

УДК 551.8

МИКРОБИАЛЬНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В ИЗВЕСТНЯКАХ КИЗЕЛОВСКОГО ГОРИЗОНТА ВОСТОЧНОГО СКЛОНА СРЕДНЕГО УРАЛА КАК ИНДИКАТОРЫ ОБСТАНОВОК ОСАДКОАКОПЛЕНИЯ

© 2017 г. С. А. Дуб (Сапурин)

Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15, e-mail: sapurin@igg.uran.ru

Поступила в редакцию 14.11.2016 г.; принята к печати 14.12.2016 г.

Микробные образования разнообразного генезиса являются порообразующими компонентами в известняках кизеловского горизонта (турнейский ярус) на восточном склоне Среднего Урала. Комплексный петрографический анализ форменных элементов позволил реконструировать условия осадконакопления на карбонатной платформе. К микробным образованиям в данной работе относятся: 1) кальцитархи (кальцитовые “сферы” и подобные им субокруглые микрофоссилии), 2) биокласты известковых зеленых водорослей, 3) биокласты известковых цианобактерий/кальцимикробов (или кальцибионтов), 4) большая часть пелоидов и следы микритизации обломочных зерен, 5) онколиты (онкоиды) и интракласты прочих микробалитов. Выявленные индикаторы обстановок свидетельствуют, что на протяжении всего кизеловского времени осадконакопление осуществлялось в пределах фотической зоны верхней сублиторали, в условиях повышенной солености и ограниченного водообмена. Распределение микрофаций указывает на то, что глубина бассейна в среднем соответствовала нормальному базису действия волн. Различия в седиментационных характеристиках отложений в значительной степени определялись таксономическим составом микробиоты и особенностями рельефа дна. В работе также обсуждаются некоторые вопросы терминологии в области карбонатной седиментологии.

Ключевые слова: Средний Урал, карбонатная платформа, нижний карбон, кизеловский горизонт, микрофации, кальцитархи, зеленые водоросли, цианобактерии, пелоиды, микробалиты, обстановки осадконакопления

MICROBIAL STRUCTURES AS SEDIMENTARY ENVIRONMENTS INDICATORS IN LIMESTONES OF THE KIZEL REGIONAL SUBSTAGE ON THE MIDDLE URALS EASTERN SLOPE

Semen A. Dub (Sapurin)

A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg, 620016, Russia, e-mail: sapurin@igg.uran.ru

Received 14.11.2016; accepted 14.12.16

The microbial structures of various genesis are rock-forming components in limestones of the Kizelovian regional substage (the Tournaisian stage) on the Middle Urals eastern slope. Comprehensive petrographic analysis of distinct grains allowed to reconstruct the carbonate platform depositional environments. Microbial structures in this study include: 1) calcitarcha (calcite “spheres” and similar sub-circular microfossils), 2) bioclasts of calcareous green algae, 3) bioclasts of calcified cyanobacteria/calcimicrobes (or calcibionts), 4) most peloids and traces of grains micritization, 5) oncolites (oncoids) and intraclasts of other microbialites. Environmental indicators evidence that sedimentation throughout the Kizelovian time was carried out within the upper subtidal photic zone, in conditions of high salinity and limited water circulation. A distribution of microfacies shows that the basin depth at an average corresponded to the normal wave basis. Microbiota taxonomic composition and bottom configuration features largely determined differences in sediment deposition characteristics. Some carbonate sedimentology terminologic issues are also discussed in this article.

Keywords: the Middle Urals, carbonate platform, the Lower Carboniferous, the Kizelovian regional substage, microfacies, calcitarcha, green algae (*Chlorophyta*), cyanobacteria, peloids, microbialites, sedimentary environments

Acknowledgments The author expresses his gratitude to Gunar A. Misens for constant support and useful comments; paleontologists Rimma M. Ivanova and Nadezhda A. Kucheva for helping in the identification of paleobiota, Mikhail P. Pokrovsky – for a discussion of terminological and classification issues. Special thanks to Tatyana I. Stepanova for invaluable advice on microfossils.

This work was supported by the RFBR (project No. 16-35-00263 youth_a) and the basic research program of the Ural Branch of RAS (project No. 15-18-5-36).

Для цитирования: Дуб С.А. (2017) Микробные образования в известняках кизеловского горизонта восточного склона Среднего Урала как индикаторы обстановок осадконакопления. *Литосфера*, 17(5), 28–52. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-17-5-028-052

For citation: Dub S.A. (2017) Microbial structures as sedimentary environments indicators in limestones of the Kizel regional substage on the Middle Urals eastern slope. *Litosfera*, 17(5), 28–52. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-17-5-028-052

Известняки кизеловского горизонта турнейского яруса нижнего карбона слагают значительный по мощности интервал разреза Режевской изолированной карбонатной платформы на восточном склоне Среднего Урала (рис. 1). Данное региональное подразделение (стратотипическая местность – Кизеловский район, Пермский край) является общим для стратиграфических схем карбона Восточно-Европейской платформы, западного и восточного субрегионов Урала и, согласно ОСШ, отвечает следующим зонам: по конодонтам – *Gnathodus turicus*, по брахиоподам – *Levitusia hyperborea* – *Palaeochoristites cinctus* [Постановление..., 2008,

Мизенс и др., 2014]. Расчленение карбонноугольных отложений Режевской карбонатной платформы (разрез “Першино”) производится по фораминиферам [Степанова, 2015]: в нижней части кизеловского горизонта устанавливается региональная зона *Laxoendothya parakosvensis*, в верхней – появляются экземпляры вида *Spinoendothya costifera*, что дает возможность обосновать нижний и верхний подгорizontы.

Мощность известняков кизеловского горизонта в разрезе “Першино” (на правом берегу р. Реж, напротив с. Першино) составляет 290 м; границы со смежными горизонтами стратиграфические. Поро-

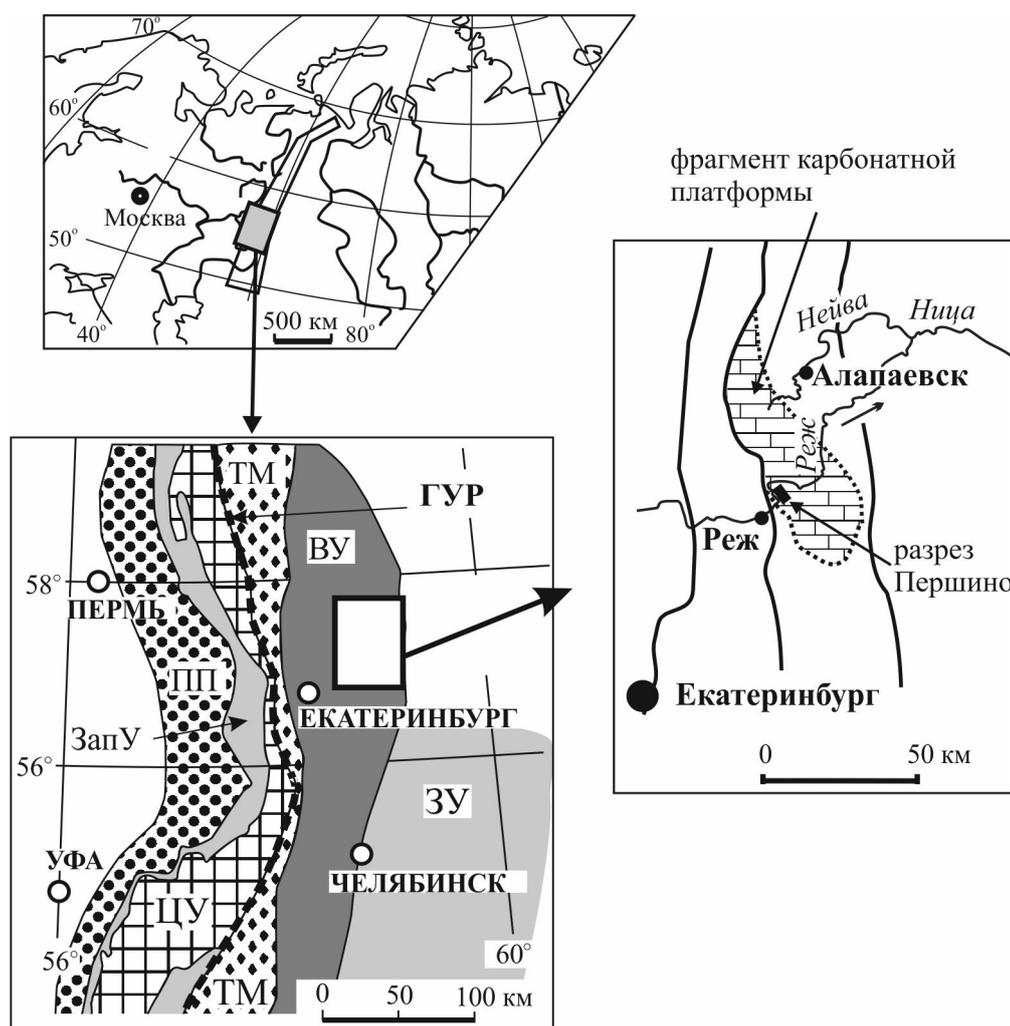


Рис. 1. Расположение разреза изолированной карбонатной платформы в современной структуре Урала (по [Пучков, 2000; Мизенс и др., 2010]).

Мегазоны: ЗУ – Зауральская, ВУ – Восточно-Уральская, ЦУ – Центрально-Уральская, ЗапУ – Западно-Уральская, ТМ – Тагил-Магнитогорская, ПП – Предуральский прогиб, ГУР – Главный Уральский разлом.

Fig. 1. Location of the isolated carbonate platform section in the Urals modern structure (by [Puchkov, 2000; Mizens et al., 2010]).

Megazones: ЗУ – Transuralian, ВУ – Eastern Urals, ЦУ – Central Urals, ЗапУ – Western Urals, ТМ – Tagil-Magnitogorsk, ПП – Cisuralian foredeep, ГУР – Main Urals fault.

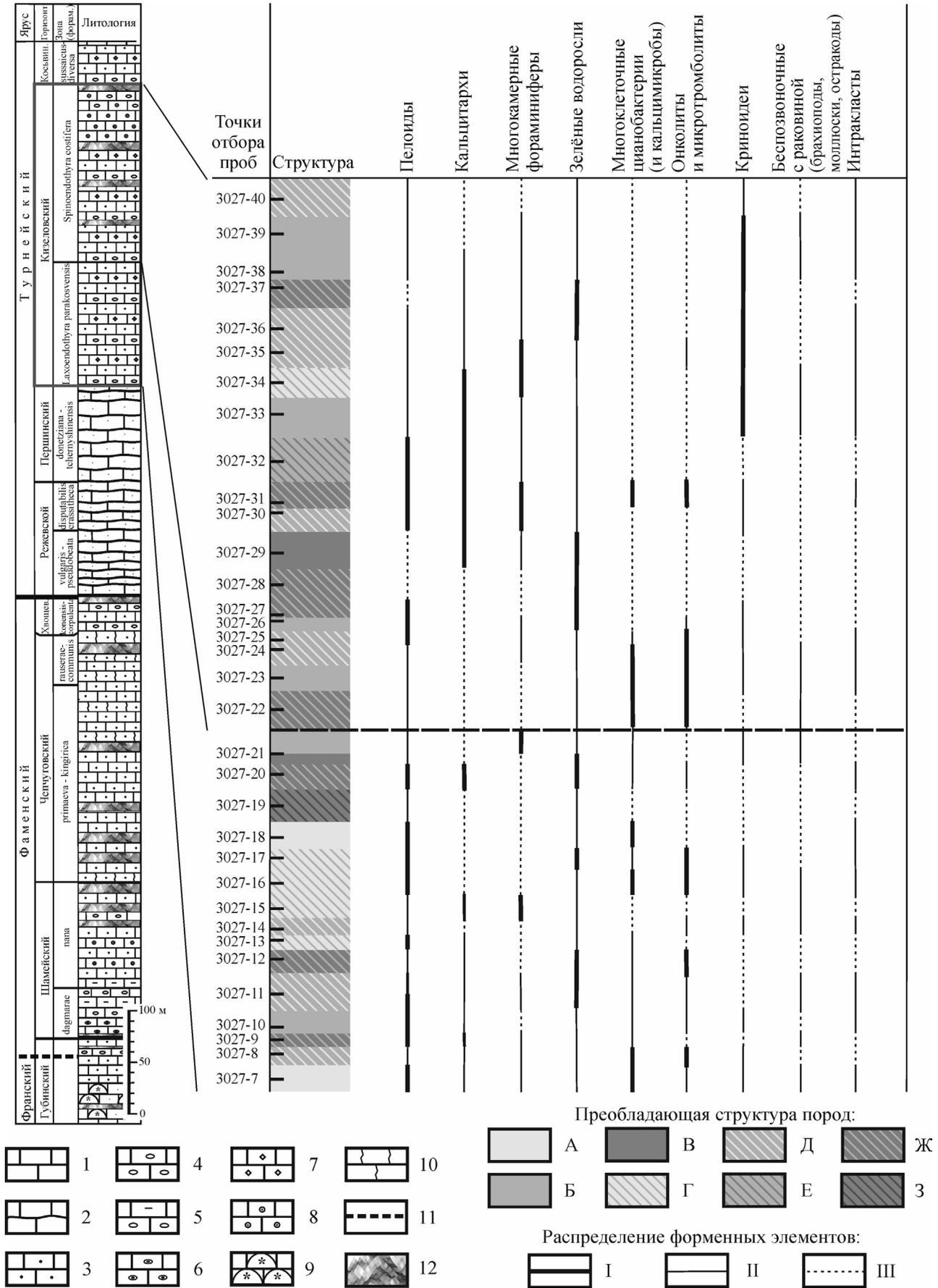


Рис. 2. Общая литолого-стратиграфическая колонка разреза “Першино” (по [Мизенс и др., 2014]) и распределение органических остатков в ассоциации со структурными особенностями пород в пределах кизеловского горизонта (микрочастиц).

