



Тимано-Североуральский регион — модельный объект палеозойского рифообразования

А. И. Антошкина

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

antoshkina@geo.komisc.ru

В статье представлены результаты многолетних исследований палеозойских органогенных структур в Тимано-Североуральском регионе (ТСУР). Рассмотрены принципы определения рифов и других органогенных структур, позволившие проследить эволюцию и этапы позднеордовикско-раннепермского рифообразования на основе их временного распределения. В палеозое ТСУР выделены три этапа, различающиеся геометрией органогенных структур, скоростью их роста и палеогеографическим положением в осадочном бассейне. (i) Среднекатийско-раннеэмский этап представлен локальными и барьерными рифами внешней окраины карбонатного шельфа, достигающими большой мощности. (ii) Среднефранско-раннетурнейский этап отличается образованием крупных микробных холмов как на внешней окраине шельфа, так и на окраинах мелководных платформ в пределах расчлененного шельфа, а также появлением рифов в прибрежной зоне шельфа. (iii) Поздневисейско-раннесакмарский этап характеризуется иловыми, микробными и скелетными холмами, образовавшимися на склонах впадин и поднятий деградирующего карбонатного шельфа. Распределение и геометрия органогенных структур определялись в основном региональными тектоническими событиями и глобальными геобиотическими процессами в этот период эволюции Земли. Уникальность данного региона позволяет предложить его в качестве модельного объекта для изучения и понимания палеозойского рифообразования.

Ключевые слова: риф, холмы, рифовая экосистема, рифовый каркас, рифообразование, эволюция, Тимано-Североуральский регион

Timan-northern Ural region — a model site for Paleozoic reef formation

A. I. Antoshkina

Institute of geology FRC Komi SC UB RAS, Syktывkar, Russia

The article presents the results of long-term studies of Paleozoic organogenic structures in the Timan-northern Ural region. The article discusses the principles of defining reefs and other organogenic structures, which allow tracing the evolution and stages of the Upper Ordovician-Lower Permian reef formation in the region based on their temporal distribution. Three stages of reef formation have been identified in the Paleozoic of the region, differing in the geometry of organogenic structures, their growth rate, and paleogeographic position. (i) The Middle Katian-Early Emsian stage is characterized by local and barrier reefs of the outer margin of the carbonate shelf, reaching great thickness. (ii) The Middle Frasnian-Early Tournaisian stage is distinguished by the formation of large microbial mounds, both on the outer margin of the shelf and on the margins of shallow-water platforms within the dissected shelf, as well as the appearance of reefs in the coastal zone of the shelf. (iii) The Late Visean-Early Sakmarian stage is characterized by mud, microbial, and skeletal mounds arising on the slopes of depressions and uplifts in the degrading carbonate shelf. The distribution and geometry of organogenic structures were determined primarily by regional tectonic events and global geobiotic processes during this period of Earth's evolution. The uniqueness of this region allows it to be proposed as a model object for the study and understanding of Paleozoic reef formation.

Keywords: reefs, mounds, reef ecosystem, reef framework, reef formation, evolution, Timan-northern Ural region

Введение

Палеозойские рифы и другие органогенные образования широко распространены в России, Канаде, Северной Америке и Западной Европе, а также встречаются в Китае, Пакистане, Центральной Азии и Австралии. Расширенные списки литературы можно найти в публикациях, обобщающих понимание рифовых сообществ, рифовой экологии и их развитие во времени (Heckel, 1974; Toomey, 1981; Geldetzer et al., 1988 и др.). Глобальное распространение палеозойских рифов

представлено в работе Flügel, Flügel-Kalher (1992). Первое описание палеозойских рифов в России относится к нижнепермским известнякам Среднего Урала (Яковлев, Рябинин, 1915). Добыча нефти в 1929 году из пермских рифов привела к их масштабным исследованиям в Пермском крае. В 50–60-х годах открытие и добыча нефти и газа из верхнедевонских массивных карбонатов в Тимано-Печорской, Прикаспийской и Волго-Уральской областях стимулировали интерес геологов и геологов-нефтяников в целом к ископаемым рифам

Для цитирования: Антошкина А. И. Тимано-Североуральский регион — модельный объект палеозойского рифообразования // Вестник геонаук. 2026. 5(377). С. 3–19. DOI: 10.19110/geov.2026.5.1

For citation: Antoshkina A. I. Timan-northern Ural region — a model site for Paleozoic reef formation. Vestnik of Geosciences, 2026, 5(377), pp. 3–19. DOI: 10.19110/geov.2026.5.1

в России (Кузнецов, 2000). В Тимано-Печорской провинции изучению и поискам рифов, их нефтегазонасности посвящено огромное количество публикаций. Среди них есть монографии, в которых освещены результаты первопроходцев этого направления и последующие исследования (Чернов, 1972; Беляева и др., 1998; Жемчугова, 2002 и др.). В объемной монографии (Рифогенные..., 1990) обобщен состав фанерозойских рифообразующих последовательностей в различных тектонических структурах. Карты расположения рифов на территории бывшего СССР в этой монографии показывают, что палеозойские рифы более всего распространены на Урале и в Приуралье.

Рифы и рифогенные образования Тимано-Североуральского региона (ТСУР) предоставили уникальную возможность проследить на одной территории эволюцию палеозойского рифообразования, рифовых экосистем и продуктов их жизнедеятельности, демонстрирующих разнообразие биогенных характеристик на протяжении всего верхнеордовикско-нижнепермского интервала (рис. 1). Их особенность состоит в приуроченности к определенным тектоно-седиментационным этапам. Этот факт позволяет их сравнить по компонентам, последовательности фаций и палеогеографической обстановке с образованиями, известными в других частях мира (Антошкина, 2003; Беляева и др., 1998; Богацкий, Жемчугова, 1992; Кузнецов, 2020; Кузнецов, Антошкина, 2005; Пономаренко, 2025; Antoshkina, 1998, 2003; Antoshkina, Königshof, 2008 и др.). Но, как показали проведенные многолетние исследования палеозойских рифов и рифогенных образований ТСУР, они обладают некоторыми отличительными, а возможно и уникальными, характеристиками в истории палеозойского рифообразования Земли, которые оправдывают дальнейшее, более детальное рассмотрение.

Прежде чем начать изложение по теме статьи, необходимо обосновать принципиальное разграничение определения рифовых и других органогенных образований, используемое автором. Именно такой подход и позволил проследить эволюцию палеозойского рифообразования в рассматриваемом регионе.

Палеозойские органогенные сооружения ТСУР характеризуются широким спектром морфогенетических типов: от монотаксонных биогенных банок, биогермов, биостромов, холмов, изолированных рифов до фациально дифференцированных протяженных систем рифовых барьеров. Часто все эти существенно отличающиеся по размеру и генезису органогенные тела объединялись и объединяются под общим названием «рифы», «рифовые» или «рифогенные». Важность определения геологического тела как простой органогенной постройки или сложного сооружения — рифа — и последующие затем палеогеографические и палеотектонические выводы требуют четкого подхода к вопросу их генетической интерпретации.

Простые органогенные постройки могут быть компонентами в структуре рифов. Они могут существовать в разных участках морского бассейна и на разных глубинах (0—11 000 м). Они не служат седиментационным барьером, влияющим на гидродинамику, гидрохимию и биосообщества в зарифовом бассейне, и не являются индикаторами тектонических событий.

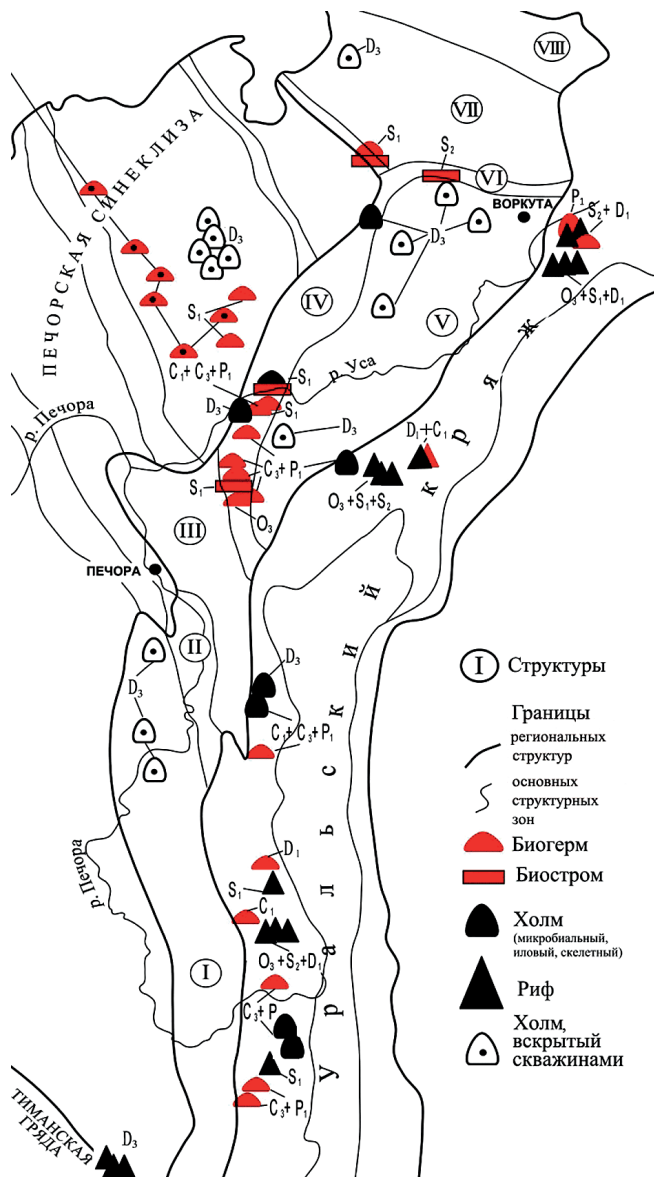


Рис. 1. Распределение генетически разных палеозойских органогенных сооружений на территории Тимано-Североуральского региона

Fig. 1. Distribution of genetically different Paleozoic organogenic structures in the territory of the Timan-Northern Ural region

И наконец, рифы помимо масштабных сооружений представляют собой комплекс парагенетических фациальных ассоциаций — гребня, плато, склонов, обломочного шлейфа и лагун. Такой полноценный рифовый профиль характерен для современных рифов (Преображенский, 1986) и выявлен в мезозойских, палеозойских и докембрийских рифах (например, Geldzetter et al., 1988; Wilson, 1975). Классическим примером фациального разнообразия служат франские рифы Северо-Западной Австралии, представляющие прекрасно сохранившиеся морфологические и рифовые структуры, а также рифовые сообщества (Playford et al., 2014), послужившие эталоном для ископаемых аналогов, в том числе и для палеозойских рифов ТСУР.

Известно, что главным свойством всех экосистем и рифовой в частности является способность к разви-



тию, следовательно, экологическая сукцессия эволюционирует от начальных нестабильных фаз к более стабильным (Одум, 1986). Первые две фазы (стабилизация и колонизация) соответствуют стадии формирования холмов, а фазы диверсификации и доминантная (климаксная) — стадии зрелых рифов (James, Bourque, 1992). Это отражает тенденцию к возрастанию видового разнообразия, усложнению экосистемы (= трофической структуры) и стабильности. При отсутствии внешних стрессовых факторов экологическая сукцессия представляет собой направленный процесс (Преображенский, 1986; Correr, 1994). При достижении стабильного состояния рифовая экосистема обладает наиболее развитой трофической (биогеоэкологической) и ландшафтно-морфологической (морфолито-фациальной) структурами.

Геологическая структура региона

Тиманский хребет, Печорская синеклиза, Предуральский краевой прогиб, ограниченный на западе поднятиями Чернышева и Чернова, и северная часть Западной мегазоны Урала, включающая Северный, Приполярный и Полярный Урал, представляют собой Тимано-Североуральский регион с запада на восток, характеризующий погруженную северо-восточную часть Европейской платформы (Тимонин, 1998; Тимано-Печорская..., 2002 и др.). Складчатый позднекембрийский фундамент его обнажен на поднятых сводах Тиманского хребта, Урала, Пай-Хоя и южного острова Новая Земля. Палеозойские слои Тимано-Североуральского блока сформировали нижний структурный этаж осадочного чехла Печорской плиты. Формирование Уральской складчатой системы (уралид) началось в позднем девоне в результате столкновения Магнитогорской островной дуги и пассивной окраины Восточно-Европейского палеоконтинента (Пучков, 2010).

Палеобиогеография рифообразования

Развитие рифов на территории ТСУР северо-восточной окраины Европейской платформы началось с позднего ордовика после открытия Палеоуральского океана на границе кембрия и ордовика и завершилось активизацией процессов коллизии в ранней перми. Образование Уральской складчатой системы привело к деформации и отступлению существовавшего ранее края карбонатной платформы, а органогенные постройки сохранялись на склонах и внутри относительно глубоководных впадин и на отступающем крае карбонатной платформы (Палеозойское..., 2011, Салдин, 2010).

