко консолидировать в плотную массу подвижный карбонатный осадок, изначально непригодный для заселения его прикрепленными бентосными организмами, в том числе сфинктозоа. Имеющиеся небольшие линзы и скопления табулят, ругоз и брахиопод указывают здесь лишь на возможные условия для формирования органогенных построек на песчаном (биокластовом) субстрате. Первыми способными форми-

ровать каркасную структуру рифостроителями были строматопороидеи *Clathrodictyon* и *Cystostroma*, колонии ругоз *Palaeophyllum*, куполовидные и пластинчатые колонии гелиолитид *Stelliporella*, *Plasmoporella*, *Propora*. Вместе с зелеными и красными водорослями, цианобактериями *Girvanella*, *Renalcis*, сфинктозойными губками и гидроидами они формировали каркасную структуру биогермных построек (интервал II, стадия колонизации) (см. рис. 4). В межкаркасных полостях небольших органогенных построек накапливались биокластовые пакстоуны и литокластовые рудстоуны. Таким образом, на первоначальном этапе вертикальный рост рифа лимитировался уровнем моря (и его колебаниями), что приводило к ограничению жизненного пространства и низкому разнообразию организмов-каркасостроителей. Смена пионерного сообщества таксономически более разнообразным в интервале III характеризует стадию диверсификации рифового сообщества (см. рис. 4). Строматопороидеи *Clathrodictyon*, *Cystostroma*, *Ecclimadictyon*, разнообразные гелиолитиды – *Stelliporella*, *Plasmoporella*, *Propora*, *Protaraea*, цианобактерии *Girvanella*, *Renalcis* и зеленые водоросли строили массивные биогермные тела высотой до 10 м. В них в большом количестве поселялись сфинктозоа и соленопоры, одиночные и колониальные ругозы, табуляты *Catenipora* и *Palaeohalysites*, а также мшанки, иглокожие, красные водоросли, реже гидроиды в ассоциации с цианобактериями *Ikella* sp. Широкое разнообразие известняков наряду с наибольшим разнообразием организмов-каркасостроителей и самыми крупными органогенными постройками (до 10 м) свидетельствуют о благоприятных для развития рифовых сообществ условиях осадконакопления – постепенном повышении уровня моря, которое способствовало расширению экологического пространства. В пользу этого также свидетельствует постепенная смена в этом интервале преимущественно микробно-строматопорового рифового сообщества (нижняя часть интервала III) крупными кораллами в ассоциации с водорослями и цианобактериями (верхняя часть интервала III). Колонии строматопороидей в присутствии обилия кораллов уменьшаются в размерах до 5–10 см в поперечнике, что свидетельствует об их угнетении. Вероятно, это может быть объяснено тем, что при трансгрессии рост “вдогонку” (благоприятный для роста кораллов) становится преобладающим (Ивановский и др., 1997). Увеличение в интервале IV количества биокластовых пакстоунов и литокластовых рудстоунов, которые, наряду с линзовидной формой и небольшой мощностью (менее 3 м) органогенных построек, свидетельствуют о снижении темпов повышения уровня моря и формировании отложений в более мелководных обстановках. Биогермы строились преимущественно пластинчатыми колониями табулятоморфных кораллов и сфинктозоа *Cor-*