Для колонки: 1–10 – известняки: 1 – слоистые, 2 – нодулярные, 3 – микрогустковые и микрокомковатые, 4 – с онколитами, микротромболитами или интракластами, 5 – турбидитовые, 6 – оолитовые, 7 – биокластовые, 8 – криноидные, 9 – биогермные, 10 – узорчатые; 11 – граница франского и фаменского ярусов по конодонтам; 12 – необнаженные интервалы. Преобладающая структура пород, по Р. Данхему в интерпретации В.Г. Кузнецова [2007]: А – грейнстоуны, Б – пакстоуны, В – вакстоуны, Г – пак-грейнстоуны (грейнстоуны, участками до пакстоунов), Д – грейн-пакстоуны (пакстоуны, участками до грейнстоунов), Е – вак-пакстоуны (пакстоуны, участками до вакстоунов), Ж – пак-вакстоуны (вакстоуны, участками до пакстоунов), З – вакстоуны с элементами мадстоунов или байндстоунов (?). Распределение форменных элементов: I – многочисленные (в том числе породообразующие), II – немногочисленные или редкие, III – единичные или отсутствуют. 3027–40 – номер характеризующего данный интервал образца.

Fig. 2. “Pershino” section lithology, stratigraphy and distribution of fossils (in microfacies) in the Kizel regional substage deposits.

Legend for the column: 1–10 – limestones: 1 – layered, 2 – nodular, 3 – micro-lumpy and micro-clotted, 4 – intra-clastic, 5 – turbidite, 6 – oolitic, 7 – bioclastic, 8 – crinoid, 9 – bioherm, 10 – patterned; 11 – Frasnian and Famennian conodont boundary; 12 – unexposed intervals. Legend for the structure, by R. Dunham, interpreted by V.G. Kuznetsov [2007]: A – grainstone, Б – packstone, В – wackestone, Г – pack-grainstone (grainstone with areas of packstone), Д – grain-packstone (packstone with areas of grainstone), Е – wacke-packstone (packstone with areas of wackestone), Ж – pack-wackestone (wackestone with areas of packstone), З – wackestone with areas of mudstone or bindstone (?). Distribution of grains: I – abundant (include rock-forming), II – not abundant, III – sporadic or absent. 3027–40 – number of the most representative sample.

ды светло-серые, серые и темно-серые, отчетливо слоистые. Мощности пластов колеблются от 20 до 70 см, возрастая в верхней части разреза. Пластовые поверхности, как правило, относительно ровные или слабо бугристые. По текстуре породы в основном слоеватые (слоеватость подчеркивается ориентировкой компонентов) или однородные, реже встречаются тонко- и микрослоистые разности. Иногда наблюдается косая или неотчетливо выраженная волнистая слоистость. Встречаются узорчатые текстуры, связанные со скоплениями газовых пузырей (*фенестр*), вытянутых по слоистости, или образующих цепочки. За редкими исключениями, градационная сортировка материала отсутствует: крупные аллохемы могут встречаться как в нижних или средних, так и в верхних частях пластов.

Макро- и микроскопические исследования показывают, что форменными элементами в рассматриваемых известняках являются членики криноидей, обломки раковин брахиопод и моллюсков (брюхоногих), иногда фрагменты одиночных кораллов, а также различные пелоиды, интракласты, кальцитовые “сферы”, многокамерные фораминиферы, обломки известковых зеленых водорослей и цианобактерий (кальцимикробов), зерна с микритовыми оболочками, различные микритизированные обломки и прочие компоненты микробиальной природы. Их содержание и набор меняются в пределах горизонта (рис. 2). Особенно многочисленными являются пелоиды и биокласты известковых зеленых водорослей. На некоторых уровнях (в верхах горизонта) отмечается большое число члеников криноидей. В составе известняков иногда в довольно больших количествах присутствуют онколиты (или онкоиды – в зарубежной литературе, например, [Tucker, 1990]) – образования неправильного концентрически-слоистого строения (с из-

менчивой толщиной оболочек вокруг ядра), размером в основном около 1 см, реже до 2–3 см. Обычно они имеют уплощенную (эллипсоидную, слегка вытянутую по слоистости) форму, иногда слагают линзовидные слойки, но чаще рассеяны в основной массе, состоящей из более мелкого органогенного детрита. Выраженное ядро обнаружить удается не всегда, при его отсутствии подобные элементы больше напоминают интракласты или неоднородные “клубки”.

Известняки кизеловского горизонта представлены преимущественно пелоидными, сферово-пелоидными, биокластовыми (водорослевыми или криноидно-водорослевыми), биокластово-пелоидными пакстоунами и грейнстоунами, а также вакстоунами. В более редких случаях обнаруживаются рудстоуны и флаутстоуны, а также мадстоуны или байндстоуны. В целом толща характеризуется не очень значительным разнообразием микрофаций¹ (рис. 3). На значительной части изученного интервала (в объеме зоны *Laxoendothyra parakosvensis* и нижней части зоны *Spinoendothyra costifera*) широко распространены водорослево-пелоидные пак- и грейнстоуны, а также водорослевые вакстоуны, перемежающиеся со сферово-пелоидными пак-

¹ Термин “микрочастица” употребляется в работе в соответствии с классическими представлениями Дж. Уилсона [1980], использовавшего для диагностики обстановок “сочетания общих палеоэкологических наблюдений Флюгеля с выделением структурных классов по Данхэму и Фолку” (т. е. по сути рассматривавшего особенности и состав форменных элементов (в том числе органических остатков) в ассоциации с параметрами среды осадконакопления: гидродинамикой, глубиной вод и т.д.). В отличие от стандартных микрофаций (СМФ) микрофации в данной работе выделяются с большей подробностью.

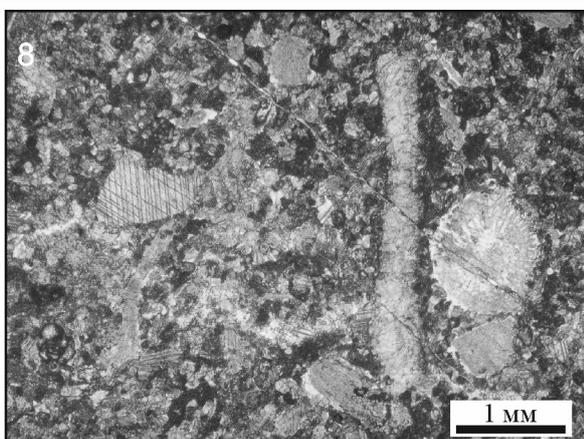
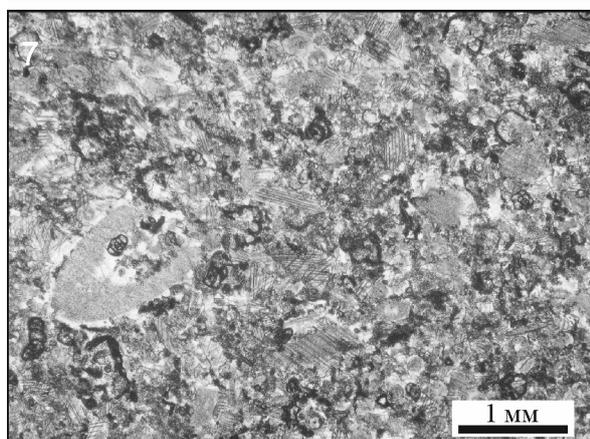
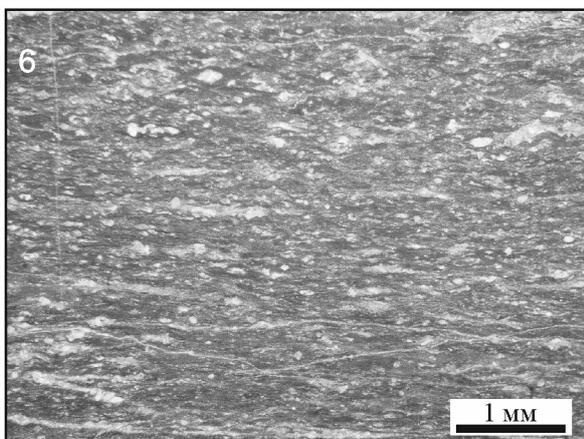
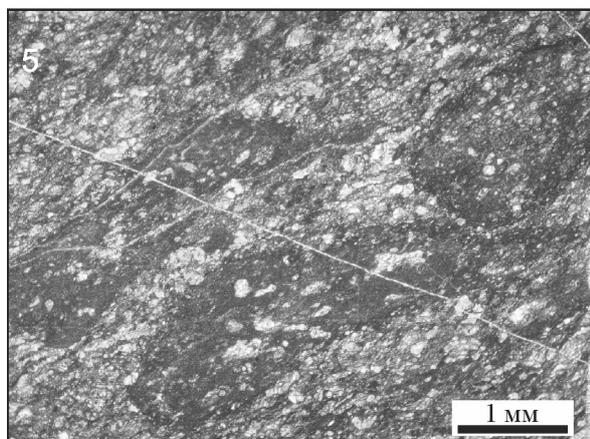
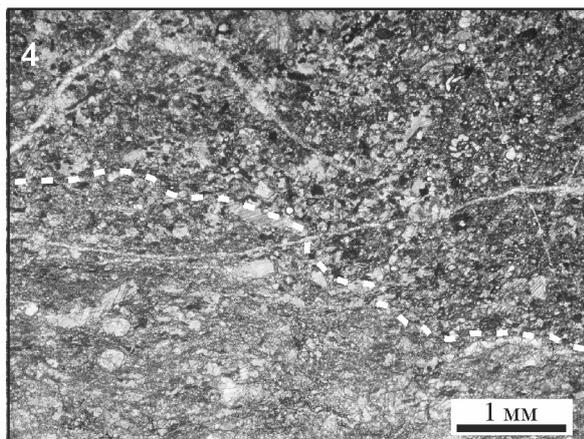
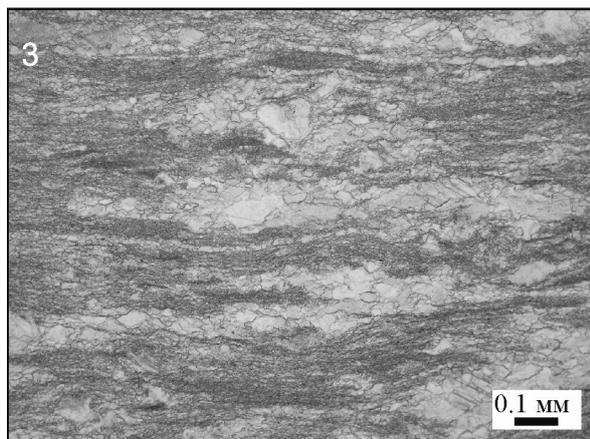
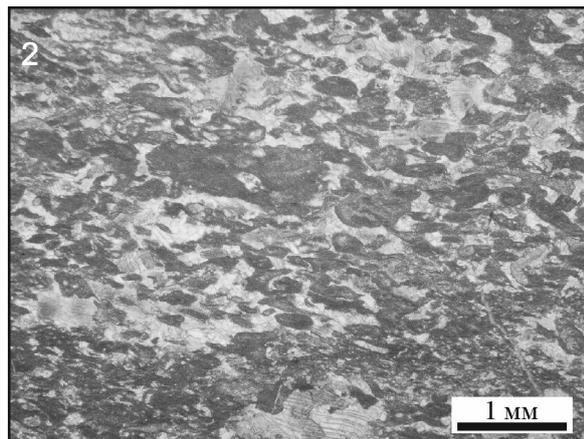
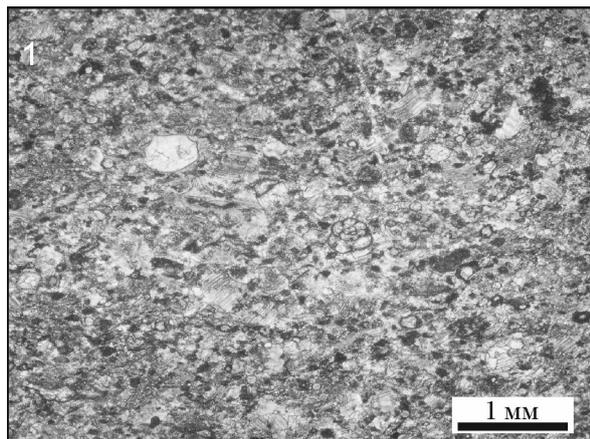


Рис. 3. Микрофации кизеловского горизонта.