Палеозойский карбонатный шельф был сформирован в позднеордовикское время главным образом разнообразными бентосными микробными и многоклеточными сообществами, которые образовывали латерально распространенные фациальные тракты, периодами с ограничением циркуляции вод шельфа, вплоть до обстановок эвапоритизации. Рифы и рифоподобные тела существовали в разных палеогеографических и тектонических условиях: на окраине и внутри карбонатной платформы, на склонах или отмелях внутриплатформенных впадин, в зарифовых лагунах, деформированном крае платформы и т. п. Палеомаг-

нитные и палеоклиматические данные, включая наличие широко распространенных лагунных эвапоритов и карбонатов, характеризующихся особыми бентосными сообществами, свидетельствуют о том, что исследуемая область в палеозое располагалась в пределах широт от 15° ю. ш. до 30° с. ш. (Scotese et al., 2015; Scotese, 2021).

Результаты изучения органогенных сооружений (Антошкина, 2003) показали, что в истории геологического развития региона в верхнеордовикско-нижнепермском интервале было три этапа их развития, совпадающих с периодами образования калейдовых формаций, выделенных А. И. Елисеевым (1978). Этапы рифообразования: среднекатийско-раннеэмский, среднефранско-раннетурнейский и поздневизейско-раннепермский различаются генезисом, геометрией органогенных сооружений, масштабом, скоростью их роста и палеогеографическим положением. Сведенные вместе разнообразные типы органогенных структур представляют мегасукцессию рифовой экосистемы, определившей эволюционный тренд палеозойского рифообразования в ТСУР.

Среднекатийско-раннеэмский этап рифообразования (~49.5 млн лет) представлен рифами (260—1200 м), имеющими зрелую экологическую сукцессию, и насыщен разнообразием глобальных геобиосферных событий. В среднем катии рифы (Большая Косью на Северном, Бадья на Приполярном и Лек-Елец на Полярном Урале) развивались одиночно на окраине крайне мелководного карбонатного шельфа. Основанием для них служили нижнекатийские терригенно-карбонатные отложения верхней ramпы. В среднекатийское время в условиях низкого стояния уровня моря и аридного климата в пределах внутреннего шельфа накапливались сульфаты (Жемчугова и др., 2001). В конце среднего катия рифы были выведены в зону эрозии, а в позднем катии (япгикшорская фаза) были затоплены в результате эвстатического поднятия уровня моря при таянии ледников в южном полушарии (Шмелева, 2016; Antoshkina, 1996; Caputo, 1985, 1998).

Возможно, в этом процессе отразился еще и региональный тектонический фактор, связанный с расширением Палеоуральского океана. Последующее резкое падение уровня моря, связанное с хирнантским оледенением, отразилось в формировании литорально-супралиторальных обломочных карбонатов и массовом развитии эрозионных поверхностей в раннем хирнанте на Северном и Приполярном Урале. Во второй половине хирнанта на биокластовых песках отмелей возникли небольшие метазойно-микробиальные поселения (Приполярный Урал) и водорослево-криноидная отмель (Северный Урал), завершившие позднеордовикскую фазу (Антошкина, Шмелева, 2018). После массового вымирания в конце ордовика глобальное восстановление рифов (их размеры и биотическое разнообразие) в позднем аэроне заняло несколько миллионов лет (Wang et al., 2014).

В конце аэрона (филиппельская фаза) рифы на окраине карбонатного шельфа уже развились в рифовые системы (Печорский Урал), но сегодня они представлены фрагментарно. Так, на Приполярном Урале была сформирована система рифов, включавшая зарифовые пэтч-риф. Этот факт подтверждается при-

сутствием обломков рифовых пород в конглобрекциях манюкской свиты, послужившей основанием для верхневенлокско-лудловского рифа Балбанью. На Полярном и Северном Урале была развита система рифов и рифов-холмов на окраине шельфа и верхней части предрифового склона (Антошкина, 1994). Такой большой интервал отсутствия рифов после среднего катия был обусловлен перерывом на границе лландовери и венлока в раннем шейнвуде, подтвержденном изотопными данными на Приполярном (Mannik, Martma, 2000) и Северном (Пономаренко, Соколова, 2025) Урале. Западнее, в пределах внутреннего шельфа (Хорейверская впадина) на этом уровне было выявлено формирование латеритной коры выветривания, вскрытой скважинами (Палеозойское..., 2011). На окраине мелководного шельфа в позднем венлоке возобновилось рифообразование, и в лудлове уже вновь существовали барьерные рифы с отчетливо проявленной фациальной зональностью: Илыч на Северном, Балбанью на Приполярном и Нияю на Полярном Урале (Антошкина, 1994). Их рост был прерван эвстатическим падением уровня моря на границе гердьюского и гребенского надгоризонтов, вызвав резкое смещение фаций, которое связывают с кратковременным оледенением, распространением условий с дефицитом кислорода, повлекшим вымирание бентосной и планктонной фауны (Антошкина и др., 2012; Kaljo et al., 2003; Lehnert et al., 2007 и др.).

Глобальное поднятие уровня моря привело к затоплению образовавшейся в прижидоле и раннем лох-

кове платформы-рампы, просуществовавшей до позднего лохкова. В соотечмыртинскую фазу на окраине новообразованного шельфа возрождаются склоновые кораллово-строматолитовые постройки (Большая Уса, Полярный Урал) и склоновые строматолито-микробные холмы (например, в основании рифа Лемва на Приполярном / Полярном Урале). Эти холмы стали основанием для самых крупных в палеозое ТСУР рифовых систем прагиена — раннего эмса. В лоховскую фазу в условиях низкого стояния уровня моря и аридного климата вновь накапливались мощные толщи сульфатов, вскрытые скважинами во впадинах Предуральского прогиба. В пражское время на окраине карбонатного шельфа была сформирована линейная система мощных барьерных рифов на всем Западном Урале (Шуйский, 1973; Antoshkina, 2003; Antoshkina, Königshof, 2008). Рифы располагались на узком шельфе с преобладающей терригенной седиментацией, что было связано с каледонским орогенозом на северо-западе палеоконтинента Балтика. В пражско-раннеэмское время шельфовые впадины заполнялись осадками озерно-болотных и аллювиальных равнин (Щербаков, 1977), вытесняя карбонатонакопление в узкую зону окраины шельфа (рис. 2). Рост рифов первоначально был кратковременно прерван на границе прагиена—эмса падением уровня моря и окончательно завершился в середине эмса (предтакатинский перерыв).

Заложение Печоро-Колвинской внутриплитной палеорифтовой зоны в среднем девоне повлияло на

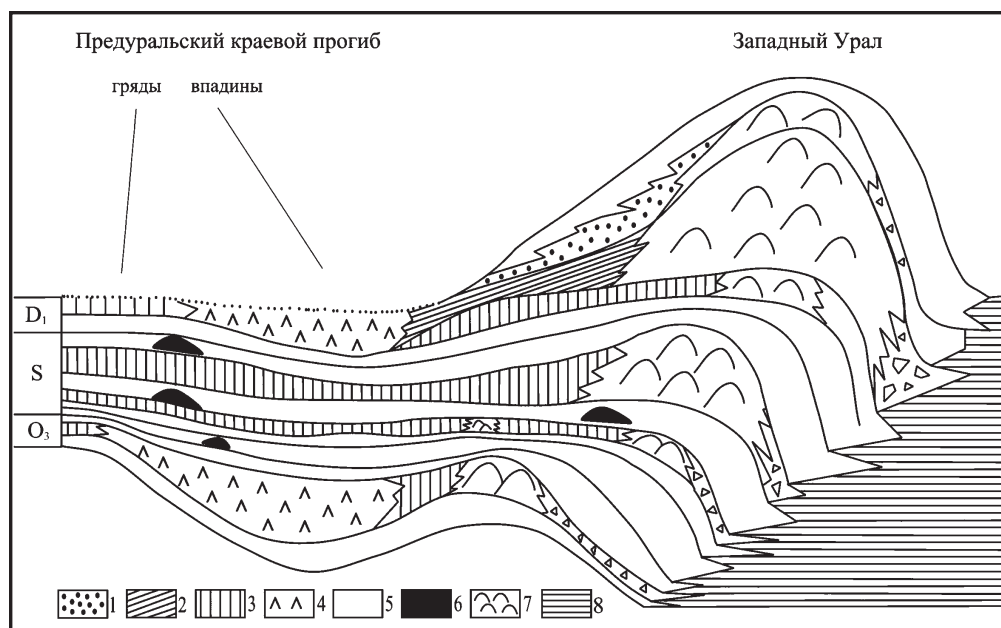


Рис. 2. Генерализованное распределение фаций по стадиям формирования рифов среднего катия — нижнего эмса, включая вышележащие и нижележащие фации открытого шельфа.

Условные обозначения: 1—8 — фации: 1 — песчаники, алевриты аллювиальных равнин; 2 — карбонатно-терригенные отложения озерно-болотных равнин; 3 — ламинарные карбонаты, строматолитовые купола лагун и литорали закрытого шельфа; 4 — сульфаты и карбонаты лагун и сабх; 5 — терригенно-карбонатные с разнообразной бентосной фауной отложения открытого шельфа; 6 — биогермы, биостромы; 7 — рифы; 8 — кремнисто-карбонатно-глинистые отложения батии

Fig. 2. Generalized facies distribution by stages of reef formation of the Middle Katian — Lower Emsian, including overlying and underlying facies of the open shelf.

Legend: 1 — sandstones, siltstones of alluvial plains; 2 — carbonate-terrigenous deposits of lake-swamp plains; 3 — laminar carbonates, stromatolitic domes of lagoons and littoral of the closed shelf; 4 — sulfates and carbonates of lagoons and sabkhas; 5 — terrigenous-carbonate deposits of the open shelf with diverse benthic fauna; 6 — bioherms, biostromes; 7 — reefs; 8 — siliceous-carbonate-clayey deposits of the bathyal zone



тектоническую, палеогеографическую и седиментационную ситуацию. Рельеф дна среднефранско-турнейского палеобассейна представлял собой расчлененный шельф, состоящий из мелководных карбонатных платформ и банок, окруженных областями понижений либо с «доманиковыми фациями», либо с клиноформным заполнением (рис. 3). Частые глобальные и региональные колебания уровня моря приводили к формированию поверхностей перерыва (Чернов, 1972; Беляева и др., 1998; Antoshkina, 2006), предопределив тем самым массовое распространение микробиального сообщества, включающего цианобактерии и кальцибионты, восстанавливающие рифообразование.

Среднефранско-раннетурнейский этап (~27.0 млн лет) представляет важный переход от окраинно-шельфовых рифов к разномасштабным микробиальным холмам внутри расчлененного шельфа. Характерны карбонатные толщи из биогермных строматолитовых, спонгиостроматовых и своеобразных кальцисферо-фенестровых известняков в виде морфологически выраженных массивных биогенных карбонатов (100–700 м). Рифовая экосистема не достигала зрелой фазы из-за неустойчивого бассейнового режима, вызванного тектонической активизацией при формировании системы прогибов и поднятий в палеорифтовой системе шельфа (Антошкина, 2013). Поэтому на образовавшихся мелководных карбонатных платформах фор-

мировались микробиальные холмы, преимущественно на окраинах и вверху склонов, за счет массового поступления органического вещества из окаймляющих их прогибов (Матвеева, 2017; Палеозойское..., 2011; Menner et al., 2001 и др.) (рис. 3, 4). Подобные массивные тела отмечены на поднятиях Чернова, Чернышева (Чернов, 1972; Цыганко, 2011; Antoshkina, 2006) и при бурении в пределах Печорской синеклизы для выявления перспектив их нефтегазоносности.

Развитие строматолитовых рифов продолжилось только на окраине вновь сформировавшегося шельфа. На Южном Тимане развиты верхнефранские строматолитовые рифы (Антошкина, 2013; Цыганко, Безносков, 2010; House et al., 2000), среди которых наиболее изучен с позиций строения, структуры и сообществ строматолитовый риф Седью (Пономаренко, 2019). Каркасная структура биогермных известняков сложена скелетными микробиальными сообществами, ассоциирующими с довольно редкими строма-топороидеями (Антошкина и др., 2014). Глобальное падение уровня моря на границе турне и визе привело к эрозии турнейской карбонатной платформы, а ранневизейское глобальное затопление платформ прервало рифообразование на длительное время (~18 млн лет).