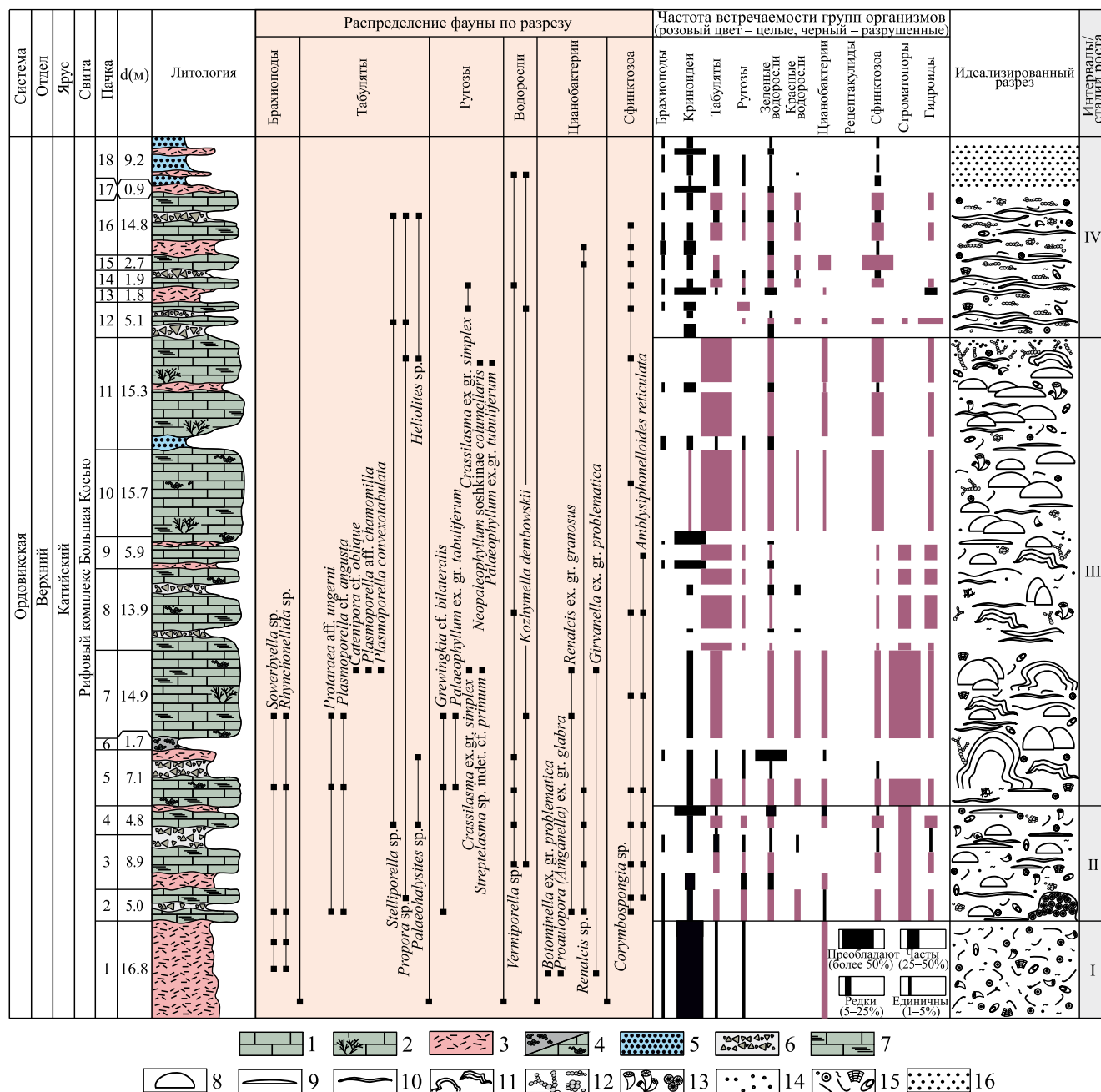


Рис. 4. Характеристика строения рифа Большая Косью.

1 – фреймстоуны; 2 – баффстоуны; 3 – биокластовые пакстоуны; 4 – пелоидные пакстоуны; 5 – биолитокластовые грейнстоуны; 6 – литокластовые рудстоуны; 7 – вакстоуны; 8, 9 – табуляты (8 – куполовидные, 9 – пластинчатые); 10, 11 – строматопороидеи (10 – удлиненно-пластинчатые, 11 – массивные); 12 – сфинктозоа; 13 – одиночные и колониальные ругозы; 14 – гидроиды; 15 – скелетные остатки организмов; 16 – биолитокластовые грейнстоуны с вадозным цементом.

Fig. 4. The structural features of the reef Bol'shaya Kos'yu.

1 – framestones; 2 – buffstones; 3 – bioclastic packstones; 4 – peloid packstones; 5 – biolitic grainstones; 6 – litoclastic rudstones; 7 – wackstones; 8, 9 – colony of tabulate corals (8 – dome-shaped, 9 – laminated); 10, 11 – colony of stromatoporoidea (10 – bladed, 11 – massive); 12 – sphenozooids; 13 – solitary and colonial rugosities; 14 – hydroids; 15 – skeletal remains of organisms; 16 – biolitic greenstones with vadose cement.

*ymbospongia* в ассоциации с цианобактериями *Renalcis* и зелеными водорослями *Vermiporella* (ин-

тервал IV, стадия климакса) (см. рис. 4). Согласно Э. Флюгелю (2004), наличие последних указы-

вает на обстановки теплого морского бассейна глубиной до 20 м. При отсутствии внешних неблагоприятных факторов экосистема на этой стадии развития могла находиться достаточно долго. Биолитокластовые грейнстоуны с вадозным цементом в верхней части интервала IV (кровля рифа) характеризуют субаэральную обстановку (Flügel, 2004) и фиксируют начало регрессии, которая, вероятно, стала причиной прекращения развития рифа.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ биоразнообразия каркасообразующих организмов показывает, что комплекс фауны рифа Большая Косью является существенно более разнообразным, чем верхнеордовикские рифовые палеобиоценозы на Приполярном и Полярном Урале. Среди строматопороидей и кораллов здесь встречаются виды широкого географического распространения. Крупные размеры колоний и их преобладание в структуре рифа свидетельствуют о благоприятных для них условиях обитания (небольших глубинах, нормальной солености, обилии света, подвижности водной среды). Наличие зеленых водорослей *Vermiporella*, которые в ордовике и силуре являются порообразующими, также указывает на обстановки неглубокого теплого морского бассейна, как правило, глубиной менее 20 м (Flügel, 2004). Известно, что в целом для позднего ордовика были характерны рифовые постройки процветавших в то время строматопороидей (Hartman, 1977; Сорокин, 1990). Также в это время появились первые кораллы с прочным скелетом – табуляты и ругозы (Ивановский, 1975). Совместно они формировали каркасную основу рифовых построек, заполнявшуюся известковым материалом, который преимущественно продуцировали водоросли, мшанки и криноидеи (Королюк, Михайлова, 1986). Последние, как известно, в палеозое были одной из основных групп животных, способных перерабатывать кальций из морской воды и осаждают его в виде кальцита. Подобные верхнеордовикские постройки широко распространены в Сибири, Казахстане, Приколымье (Ивановский и др., 1997), Канаде (Corper, 1989), Северной Гренландии (Sonderholm, Harland, 1989), о-ве Вайгач (Опорный разрез..., 1970), Полярном и Приполярном Урале (Антошкина, 2003), Алтае и Салаире (Сенников и др., 2011). Наличие гидроидов *Fistulella* достаточно необычно для рифов этого периода. Считается, что они играли активную роль в образовании силурийских и раннедевонских рифов Урала и Аляски (Антошкина, 2003). В строении рифа Большая Косью они имеют второстепенное значение, однако их присутствие может свидетельствовать о более широком временном диапазоне их распространения. Рецептакулиты, предпочитающие мелководье и в целом типичные для ордовика (Nitecki et al., 1999), на Се-