1–4 – микрофации нижнекизеловского подгоризонта: 1 – фораминиферо-сферово-пелоидный пак-грейнстоун, 2 – пелоидный грейнстоун, 3 – пелоидный вак-пакстоун с ориентированным матриксом, с элементами мадстоуна, 4 – контакт микрофаций: снизу – водорослевый (биокластовый) вакстоун, сверху – сферово-пелоидный пакстоун; 5–8 – микрофации верхнекизеловского подгоризонта: 5 – биокластово- (водорослево-) пелоидный вакстоун с интракластами, 6 – водорослевый вакстоун, 7 – пелоидно-биокластовый (криноидно-водорослевый) пак-грейнстоун, 8 – биокластовый водорослево-криноидный грейн-пакстоун.

Fig. 3. Microfacies of the Kizel regional substage.

1–4 – microfacies of the Lower Kizel subhorizon: 1 – foraminifera-sphere-peloidal pack-grainstone, 2 – peloidal grainstone 3 – peloidal wack-packstone with orientated matrix, with areas of mudstone, 4 – the microfacies border: at the bottom – algal (bioclastic) wackstone, at the top – sphere-peloidal packstone; 5–8 – microfacies of the Upper Kizel subhorizon: 5 – bioclastic- (algal-) peloidal pack-wackestone with “intraclasts”, 6 – algal (bioclastic) wackstone, 7 – peloidal-bioclastic (crinoid-algal) pack-grainstone, 8 – bioclastic (algal-crinoid) grain-packstone.

грейнстоунами. Отмечается постепенная смена микрофаций, без отчетливых перерывов, что доказывается обнаружением переходов между ними в достаточно мелком масштабе (в пределах одного шлифа). В некоторых случаях среди вакстоунов встречаются участки мадстоуна, представленные известняками с недифференцированным слоистым матриксом без форменных элементов. В вак- и мадстоунах микритовые слои нередко разделяются вытянутыми фенестрами, выполненными светлым яснокристаллическим кальцитом. Фенестры могут деформировать и прорывать слои, образуя в них небольшие изгибы и формируя мелкомасштабные узорчатые (“окончатые”) текстуры. Пузырьки присутствуют и в пакстоунах, однако в них не образуют крупных скоплений. В целом вакстоуны присутствуют по всему разрезу, но наиболее многочисленны они в верхней части нижнекизеловского подгоризонта, а также в средней части верхнекизеловского. В самой верхней части кизеловского горизонта (верхняя часть зоны *Spinoendothya costifera*) происходит некоторая смена литологии пород. Здесь встречаются известняки, в которых преобладают крупные биокласты криноидей (отдельные стебли диаметром 5–8 мм до 5 см в длину), участками наблюдаются скопления обломков раковин брахиопод. Микрофации представлены в основном криноидно-пелоидными, фораминиферо-сферово-пелоидными и водорослево-криноидными пакстоунами, реже водорослевыми вакстоунами и биокластовыми грейнстоунами (до рудстоунов). В целом к верхам верхнекизеловского подгоризонта, при сохраняющемся числе биокластов зеленых водорослей, постепенно снижается роль цианобактерий и онколитов, несколько возрастает количество членников криноидей. В отложениях перекрывающего косвинского горизонта уже отсутствует обильный водорослевый детрит.

Рассматриваемые известняки “чистые”, содержание нерастворимого остатка составляет доли процента [Мизенс и др., 2014а].

Породы кизеловского горизонта и смежных с ним уровней подверглись ощутимым постседиментационным преобразованиям: отмечается различ-

ная степень перекристаллизации, нередко наблюдается сеть многочисленных светлых кальцитовых прожилков, в единичных случаях встречаются следы доломитизации (по слоевым поверхностям или внутри пустот в биокластах). По всему интервалу встречаются серии параллельных трещин кливажа. Кроме того, на некоторых участках разреза наблюдаются следы палеокарста (в виде пятен светлого кристаллического кальцита, заполнившего пустоты, размерами от 1–2 см до нескольких метров).

Особым разнообразием и многочисленностью в рассматриваемых известняках отличаются форменные элементы микробиального происхождения (*микробиальные образования*), являющиеся *ископаемыми остатками микроорганизмов* или представляющие собой *результат жизнедеятельности микробиоты*. Вопрос о том, какие формы считать микроорганизмами и какие образования в составе осадочных пород, соответственно, являются микробиальными, достаточно дискусионен, так как до сих пор понятие “микроорганизм” не имеет четкого определения. В эту категорию в настоящее время могут включаться не только одноклеточные и колониальные организмы, но и некоторые многоклеточные формы (или условно многоклеточные – например, нитчатые цианобактерии). Еще одна проблема заключается в том, что диагностика таких компонентов основана на ограниченном числе признаков (вещественный состав, во многом зависящий от условий среды осадконакопления, и морфология), по которым ископаемые остатки организмов из совершенно разных систематических категорий могут быть сходны, вследствие чего одни и те же микрофоссилии разными исследователями нередко рассматриваются в составе различных (иногда филогенетически удаленных друг от друга) таксонов.

Опираясь на современные представления о микроорганизмах [Madigan et al., 2012], к микробиальным образованиям в отложениях кизеловского горизонта можно отнести: 1) кальцитархи (кальцитовые “сферы” и подобные им образования), 2) биокласты известковых зеленых водорослей, 3) биокласты известковых цианобактерий/кальцимикробов (или кальцибионтов), 4) пелоиды (в том числе

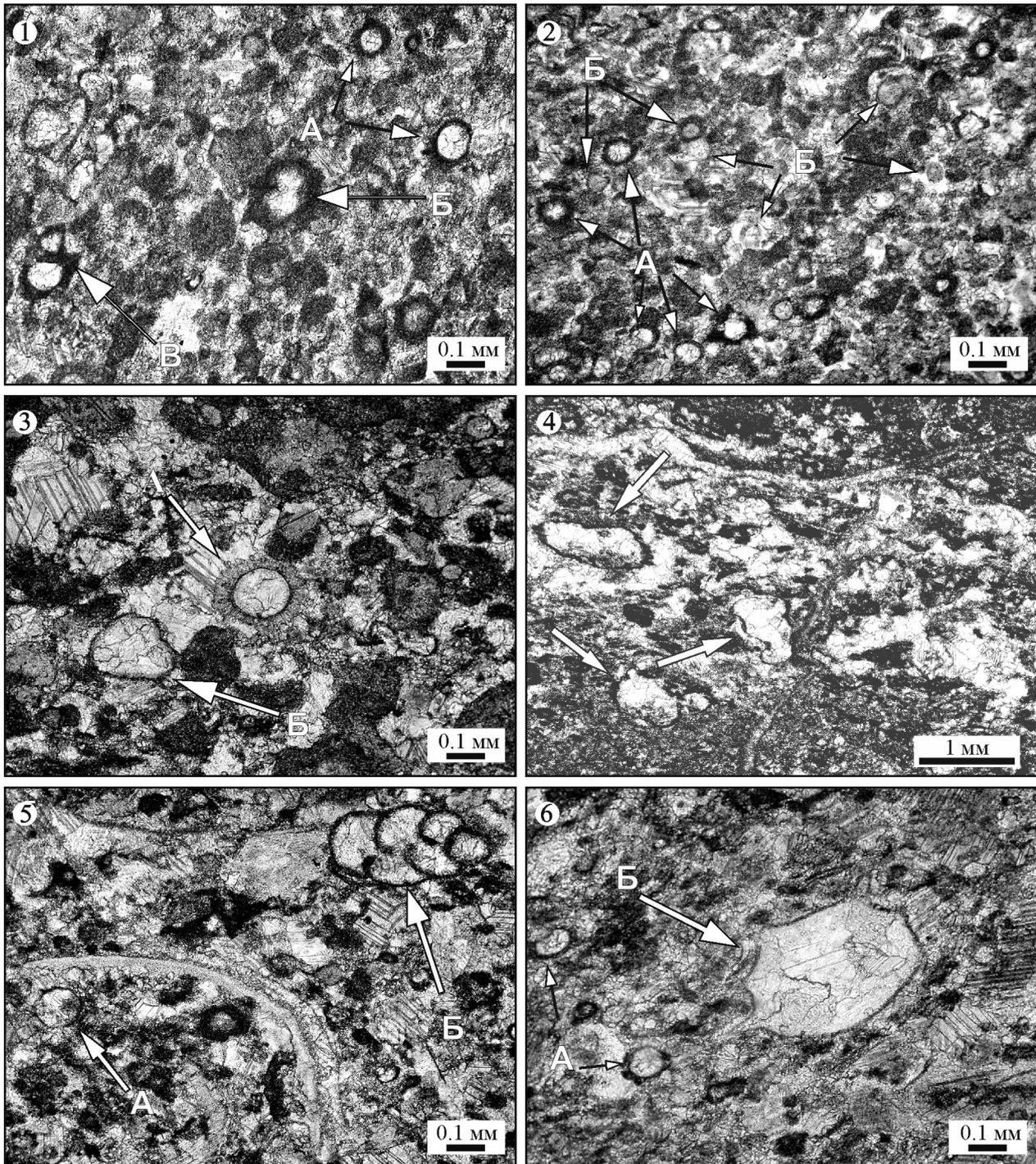


Рис. 4. Кальцитархи и их взаимоотношения с другими форменными элементами.

1 – Кальцитархи в сферово-пеллоидном грейн-пакстоуне: А – в различной степени микритизированные представители подсемейства *Archaesphaerinae*; Б – микритизированный кальцитарх со двоянной раковиной; В – экземпляр из рода *Parathuramminites* с “иглой”, подчеркнутой микритизацией. 2 – Кальцитархи и остатки зеленых водорослей в сферово-биокластово-пеллоидном грейн-пакстоуне: А – микритизированные кальцитовые “сферы” (*Archaesphaera*, *Parathuramminites*); Б – известковые остатки слоевищ зеленых водорослей в поперечных сечениях. 3 – Кальцитархи в грейнстоуне: А – *Radiosphaera*; Б – проблематичные образования неправильной формы, вероятно, фораминиферы рода *Bisphaera*. 4 – Проблематичные образования пузырьвидной формы (отмечены стрелками), вероятно фораминиферы сосредоточены в слоежке пакстоуна в вакстоуне. 5 – Мелкие кальцитархи в ассоциации с многокамерными фораминиферами в биокластово-пеллоидном пакстоуне: А – остатки *Radiosphaera*, Б – *Palaeospiroplectamina* sp., 6 – Различные кальцитархи в фораминиферо-сферово-пеллоидном пак-грейнстоуне: А – формы, напоминающие *Archaesphaera/Bisphaera*, Б – представитель семейства *Parathuramminidae*.

Fig. 4. Calcitarcha and other grains.