Позднелизский-раннепермский этап, завершающий палеозойское рифообразование в ТСУР, выделяется резким изменением состава, структуры и мор-

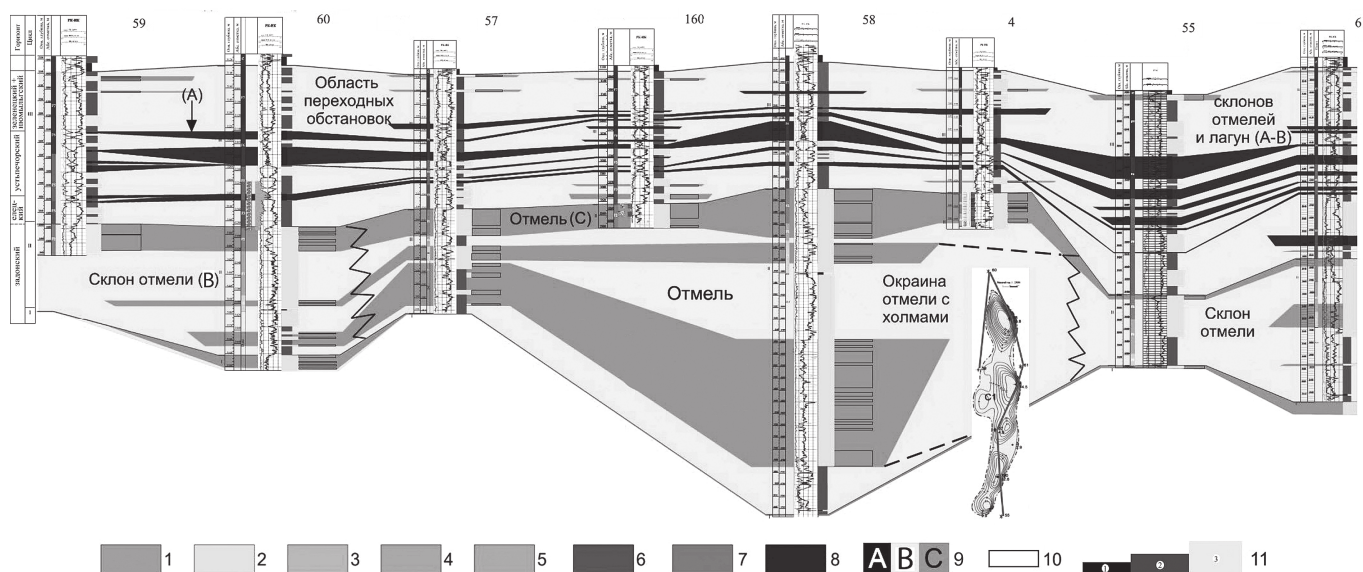


Рис. 3. Фациальный профиль фамениских отложений в пределах Дюсусhevской площади Хорейверской впадины по линии I–I (по: Палеозойское..., 2011 с некоторым упрощением).

Условные обозначения: 1–4 — известняки: 1 — пелитоморфный, 2 — пелитоморфный с пелоидно-биокластовым материалом (> 10 %), 3 — пелитоморфно-микробиальный сферо-узурчатый, 4 — пелитоморфно-ооидно-биокластовый; 5–7 — известняки (доломиты): 5 — биокластово-литокластовый, 6 — микробиальный биогермный, 7 — перекристаллизованный; 8 — известняк пелитоморфный глинистый; 9 — фации: спокойноводных лагун и впадин (А), переходных склоновых с неустойчивым гидродинамическим режимом (В), отмелей с подвижноводным режимом (С); 10 — коллекторы; 11 — градации литоконплексов, основанные на содержании глинистого материала в породах

Fig. 3. Facies profile of Famennian deposits within the Dyusushevskaya area of the Khoreyver Depression along line I–I (based on: Paleozoic..., 2011 with some simplification).

Legend: 1–4 — limestones: 1 — pelitomorphic, 2 — pelitomorphic with peloid-bioclastic material (> 10 %), 3 — pelitomorphic-microbial spherical-patterned, 4 — pelitomorphic-oid-bioclastic; 5–7 — limestone (dolomite): 5 — bioclastic-lithoclastic, 6 — microbial biohermic, 7 — recrystallized; 8 — pelitomorphic clayey limestone; 9 — facies: calm-water lagoons and basins (A), transitional slopes with an unstable hydrodynamic regime (B), shoals with a mobile water regime (C); 10 — collectors; 11 — gradations of lithocomplexes based on the content of clay material in the rocks

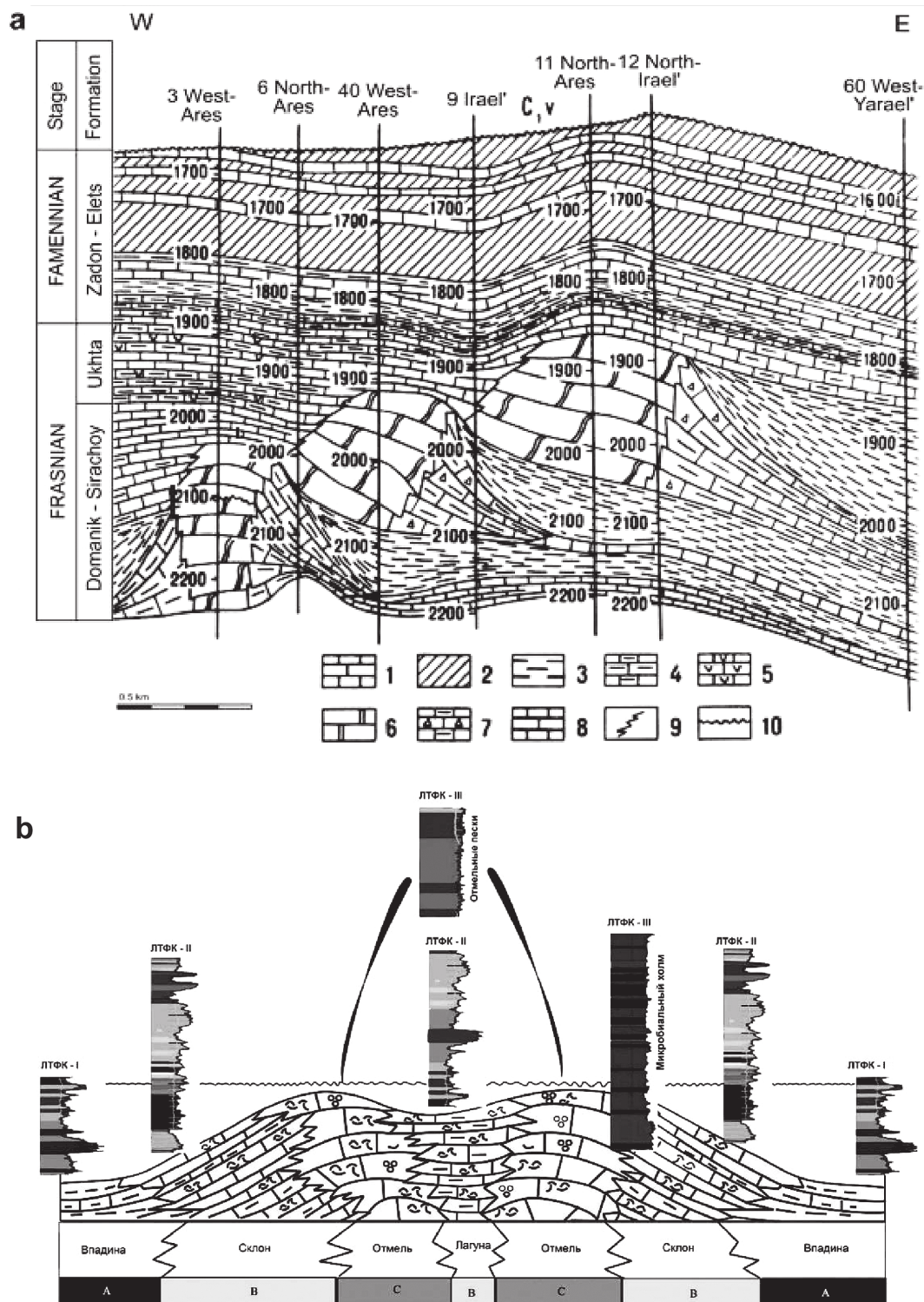


Рис. 4. Распределение фаций карбонатных банок:

a — геологический поперечный разрез, показывающий органогенные тела и заполняющие их пласты франского яруса. Разрез от скважины 60-Западный Яраэль до скважины 3-Западный Арес в районе Арес-Чиксина (Klimenko et al., 2011, fig. 13.5). Условные обозначения: 1 — карбонат; 2 — глинисто-карбонатные карманы фаменских мелководных отложений; 3 — глина; 4 — глинисто-карбонатные пласты; 5 — карбонаты с эвапоритами; 6 — рифоподобные тела; 7 — склоновые отложения; 8 — «доманиковая» фация; 9 — границы фаций; 10 — эрозионные поверхности. Глубина скважин в метрах; **b** — схема строения карбонатной банки в фаменское время в пределах центральной части современной Хорейверской впадины. Условные обозначения — на рис. 3

Fig. 4. Distribution of carbonate bank facies:

a — geological cross-section showing organogenic bodies the Ares-Chiksin area (Klimenko et al., 2011, fig. 13.5). Legend: 1 — carbonate; 2 — clay-carbonate pockets of Famennian shallow-water sediments; 3 — clay; 4 — clay-carbonate layers; 5 — carbonates with evaporites; 6 — reef-like sediments; 7 — slope sediments; 8 — “Domanik” facies; 9 — facies boundaries; 10 — erosion surfaces. Well depths in meters; **b** — schematic diagram of the structure of a carbonate bank during the Famennian period within the central part of the modern Khoreyver Depression. Legend — in Fig. 3



фологии органогенных сооружений в результате формирования фаз герцинского (уральского) орогенеза (рис. 5), сопровождавшегося не только резкими колебаниями уровня моря, но и проявлением магматической и вулканической активности, влиявшей на гидрохимию в осадочных бассейнах (Antoshkina, Ponomarenko, 2014). В позднем визе на окраине шельфа с засоленными участками, сохранившегося после внутриплатформенного рифтинга, возникают метазойно-микробильные биогермы и биостромы, строматолитовые холмы, существовавшие вплоть до предсреднекаменноугольного регионального размыва (Елисеев, 1971; Skompski et al., 2001). Прерванное затем на огромный временной интервал, составивший по международной шкале ~24 млн лет, рифообразование возобновилось в касимовское время позднего

карбона. В это время на окраине деградирующего карбонатного шельфа начали формироваться изолированные и метазойно-микробильно-водорослевые холмы. Их рост был остановлен подъемом уровня моря в середине позднего карбона.

В это время на деформированной континентальной окраине, включая поднятия Чернышева, Чернова и Полярный Урал, были распространены преимущественно небольшие иловые холмы (Инкина, 2015; Палеозойское..., 2011; Салдин, 2005; Antoshkina, 1997). Наиболее выразительными органогенными сооружениями позднего карбона — ранней перми являются гжельско-ассельские скелетные холмы, широко развитые на Северном и Приполярном Урале. При этом Северный Урал отличается разнообразием и строением этих холмов (Пономаренко, 2025). Скелетные хол-

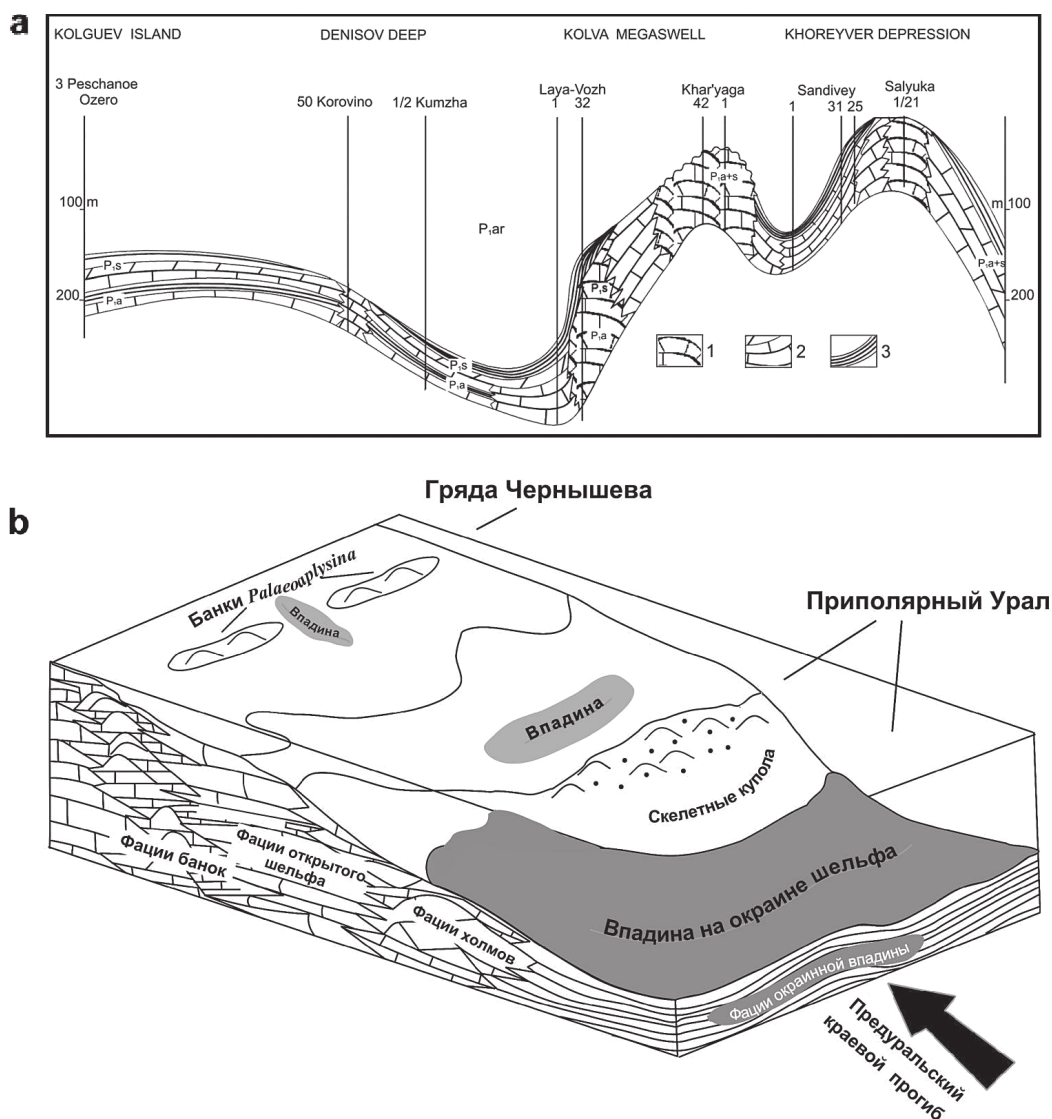


Рис. 5. Нижнепермские органогенные постройки:

а — схематический палеолито-логический профиль на начало кунгурского века в северной части Печорской синеклизы. Отложения: 1 — органогенных построек; 2 — склона глубоководных впадин; 3 — глубоководных впадин (с упрощением по: Жемчугова, 1998); б — схематическая фациальная модель ассельского времени на территории Приполярного Урала и гряды Чернышева

Fig. 5. Lower Permian organogenic structures:

а — schematic paleolithological profile at the beginning of the Kungurian in the northern part of the Pechora syncline. Deposits: 1 — organogenic structures; 2 — slopes of deep-sea basins; 3 — deep-sea basins (slightly simplified according to Zhemchugova, 1998); б — schematic facies model of the Asselian time in the territory of the Subpolar Urals and the Chernyshev Ridge

мы формировались на склонах деформированного карбонатного шельфа, и их выразительной особенностью было распространение обильных крустификационных цементов (Antoshkina, Ponomarenko, 2014). Резкий подъем уровня моря и усиливающееся терригенное осадконакопление со стороны образовавшегося складчатого сооружения Урала прервали рифообразование на окраине отступающей карбонатной платформы в позднесакмарское, а затем в артинское время на внутренней части окраины шельфа. В результате этого рифообразование смещается в пределы формирующегося нового северо-западного шельфа, представленного в современном плане Северным Тиманом и полуостровом Канин, северо-западом Хорейверской впадины и Баренцевоморским шельфом (Klimenko et al., 2011).

Биогенные каркасные структуры в геобиосферных процессах палеозоя

Палеозойская эра (538.8±2 — 251.9±0.024 млн л.) представляла эру глобальных изменений в биосфере, когда жизнь вышла из океанов и освоила сушу. Глобальные климатические изменения в палеозое проявлялись периодами глобальных похолоданий (регрессий), сопровождавшихся масштабным эродированием карбонатных платформ, и глобальных потеплений (трансгрессий), выражавшихся в затоплении платформ, возникновении обширных аноксидных обстановок и окислении. Эти события приводили к пертурбациям в шельфовых экосистемах, отражавшихся в смене бентосных и планктонных сообществ и, соответственно, в изменении каркасостроителей.

Так, скелетные метазойные каркасы (биогермы, биостромы) развивались в относительно холодные периоды. Метазойно-микробиальные рифы также могли развиваться во время интенсивных периодов похолодания при относительном потеплении климата, приводящего к повышению относительного уровня моря. Однако усиление похолодания климата с оледенением могло привести к распространению микробиальных холмов (средний фран — ранний турне, поздний визе). Периоды потеплений иногда совпадают с преобладанием каркасных структур метазойно-микробиально-поддерживаемых рифов (средний фран, поздний визе — серпухов), матрикс-поддерживаемых ассельских иловых холмов и цемент-поддерживающих скелетных холмов.

Эволюция палеозойского рифообразования ТСУР прослеживается в эволюции биогенных каркасных структур. Они подразделяются на пять категорий (рис. 6):

1) *скелетные метазойные каркасы* представляют преимущественно строматопорово-коралловые и кораллово-строматопоровые ассоциации скелетных организмов, образующих каркасные структуры в верхневенлокских и нижнеэмских рифах, в ландоверийских и пржидольских биогермах и биостромах (рис. 7);

2) *скелетные метазойно-микробиальные* (во взаимовыгодных взаимоотношениях) — губково-строматолитовые, губково-гидроидно-микробиальные каркасные структуры — характерны для среднекарийских, лудловских и верхнелоховско-пражских рифов (рис. 8);

3) *скелетные микробиальные*, в которых морфология и основные признаки анатомического строения

цианобактерий хорошо сохранены и распознаются. Строматолитовые и строматолитоподобные каркасные структуры типичны для верхнедевонских и нижнетурнейских микробиальных холмов (рис. 9);

4) *нескелетные кальцимикробные* — микробиальные и биокластово-микробиальные структуры присутствуют в иловых холмах верхнего венлока, лохкова, нижнего эмса и нижней перми, в пэтч-рифах верхнего аэрония, рифах среднего катия и микробиальных холмах верхнего девона (рис. 10);

5) *биоцементные* (биологически индуцированный цемент) — мшанковые, палеоаплизинные, филлоидно-водорослевые, тубифитесовые каркасные структуры, в которых маленькие или тонкие организмы служат субстратом для твердых цементных корок, развиты в позднекаменноугольно-раннепермских скелетных холмах (рис. 11).

Как показал анализ глобального палеозойского рифообразования в целом и каждого этапа рифообразования на территории ТСУР, на эволюцию биогенных каркасов влияли (рис. 12): а) химизм вод, показавший, что экологическая стабильность сохраняется для организмов, имеющих кальциевый состав скелета (**верхний ордовик — нижний эмс**); б) преобладание скелетных биогенных каркасов и их видовая устойчивость, не зависящая от биотических событий, которая сохраняется в метазойно-микробиально-строматолитовых сообществах рифов лудлова, **верхнего лохкова, прагиена**; в) массовое распространение микробиальных сообществ в ответ на тектоническую активизацию (**средний фран — фамен, поздний визе**); г) распространение скелетных микробиальных и нескелетных кальцимикробных карбонатов, обусловленное интенсивностью спрединга (глобального — расширение и сокращение Палеоуральского океана — и регионального — Печоро-Кожвинского палеограбена) и частыми колебаниями уровня моря (**лудлов — прагиен, фран — фамен, поздний визе — касимов**); д) широкое развитие цементолитовых каркасов определялось сочетанием холодного климата (**поздний карбон — ранняя перм**), орогенными процессами, повышением континентального сноса, увеличением трофики и арагонитовым составом океанских вод и скелетов организмов-строителей, а также глобальным понижением уровня моря (Антошкина, 2003; Антошкина и др., 2014; Antoskina, Ponomarenko, 2014 и др.).

Изменения в окислительно-восстановительном состоянии океана, обусловленные климатом, хорошо прослеживаются в палеозойских отложениях эпиконтинентальных морей ТСУР. Например, для раннего палеозоя во время крупных климатических изменений от холодного климата среднего и позднего ордовика до парниковых условий силура эти отложения демонстрируют образование аноксидных событий, способствовавших проявлению разномасштабных событий вымирания, вплоть до массовых (граница ордовик / силура). Неустойчивость климатических условий выражались в смене эпизодов парникового климата эпизодами похолодания, что отчетливо фиксировалось в силурийский период (Antoshkina, 2007 и др.). Во время интервалов потепления низкие уровни растворенного кислорода могли приводить к снижению биоразнообразия, что сочеталось с высоким карбонатным насыщением, и все приводило к развитию



Рис. 6. Схематическое изображение структур биогенных каркасов

Fig. 6. Schematic representation structures of biogenic frameworks

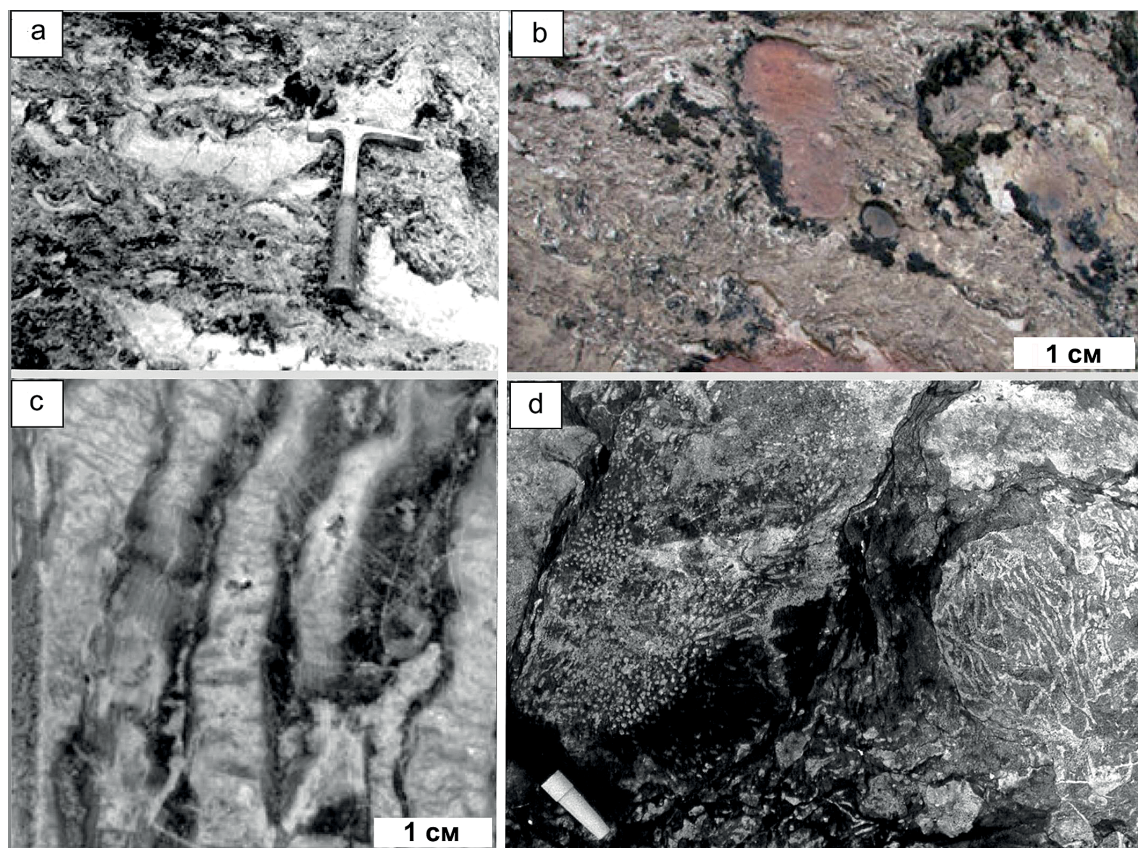


Рис. 7. Скелетно-метазойные каркасы:

а — строматопорово-коралловый биогерм, маршрутинский горизонт, верхний теличий, Приполярный Урал; б — одновозрастный строматопоровый биогерм, гряда Чернышева; в — биогермная структура с кораллами *Halysites* и иловым заполнением в полостях между колониями, верхний венлок, риф Балбанью, Приполярный Урал; д — биогермная структура ругозы *Zelophyllum* sp. с неравномерным обрастанием кораллитов цианобактериями *Renalcis* и кальцимикробами, пришлифовка, верхний венлок, риф Балбанью.