вере Урала были известны лишь в строении рифа Лёк-Елец на Полярном Урале, где характеризуются меньшими размерами и несколько более широким распространением, чем в Большой Косью (Антошкина, 2003). Редкие красные водоросли *Kozhymella dembowskii*, встречающиеся в межкаркасных полостях, известны в верхнеордовикских органогенных постройках Приполярного Урала (Дембовский и др., 1990; Антошкина, 1994) и Прекордильер (Берези, Лучинина, 2018). Среди цианобактерий, принимавших значительное участие в создании ордовикских органогенных сооружений по всему миру, преобладают *Renalcis*, выявленные в скрытых (защищенных от активного волнового воздействия водных масс) межкаркасных полостях рифа совместно со сфинктозоа (Шмелёва, 2018). Последние на Севере Урала никогда не встречались в ордовикских разрезах – ни в широко развитых открытошельфовых отложениях (Ключина, 1985), ни в органогенных банках (Шуйский, Ключина, 1989), ни в рифах Полярного, Приполярного и Северного Урала (Антошкина, 1994). Как известно, сфинктозойные губки в большинстве случаев выступают в качестве каркасостроителей и очень редко встречаются в небоиогермных породах. Эти морские бентосные многокамерные организмы были важными рифостроителями в средней-поздней перми и среднем-позднем триасе (Бойко и др., 1991; Senowbari-Daryan, 2005). Палеоэкологические данные свидетельствуют о том, что сфинктозоа этого периода обитали в фотической зоне морей тропических и субтропических поясов и, как правило, предпочитали участки с активной гидродинамикой (Senowbari-Daryan, Rigby, 1988; Senowbari-Daryan, 1991). Ордовикские сфинктозойные губки в России были известны лишь из среднего ордовика Корякии, где впервые были описаны А.Ю. Журавлёвым в конгломератах эльгеминайской свиты (Zhuravlev, 1992). В настоящее время они также установлены в теплых низкоэнергетических более глубоководных сублиторальных обстановках островодужных террейнов кембрия Южной Австралии и США (Debrenne, Wood, 1990). Предполагается, что по крайней мере до начала позднего ордовика эти обстановки были предпочтительной средой обитания сфинктозоа (Carrera, Rigby, 2004). В позднем ордовике происходит их первая эволюционная радиация с более чем двукратным увеличением биоразнообразия на уровне родов и видов по сравнению с кембрием, начинается их географическое расселение (Senowbari-Daryan, García-Bellido, 2002; Carrera, Rigby, 2004). При этом изменялись и их места обитания от уровня дна до рифов. Впервые это было выявлено в структуре старейшего сфинктозойно-кораллово-микробного рифа Уай (Wu'ai reef), описанного в юго-восточной части Китая и имеющего позднекарийский возраст (Li et al., 2015). Риф Большая Косью является вторым подобным примером.



Сфинктозоа здесь представлены видами *Corymbospongia* sp. и *Amblysiphonelloides reticulata*, известными также в ордовикских отложениях восточных гор Клатма в Северной Калифорнии, характеризующих относительно глубоководные сублиторальные обстановки (Rigby, Potter, 1986), а также в ордовике Канады (Senowbari-Daryan, García-Bellido, 2002). Сфинктозоа рода *Corymbospongia* являются доминирующими каркасостроителями упомянутого рифа Уай (Wu'ai reef), который также формировался в более глубоководных обстановках сублиторали, неблагоприятных для большинства многоклеточных каркасостроителей, и представляет собой случай низкоэнергетического рифового сообщества (Li et al., 2015). Это не противоречит мнению ряда авторов о том, что рифообразующие сфинктозоа в позднем ордовике предпочитали относительно глубоководные обстановки на подводных холмах задуговых бассейнов (Rigby, Potter, 1986; Rigby et al., 2008; Senowbari-Daryan, Rigby, 2011; Li et al., 2015). Палеоценозы рифа Большая Косью, в отличие от таковых рифа Уай, представляют собой случай сообщества, развивавшегося в высокоэнергетических обстановках, подобно строматолитово-сфинктозойным рифам позднего силура (Soja et al., 2003). Выявленные в структуре рифа типы микрофаций также характеризуют обстановки окраины карбонатной платформы-шельфа с активной гидродинамикой. Сфинктозоа здесь жили в благоприятных для других метазоа средах (на небольших глубинах, при обилии света и подвижности воды) и в условиях конкуренции совместно с цианобактериями переходили к обитанию в скрытых межкаркасных полостях рифа. Однако при изменении условий окружающей среды (интервал IV, начало регрессии) они становились одной из доминантных групп среди каркасостроителей рифа. Таким образом, полученные палеонтологические, палеоэкологические и микрофациальные данные свидетельствуют о том, что начиная со среднего катия рифообразующие сфинктозоа могли поселяться в сублиторальных обстановках с активной гидродинамикой на глубинах до 20 м.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В разрезе рифовой толщи выделены четыре интервала, соответствующие фазам/стадиям формирования зрелого рифа. Интервал I характеризует период накопления на мелководье скелетного субстрата преимущественно из криноидей и цианобактерий (*стадия стабилизации*). Интервал II представляют изолированные биогермы (3–5 м в высоту) из массивных известняков с обилием строматопоридей, кораллов, сфинктозоа и зеленых водорослей (*стадия колонизации*), межбиогермное пространство заполнено био- и литокластовыми известняками. Интервал III выделяется тесно распо-