1 – Calcitarcha in sphere-peloidal grain-packstone: A – subfamily Archaesphaerinae representatives of varying micritization degrees, Б – micritized calcitarcha with double shell, В – *Parathuramminites* individual with spike accentuated by micritization. 2 – Calcitarcha and green algae fossils in sphere-bioclastic-peloidal grain-packstone: A – micritized calcite “spheres” (*Archaesphaera*, *Parathuramminites*), Б – cross-sections of calcareous green algae fossils. 3 – Calcitarcha in grainstone: A – *Radiosphaera*; Б – irregular-shape problematic structures, belike foraminifera genus *Bisphaera*. 4 – Problematic vesicular structures (marked by arrows), belike foraminifera, concentrated in packstone laminae in wackestone. 5 – Small calcitarcha in association with multichambered foraminifera in bioclastic-peloidal packstone: A – *Radiosphaera* relict, Б – *Palaeospiroplectammina* sp. 6 – Various calcitarcha in foraminifera-sphere-peloidal pack-grainstone: A – *Archaesphaera* / *Bisphaera*-like structures, Б – the family *Parathuramminidae* representative.

комки и сгустки) и следы микритизации обломочных зерен, 5) онколиты и интракласты прочих микробиалитов (или микробиолитов)². Такой порядок рассмотрения компонентов не случаен, в данном случае он соответствует увеличению степени их значимости для реконструкции обстановок осадконакопления.

МИКРОБИАЛЬНЫЕ ИНДИКАТОРЫ СРЕДЫ

1. Кальцитархи. Вопрос происхождения и систематики кальцитовых “сфер”, встречающихся в карбонатных отложениях, стоит достаточно остро. В настоящее время при их описании широко употребляется термин *кальцисферы* (*calcispheres*), но он не совсем удачен, так как изначально под таким названием (род *Calcisphaera* Williamson, 1880) были описаны только образования с гладкой поверхностью и светлыми стенками, “сферы” с другими типами стенок (в том числе с шипами, иглами, устьями и лучами) в российских публикациях относили к *кальцисферидам* (согласно [Рейтлингер, 1960]). Термин кальцитархи (*Calcitarcha*), предложенный G.J.M. Versteegh с соавторами [2009] для известковых микрофоссилий **неясного генезиса** с центральной полостью (по аналогии с *акритархами*), гораздо более удобный, так как может включать в себя и “сферы” с различным строением стенки, и находящиеся часто в парагенезе с ними сходные образования неправильной формы. Авторами [Versteegh et al., 2009] подчеркивается, что *Calcitarcha* – это не таксономическая категория, термин предназначен для облегчения взаимопонимания между микропалеонтологами и седиментологами.

Кальцитархи, несомненно, являются полифилетической группой микрофоссилий. Анализ мно-

гообразия верхнедевонских “сфер” и обзор их таксономической принадлежности, выполненные Н.А. Каневой с соавторами [2013], показали, что к ним относят представителей радиолярий, фораминифер, акритарх, а также вольвоксовых, харовых и, возможно, других водорослей (в том числе приспособления для размножения/распространения некоторых из них). Кроме того, рядом исследователей, например [Servais et al., 2009], в палеозойских отложениях среди подобных форм были обнаружены известковые цисты динофлагеллят, хоть последние и считаются мезо-кайнозойскими организмами.

Данная работа основывается на концепции о первично карбонатном составе отмеченных “сфер”. Широко известны примеры полного замещения опалового скелета радиолярий кальцитом [Афанасьева, Амон, 2014], однако подавляющее большинство микрофоссилий в изученных известняках не содержит признаков подобной перекристаллизации. Более того, для многих форм характерно наличие отчетливой тонкой микритовой стенки, которая, как правило, не обнаруживается у кальцитизированных радиолярий, но характерна для фораминифер. Фораминиферы и радиолярии филогенетически довольно тесно связаны друг с другом (подтипы *Foraminifera* и *Radiozoa* на основании молекулярно-генетических исследований современных представителей в настоящее время включаются в один тип *Retaria*, по [Ruggiero et al., 2015]), поэтому морфология ископаемых индивидов не всегда (и особенно в случае плохой сохранности) может быть достаточно надежным признаком для определения их систематической принадлежности. Таким образом, на основании изначально карбонатного состава, кальцитархи кизеловского горизонта (рис. 4) в большинстве случаев могут быть идентифицированы как однокамерные фораминиферы. Возможно, среди них присутствуют свободноплавающие представители разных таксонов известковых водорослей или обызвествленные планктонные стадии развития (способы существования в неблагоприятных условиях?) прикрепленных форм.

В соответствии с этой позицией, в рассматриваемом разрезе были диагностированы (при использовании [Вдовенко и др., 1993]) следующие фораминиферы надсемейства *Archaesphaeracea*: *Archaesphaera*

² Руководствуясь взглядами авторов упомянутой монографии [Madiga et al., 2012], в этот список следует включить и многокамерных фораминифер, несмотря на то что в изучаемых отложениях их представители имеют размеры несколько больше чем 0.1 мм и формально считаются различимыми человеческим глазом, т.е. макроорганизмами. По всей видимости, для разграничения макро- и микроорганизмов определяющее значение имеет не только конкретная размерность их представителей, а еще и методы, которыми они исследуются, а также принадлежность к определенным таксонам живых существ.

(примитивные круглые гладкие формы, наиболее многочисленны), *Bisphaera* (субсферичные гладкие), неправильные формы без устьев *Baituganella*, *Quasiirregularina* и *Cribrosphaeroides* (часть из них считаются девонскими), а также образования, подобные *Vicinesphaera* (субсферичные с толстой неравномерной стенкой) и *Tuberogininae* spp. (с “двойной” стенкой). Нередко встречаются представители семейства *Parathuramminidae* (с устьями), в том числе *Parathuramina*, *Parathuramminites* и формы, напоминающие девонские *Irregularina*; реже – экземпляры из семейства *Uralinellidae*. Из отмеченных экземпляров особым многообразием отличаются кальцитархи “пузырчатой” формы – гладкие или с устьями, иногда образующие послойные скопления, – но это многообразие в некоторой степени объясняется различными сечениями одинаковых микрофоссилий [Racki, Sobon-Podgorska, 1993]. Обнаружены также вытянутые индивиды с неотчетливыми пережимами в оболочке, напоминающие представителей отряда *Earlandiida*: *Eocaligella* (*insertae sedis* по [Сабиров, 2015]) и *Earlandia*, но по ряду признаков (трубчатая форма, отсутствие выраженных септ, микритовая оболочка в виде чехла, присутствие поблизости биокластов кальцимикробов), они могут являться и остатками других микроорганизмов, в том числе и известковыми трихомами цианобактерий.

Лучистые *Radiosphaera* редки. *Calcisphaera* s. str., т. е. организмы со светлой кальцитово-стенкой, в отложениях кизеловского горизонта встречаются еще реже. Согласно классическим представлениям [Рейтлингер, 1957], подобные микрофоссилии относятся к водорослям (возможно, наподобие *Volvox*). Их систематическое положение в пределах этой обширнейшей группы организмов (включающей *Chlorophyta*, *Charophyta*, *Rhodophyta* и другие таксоны) неоднократно пересматривалось, менялось, и маловероятно, что когда-либо будет точно установлена истинная природа этих образований, впрочем, как и остальных кальцитархов. В шлифах с кальцитархами обнаруживаются многочисленные поперечные сечения биокластов дзикакладных и сифонокладных зеленых водорослей, но они имеют принципиально иное строение стенки и внутреннюю структуру.

Независимо от генезиса геометрически правильные “сферы” характеризуются размерами 0.03–0.2 мм (чаще 0.08–0.1 мм); кальцитархи неправильной формы, как правило, крупнее: 0.07–1.0 мм, в среднем 0.2–0.3 мм. Нередко отдельные структуры окружены бесформенными оболочками (микритизированы), из-за которых первичные видовые и родовые признаки организмов были утрачены. В результате образования оболочек (связанного с факторами среды, а не с таксономическими особенностями организмов) часто приобретает конвергентное сходство с представителями фораминифер проблематичного рода *Vicinesphaera*.

Считается, что “сферы” имеют большое значение в интерпретации палеообстановок осадконакопления [Flügel, 2004; Канева и др., 2013]. Однако фациальные реконструкции, как правило, строятся на основании таксономической принадлежности организмов с учетом сравнительно-экологических данных. Это обстоятельство вызывает определенные трудности в отношении восстановления условий обитания организмов, являющихся заведомо *insertae sedis*. Отсюда основным палеоэкологическим признаком рассматриваемых “сфер” может служить морфология: геометрически правильные “сферы”, как гладкие, так и с шипами/иглами на поверхности (архесферы, радиосферы, отдельные представители паратурамминид), по всей видимости, являются остатками *планктонных организмов* (шипы, как и у радиолярий, – приспособления к обитанию в толще воды), а несимметричные и неправильные формы, в том числе со следами прикрепления, – *бентосных* (остальные кальцитархи). Это разделение достаточно условно, так как предполагается [Горбачик и др., 1996], что истинно планктонные фораминиферы появились только в юре. Во всяком случае, исследователи [Уилсон, 1980; Flügel, 2004; Антошкина, 2014] сходятся во мнении, что палеозойские известняки с большим количеством “сфер” указывают на мелководные обстановки с нарушенным водообменом. Подчеркивается, что “кальцисферы” процветали в замкнутых морских и солоноватоводных условиях: в частности в девонских отложениях Центральной Европы они характерны только для зарифовых областей [Уилсон, 1980]. В разрезе “Першино” кальцитархи наиболее многочисленны в породах с достаточно высоким содержанием цемента (спарита) – в грейнстоунах и пакстоунах, в которых они находятся в ассоциации с пелоидами и многокамерными фораминиферами, реже с биокластами зеленых водорослей и известковых цианобактерий. Они слагают различные по мощности (от долей миллиметра до десятков сантиметров) слои или линзы и на многих участках довольно хорошо отсортированы, что подразумевает их вероятное переотложение. Для настоящих вакстоунов все эти образования, как правило, не характерны. Об аллохтонной природе “сфер” на ряде интервалов также свидетельствует одновременное присутствие форм с микритовыми оболочками и абсолютно чистых, свободных от ила и неизмененных зерен, что, вероятно, связано с их различным первоначальным местонахождением и перемещением. Можно предполагать три варианта происхождения микритовой оболочки: 1) переотложение с сохранением реликтов матрикса; 2) налипание обывзвествленной полисахаридной слизи, выделяемой колониями цианобактерий, самостоятельных или обрастающих форменные элементы; 3) микритизация (биоэрозия микроэндолитами). Результаты двух последних процессов лучше все-

го проявлены в иногда встречающихся существенно пелоидных микрофациях, в которых большинство “сфер” подверглось значительному биогенному преобразованию (рассмотрено ниже). Упомянутые факторы, наравне с перекристаллизацией, затрудняют генетическую интерпретацию остатков однокамерных организмов в отложениях кизеловского горизонта. В целом несомненно, что образование значительной части пак- и грейнстоунов с кальцитархами в пределах разреза было связано с волновой активностью, т. е. большая часть раковин бентосных особей подвергалась переотложению (возможно, неоднократному). В отдельных слоях их доля может достигать 30–33% от общего числа аллохем, но в сферово-пелоидных разностях чаще всего около 10–15%. Кроме того, кальцитархи часто встречаются в одних микрофациях с крупными многокамерными фораминиферами, что, несмотря на перенос, вероятно, указывает на сходный образ жизни.

Что касается многокамерных фораминифер, то для кизеловского горизонта прежде всего характерны [Постоялко и др., 1999; Степанова, 2015] представители родов *Neoseptaglomospiranella* и *Endothyra*. Из последних особенно многочисленны *Endothyra (Laxoendothyra) parakosvensis* Lip., часто встречаются *E. (L.) antiqua* Raus., *E. (Latiendothyra) latispiralis* Lip. Виды подсемейства *Loeblichinae (Spinoendothyra u Inflatoendothyra spp.)* появляются во второй половине горизонта и встречаются спорадически. Редки, но все же присутствуют, индивиды из рода *Tourayella*. Фораминиферы, как и кальцитархи, характерны в основном для пелоидно-биокластовых и биокластовых пак-грейнстоунов, но обычно не образуют значительных скоплений, их сообщество отличается обедненным составом. Этот факт предполагает несколько специфические условия в бассейне осадконакопления, так как фораминиферы в целом очень чувствительны к солености вод [Иванова, 1958], а также к глубине бассейна [Степанова, 2014]. На некоторых уровнях в кизеловском горизонте их число достигает 7% от общего количества форменных элементов, свидетельствуя о слабовыраженных кратковременных сменах параметров среды.