Fig. 7. Skeletal-metazoan frameworks:

а — stromatoporoid-coral bioherm, Marshrutny Horizon, Upper Telycian, Subpolar Urals; б — coeval stromatoporous bioherm, Chernyshev Ridge; в — bioherm structure with *Halysites* corals and silt filling in cavities between colonies, Upper Wenlock, Balbanyu Reef, Subpolar Urals; д — bioherm structure of rugosa *Zelophyllum* sp. with uneven overgrowth of corallites by *Renalcis* cyanobacteria and calcimicrobes, polished, Upper Wenlock, Balbanyu Reef

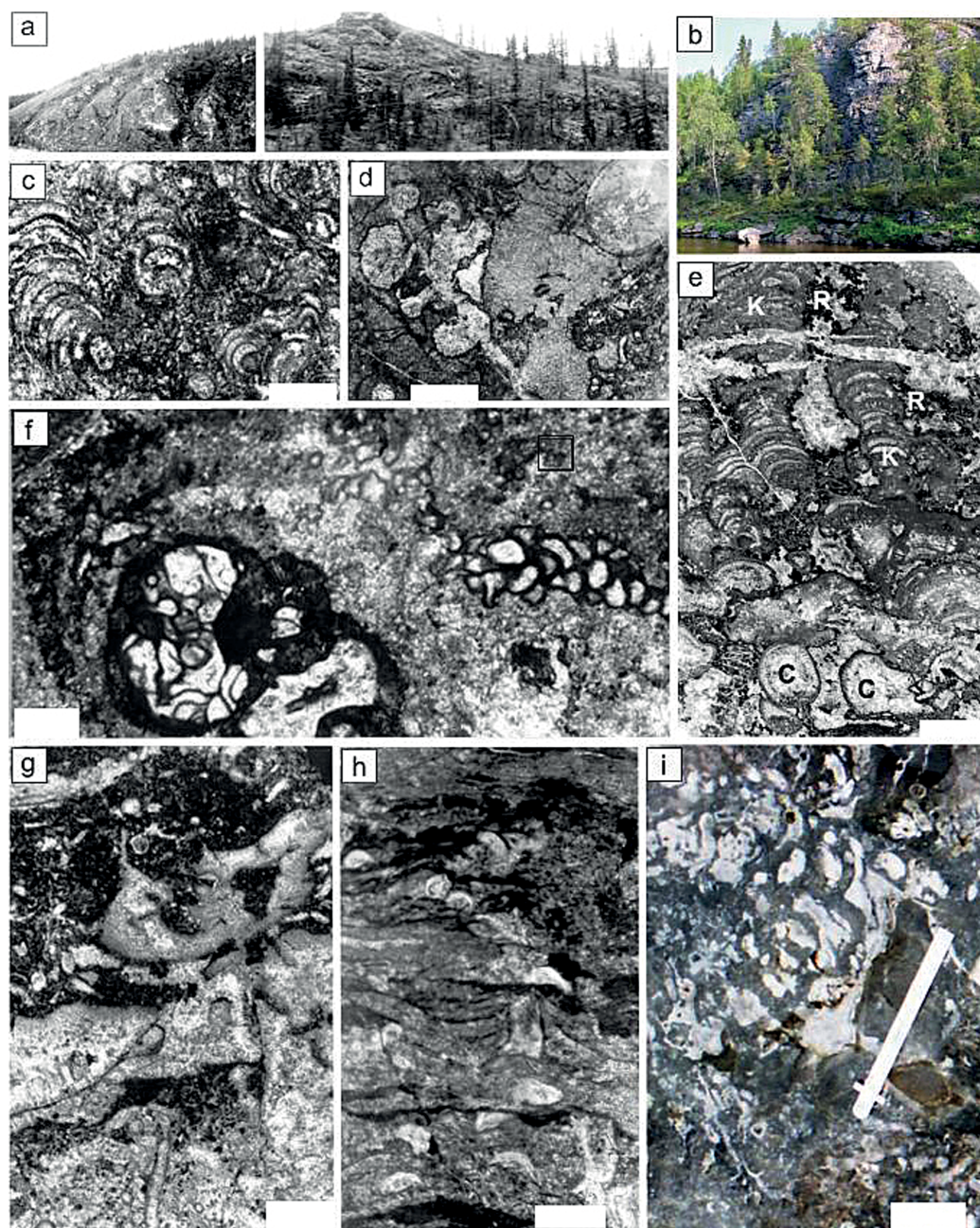


Рис. 8. Скелетные микробиально-метазойные каркасы:

а—е — средний катий: а — риф Бадъя, Приполярный Урал; б — риф Большая Косью, Северный Урал; с — микробиально-водорослевый (красные водоросли *Kozhymella dembowsky* Sh.), риф Бадъя, Приполярный Урал; д — микробиально-губковый доломитовый, там же; е — микробиально-метазойный включает *Kozhymella dembowsky* Sh. (K) заполнение межкаркасных полостей цианобактериями *Renalcis* sp. (R) и сфинктозойными губками *Corymbospongia* sp. (C), риф Большая Косью, Северный Урал; ф — микробиально-губковый с цианобактериями *Renalcis*, *Rothpletzella* (облегающие) и афросальпингидными губками — *Palaeoschada*, лудлов, риф Илыч, Северный Урал; г — одновозрастный микробиально-гидроидный (ассоциация *Ikella-Fistulella*) известняк с микробиальной массой и цианобактериями *Renalcis*, лудлов, риф Нияя, Полярный Урал; h — микробиально-метазойная ассоциация, включает цианобактерии *Girvanella*, *Rothpletzella* в ассоциации с кораллами, лудлов, риф Илыч, Северный Урал; i — микробиально-метазойный биогермный доломит с неопределимыми микробиальными компонентами и афросальпингидными губками *Aphrosalpinx* (много мелких обломков), риф Балбанью, Приполярный Урал. Масштабная линейка 5 мм

Fig. 8. Skeletal microbial-metazoan framework:

а—е — Middle Katian: а — reef Bad'ya, Subpolar Urals; б — reef Bol'shaya Kos'yu, Northern Urals; с — microbial-algal (red algae *Kozhymella dembowsky* Sh.), reef Bad'ya; д — microbial-sponge doloboundstone, the same; е — microbial-metazoan includes *Kozhymella dembowsky* Sh. (K) filling of interframework cavities with cyanobacteria *Renalcis* sp. (R) and sphinctozoan sponges *Corymbospongia* sp. (C), reef Bolshaya Kosyu, Northern Urals; ф — microbial-sponge with cyanobacteria *Renalcis*, *Rothpletzella* (enveloping) and aphrosalpingid sponges — *Palaeoschada*, Ludlow, reef Ilych, Northern Urals; г — coeval microbial-hydroid (*Ikella-Fistulella* association) boundstone with microbial mass and cyanobacteria *Renalcis*, Ludlow, reef Niyayu, Polar Urals; h — microbial-sponge includes cyanobacteria *Girvanella*, *Rothpletzella* in association with corals, Ludlow, Ilych reef, Northern Urals; i — microbial-metazoan doloboundstone with unidentifiable microbial components and aphrosalpingid sponges *Aphrosalpinx* (many small fragments), Balbanyu reef, Subpolar Urals. Scale bar is 5 mm

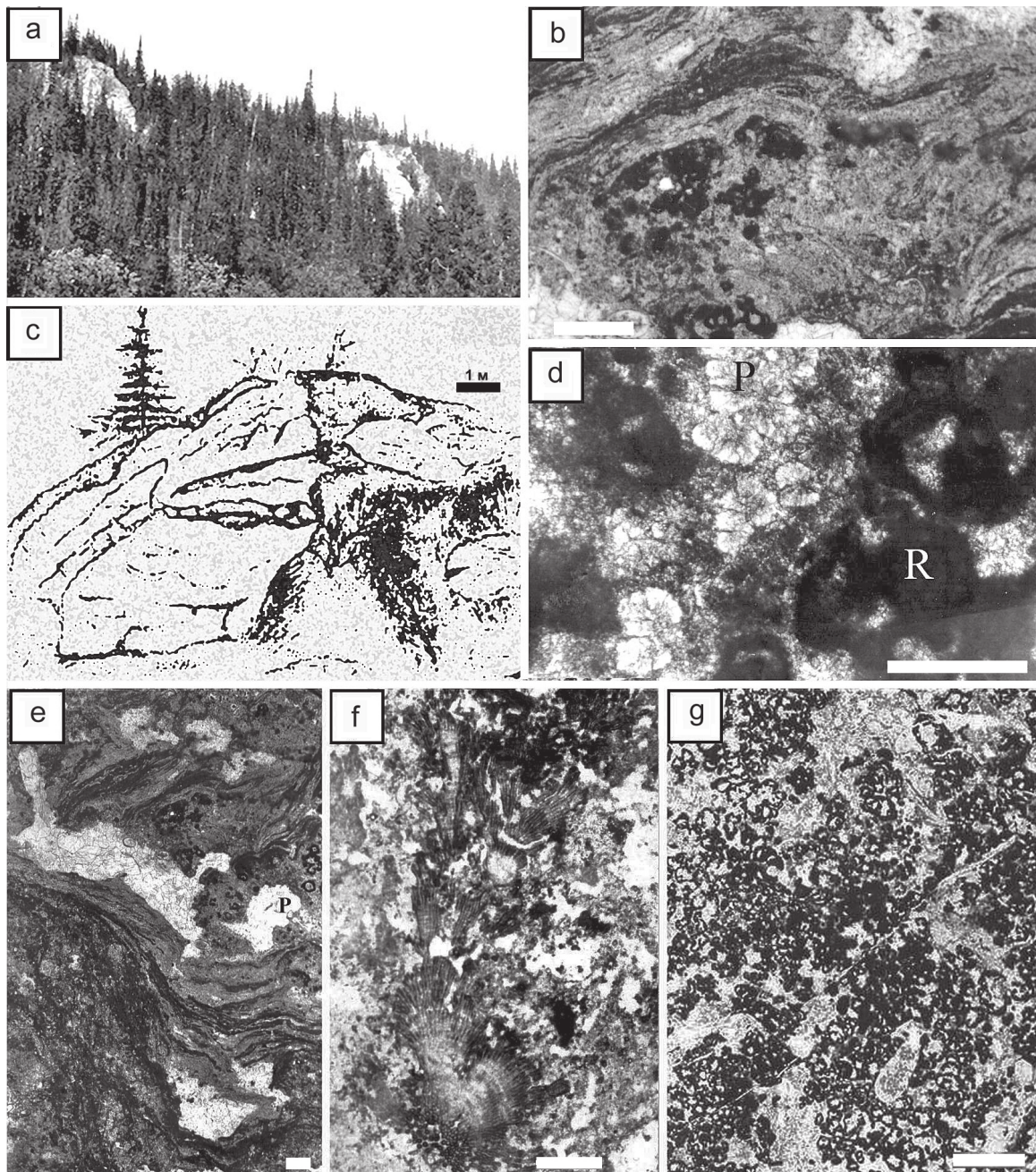


Рис. 9. Скелетные-микробные каркасы среднефранско-фаменского микробного холма Шарью, гряда Чернышева: а — фрагмент выходов; б — полевая зарисовка фрагмента строения микробного холма; с — строматолитовый известняк, образованный чередованием цианобактерий *Sphaerocodium* и *Girvanella* вокруг скоплений *Renalcis* и *Shuguria*; д — розетки *Palaeomicrocodium* как индикатор поверхностей перерыва в микробальной массе: R — *Renalcis*; е — строматолитовый био-гермный известняк с *Rothpletzella-Girvanella-Renalcis*-ассоциацией и залеченная фенестровая пористость субаэральных сред; ф — ветвистые колонии эпифитоноподобных *Shariuphyton* с участками перекристаллизации в микробальном матриксе; г — микробальный каркас, сложенный *Renalcis-Shuguria-Chabakovia*-ассоциацией. Масштабная линейка 5 мм

Fig. 9. Skeletal-microbial frameworks of the Middle Frasnian-Famennian Sharyu microbial mound, Chernyshev Ridge: а — fragment of outcrops; б — field sketch of a fragment of the microbial mound structure; с — stromatolitic limestone formed by alternating cyanobacteria *Sphaerocodium* and *Girvanella* around *Renalcis* and *Shuguria* clusters; д — *Palaeomicrocodium* rosettes as indicator of hiatus surfaces in the microbial mass: R — *Renalcis*; е — stromatolitic bioherm limestone with *Rothpletzella-Girvanella-Renalcis* association and healed fenestral porosity of subaerial environments; ф — branched colonies of *Epiphyton*-like *Shariuphyton* with recrystallization areas in the microbial matrix; г — microbial framework composed of the *Renalcis-Shuguria-Chabakovia* association. Scale bar is 5 mm.