ложенными биогермами высотой 3–10 м с разнообразными в видовом отношении и наиболее крупными по размерам каркасными организмами: строматопоридеями, кораллами, зелеными и красными водорослями, сфинктозоа, рецептакулитами, гидроидами и цианобактериями (*стадия диверсификации*). Интервал IV характеризуется обилием био- и литокластовых известняков, среди которых локально присутствуют небольшие линзовидные биогермы мощностью до 3 м из табулят и сфинктозоа (*стадия климакса*).

2. Основными каркасостроителями рифа были губки, представленные строматопоридеями и сфинктозоа, известковые водоросли, цианобактерии и гелиолитиды. Их таксономический состав указывает на благоприятные для них условия существования: небольшие глубины (до 50 м), обилие света и подвижность вод.

3. Среди рифовых известняков по структурным особенностям выделены фреймстоуны, бафлстоуны, биокластовые и пелоидные пакстоуны, биолитокластовые грейнстоуны, литокластовые рудстоуны и вакстоуны. По основным генетическим признакам, отражающим конкретные обстановки осадконакопления, они объединены в три типа микрофаций. *Tun 1* – рифовые микрофации – фреймстоуны и бафлстоуны. *Tun 2* – микрофации межбиогермного пространства и межкаркасных полостей, подверженных волновому и приливно-отливному воздействию, – биокластовые и пелоидные пакстоуны, биолитокластовые грейнстоуны и литокластовые рудстоуны. *Tun 3* – микрофации скрытых межкаркасных полостей, защищенных от активного волнового воздействия, – вакстоуны. Выявленные типы микрофаций характеризуют сложно дифференцированный как по разрезу, так и структуре риф, формировавшийся в обстановках окраины карбонатной платформы-шельфа с активной гидродинамикой. Его рост происходил при трансгрессии, завершившейся к концу среднего катия крупной регрессией, прекратившей его развитие.

4. Характерные для рифа Большая Косью сфинктозойные губки представлены видами *Corymbospongia* sp. и *Amblysiphonelloides reticulata*. Они жили в благоприятных для других метазоа средах (на небольших глубинах, при обилии света и подвижности воды) и в условиях конкуренции совместно с цианобактериями переходили к обитанию в скрытых межкаркасных полостях рифа. Однако при изменении условий окружающей среды (интервал IV, начало регрессии) они становились одной из доминантных групп среди каркасостроителей рифа.

5. Палеонтологические, палеоэкологические и микрофациальные данные свидетельствуют о том, что начиная со среднего катия рифообразующие сфинктозоа могли поселяться в сублиторальных обстановках с активной гидродинамикой на глубинах до 20 м.

## Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность А.И. Антошкиной и Е.С. Пономаренко за консультации, ценные замечания и полезные рекомендации при подготовке статьи к публикации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антошкина А.И. (1992а) Особенности строения нижнепалеозойской рифогенной толщи Северного Урала. *Природные резервуары Печорского нефтегазоносного бассейна*. Сыктывкар: Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН, **76**, 5-21.
- Антошкина А.И. (1992б) Литолого-палеографические особенности позднеордовикских рифов Печорского Урала. *Литология и геохимия осадочных формаций Северо-Востока европейской части России*. Сыктывкар: Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН, **79**, 12-23.
- Антошкина А.И. (1994) Рифы в палеозое Печорского Урала. СПб.: Наука, 154 с.
- Антошкина А.И. (2003) Рифообразование в палеозое (север Урала и сопредельные области). Екатеринбург: УрО РАН, 304 с.
- Антошкина А.И., Салдин В.А., Никулова Н.Ю., Юрьева З.П., Пономаренко Е.С., Сандула А.Н., Канева Н.А., Шмелёва Л.А., Шеболин Д.Н., Шадрин А.Н., Инкина Н.А. (2015) Реконструкция осадконакопления в палеозое Тимано-Североуральского региона: направления исследований, результаты, проблемы и задачи. *Изв. Коми НЦ УрО РАН*, **1**(21), 55-72.
- Антошкина А.И., Пономаренко Е.С., Силаев В.И. (2017) Биохемогенная природа ордовикских шамозитов на Северном Урале. *Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН*, **9**, 12-22.
- Антошкина А.И., Шмелёва Л.А. (2018) Особенности состава, строения и условий образования хирнантских отложений в Тимано-североуральском осадочном бассейне. *Литосфера*, **18**(4), 543-565.
- Берези М.С., Лучинина В.А. (2018) Состав альгофлоры в ордовике Прекордильер Аргентины и ее значение в образовании органогенных структур. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **26**(1), 3-17.
- Бойко Э.В., Беляева Г.В., Журавлева И.Т. (1991) Сфинктозоа фанерозоя территории СССР. М.: Наука, 224 с.
- Дембовский Б.Я. Отчет по объекту: "Производство опытно-методических работ по расчленению нижнепалеозойских разрезов западного склона Северного Урала (Шугоро-Уньинский район)" за 1989-1992 гг. Воркута, 1992. 218 с. Фонды Полярно-Уральского производственного геологического объединения. Инв. № 10827.
- Дембовский Б.Я., Дембовская З.П., Ключина М.Л., Наседкина В.А. (1990) Ордовик Приполярного Урала. Геология, литология, стратиграфия. Свердловск: УрО АН СССР, 210 с.
- Журавлева И.Т., Мягкова Е.И. (1987) Низшие многоклеточные фанерозоя. М.: Наука, 224 с.
- Журавлев А.Ю., Нитецкий М.Г. (1985) О сравнительной морфологии археоциат и рецептакулитов. *Палеонтол. журн.*, **4**, 121-123.
- Ивановский А.Б. (1975) Ругозы. М.: Наука, 121 с.
- Ивановский А.Б., Осипова А.И., Кузнецов В.Г., Большакова Л.Н., Геккер М.Р., Горюнова Р.В., Журавлев А.Ю., Космынин В.Н., Лучинина В.А., Рожнов С.В., Тесаков Ю.И., Хромых В.Г. (1997) Рифогенные постройки в палеозое России. М.: Наука, 157 с.
- Ключина М.Л. (1985) Палеогеография Урала в ордовикском периоде. М.: Наука, 189 с.
- Кондиайн А.Г. (1967) Силурийские и нижнедевонские отложения Бельско-Елецкой фациальной зоны Печорского Урала. *Тр. ВСЕГЕИ*, **144**, Л.: Недра, 87-122.
- Королук И.К., Михайлова М.В. (1986) Этапность рифообразования. *Фанерозойские рифы и кораллы*. М.: Наука, 134-142.
- Опорный разрез ордовика Пай-Хоя, Вайгача и юга Новой Земли. (1970) (Ред. В.И. Бондарев). Л.: НИИГА, 155 с.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Сенников Н.В., Обут О.Т., Буколова Е.В., Толмачева Т.Ю. (2011) Литолого-фациальная и биоиндикаторная оценки глубины формирования раннепалеозойских осадочных бассейнов Палеоазиатского океана. *Геология и геофизика*, **52**(10), 1488-1516.
- Сорокин Ю.И. (1990) Экосистемы коралловых рифов. М.: Наука, 503 с.
- Уилсон Дж.Л. (1980) Карбонатные фации в геологической истории. М.: Недра, 1980. 463 с.
- Шмелёва Л.А. (2014) Палеоландшафтная реконструкция верхнеордовикского рифа Бол. Косью (р. Илыч, Северный Урал). *Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента*. Мат-лы 23-й науч. конф. Сыктывкар: Геопринт, 146-149.
- Шмелёва Л.А. (2016) Литолого-палеоэкологическая характеристика верхнеордовикского рифа Большая Косью (бассейн р. Илыч, Северный Урал). *Литосфера*, **1**, 154-162.
- Шмелёва Л.А. (2018) Изменчивость губково-микробных сообществ в структуре верхнеордовикского рифа Большая Косью (р. Илыч, Северный Урал). *Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента*. Мат-лы 27 науч. конф. Сыктывкар: Геопринт, 253-257.
- Шуйский В.П., Ключина М.Л. (1989) Об органогенных постройках ордовика на Урале. *Новые данные по геологии Урала и Средней Азии*. Свердловск: УрО АН СССР, 127-137.
- Alberstadt L.P., Walker K.R., Zurawski R.P. (1974) Patch reefs in the Carters Limestone (Middle Ordovician) in Tennessee, and vertical zonation in Ordovician reefs. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **85**, 1171-1182.
- Carrera M.G., Rigby J.K. (2004) Sponges. *The great Ordovician biodiversification event*. (Eds B.D. Webby, F. Paris, M.L. Droser, I.G. Percival). N. Y.: Columbia University Press, 102-111.
- Copper P. (1989) Upper Ordovician and Lower Silurian reefs of Anticosti Island, Quebec. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, **13**, 271-276.
- Debrenne F., Wood R. (1990) A new Cambrian sphinctozoan sponge from North America, its relationship to Archaeocyaths and the nature of early sphinctozoans. *Geol. Mag.*, **127**, 435-443.