2. Таксономический состав зеленых водорослей (*Chlorophyta*) достаточно беден, несмотря на огромное количество биокластов по всей толще известняков (рис. 5). Наиболее многочисленны представители дазикладовых (порядок *Dasycladales* – имеющие моносифонное строение слоевища, по [Иванова, 2013]), а именно *Issinella* sp. (*Issinella devonica* и *Issinella grandis*), представленные обломками разной размерности и сохранности. У мелких (0.1–0.5 мм) биокластов (представленных преимущественно *I. devonica*) стенки известкового таллома (таллита, по В.П. Шуйскому) достаточно толстые по сравнению с осевым *сифоном*,

а у более крупных (*I. grandis*) экземпляров (достигающих нескольких миллиметров в длину), диаметр центральной полости значительно превышает толщину стенок. В крупных обломках таллитов отмечаются довольно ровные стенки – без пережимов и перегородок, хорошо видны эллипсоидные окончания (верхушки) слоевищ, редко встречаются дихотомически ветвящиеся формы. Биокласты обоих видов всегда находятся вместе и часто перемешаны, создавая впечатление, что они представляют собой один и тот же вид с разной степенью зрелости особей. Обломки водорослей располагаются без определенных закономерностей, но в целом ориентированы по слоеватости, а в шлифах видны как продольные, так и поперечные сечения. Нередко встречаются округлые формы, по очертаниям и размеру (0.05–0.15 мм) напоминающие охарактеризованные ранее кальцитовые “сферы”, но сложенные однородным кальцитом без отчетливых внутренних пустот. Возможно, они и являются органами размножения дазикладовых, хотя не исключено, что это просто следы поперечных сечений самых тонких “веточек”. Обломки зеленых водорослей характерны для всего разреза кизеловского горизонта, на некоторых уровнях являются породообразующими. Они нередко слагают водорослево-пелоидные, пелоидно- или криноидно-водорослевые грейн-пакстоуны с достаточно хорошей сортировкой форменных элементов и наиболее многочисленны (но несортированы) в существенно микритовых разностях: в некоторых вакстоунах аллохемы полностью представлены биокластами водорослей (составляют до 45% от породы). Это свидетельствует о значительной распространенности *Issinella* и о том, что их слоевища легко подвергались разрушению и сносу в мелкие отрицательные формы рельефа. Обилие однотипных несортированных обломков в этих микрофациях свидетельствует о незначительном переносе биокластов и наибольшей распространенности водорослей в понижениях рельефа (однако таллитов в прижизненном положении, как и нераздробленных, обнаружено не было).

Гораздо реже в рассматриваемых известняках обнаруживаются обломки сифонокладовых водорослей (порядок *Siphonocladales*, триба *Kamaeneae* Shuysky, 1985). Они гораздо более мелкие, нежели биокласты *Issinella* sp. Представители красных водорослей в отложениях кизеловского горизонта встречены не были. Многочисленность особей (точнее однотипных биокластов) и низкое таксономическое разнообразие свидетельствуют (согласно [Марковский, 1966]) о специфических условиях в среде осадконакопления, способствующих расцвету отдельных групп организмов (как правило, эврибионтов) и неблагоприятных для развития других групп (стенобионтов). Возможно, причина в том, что в бассейне существовали пре-

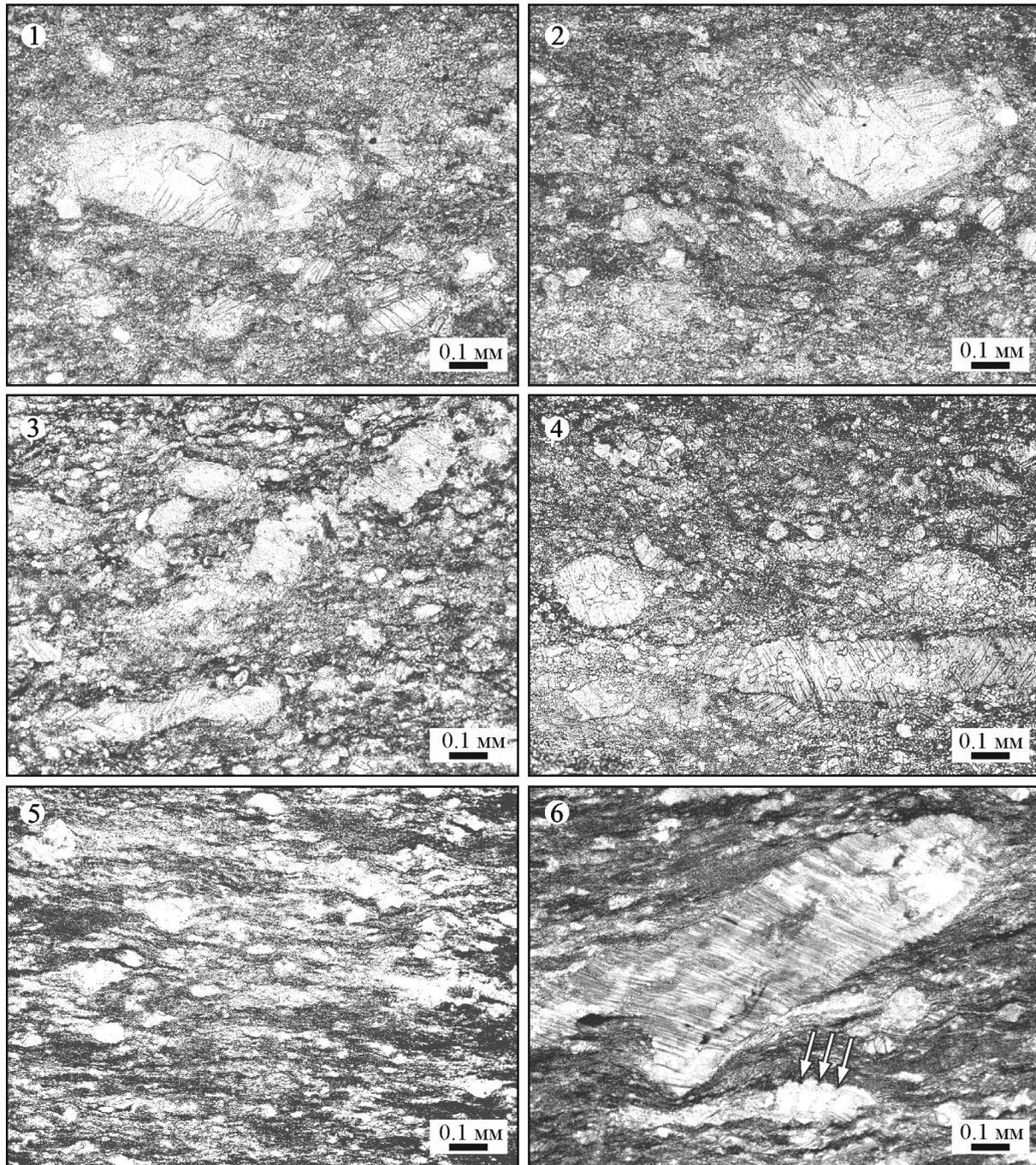


Рис. 5. Остатки известковых зеленых водорослей.

1, 2 – Косые сечения форм вида *Issinella grandis* Tchuv. (с крупной центральной полостью) в окружении более мелких биокластов *Issinella devonica* в вакстоуне; 3, 4 – продольные и поперечные сечения вытянутых обломков талломов *Issinella* в вакстоуне с плохой сортировкой; 5 – многочисленные водорослевые биокласты плохой сохранности, напоминающие “будины”, в пеллоидно-водорослевом вакстоуне; 6 – вверху – сечение крупного полого обломка дихотомически ветвящейся дасикладовой водоросли *Issinella*, внизу – небольшой обломок представителя сифонккладовых водорослей с поперечными перегородками в талломе (показаны стрелками), вакстоун.

Fig. 5. Calcareous green algae (Chlorophyta) fossils.

1, 2 – The *Issinella grandis* Tchuv. (with a large central cavity) oblique sections surrounded by smaller *Issinella devonica* bioclasts in wackestone; 3, 4 – thalli *Issinella* elongated debris longitudinal and cross sections in wackestone with poor sorting; 5 – bad preserved abundant algal bioclasts resembling “boudins” in peloidal-algal (-bioclastic) wackestone; 6 – at the top – the cross-section of the dichotomous branching dasyclade algae *Issinella* large hollow fragment, at the bottom – the sifonoclade algae representative small fragment with transverse septa in the thallus (indicated by arrows), wackestone.

пятствия для нормальной циркуляции вод и соленость была выше средней.

Эти выводы подтверждаются данными Б.И. Чувашова [1968]: на западном склоне Урала в верхнефаменских отложениях *Issinella* характерна для мелководных и тиховодных фаций с несколько повышенной соленостью вод.

3. Известковые цианобактерии (кальцимикробы/альцибионты)³. Существуют достаточные основания, чтобы считать *трубчатых и кустистовидных кальцимикробов (кальцибионтов)* древними многоклеточными цианобактериями, прежде всего по причине существования у них современных аналогов, представляющих собой одиночные или ветвящиеся нити – *трихомы*, при обызвествлении и захоронении которых образуются трубчатые формы (в соответствии с [Riding, 2011a]).

Биокласты известковых цианобионтов в шлифах отличаются большим видовым разнообразием (рис. 6) по сравнению с обломками зеленых водорослей. Это объясняется тем, что цианобактерии⁴ являются одними из самых неприхотливых к условиям обитания организмов, которые вполне могли развиваться в предполагаемых обстановках замкнутого бассейна с повышенной соленостью вод. Действительно, если на западном склоне Урала в это время их состав обычно ограничивается только родом *Girvanella* (по данным Р.М. Ивановой [2013]), то в исследуемой толще часто встречаются экземпляры следующих родов цианобактерий/кальцимикробов: *Ortonella* (трубки прямые или слабоизвилистые с субпараллельной ориентировкой), *Bevocastria* (трихомы неровные с многочисленными раздувами и сужениями), *Hedstroemia* (отличается от *Ortonella* несколько большим диаметром и разобщенностью трубок⁵), реже отдельные элементы *Stipulella* и *Girvanella* (незаконно-

мерно расположенные изогнутые субпараллельные и пересекающиеся трубки). Для этих образований характерно наличие трубок из криптозернистого кальцита, свидетельствующих о явлении внеклеточного обызвествления полисахаридных бактериальных чехлов. Некоторые сечения кальцимикробов из рода *Bevocastria* по внутренней структуре очень напоминают “*bird’s eye structures*” (“*птичий глаз*”) – мелкие вытянутые угловатые светлые спаритовые образования (пузырьки) в окружающей темной криптозернистой массе. Образование газов в карбонатном осадке (ведущее в итоге к формированию узорчатых известняков) довольно часто связано с жизнедеятельностью микроорганизмов [Антошкина, 2014] и считается неотъемлемым атрибутом бактериальных сообществ. Предполагается [Шуйский, 1981], что газ образуется за счет разложения органических веществ и в значительном объеме представлен аммиаком. Нельзя исключать и другие источники и состав газа. В исследуемых отложениях в состав газовых пузырей, вероятно, входил кислород, выделяемый цианобактериями и задерживающийся в осадке благодаря присутствию *биопленок*. Наличие фенестр как признак объединяет ископаемые остатки высокоорганизованных (многоклеточных) цианобионтов и *микробиалиты* (образованные колониальными цианобактериями) – фенестральные текстуры наиболее характерны для последних (обнаруживаются в составе строматолитов и тромболитов).

До сих пор окончательно нерешенным остается вопрос систематического положения и экологии некоторых кальцимикробов. По данным И.Т. Журавлевой с соавторами [Журавлёва и др., 1983], исследовавших кембрийские отложения Сибирской платформы, в которых такие формы наиболее многочисленны, кустистовидные известковые цианобактерии, как правило, поселялись на **твердом** дне в интервале глубин от 0 до 5 м и в случае благоприятных условий могли образовывать крупные органогенные постройки – “*рифиды*” (хотя их можно включить и в число рифов *sensu stricto*). Подтверждение “привязанности” современных многоклеточных цианобактерий к **средам с активной гидродинамикой** находим также у А.В. Маркова [2009] со ссылкой на [Garsia-Pichel, Wojceichowski, 2009], считающего, что возможность образования многочисленных переплетающихся трихомов для закрепления на поверхности осадка для цианобактерий компенсирует все минусы, связанные с таким образом жизни (сокращение количества солнечного света и необходимости для жизнедеятельности веществ).