микробальных карбонатов. В период раннего девона — ранней перми в каркасных структурах отчетливо отразилось динамическое взаимодействие био-и геосферы в системах земной поверхности, в том числе: а) колонизация суши сосудистыми растениями, б) формирование суперконтинентов Лавруссия

и Пангея, в) два глобальных массовых вымирания (пограничные события франа — фамена и девона — карбона) и г) позднепалеозойский ледниковый период (визе — средняя пермь). Важно учитывать тот факт, что на отражение геобиосферных событий в рифообразовании активно или опосредованно оказывали

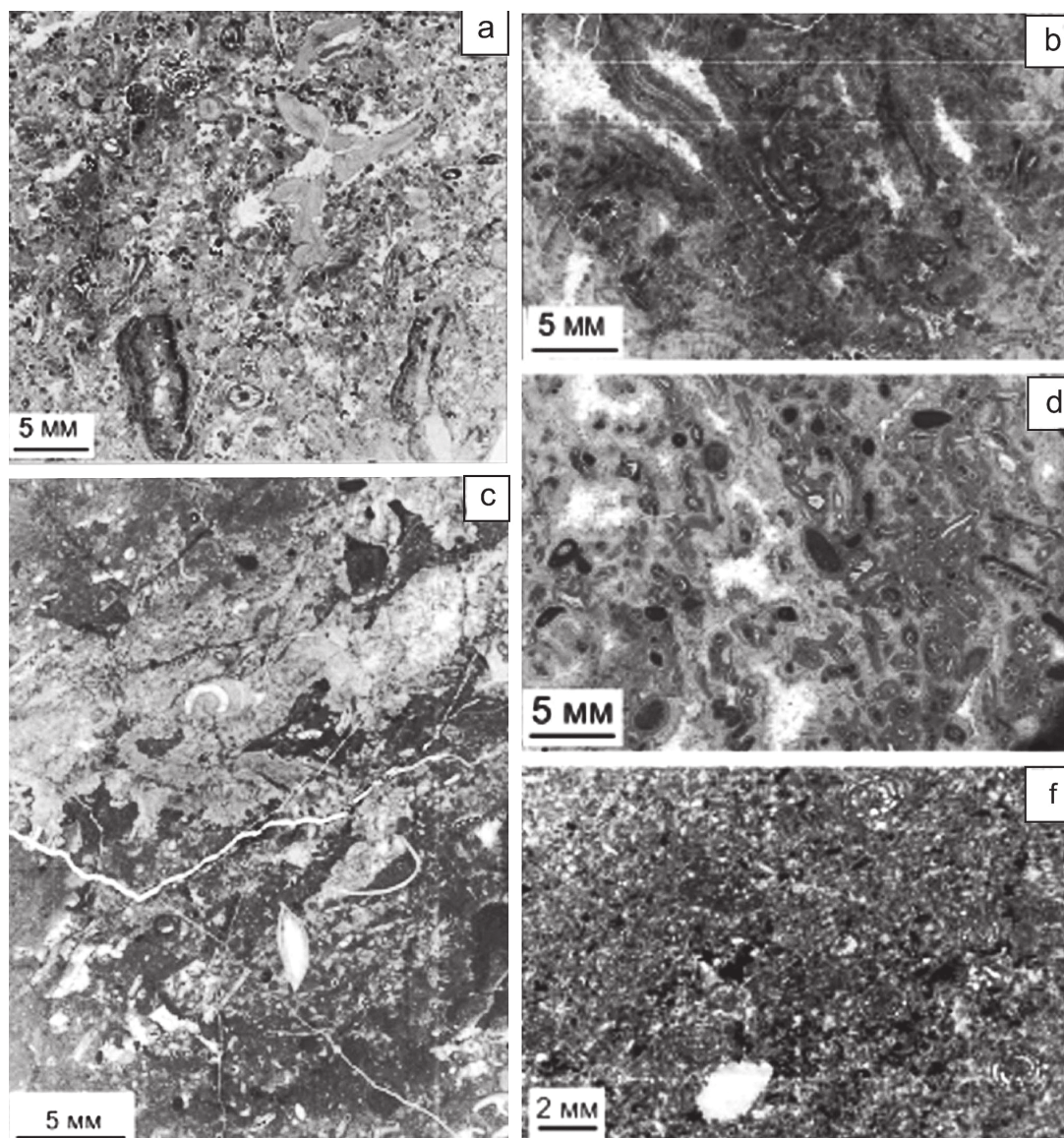


Рис. 10. Нескелетные кальцимикробные каркасы верхнепалеозойского илового холма Косью, Приполярный Урал: а — фораминиферо-микробно-водорослевый; б — микробный известняк с участками перекристаллизации и присутствием несортированной биокластики; с — микробный с полостями перекристаллизации и несортированной биокластики; д — биокластово-тубифитесово-мшанковый известняк с корками кристаллизации и полостями перекристаллизации; ф — микробный известняк с перекристаллизованной микробиокластикой. Масштабная линейка 5 мм (адаптировано по: Салдин, Ремизова, 2020)

Fig. 10. Non-skeletal calcimicrobial frameworks of the Upper Paleozoic Kosyu mud mound, Subpolar Urals: а — foraminifera-microbial-algal; б — microbial limestone with recrystallization areas and the presence of unsorted bioclastics; с — microbial with recrystallization cavities and unsorted bioclastics; д — bioclastic-Tubiphytes-bryozoan limestone with crustification crusts and recrystallization cavities; ф — microbial limestone with recrystallized microbioclasts. Scale bar is 5 mm (adapted from: Saldin, Remizova, 2020)

влияние и региональные тектонические процессы Печорской плиты (рис. 12).

Рассмотрев эволюцию биогенных каркасов в палеозойских рифах и рифогенных сооружениях ТСУР, можно отметить, что она не всегда полностью коррелировалась с глобальным стратиграфическим распространением характерных каркасостроителей или с физико-химическими параметрами морской воды, включая колебания уровня моря. Это могло быть связано с тем, что временные изменения в глобальных параметрах затрагивают скелетную биоту и биологические индуцированный карбонат независимо. Распространение кальцимикробных карбонатов контролировали в большей степени временные изменения фи-

зико-химических параметров, вызванные насыщенностью вод карбонатными минералами и органикой. Характер распространения и масштабности развития генетически разнообразных органогенных сооружений в Тимано-Североуральском осадочном бассейне показывает, что здесь на палеозойское рифообразование дополнительно с глобальными факторами влияли и региональные события, связанные с тектонической историей Печорской плиты. Глобальные эвстатические колебания уровня моря и сопутствующие эрозионные процессы усиливались или снижались движением блоков фундамента. Эрозионные процессы могли повышать или снижать трофность вод, тем самым обеспечивая водный баланс, либо дополняя пи-

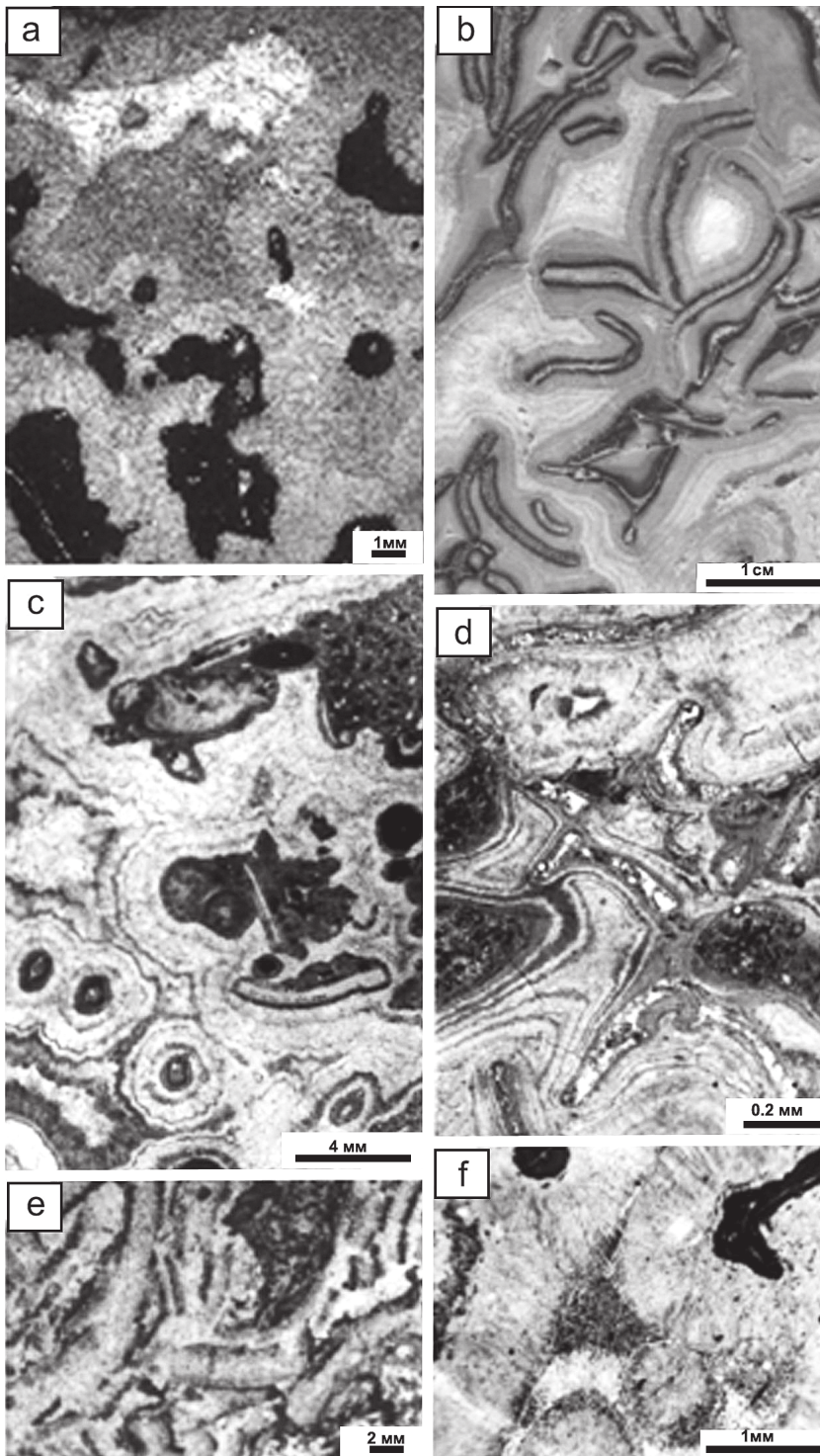


Рис. 11. Биоцементные каркасы скелетных холмов среднего карбона — нижней перми: а — микробиально-мшанково-тубифитесовый биогермный биоцементолит, р. Подчерем, гжельский ярус, Северный Урал; б — филоидно-водорослевый биокластовый биоцементолит, р. Унья, ассельский ярус, Северный Урал; в — мшанково-тубифитесовый биогермный биоцементолит, р. Кожым, ассельский ярус, Приполярный Урал; д — крустификационный изопакитовый кальцитовый фибровый цемент вокруг фрагментов филоидных водорослей с участками пелоидного и блокового цемента, р. Унья, ассельский ярус. Северный Урал; е — филоидно-водорослевый биокластовый биоцементолит, р. Заостренная, гжельский ярус, Северный Урал; ф — радиально-лучистый сферовидный крустификационный цемент вокруг *Tubiphytes* с мшанками внутри, пелоидный и блоковый цемент между сфероидами, р. Кожым, гжельский ярус, Приполярный Урал

Fig. 11. Biocement frameworks of the skeletal mounds of the Middle Carboniferous — Lower Permian:

a — microbial-bryozoan-Tubiphytes bioherm biocementolite, the Podcherem River, Gzhelian Stage, Northern Urals; b — phylloid-algal bioclastic biocementolite, the Unya River, Asselian Stage, Northern Urals; c — bryozoan-Tubiphytes bioherm biocementolite, the Kozym River, Asselian Stage, Subpolar Urals; d — crustification isopachitic calcite fibrous cement around fragments of phylloid algae with areas of peloid and block cement, Asselian Stage, the Unya River, Northern Urals; e — phylloid-algal bioclastic biocementolite, the Zaostrennaya River, Gzhelian Stage, Northern Urals; f — radial-rayed spherical crustification cement around Tubiphytes with bryozoans inside, peloid and block cement between spheroids, Kozhym River, Gzhelian Stage, Subpolar Urals

тательными веществами и повышая мезотрофность вод в бассейне, либо понижая ее. И это все вместе с онтогенезом Палеоуральского океана — образованием, расширением и его закрытием во время уральского орогенеза — определило специфику палеозойского рифообразования в Тимано-Североуральском регионе.

В истории рассмотренного здесь палеозойского рифообразования отсутствует этап глобального раннекембрийского рифообразования, прекрасным полигоном которого являлся Сибирский кратон. В то время территория ТСУР только начинала оформляться как стабильная платформа после завершения байкальской складчатости, и разрез осадочного платформенного чехла начал формироваться с раннего — среднего ордовика (O_{1-2}).

Закключение

Таким образом, палеогеографическое положение в структуре земной коры, биосферные, глобальные и региональные тектонические процессы предопределили эволюцию палеозойского рифообразования в Тимано-Североуральском регионе. Геобиотические события дали возможность проследить онтогенез рифовых экосистем и каркасов, что позволяет предложить Тимано-Североуральский регион как модельный объект палеозойского рифообразования.

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

Выражаем благодарность анонимным рецензентам за замечания и рекомендации, позволившие улучшить восприятие большого объема статьи.