- Dunham R.J. (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Classification of carbonate rocks. A symposium*. (Ed. W.E. Ham). Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem., **1**, 108-171.
- Embry A.F., Klovan J.E. (1971) A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island. *N.W.T. Bull. Can. Petrol. Geol.*, **19**, 730-781.
- Flügel E. (2004) Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 976 p.
- Hartman W.D. (1977) Sponges as reef builders and shapers. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **4**, 127-134.
- James N.P., Bourque P.A. (1992) Reefs and Mounds. *Facies Models – Response to Sea-Level Change*. (Eds R.G. Walker, N.P. James). Geol. Assoc. Can., 323-347.
- Li Q., Li Y., Kiessling W. (2015) The first sphinctozoan-bearing reef from an Ordovician back-arc basin. *Facies*, **61**(3), 1-9.
- Nitecki M.H., Mutvei H., Nitecki D.V. (1999) Receptaculitids: A Phylogenetic Debate on a Problematic Fossil Taxon. Kluwer Academic/Plenum, 241 p.
- Pratt B.R. (1984) Epiphyton and Renalcis diagenetic microfossils from calcification of coccooid bluegreen algae. *J. Sediment. Petrol.*, **54**, 948-971.
- Riding R. (2004) Solenopora is a Chaetetid Sponge, Not an Alga. *Palaeontology*, **47**(1), 117-122.
- Rigby J.K., Potter A.W. (1986) Ordovician Sphinctozoan sponges from the Eastern Klamath Mountains, northern California. *Mem. Paleontol. Soc.*, **20**, 1-47.
- Rigby J.K., Blodgett R.B., Britt B.B. (2008) Ordovician sponges from west-central and east-central Alaska and western Yukon Territory, Canada. *Bull. Geosci.*, **83**, 153-168.
- Scotese C.R., Boucot A.J., Chen Xu. (2015) Atlas of Phanerozoic Climatic Zones (Mollweide Projection), V. 1-6. Paleomap Project PaleoAtlas for ArcGIS, PALEOMAP Project, Evanston, IL.
- Senowbari-Daryan B. (1991) "Sphinctozoa": An overview. *Fossil and Recent Sponges*. (Eds J. Reitner, H. Keupp). Berlin: Springer, 224-241.
- Senowbari-Daryan B. (2005) Hypercalcified sphinctozoan sponges from Upper Triassic Norian-Rhaetian reefs of the Nayband Formation (central and northeast Iran). *Jahrb. Geol. Bundesanst.*, **145**, 171-277.
- Senowbari-Daryan B., García-Bellido D.C. (2002) Fossil "Sphinctozoa": Chambered Sponges (Polyphyletic). *Sistema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges*. (Eds J.N.A. Hooper, R.W.M. Van Soest). N. Y.: Kluwer Academic, Plenum Publishers, 1523-1546.
- Senowbari-Daryan B., Rigby J.K. (1988) Upper Permian segmented sponges from Djebel Tebaga, Tunisia. *Facies*, **19**, 171-250.
- Senowbari-Daryan B., Rigby J.K. (2011) Sphinctozoan and Inozoan Hypercalcified Sponges: An overview. Pt E, Revised. V. 4, ch. 7. *Treatise Online*, **28**, 1-90.
- Soja C.M., Mitchell M., Newton A.J., Vendetti J., Visaggi C., Antoshkina A.I., White B. (2003) Paleoecology of sponge – ? hydroid associations in Silurian microbial reefs. *Palaos*, **18**, 225-235.
- Sonderholm M., Harland T.L. (1989) Franklinian Reef Belt, Silurian, North Greenland. *Mem. Can. Soc. Petrol. Geol.*, **13**, 356-366.
- Talent J.A. (1988) Organic reef-building: episodes of extinction and symbiosis? *Senckenbergian Lethanaea*, **3**(4), 315-368.
- Webby B.D. (2002) Patterns of Ordovician reef development. *Phanerozoic Reef Patterns*. (Eds W. Kiessling, E. Flügel, J. Golonka). SEPM (Society for Sedimentary Geology), Tulsa, Oklahoma, 129-179.
- Zhuravlev A.Yu. (1992) Was North America ever a Chukotka terrane? *International Conference on arctic margins*. Anchorage, Alaska, 66.

## REFERENCES

- Alberstadt L.P., Walker K.R., Zurawski R.P. (1974) Patch reefs in the Carters Limestone (Middle Ordovician) in Tennessee, and vertical zonation in Ordovician reefs. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **85**, 1171-1182.
- Antoshkina A.I. (1992a) Features of the structure of the lower Paleozoic reef strata of the Northern Urals. *Prirodnye rezervuary Pechorskogo neftegazonosnogo basseina* [Natural reservoirs of the Pechora oil and gas basin]. Syktyvkar, Tr. IG Komi NTs UrO RAN, **76**, 5-21. (In Russian)
- Antoshkina A.I. (1992b) Lithological and paleogeographic features of the late Ordovician reefs of the Pechora Urals. *Litologiya i geokhimiya osadochnykh formatsii Severo-Vostoka evropeiskoi chasti Rossii* [Lithology and Geochemistry of sedimentary formations of the North-East of the European part of Russia]. Syktyvkar, Tr. IG Komi NTs UrO RAN, **79**, 12-23. (In Russian)
- Antoshkina A.I. (1994) *Rify v paleozoe Pechorskogo Urala* [Reefs in the Paleozoic of the Pechora Urals]. St. Petersburg, Nauka Publ., 154 p. (In Russian)
- Antoshkina A.I. (2003) *Rifobrazovanie v paleozoe (severo Urala i sopredel'nye oblasti)* [Reef formation in the Paleozoic (Northern Urals and adjacent areas)]. Ekaterinburg, UrO RAN, 304 p. (In Russian)
- Antoshkina A.I., Ponomarenko E.S., Silaev V.I. (2017) Biochemistry nature of the Ordovician chamosite in the Northern Urals. *Vestn. IG Komi NTs UrO RAN*, **9**, 12-22. (In Russian)
- Antoshkina A.I., Saldin V.A., Nikulova N.Yu., Yur'eva Z.P., Ponomorenko E.S., Sandula A.N., Kaneva N.A., Shmeleva L.A., Shebolkin D.N., Shadrin A.N., Inkina N.A. (2015) Reconstruction of sedimentation in the Paleozoic Timan-Northern Ural region: research directions, results, problems and tasks. *Izv. Komi NTs UrO RAN*, **1**(21), 55-72. (In Russian)
- Antoshkina A.I., Shmeleva L.A. (2018) Peculiarities of composition, structure and environments of Hirnantian deposits in the Timan-Northern Ural sedimentary basin. *Litosfera*, **18**(4), 543-565. (In Russian)
- Berezi M.S., Luchinina V.A. (2018) The composition of the algal flora in Ordovician Precordillera of Argentina and its importance in the formation of organogenic structures. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **26**(1), 3-17. (In Russian)
- Boiko E.V., Belyaeva G.V., Zhuravleva I.T. (1991) *Sfinktozoa fanerozoia territorii SSSR* [Sphinctozoa of the Phanerozoic of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 224 p. (In Russian)
- Carrera M.G., Rigby J.K. (2004) Sponges. *The great Ordovician biodiversification event*. (Eds B.D. Webby, F. Paris, M.L. Droser, I.G. Percival). N. Y., Columbia University Press, 102-111.
- Copper P. (1989) Upper Ordovician and Lower Silurian reefs of Anticosti Island, Quebec. *Can. Soc. Petrol. Geol.*