Биокласты кальцимикробов нередко слагают ядра онколитов, а также могут образовывать самостоятельный, но в целом не очень обильный детрит, иногда представленный лишь в виде отдельных тонких трубочек. Они распространены в

³ Что касается терминологии, то в настоящее время не существует единообразия в понимании различий между древними цианобактериями, кальцимикробами и кальцибионтами. Под “кальцимикробами” изначально были описаны морфологически самые разнообразные организмы, в том числе трубчатые и многокамерные известковые микрофоссилии [James, Gravestock, 1990]. В эту группу попадают многочисленные роды обызвествленных цианобактерий, некоторых фораминифер и различные *problematica*. В отечественной литературе при описании сходных образований широко использовался термин “кальцибионты” (в составе группы “известковых водорослей”, по В.А. Лучининой [1990]), включающий в себя практически те же таксоны организмов, что и кальцимикробы, но в настоящее время в основном вышедший из употребления.

⁴ В ряде работ рассматриваемые как “сине-зелёные водоросли” – термин считается устаревшим.

⁵ Представители этого рода в изученных отложениях имеют достаточно сложное для цианобактерий строение, поэтому их, вероятно, следует считать *проблематикой*.

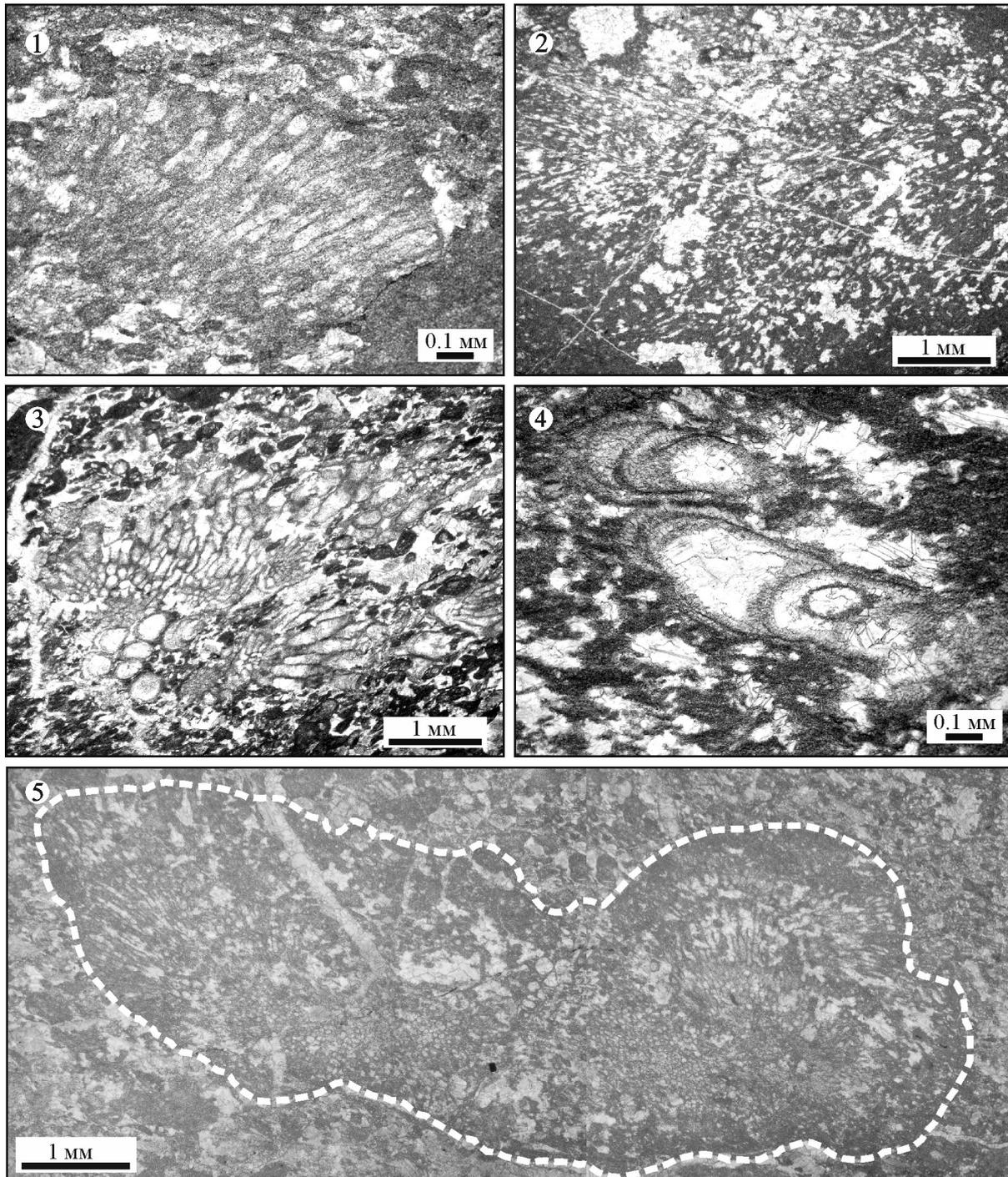


Рис. 6. Цианобактерии/кальцибионты/кальцимикробы в отложениях кизеловского горизонта.

1 – обломок *Ortonella* в биокластово-пелоидном пак-грейнстоуне; 2 – крупный обломок *Bevocastria* в ядре онколита (видны продольные, косые и поперечные сечения одного и того же кустистовидного организма); 3 – *Hedstroemia* в пелоидном пакстоуне; 4 – отдельные элементы *Hedstroemia* при увеличении (видно достаточно сложное строение “трубок”); 5 – микробная структура сложной формы, основу которой составляет крупное сообщество известковых цианобактерий (*Ortonella* (?)).

Fig. 6. Cyanobacteria/Calcibionta/Calcimicrobes in the Kizel regional substage deposits.

1 – the *Ortonella* fragment in bioclastic-peloidal pack-grainstone; 2 – the *Bevocastria* large fragment in the oncolite nucleus (longitudinal, transverse and oblique sections of the same “bushy” organism are visible); 3 – the *Hedstroemia* in peloidal packstone; 4 – the *Hedstroemia* distinct elements on a larger scale (“tubes” have complicated structure); 5 – microbial structure of irregular shape, based on the large calcareous cyanobacterial community (*Ortonella* (?)).

биокластово-пелоидных пак- и грейнстоунах (т.е. преимущественно в микрофациях, не связанных с застойными условиями). Отметим также, что цианобактерия *Ortonella* была впервые описана в Англии также из отложений миссисипия, с отметкой, что она входит в состав онкоидов [Garwood, 1914; Riding, 2011a]. Кроме того, подобные образования известны как “желваки” с *Ortonella* из карбона Донбасса [Рифогенные постройки..., 1977].

Несмотря на то что биокласты цианобактерий в рассматриваемых отложениях по большому счету не являются породообразующими (в отдельных случаях составляют до 30% от общего объема породы), их количество и разнообразие на некоторых уровнях, особенно в нижнекизеловском и в низах верхнекизеловского подгоризонтов, может свидетельствовать о существовании в пределах бассейна осадконакопления небольших биогермов или *иловых холмов (mud mounds)*, подобных кембрийским. Такие структуры могли играть роль так называемых “*лоскутных рифов (patch reefs)*” – органо-генных построек, находившихся в пределах шельфовой лагуны (в терминах Дж. Уилсона [1980]), т.е. непосредственно во внутренних областях платформ. Однако этот же автор указывает на то, что “уолсортские фации” характерны именно для зон перехода от мелководья к бассейновым обстановкам, т.е. холмы должны были находиться на окраинах лагуны.

4. Пелоиды⁶ (комки и сгустки), состоящие из микро- или криптокристаллического кальцита (микрита), являются преобладающим компонентом в известняках кизеловского горизонта (рис. 7).

В настоящее время уже нет сомнений, что пелоиды только отчасти являются продуктами жизнедеятельности беспозвоночных организмов (*фекальными комочками – пеллетами*), как считал В.П. Маслов [1973], а в основной своей массе связаны с микробиальной деятельностью [Tucker, Wright, 1990; Кабанов, 2000; Кузнецов, 2016; Петров, 2016].

В отложениях кизеловского горизонта встречаются пелоиды разнообразного облика и размерности: среди них преобладают зерна неправильной формы без отчетливых внешних контуров (сгустки), встречаются пелоиды округлой или неправильной формы, с ясными границами и хорошей сортировкой, но не всегда однородные по структуре. Для вакстоунов часто характерны (нередко в ассоциации с фенестровыми известняками) многочислен-

ные вытянутые по слоистости нитевидные пелоиды. Такие же зерна обнаруживаются и в пакстоунах – по всей видимости, в этом случае они перетолжены.

Несомненно, в число компонентов, относимых нами к пелоидам, попадают и простые окатанные обломки слаболитифицированного карбонатного ила (интракласты) [Сапурин, Мизенс, 2014], не имеющие прямой связи с микробиальными сообществами, но достоверно отличить их от биогенных пелоидов, как правило, не представляется возможным. В некоторых интервалах разреза на поверхности многих биокластов имеется тонкая микритовая пленка, связанная непосредственно с *обрастающими* (“инкрустирующими”) обломочные зерна *организмами-эпилитами* известковыми цианобактериями или представляющая собой *обызвествленную полисахаридную слизь*, производимую ими же и находящуюся в среде осадконакопления. Нередко зерна в различной степени микритизированы – не только по периферии, но и в центральных частях, иногда по всему объему – с образованием пелоидов. Особенно хорошо следы этого процесса видны в крупных форменных элементах – например в члениках криноидей. Основным “поставщиком” зерен для образования так называемых “вторичных” пелоидов чаще всего выступали известковые зеленые водоросли и кальцитархи. В частности, биокласты водорослей на некоторых интервалах могут быть практически полностью преобразованы (см. рис. 7). Процесс микритизации рассматривается как частный случай биоэрозии обломочных зерен [Tribollet, 2011]. Он, как правило, связан с деятельностью *микроэндолитических организмов*, поселяющихся в осадке и внутри форменных элементов и преобразующих среду за счет локальных биохимических реакций (выделение органических кислот). В русской литературе такие существа наиболее известны как “*сверлящие водоросли*” [Шуйский, 1973; Фортунатова и др., 2005]. Об этих организмах мы можем судить, как правило, только по следам их жизнедеятельности.

Таким образом, в бассейне осадконакопления в кизеловское время могла существовать как микроэндолитическая, так и эпилитическая биота. Предполагается, что в образовании разных групп микритосодержащих аллохем в рассматриваемых отложениях принимали участие разные таксоны микроорганизмов. Что касается онкоидов, то слоистое строение, унаследованное от обызвествляющихся (полисахаридных) оболочек, а также большое количество газовых пузырей – как в пределах зерен, так и в основной массе – указывают именно на цианобактериальную природу этих образований (эпилиты). Бактериальными пелоидами также могут являться наиболее темные и плотные пелитоморфные образования – на тот момент слаболитифицированная обызвествленная слизь. В про-

⁶ Эти образования представляют собой полигенетическую группу зерен [Tucker, Wright, 1990; Flugel, 2004; Фортунатова и др., 2005], и определить их точное происхождение часто невозможно. Разными авторами пелоиды классифицируются по комплексу признаков: биогенные и небигенные, седиментационные и диагенетические, с четкими контурами и с размытыми очертаниями, кальцитовые и доломитовые, первичные и вторичные и т.д.