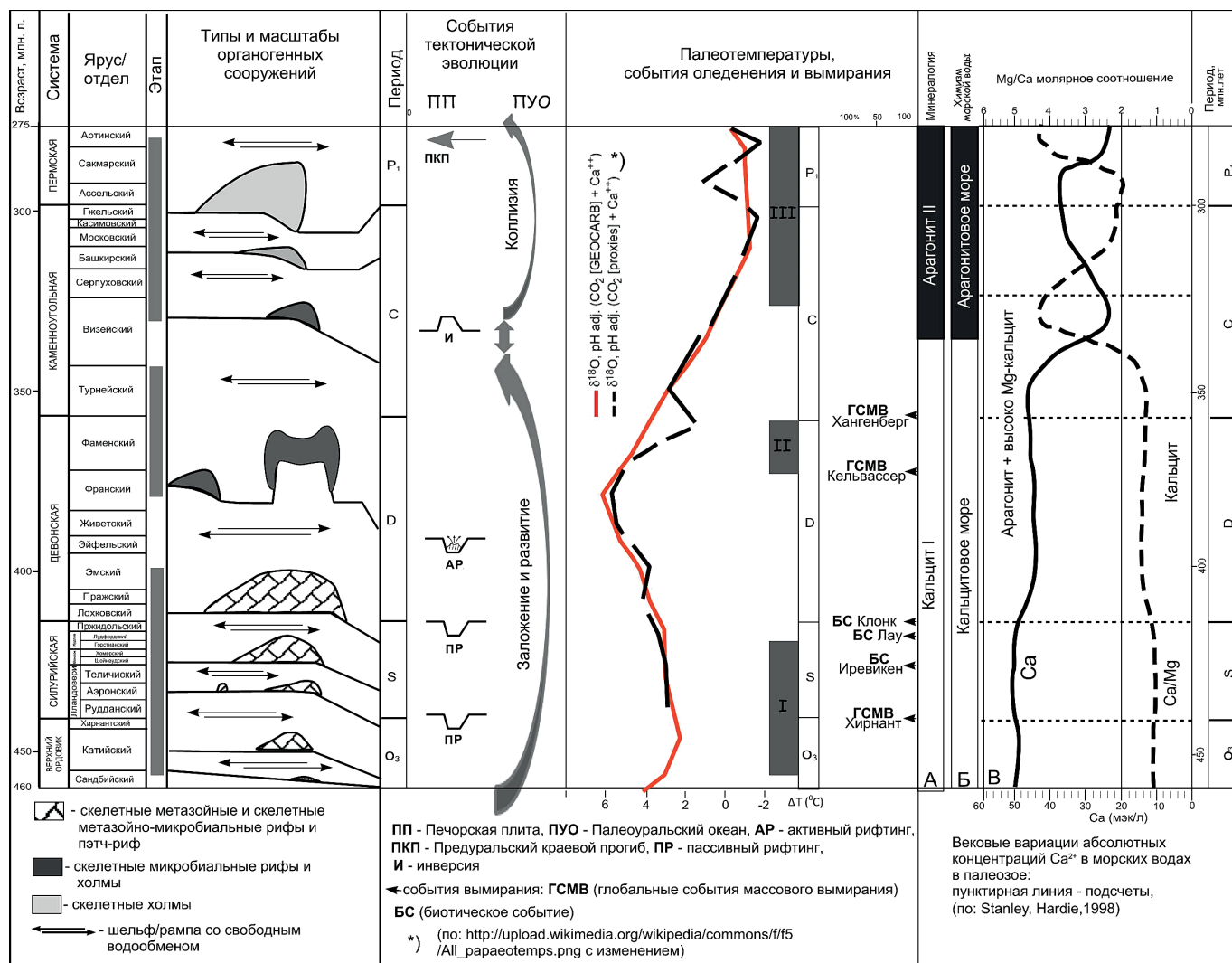


Рис. 12. Взаимосвязь палеозойского рифообразования в Тимано-Североуральском регионе с глобальными геобиосферными и региональными событиями

Fig. 12. The relationship of Paleozoic reef formation in the Timan-northern Ural region with global geo-biospheric and regional events

Литература / References

- ## Литература / References
- Антошкина А. И.* Рифы в палеозое Печорского Урала. СПб., 1994. 154 с.
Antoshkina A. I. Reefs in the Paleozoic Pechora Urals. St. Petersburg; 1994. 154 p. Russian.
- Антошкина А. И.* Рифообразование в палеозое (север Урала и сопредельные области). Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 303 с.
Antoshkina A. I. Reef formation in the Paleozoic (northern Urals and adjacent regions). Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 2003. 303 p. Russian.
- Антошкина А. И.* Генетические типы карбонатных псефитов нижнего палеозоя севера Урала: II. Типы, модели и особенности формирования // Литосфера. 2011. № 3. С. 39—49.
Antoshkina A. I. Genetic types of carbonate psephytolites of the Lower Paleozoic of the Northern Urals: II. Types, models and features of formation. Lithosphere. 2011;3:39—49. Russian.
- Антошкина А. И., Валяева О. В., Исаенко С. И.* и др. Черные аргиллиты верхнего лудфордия как свидетельство эксинных условий, Приполярный Урал // Геохимия. 2012. № 10. С. 1—7. DOI: 10.1134/S0016702912100023
Antoshkina A. I., Valyaeva O. V., Isaenko S. I. et al., Black mudstones of the Upper Ludfordian as evidence of euxinic conditions, Subpolar Urals. Geochemistry. 2012;10:1—7. Russian.
- Антошкина А. И.* Позднедевонские рифовые экосистемы: специфика сообществ и биогенных структур (на примере Тимано-Североуральского региона) // Проблемы эволюции биосферы. М.: ПИН РАН, 2013. С. 190—205. (Геобиологические системы в прошлом).
Antoshkina A. I. Late Devonian reef ecosystems: specificity of communities and biogenic structures (on the example of the Timan-Severouralsk region). Problems of the evolution of the biosphere. Series «Geo-biological systems in the past». Moscow: PIN RAS; 2013. p. 190—205. Russian.
- Антошкина А. И., Пономаренко Е. С., Канева Н. А.* Фенестровые известняки как индикатор специфики позднедевонских морей, Тимано-Североуральский регион // Литология и полезные ископаемые. 2014. № 6. С. 493—505.
Antoshkina A. I., Ponomarenko E. S., Kaneva N. A. Fenestral limestones as an indicator of the specificity of the late Devonian seas, Timan-Severouralsk region.



- Lithology and mineral resources. 2014;6:493—505. Russian.
- Антошкина А. И., Шмелёва Л. А. Особенности состава, строения и условий образования хирнантских отложений в Тимано-Североуральском осадочном бассейне // Литосфера. 2018. Т. 18. № 4. С. 543—565; DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-4-543-565
- Antoshkina A. I., Shmeleva L. A. Features of the composition, structure and conditions of formation of Hirnantian deposits in the Timan-northern Ural sedimentary basin. Lithosphere. 2018;18(4):543—565. Russian.
- Беляева Н. В., Корзун А. Л., Петрова Л. В. Модель седиментации франско-турнейских отложений на северо-востоке Европейской платформы. СПб.: Наука, 1998. 154 с.
- Belyaeva N. V., Korzun A. L., Petrova L. V. Sedimentation model of the Frasnian-Tournaisian deposits in the north-east of the European platform. St. Petersburg: Nauka; 1998. 154 p. Russian.
- Богатский В. И., Жемчугова В. А. Система рифогенных образований Тимано-Печорской провинции и их нефтегазоносность // Наследие А. Я. Кремса в трудах ухтинских геологов. Сыктывкар, 1992. С. 97—115.
- Bogatsky V. I., Zhemchugova V. A. The system of reef formations of the Timan-Pechora province and their oil and gas potential. The legacy of A. Ya. Krems in the works of Ukhta geologists. Syktyvkar; 1992. p. 97—115. Russian.
- Елисеев А. И. Визейский риф на западном склоне Приполярного Урала // ДАН СССР. 1971. Т. 200. № 3. С. 672—675.
- Eliseev A. I. Visean reef on the western slope of the Subpolar Urals. Doklady Earth Sciences. 1971;200 (3):672—675. Russian.
- Елисеев А. И. Формации зон ограничения северо-востока Европейской платформы. Л.: Наука, 1978. 204 с.
- Eliseev A. I. Formations of the boundary zones of the northeast of the European platform. Leningrad: Nauka; 1978. 204 p. Russian.
- Жемчугова В. А. Верхний палеозой Печорского нефтегазонального бассейна. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 1998. 160 с.
- Zhemchugova V. A. Upper Paleozoic of the Pechora gas-oil bearing basin (composition, environments, oil-gas bearing). Syktyvkar: Komi SC UB RAS; 1998. 160 p. Russian.
- Жемчугова В. А. Природные резервуары в карбонатных формациях Печорского нефтегазонального бассейна. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2002. 243 с.
- Zhemchugova V. A. Natural reservoirs in carbonate formations of the Pechora oil and gas basin. Moscow: Publishing house of Moscow State Mining University; 2002. 243 p. Russian.
- Жемчугова В. А., Мельников С. В., Данилов В. Н. Нижний палеозой Печорского нефтегазонального бассейна (строение, условия образования, нефтегазоносность). М.: Академия горных наук, 2001. 101 с.
- Zhemchugova V. A., Melnikov S. V., Danilov V. N. Lower Paleozoic of the Pechora oil and gas basin (structure, formation conditions, oil and gas potential). Moscow: Academy of Mining Sciences; 2001. 101 p. Russian.
- Инкина Н. С. История открытия и новые данные об ассельской органогенной постройке на р. Лек-Елец (Полярный Урал) // Геология рифов — 2015: Материалы Всерос. литолог. совещ. 15—17 июня 2015 г., Сыктывкар. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2015. С. 57—58.
- Inkina N. S. History of discovery and new data on the Assel organogenic structure on the Lek-Elets River (Polar Urals). Proceedings of the All-Russian Lithological Conference «Reef Geology-2015», June 15—17, 2015; Syktyvkar. Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS; 2015. p. 57—58. Russian.
- Кузнецов В. Г. Палеозойское рифообразование на территории России и смежных стран. М.: ГЕОС, 2000. 228 с.
- Kuznetsov V. G. Paleozoic reef formation on the territory of Russia and adjacent countries. Moscow: GEOS; 2000. 228 p. Russian.
- Кузнецов В. Г. Некоторые аспекты истории становления и развития научного сообщества по изучению ископаемых рифов в СССР и России // Вестник геонаук. 2020. № 11. С. 35—45. DOI: 10.19110/geov.2020.11.4
- Kuznetsov V. G. Some aspects of the history of the formation and development of the scientific community for the study of fossil reefs in the USSR and Russia. Vestnik of Geosciences. 2020;11:35—45. Russian.
- Кузнецов В. Г., Антошкина А. И. Поздневизейско-серпуховский этап палеозойского рифообразования // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 13 (4). С. 61—77.
- Kuznetsov V. G., Antoshkina A. I. Late Visean-Serpukhovian stage of Paleozoic reef formation. Stratigraphy. Geological correlation. 2005;13(4):61—77. Russian.
- Матвеева Н. А. Условия образования фаменских рифогенных отложений Центрально-Хорейверского вала // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т. 12. № 2. С. 1—28.
- Matveeva N. A. Formation conditions of the Famennian reef deposits of the Central Khoreyver swell. Oil and Gas Geology. Theory and Practice. 2017;12(2):1—28. Russian.
- Меннер В. Вл., Шувалова Г. А., Баранова А. В. Строение и история формирования Вежавожского рифогенного массива. Южный Тиман, франкий ярус // Литология и нефтегазоносность карбонатных отложений: Материалы Второго Всерос. литолог. совещ. Сыктывкар, 2001. С. 215—216.
- Menner V. Vl., Shuvalova G. A., Baranova A. V. Structure and history of formation of the Vezhavozh reef massif. Southern Timan, Frasnian stage. Lithology and oil and gas potential of carbonate deposits: Proceedings of the Second All-Russian Lithological Conference. Syktyvkar; 2001. p. 215—216. Russian.
- Одум Е. Основы экологии. М.: Мир, 1986. Т. 1. 328 с.
- Odum E. Fundamentals of Ecology. Moscow: Mir; 1986. Vol. 1. 328 p. Russian.
- Палеозойское осадконакопление на внешней зоне шельфа пассивной окраины северо-востока Европейской платформы / Антошкина А. И., Салдин В. А., Сандула А. Н. и др. Сыктывкар: Геопринт, 2011. 200 с.
- Paleozoic sedimentation on the outer shelf zone of the passive margin of the north-eastern European platform. In: Antoshkina A. I., Saldin V. A., Sandula A. N. et al., editors. Syktyvkar: Geoprint; 2011. 200 p. Russian.
- Пономаренко Е. С. Особенности строения микробных образований в системе «риф — лагуна» (на примере верхнедевонского рифового комплекса Седью, Южный Тиман) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2019. № 8. С. 14—19.