- ol. Mem., **13**, 271-276.
- Debrene F., Wood R. (1990) A new Cambrian sphinctozoan sponge from North America, its relationship to Archaeocyaths and the nature of early sphinctozoans. *Geol. Mag.*, **127**, 435-443.
- Dembovskii B.Ya. (1992) *Otchet po ob'ektu: "Proizvodstvo opytno-metodicheskikh rabot po raschleneniyu nizhnepaleozoiskikh razrezov zapadnogo sklona Severnogo Urala (Shchugoro-Un'inskii raion)"* ["Production of experimental and methodological works on dissection of lower Paleozoic sections of the Western slope of the Northern Urals (Shchugoro-Un'insky district)"] 1989-1992 gg. 218 p. Vorkuta, Fondy Polyarno-Ural'skogo proizvodstvennogo geologicheskogo ob'edineniya. Inv. № 10827. (In Russian unpublished)
- Dembovskii B.Ya., Dembovskaya Z.P., Klyuzhina M.L., Nasedkina V.A. (1990) *Ordovik Pripolyarnogo Urala. Geologiya, litologiya, stratigrafiya* [Ordovician of the Subpolar Urals. Geology, Lithology, Stratigraphy]. Sverdlovsk, UrO AN SSSR, 210 p. (In Russian)
- Dunham R.J. (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Classification of carbonate rocks. A symposium*. (Ed. W.E. Ham). Amer. Ass. Petrol. Geol. Mem., **1**, 108-171.
- Embry A.F., Klovan J.E. (1971) A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island. *N.W.T. Bull. Can. Petrol. Geol.*, **19**, 730-781.
- Flügel E. (2004) Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Berlin; Heidelberg, Springer-Verlag, 976 p.
- Hartman W.D. (1977) Sponges as reef builders and shapers. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **4**, 127-134.
- Ivanovskii A.B. (1975) *Rugozы* [Rugose]. Moscow, Nauka Publ., 121 p. (In Russian)
- Ivanovskii A.B., Osipova A.I., Kuznetsov V.G., Bol'shakova L.N., Gekker M.R., Goryunova R.V., Zhuravlev A.Yu., Kosmyrin V.N., Luchina V.A., Rozhnov S.V., Tesakov Yu.I., Khromykh V.G. (1997) *Rifogennyye postroiки v paleozoe Rossii* [Reefs in the Paleozoic of Russia]. Moscow, Nauka Publ., 157 p. (In Russian)
- James N.P., Bourque P.A. (1992) Reefs and Mounds. *Facies Models – Response to Sea-Level Change*. (Eds R.G. Walker, N.P. James). Geol. Assoc. Can., 323-347.
- Klyuzhina M.L. (1985) *Paleogeografiya Urala v ordoviskom periode* [Paleogeography of the Urals in the Ordovician]. Moscow, Nauka Publ., 189 p. (In Russian)
- Kondia A.G. (1967) Silurian and lower Devonian deposits of the Belsko-Yelets facies zone of the Pechora Urals. *Tr. VSEGEI*, **144**, 87-122. (In Russian)
- Korolyuk I.K., Mikhailova M.V. (1986) The stages of reef formation. *Fanerozoiskie rify i korally* [Phanerozoic reefs and corals]. Moscow, Nauka Publ., 134-142. (In Russian)
- Li Q., Li Y., Kiessling W. (2015) The first sphinctozoan-bearing reef from an Ordovician back-arc basin. *Facies*, **61**(3), 1-9.
- Nitecki M.H., Mutvei H., Nitecki D.V. (1999) Receptaculitids: A Phylogenetic Debate on a Problematic Fossil Taxon. Kluwer Academic/Plenum, 241 p.
- Opornyy razrez ordovika Pai-Khoya, Vaigacha i yuga Novoi Zemli* [Reference section of the Ordovician in Pai-Khoy, Vaigach, and the South of the New Earth]. (Ed. V.I. Bondarev). (1970) Leningrad, NIIGA Publ., 155 p. (In Russian)
- Pratt B.R. (1984) Epiphyton and Renalcis diagenetic microfossils from calcification of coecoid bluegreen algae. *J. Sediment. Petrol.*, **54**, 948-971.
- Puchkov V.N. (2010) *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and Pre-Urals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 280 p. (In Russian)
- Riding R. (2004) Solenopora is a Chaetetid Sponge, Not an Alga. *Palaeontology*, **47**(1), 117-122.
- Rigby J.K., Potter A.W. (1986) Ordovician Sphinctozoan sponges from the Eastern Klamath Mountains, northern California. *Mem. Paleontol. Soc.*, **20**, 1-47.
- Rigby J.K., Blodgett R.B., Britt B.B. (2008) Ordovician sponges from west-central and east-central Alaska and western Yukon Territory, Canada. *Bull. Geosci.*, **83**, 153-168.
- Scotese C.R., Boucot A.J., Chen Xu. (2015) Atlas of Phanerozoic Climatic Zones (Mollweide Projection), V. 1-6. Paleomap Project PaleoAtlas for ArcGIS, PALEOMAP Project, Evanston, IL.
- Sennikov N.V., Obut O.T., Bukolova E.V., Tolmacheva T.Yu. (2011) Lithofacial and bioindicator assessment of the depth of formation of early Paleozoic sedimentary basins of the Paleosianic ocean. *Geol. Geophys.*, **52**(10), 1488-1516. (In Russian)
- Senowbari-Daryan B. (1991) "Sphinctozoa" An overview. *Fossil and Recent Sponges*. (Eds J. Reitner, H. Keupp). Berlin, Springer, 224-241.
- Senowbari-Daryan B. (2005) Hypercalcified sphinctozoan sponges from Upper Triassic Norian-Rhaetian reefs of the Nayband Formation (central and northeast Iran). *Jahrb. Geol. Bundesanst.*, **145**, 171-277.
- Senowbari-Daryan B., García-Bellido D.C. (2002) Fossil "Sphinctozoa": Chambered Sponges (Polyphyletic). *Systema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges*. (Eds J.N.A. Hooper, R.W.M. Van Soest), N. Y., Kluwer Academic, Plenum Publishers, 1523-1546.
- Senowbari-Daryan B., Rigby J.K. (1988) Upper Permian segmented sponges from Djebel Tebaga, Tunisia. *Facies*, **19**, 171-250.
- Senowbari-Daryan B., Rigby J.K. (2011) Sphinctozoan and Inozoan Hypercalcified Sponges: An overview. Pt E, Revised. V. 4, ch. 7. *Treatise Online*, **28**, 1-90.
- Shmeleva L.A. (2014) Paleolandscape reconstruction of the Upper Ordovician reef B. Kos'yu (Ilych river, Northern Urals). *Struktura, veshchestvo, istoriya litosfery Timano-Severoural'skogo segmenta*. Materialy 23-i nauch. konf. [Structure, substance, history of the lithosphere of the Timan-North Ural segment: Proc. of the 23-rd Sci. Conf.]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 146-149. (In Russian)
- Shmeleva L.A. (2016) Litho-paleoecological characteristics of the Upper Ordovician reef Bol'shaya Kos'yu (Ilych River, Northern Urals). *Litosfera*, **1**, 154-162. (In Russian)
- Shmeleva L.A. (2018) Variability of sponge-microbial communities in the structure of the Upper Ordovician reef Bol'shaya Kos'yu (Ilych river, Northern Urals). *Struktura, veshchestvo, istoriya litosfery Timano-Severoural'skogo segmenta*. Mater. 27-i nauch. konf. [Structure, substance, history of the lithosphere of the Timan-North Ural segment: Proc. of the 27-th Sci.