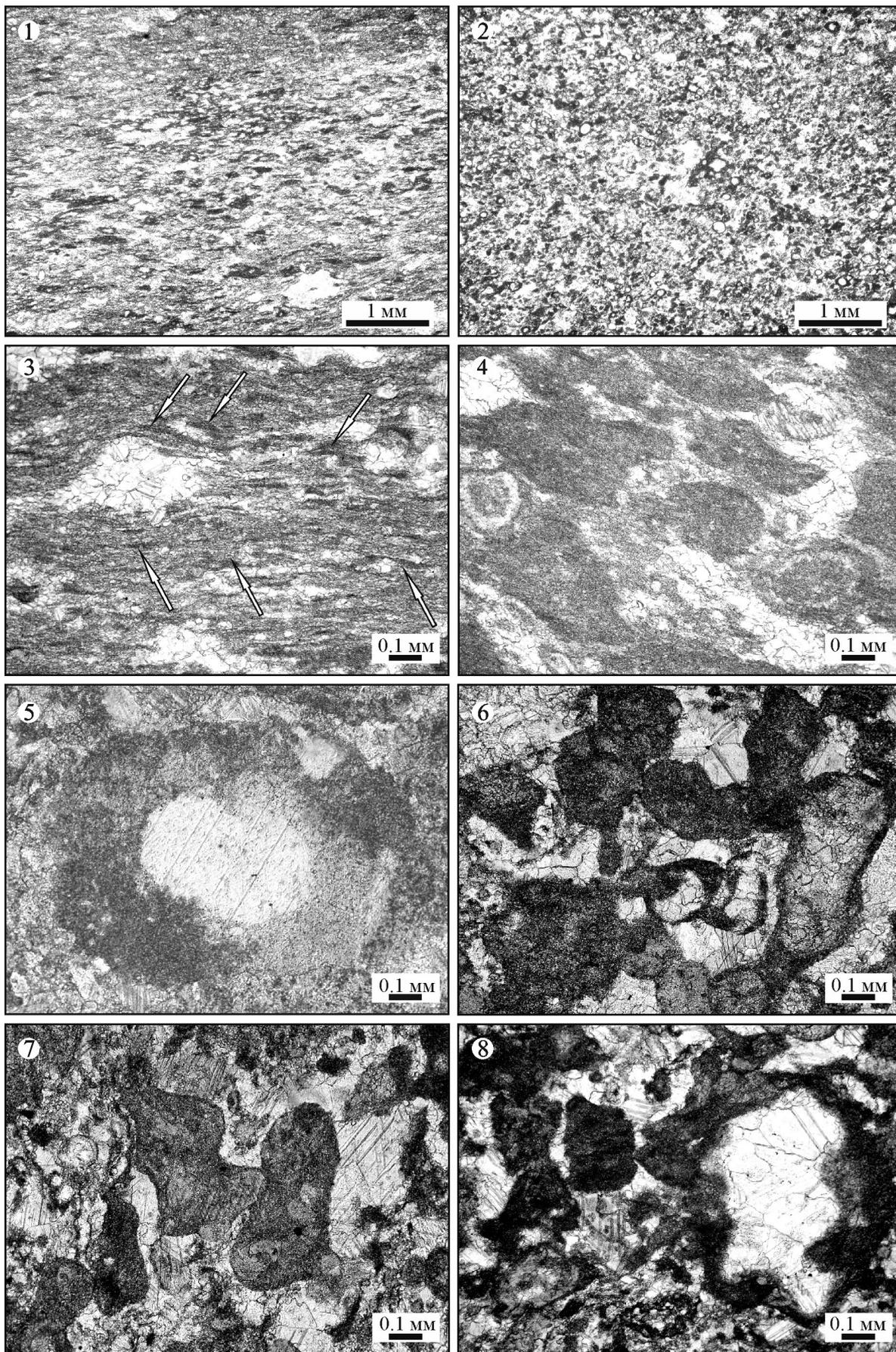


Рис. 7. Пелоиды и микритизированные зерна.

1 – вытянутые пелоиды в водорослево-пелоидном пак-грейнстоуне, ориентированные по слоистости; 2 – хорошо сортированные округлые пелоиды алевроитовой размерности в фораминиферо-сферово-пелоидном грейн-пакстоуне; 3 – нитевидные, вытянутые по слоистости пелоиды (отмечены стрелками) в “узорчатом” (фенестральном) вакстоуне (пелоиды выглядят более темными и плотными по сравнению с окружающим матриксом); 4 – пелоиды различной размерности в ассоциации с биокластами зеленых водорослей; 5 – частично микритизированный членник криноидеи; 6, 7 – частичная или полная (превращение в пелоиды) микритизация биокластов зеленых водорослей и кальцитархов; 8 – пример образования сложных пузырчатых структур при микритизации форменных элементов с внутренней полостью.

Fig. 7. Peloids and micritized grains.

1 – elongated lamination-oriented peloids in algal-peloidal pack-grainstone; 2 – rounded good-sorted peloids of silt size in foraminifera-sphere-peloidal grain-packstone; 3 – filiform lamination-oriented peloids (marked by arrows) in “patterned” (fenestral) wackestone (peloids are darker and more dense than the surrounding matrix); 4 – different size peloids in association with green algae bioclasts; 5 – partially micritized crinoid columnar; 6, 7 – green algae bioclasts and calcitarcha partial or complete micritization (producing peloids); 8 – the example of the complex vesicular structures formation by micritization of grains with internal cavity.

изводстве значительной доли пелоидов из микрoзернистого кальцита, по всей видимости, важную роль играли уже несколько другие организмы (эндолиты). Иметь способность к микритизации, вероятно, могут не только бактерии, но и представители зеленых водорослей, например *Ostreobium* sp., а также грибов [Кабанов, 2000; Berkyova, Munneke 2010; Grange et al., 2015]. Как показали исследования современных отложений (в том числе осадков Багамской банки) [Grange et al., 2015], образующие микрит организмы в большинстве случаев являются фотосинтезирующими, поэтому предполагается, что обстановки образования пелоидных известняков (а также известняков с микритизированными зёрнами) находились в пределах фотической зоны.

П.Б. Кабанов [2000] выделяет, по крайней мере, пять факторов, влияющих на интенсивность микритизации: освещенность, гидродинамика среды и количество ила в ней, насыщенность вод карбонатом, а также общая благоприятность среды для *инфестации* (заражения, заселения) обломочных зёрен микроорганизмами. Он указывает на то, что помимо глубины бассейна и динамики среды, большое влияние на интенсивность микритизации имеет скорость карбонатного осадконакопления. Так, при условии, что продолжительность кизеловского времени лежит в пределах 4–5 млн лет⁷, средняя скорость осадочного породообразования на Режевской карбонатной платформе могла составлять 60–70 м/млн лет (т.е. не менее 6 см за 1000 лет, что гораздо выше среднего значения для древних толщ [Уилсон, 1980]), а скорость седиментации, следовательно, приравнивается к “лавинной”. В таких условиях микритизация (как, впрочем, и накопление полисахаридной слизи) при всех прочих благоприятных факторах, не могла быть обширной и лучше всего проявлялась при замедлении темпов карбонатного осадконакопления. Действительно, в одних и тех же микрофациях на разных уровнях

обнаруживается различная степень биоэрозии форменных элементов – от слабо микритизированных до полностью превращенных в пелоиды зёрен. Присутствие же в разной степени преобразованных однотипных элементов в одном слое, скорее всего, свидетельствует об их волновом переносе и переотложении, поскольку представляется маловероятным, что какие-то типы карбонатных зёрен были более предпочтительны для эпиплитов, нежели другие.

В целом пелоиды сами по себе, вследствие полигенности, не могут служить надежным индикатором палеообстановки, но детальное рассмотрение отдельных разновидностей в ассоциации с другими форменными элементами и прочими компонентами пород приводит к совершенно однозначным выводам. Пелоиды в породах Першинского разреза являются полностью *синседиментационными образованиями* в отличие, например, от рифейских доломитовых пелоидов, описанных недавно в отложениях Сибирской платформы П.Ю. Петровым [2016], показавшим, что последние возникли на стадии диагенеза и могли быть связаны с деятельностью анаэробных микробных сообществ внутри погребенных слоев карбонатного ила. Наличие у пелоидов кизеловского горизонта признаков, характерных для типичных форменных элементов осадка: фашиальной приуроченности, некоторой беспорядочности в расположении, неправильности форм и в ряде случаев внутренних неоднородностей, свидетельствуют об относительной синхронности их возникновения и осадконакопления, а также о высокой вероятности участия в этих процессах микроорганизмов.

В общем случае наиболее распространенными в изученном интервале являются два типа пелоидов: 1) обрывки и обломки обызвествленной полисахаридной цианобактериальной слизи (размеры от 0.01 мм), которые на фоне окружающего матрикса выглядят более плотными и состоят из темно-серого криптозернистого кальцита, – преобладают в вакстоунах, нередко встречаются в пакстоунах;

⁷ Приблизительные оценки в соответствии с [Geologic time..., 2012].

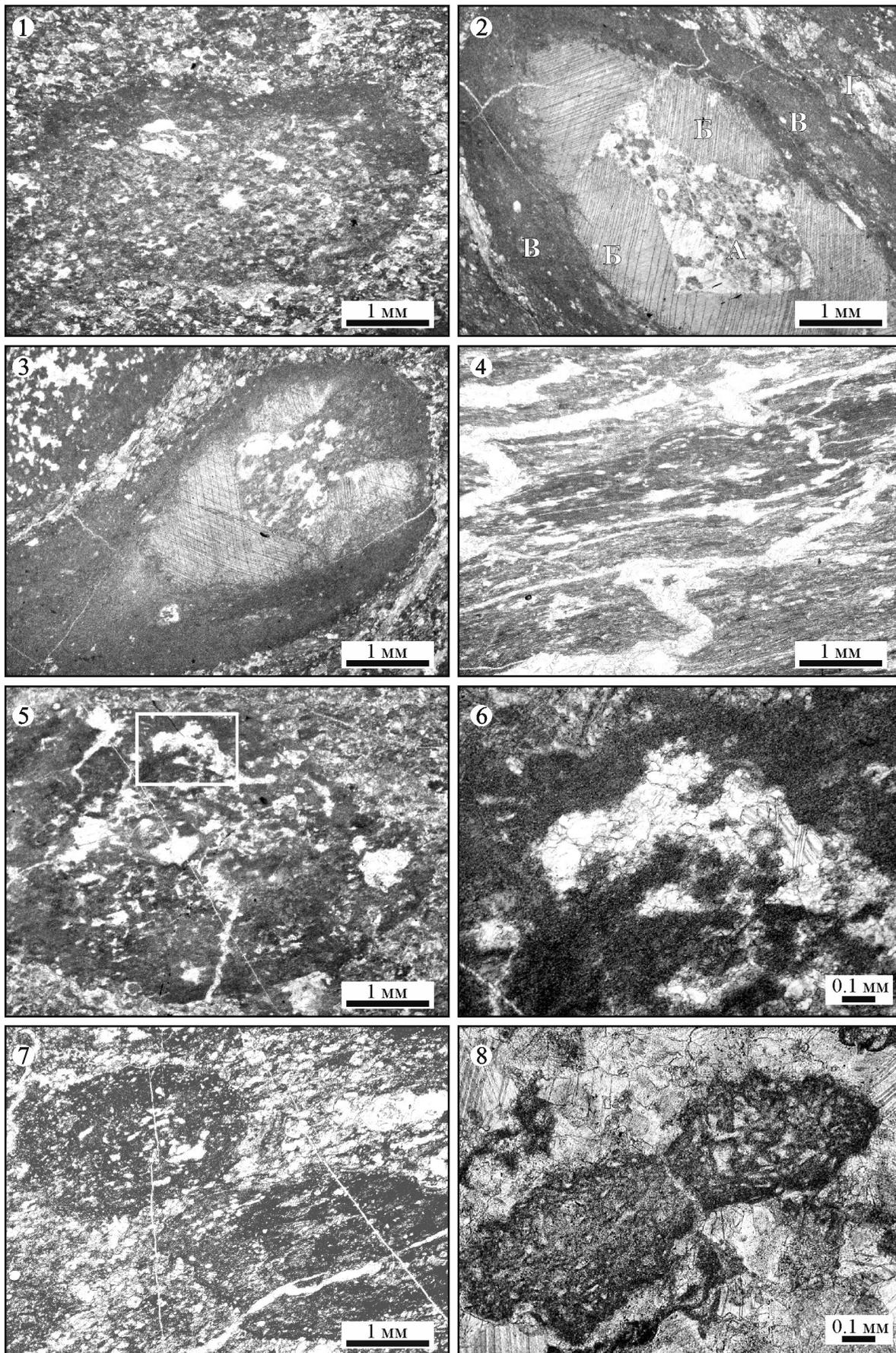


Рис. 8. Онколиты и микротромболиты кизеловского горизонта.