- Ponomarenko E. S. Features of the structure of microbial formations in the reef-lagoon system (on the example of the Upper Devonian reef complex Sed'yu, South Timan). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS*. 2019;8:14–19. Russian.
- Пономаренко Е. С. Палеозойские органогенные постройки бассейна р. Илыч, Северный Урал. Сыктывкар: Геопринт, 2025. 100 с. ISBN 978-598491-108-5
- Ponomarenko E. S. Paleozoic organogenic structures of the Ilych River basin, Northern Urals. Syktyvkar: Geoprint; 2025. 100 p. Russian.
- Пономаренко Е. С., Соколова Л. В. Литологическое, палеонтологическое и геохимическое обоснование ранне-венлокского (ранний силур) перерыва в осадконакоплении в разрезе западного склона Северного Урала (р. Верхняя Косью) // *Литосфера*. 2025. Т. 25, № 1. С. 61–78. DOI: 10.24930/2500-302X-2025-25-1-61-78.
- Ponomarenko E. S., Sokolova L. V. Lithological, paleontological and geochemical substantiation of the early Wenlockian (Early Silurian) hiatus in sedimentation in the section of the western slope of the Northern Urals (Verkhnyaya Kosyu River). *Lithosphere*. 2025;25(1):61–78. Russian.
- Преображенский Б. В. Современные рифы. М.: Наука, 1986. 244 с.
- Preobrazhensky B. V. Modern reefs. Moscow: Nauka; 1986. 244 p. Russian.
- Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2010. 280 с.
- Puchkov V. N. Geology of the Urals and the Cis-Urals (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa: Design Polygraph Service; 2010. 280 p. Russian.
- Рифогенные и сульфатонасные формации фанерозоя СССР / Г. А. Беленицкая, Н. М. Задорожная, А. К. Иогансон и др.; Мин-во геол. СССР; Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-т. М.: Недра, 1990. 291 с.
- Reefogenic and sulfate-bearing formations of the Phanerozoic of the USSR. In: G. A. Belenitskaya, N. M. Zadorozhnaya, A. K. Ioganson, et al., editors. USSR Ministry of Geology. All-Union Scientific Research Geological Institute. Moscow: Nedra; 1990. 291 p. Russian.
- Салдин В. А. Органогенная постройка в сезымской свите верхнего палеозоя Полярного Урала // *Геология рифов — 2005: Материалы Междун. совещ.* Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 139–142.
- Saldin V. A. Organogenic structure in the Sezym suite of the Upper Paleozoic of the Polar Urals. Reef Geology-2005: Proc. of the Int. Conference. Syktyvkar: Geoprint; 2005. p. 139–142. Russian.
- Салдин В. А. Пространственное распределение среднекаменноугольно-нижнепермских органогенных построек и депрессионных отложений на севере Урала // *Рифы и карбонатные псефитолиты: Материалы Всерос. литолог. совещ.* Сыктывкар: Геопринт, 2010. С. 155–157.
- Saldin V. A. Spatial distribution of Middle Carboniferous-Lower Permian organogenic structures and depression deposits in the northern Urals. Proceedings of the All-Russian lithological conference «Reefs and carbonate psephytolites». Syktyvkar: Geoprint; 2010. p. 155–157. Russian.
- Тимано-Печорский седиментационный бассейн: Объяснительная записка к Атласу геологических карт. Ухта: Из-во ТП НИЦ, 2002. 122 с.
- Timan-Pechora sedimentary basin. Explanatory note to the Atlas of geological maps. Ukhita: Publishing house of TP SRC; 2002. 122 p. Russian.
- Тимонин Н. И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 240 с.
- Timonin N. I. The Pechora Plate: History of Geological Development in the Phanerozoic. Yekaterinburg: UB RAS; 1998. 240 p. Russian.
- Цыганко В. С., Безносков П. А. Верхнедевонские рифы Южного Тимана // *Рифы и карбонатные псефитолиты: Путеводитель полевой экскурсии Всерос. литолог. совещ.* Сыктывкар: Геопринт, 2010. 49 с.
- Tsyganko V. S., Beznosov P. A. Upper Devonian Reefs of Southern Timan. Reefs and Carbonate Psephytolites: Field Trip Guide for the All-Russian Lithological Conference. Syktyvkar: Geoprint; 2010. 49 p. Russian.
- Цыганко В. С. Девон западного склона севера Урала и Пай-Хоя (стратиграфия, принципы расчленения, корреляция). Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 256 с.
- Tsyganko V. S. Devonian of the western slope of the northern Urals and Pai-Khoi (stratigraphy, principles of dissection, correlation). Yekaterinburg: UB RAS; 2011. 256 p. Russian.
- Чернов Г. А. Палеозой Большеземельской тундры и перспективы его нефтегазоносности. М.: Наука, 1972. 315 с.
- Chernov G. A. Paleozoic of Bolshaya Zemlya tundra and prospects of its oil and gas potential. Moscow: Nauka; 1972. 315 p. Russian.
- Шмелёва Л. А. Литолого-палеоэкологическая характеристика верхнеордовикского рифа Б. Косью (р. Илыч, Северный Урал) // *Литосфера*. 2016. № 1. С. 154–162.
- Shmeleva L. A. Lithological and paleoecological characteristics of the Upper Ordovician reef B. Kosyu (Ilych River, Northern Urals). *Lithosphere*. 2016;1:154–162. Russian.
- Щербakov Э. С. Терригенный девон западного склона Северного Урала. Л.: Наука, 1977. 160 с.
- Shcherbakov E. S. Terrigenous Devonian of the western slope of the Northern Urals. Leningrad: Nauka; 1977. 160 p. Russian.
- Шуйский В. П. Известковые рифообразующие водоросли нижнего девона Урала. М.: Наука, 1973. 155 с.
- Shuysky V. P. Calcareous reef-forming algae of the Lower Devonian of the Urals. Moscow: Nauka; 1973. 155 p. Russian.
- Яковлев Н. Н., Рябинин В. Н. К геологии Соликамского Урала. Пр.: Геол. ком., 1915. 31 с.
- Yakovlev N. N., Ryabinin V. N. On the geology of the Solikamsk Urals. Pg.: Geol. com., 1915. 31 p.
- Antoshkina A. I. Ordovician reefs of the Urals Mountains, Russia: A Review. *Facies*. 1996;35:1–7.
- Antoshkina A. I. About a genesis of the Upper Carboniferous-Lower Permian carbonate complex in the Subpolar Urals. Proceedings XIII Intern. Congress on Carboniferous and Permian, Part 3, CLVII, 1997. p. 42–46.
- Antoshkina A. I. Organic buildups and reefs on the Palaeozoic carbonate platform margin, Pechora Urals, Russia. *Sedimentary Geology*. 1998;118 (1–4):187–211.



- Antoshkina A. I.* Ecology of Lower Devonian reefs in the Western Urals. *Cour. Forsch. Inst. Senckenberg*. 2003;242:111–123. DOI 10.1007/s10347–006–0083-z.
- Antoshkina A. I.* Palaeoenvironmental implications of Palaeomicrocodium in Upper Devonian microbial mounds of the Chernyshev Swell, Timan-northern Ural Region. *Facies*. 2006;52:611–625.
- Antoshkina A. I.* Silurian sea-level and biotic events in the Timan-northern Ural region: sedimentological aspects. *Acta Palaeontologica Sinica*. 2007;46:23–27.
- Antoshkina A. I.* Ooid-stromatolite association as a precursor of bioevents (Silurian, Timan-northern Ural Region). *Palaeoworld*. 2015;24:198–206.
- Antoshkina A. I., Königshof P.* Lower Devonian reef structures in Russia — an example from the Urals. *Facies*. 2008;54:233–251.
- Antoshkina A. I., Ponomarenko E. S.* Bioinduced Crustification as a Reaction of Late Carboniferous-Early Permian Reef Ecosystems to Biosphere Changes. *Paleontological Journal*. 2014;48(14):1565–1576.
- Caputo M. V.* Late Devonian glaciation in South America. *Paleogeogr. Paleoclim. Palaeoecol.* 1985;51:291–317.
- Caputo M. V.* Ordovician-Silurian glaciation and global sea-level changes. In: Landing, E. & Johnson M. E. [eds.] *Silurian cycles — Linkages of dynamic stratigraphy with atmospheric, oceanic, and tectonic changes*. New York State Museum Bull. 1998;491:15–25.
- Cooper P.* Reefs under stress: the fossil record. *Cour. Forsh Senc.*, 1994;72:87–94.
- Flügel E., Flügel-Kalher E.* Phanerozoic Reef Evolution: Basic Question and Data Base. *Facies*. 1992;26:167–278.
- Geldetzer H. H. J., James N. P., Tebbutt G. E.* Reefs. Canada and adjacent areas. *Mem. Can. Soc. Pet. Geol.* 1988. Vol. 13. 775 p.
- Hardie L. A.* Secular variation in seawater chemistry: an explanation for the coupled secular variation in the mineralogies of marine limestones and potash evaporites over the past 600 m. y. *Geology*. 1996;24:279–283.
- Heckel P. H.* Carbonate buildups in the geologic record: a review. *Soc. Econ. Paleont. Min., Spec. Publ.*; 1974. Vol. 18. p. 90–154.
- James N. P., Bourque P. A.* Reefs and Mounds R. G. Walker, N. P. James (eds). *Facies Models-Response to Sea-Level Change*. Geological Association of Canada; 1992. p. 323–347.
- Kaljo D., Martma T., Mannik P., Viira V.* Implications of Gondwana glaciations in the Baltic Later Ordovician and Silurian and a carbon isotopic test of environmental cyclicity. *Bull. de la Societe geologique de France*. 2003;174:59–66.
- Klimenko S. S., Anischenko L. A., Antoshkina A. I.* The Timan-Pechora sedimentary basin: Palaeozoic reef formation and petroleum systems. *Geological Society, London, Memoirs*. 2011;13(3):223–236.
- Lehnert O., Eriksson M. J., Calner M., Joachimski M. & Buggisch W.* Concurrent sedimentary and isotopic indications for global climatic cooling in the Late Silurian. *Acta Palaeontologica Sinica*, 46 [Suppl.]; 2007. p. 249–255.
- Mannik P., Martma T.* Llandovery-Wenlock boundary in the Subpolar Urals. *Ichthyolith Issues Special Publication*, 6. Syktyvkar: Geoprint; 2000. p. 64–67.
- Menner V. Vl., Shuvalova G. A., Baranova A. V.* Structure and history of formation of the Vezhavozh reef massif. Southern Timan, Frasnian stage. *Lithology and oil and gas potential of carbonate deposits: Proceedings of the Second All-Russian Lithological Conference*. Syktyvkar; 2001. p. 215–216.
- Nouse M. R., Menner V. V., Becker R. T. et al.* Reef episodes, anoxia and sea-level changes in the Frasnian of the southern Timan (NE Russian platform). In: Insalaco E., Skelton P. W. & Palmer T. J., editors. *Carbonate platform System: components and interactions*. Geological Society, London, Special publications. 2000;178:147–176.
- Playford P. E., Hocking R. M., Cockbain A. E.* Devonian Great Barrier Reef of the Canning Basin, Western Australia: the evolution of our understanding. *Journal of the Royal Society of Western Australia*. 2014;97:153–172.
- Scotese C. R.* An Atlas of Phanerozoic Paleogeographic Maps: The Seas Come In and the Seas Go Out. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 2021;49:679–728.
- Scotese C. R., Boucot A. J., Chen Xu.* Atlas of Phanerozoic Climatic Zones (Mollweide Projection), 2015. Vol. 1–6. *Paleomap Project PaleoAtlas for ArcGIS, PALEOMAP Project*, Evanston IL.
- Skompski S., Paszkowski M., Krobicki M., Kokovin K., Korn D., Tomas A. & Wrzolek T.* Depositional setting of the Devonian Carboniferous biohermal Bol'shaya Nadota Carbonate Complex, Subpolar Urals. *Acta Geologica Polonica*. 2001;51:217–235.
- Stanley S. M., Hardie L. A.* Secular oscillations in the carbonate mineralogy of reef-building and sediment-producing organisms driven by tectonically forced shifts in seawater chemistry. *Pal Pal Pal*. 1998;144:3–19.
- Toomey D. F.* European fossil reef models. — *SEPM Society for Sedimentary Geology, Special Publication*; 1981. Vol. 30. <https://doi.org/10.2110/pec.81.30>
- Wang G., Li, Y., Kershaw S., Deng S.* Global reef recovery after the end-Ordovician extinction: Evidence from late Aronian coral-stromatopod reefs in South China. *GFF*. 2014;136(1):286–289. doi.org/10.1080/11035897.2013.853687
- Wilson J. L.* *Carbonate Facies in Geological History*. New York: Springer Verlag; 1975. 471 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-6383-8>

Поступила в редакцию / Received 1.04.2026