- Conf.]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 253-257. (In Russian)
- Shuiskii V.P., Klyuzhina M.L. (1989) On the organogenic buildings of the Ordovician in the Urals. *Novye dannye po geologii Urala i Srednei Azii* [New data on the Geology of the Urals and Central Asia]. Sverdlovsk, UrO AN SSSR, 127-137. (In Russian)
- Soja C.M., Mitchell M., Newton A.J., Vendetti J., Visaggi C., Antoshkina A.I., White B. (2003) Paleoecology of sponge – ?hydroid associations in Silurian microbial reefs. *Palaios*, **18**, 225-235.
- Sonderholm M., Harland T.L. (1989) Franklinian Reef Belt, Silurian, North Greenland. *Mem. Can. Soc. Petrol. Geol.*, **13**, 356-366.
- Sorokin Yu.I. (1990) *Ekosistemy korallovykh rifov* [Coral reef ecosystems]. Moscow, Nauka Publ., 503 p. (In Russian)
- Talent J.A. (1988). Organic reef-building: episodes of extinction and symbiosis? *Senckenbergian Lethanaea*, **3**(4), 315-368.
- Uilson Dzh. L. (1980) *Karbonatnye fasy v geologicheskoi istorii* [Carbonate facies in geological history]. Moscow, Nedra Publ., 463 p. (In Russian)
- Webby B.D. (2002) Patterns of Ordovician reef development. *Phanerozoic Reef Patterns*. (Eds W. Kiessling, E. Flügel, J. Golonka). SEPM (Society for Sedimentary Geology), Tulsa, Oklahoma, 129-179.
- Zhuravlev A.Yu. (1992) Was North America ever a Chukotka terrane? *International Conference on arctic margins*. Anchorage, Alaska, 66.
- Zhuravlev A.Yu., Nitetskii M.G. (1985) On the comparative morphology of archaeocyate and receptaculite. *Paleontol. Zh.*, **4**, 121-123. (In Russian)
- Zhuravleva I.T., Myagkova E.I. (1987) *Nizshie mnogokletochnye fanerozoia* [Lower multicellular organisms of Phanerozoic]. Moscow, Nauka Publ., 224 p. (In Russian)