1–3 – онколиты: 1 – онколит с неравномерной внешней микритовой оболочкой, ядро которого представлено интракластом пакстоуна вмещающей микрофации; 2 – типичный онколит кизеловского горизонта с хорошо выраженным строением: А – заполнение внутрибиокластовой полости пелоидным грейнстоуном, Б – членник криноидеи, В – внешняя отчетливо слоистая микритовая оболочка, Г – вмещающая порода – пакстоун; 3 – аналогичный онколит: видна неравномерная микритизация членника криноидеи по периферии, в левом верхнем углу – фрагмент микротромболита; 4–8 – микротромболиты: 4 – крупный сгусток обызвествленной полисахаридной слизи *in situ* в вакстоуне; 5 – микротромболит с бесформенными газовыми пузырями в грейн-пакстоуне; 6 – детальный фрагмент этого микротромболита; 7 – микротромболиты с неоднородной внутренней структурой в пак-вакстоуне; 8 – микротромболит со структурой, напоминающей цианобактериальные сообщества, в пак-грейнстоуне.

Fig. 8. The Kizel regional substage oncoids and microtrombolites:

1–3 – oncoids: 1 – oncoid with uneven micritic outer cortex, the nucleus is represented by surrounding microfacies packstone intraclast; 2 – the Kizel regional substage typical oncoid with well-marked structure: A – peloidal grainstone within the grain hollow, Б – crinoid columnar, В – external clearly laminated micritic envelope (cortex), Г – host rock – packstone; 3 – the same oncoid: crinoid columnar is irregularly micritized, in the upper left corner – microtrombolitic fragment; 4–8 – microtrombolites: 4 – the large clot of calcareous polysaccharide mucilage *in situ* in wackestone; 5 – microtrombolite with shapeless gas vesicles in grain-packstone; 6 – the same microtrombolite detailed fragment; 7 – microtrombolites with inhomogeneous internal structure in pack-wackestone; 8 – microtrombolite with “cyanobacterial community-like” structure in pack-grainstone.

2) вторичные пелоиды, образовавшиеся вследствие микритизации мелких обломочных зерен (размеры от 0.05 до 0.5 мм, соответствуют размерам разнообразных биокластов), – сложены серым микрозернистым кальцитом, содержат в себе реликты первичных структур, – типичны для пакстоунов и грейнстоунов. На многих уровнях форменные элементы известняков могут быть представлены только одними пелоидами, максимально составляя две трети объема породы.

5. Повсеместное распространение онколитов, а также неоднородных микритовых “клубков”, напоминающих интракласты (рис. 8), является наиболее представительным признаком известняков кизеловского горизонта. Оболочки онколитов имеют слоистое строение. По всей видимости, их образование связано с обызвествлением пленок цианобактериальных матов. Ядрами онколитов обычно являются членники криноидеи, биокласты цианобактериальных сообществ или интракласты других известняков. Свидетельствами микробиального генезиса таких образований (факта наличия биопленок на зернах) служат непосредственно их неправильное концентрически-слоистое строение, структура кальцита внешних оболочек, а также отсутствие масс подобного однородного криптозернистого материала в окружающей среде. Эти микробиалиты наиболее характерны для пакстоунов, реже встречаются в грейнстоунах и вакстоунах, т.е., как правило, характерны для условий с заметной или умеренной гидродинамикой. Что касается механизма образования таких форм, то не обязательно, чтобы зерна активно перекачивались по дну; он связан преимущественно с последовательным обызвествлением биопленок. Необходимым условием служит лишь определенная подвижность зерен, достаточная для того, чтобы маты росли не на поверхности осадка, а только вокруг отдельного обломка. Такие наблюдения в целом не противоречат достаточно распространенному выводу об ак-

тивной обстановке образования этих форм, а только подтверждают его.

Помимо онколитов с ясно выделяющимся ядром в кизеловских отложениях довольно многочисленны сходные образования, но без ядра, похожие на “клубки”. Они неоднородны и большей частью сложены микро-криптокристаллическим кальцитом без упорядоченной структуры, лишь иногда по периметру обнаруживаются микритовые слойки различной толщины. Внутри этих “клубков” нередко встречаются многочисленные светлые газовые пузырьки, образующие мелкие текстуры “птичьего глаза”. Если это не результат косых сечений онколитов с неотчетливым ядром из цианобактериальных сообществ⁸, то можно предполагать их самостоятельный генезис. Вероятно, такие формы являются обломками материала малоамплитудных специфических органогенных построек наподобие иловых холмов (агглютигермов) или биостромов. В то

⁸ Одной из основных проблем, связанных с достоверной диагностикой микробиальных образований, остается разделение известковых остатков “высокоорганизованных” многоклеточных цианобактерий и следов жизнедеятельности более примитивных колониальных цианобактерий (биопленок). Последние, как правило, не полностью самостоятельные образования, а существуют в ассоциации с другими микроорганизмами, создавая для них благоприятную среду и формируя особые донные биоценозы – микробиальные маты (фоссилирующие как микробиалиты: строматолиты, онколиты и тромболиты) [Riding, 2011b]. Обе группы микробиальных образований (цианобактериальные чехлы и микробиалиты) нередко встречаются в одних отложениях. В породах кизеловского горизонта рассматриваемого разреза они также генетически связаны друг другом: обломки сообществ известковых кустистовидных цианобактерий часто покрыты серий микритовых оболочек (такое сочетание, собственно, и является онколитом/онкоидом), при этом микрит, слагающий стенки микротрубок, и микрит онколитовых оболочек идентичны по структуре.



Рис. 9. Послойные скопления онколитов и микротромболитов.

Наиболее крупные микробялиты обведены черной сплошной линией. Прерывистой линией показаны контуры ядер онколитов.

Fig. 9. Layers with oncoids and microstrombolites.

The largest microbialites outlined in black solid line. The discontinuous line shows the oncoid nuclei contours.

же время, не исключено, что подобные элементы могли возникать при сильных волнениях и размыве осадков, заполняющих отрицательные формы рельефа (в т.ч. прослойки фенестральных известняков). Также довольно правдоподобной выглядит версия, что они образовывались, как и онколиты, практически *in situ* и ассоциируют с определенными таксонами цианобактерий. В любом случае их происхождение связано с микробной деятельностью. Наиболее подходящим термином, описывающим такие образования, – “микротромболит”, по причине аналогичности структуры этих элементов комковатым микробялитам – тромболитам, подробно описанным Р. Райдингом [2011b]. От простых пелоидов их отличают размер (до 4 см) и высокая неоднородность структуры. Микротромболиты имеют самую разнообразную форму и распространены даже несколько более широко, чем онколиты, но парагенетически связаны с последними. Чаще всего эти компоненты образуют послойные (линзовидные) скопления, напоминающие *шлейфы*, формирующиеся в результате размыва более крупных микробяльных структур и переотложения образовавшихся обломков в условиях достаточно активной волновой гидродинамики (рис. 9).

НЕМИКРОБИАЛЬНЫЕ ИНДИКАТОРЫ СРЕДЫ

В бассейне осадконакопления кизеловского времени условия для нормально-морской фауны (в том числе для морских лилий) не были благоприятны

ми, вероятно, в связи с ограниченной циркуляцией вод и повышенной соленостью. Такое предположение объясняет отсутствие или крайне небольшое число мелких членков криноидей в большинстве микрофаций нижнекизеловского подгоризонта. В верхней части верхнекизеловского подгоризонта значительно возрастают число и размерность этих биокластов, иногда даже обнаруживаются сегменты из нескольких членков. Как известно, криноидеи предпочитают среду с активной гидродинамикой, свободной циркуляцией и нормальной соленостью вод. Судя по особенностям этих зерен (характер обломков, распределение по разрезу и связь с микрофациями), на протяжении всего интервала они имели единый достаточно удаленный источник сноса: морские лилии могли образовывать самостоятельные поселения в пределах бассейна осадконакопления или входить в состав какого-либо рифового комплекса. О существовании некоего барьера между внутренними областями платформы и морским глубоководным бассейном свидетельствуют микробяльные индикаторы (аномальная соленость, ограниченная циркуляция вод, благоприятная для развития цианобактерий и угнетающая для водорослей), однако надежных признаков, указывающих на настоящие рифовые постройки на окраине платформы (большое количество биокластов крупных организмов-рифостроителей), обнаружено не было. Известны лишь единичные находки обломков кораллов, мшанок, брахиопод и брюхоногих моллюсков. Тем не менее в верхах верхнекизелов-

ского подгоризонта чаще встречаются обломки раковин и зубные аппараты брахиопод [Кучева, 2014], иногда отдельные раковины остракод, но они также не свидетельствуют о наличии биогерма. Если все же такая структура существовала, то создается впечатление, что нижнекизеловские отложения формировались в дистальных по отношению к ней обстановках, а верхнекизеловские – в проксимальных. Непосредственным внешним барьером также могли служить и крупные аккумулятивные формы рельефа на окраине платформы (карбонатные пески).

ВЫВОДЫ

Осадконакопление на рассматриваемой карбонатной платформе в кизеловское время осуществлялось в пределах фотической зоны верхней сублиторали. Средняя глубина бассейна примерно соответствовала базису действия волн, что и определило разнообразие микрофаций. Тектурные и структурные признаки пород предполагают умеренное или значительное воздействие волн на характер осадконакопления. Проявления субаэральных процессов обнаружены не были. С учетом этих наблюдений, а также данных по экологии “известковых водорослей” [Уилсон, 1980], толщина водного столба, вероятно, составляла около 15 ± 5 м.

Комплекс органических остатков свидетельствует, что условия несколько отличались от нормально-морских (повышенная соленость), циркуляция вод была в некоторой степени ограниченной. По всей видимости, для внутренних областей небольшой изолированной платформы (аналогичных зарифовым обстановкам и “шельфовым лагунам” эпиконтинентальных платформ, соответствующих стандартным фаціальным поясам 7 и 8 по Дж. Уилсону [1980]) был характерен рельеф дна с низкоамплитудными положительными и отрицательными элементами. За счет механического перераспределения осадка и последующего заселения аккумулятивных форм зелеными водорослями и цианобактериями, реже фораминиферами и остракодами (при отсутствии или единичных проявлениях макрофауны) могли образовываться небольшие купола. Такие положительные формы рельефа (иловые холмы, “рифиды”) могли выступать в качестве препятствия к свободному водообмену на платформе. Они служили источником аллохем, в основном биокластов цианобактерий, зеленых водорослей, а также обособленных микробиалитов, которые сносились в понижения рельефа, нередко с образованием протяженных обломочных шлейфов. Западины располагались ниже нормального базиса действия волн и заполнялись преимущественно карбонатным илом, а также биокластами известковых зеленых водорослей (область распространения последних, по всей видимости, достигала границ впадин), в них же создавались наиболее

благоприятные условия для роста бактериальных пленок и образования фенестральных известняков. Эти осадки при достаточно крупных волнениях также могли подвергаться размыву, с ними отчасти может быть связано присутствие микротромболитов. Относительно выровненные участки дна были благоприятны для роста онколитов и интенсивной микритизации зерен.

Несмотря на то что в течение кизеловского времени обстановки осадконакопления на Режевской карбонатной платформе оставались стабильно мелководными, чередование микрофаций указывает на существование локальных участков с различающимися характеристиками (рис. 10). На фоне постоянного опускания ложа платформы (связанного с тектоническими процессами) система не оставалась статичной: впадины заполнялись, возвышения размывались, что и объясняет частую смену литотипов. Увеличение доли вакстоунов на определенных уровнях кизеловского горизонта в целом согласуется с тенденциями к некоторому углублению бассейна, полученными по данным распределения стабильных изотопов кислорода и углерода и геохимическим индикаторам окислительно-восстановительных условий [Мизенс и др., 2014]. В целом нижнекизеловские отложения формировались на некотором удалении от предполагаемого окраинного рифа (или массива карбонатных песков), а верхнекизеловские – ближе к нему, что могло быть связано с ростом этой постройки или с восстановлением нормальной циркуляции вод. Отложения перекрывающего косьвинского горизонта интерпретируются уже как околорифовые фации, но в то же время еще сохраняют унаследованные признаки обстановок внутренних областей “лагуны” (в них присутствуют кальцитархи, единичные биокласты цианобактерий и микробиалиты).

Как показали более ранние исследования, рассматриваемая карбонатная платформа находилась в бассейне окраинного моря Восточно-Европейской платформы, поэтому связь обстановок с колебаниями уровня мирового океана выражена не очень ярко [Мизенс и др., 2014, 2016]. По всей видимости, в кизеловское время амплитуда последних не превышала 10 м, так как следы выхода осадков на поверхность, как и признаки аноксических условий, однозначно отсутствуют; эти колебания, вероятно, в большинстве случаев компенсировались изменением скорости карбонатного осадконакопления.

Автор выражает признательность Г.А. Мизенсу за постоянную поддержку и полезные замечания, палеонтологам Р.М. Ивановой и Н.А. Кучевой – за помощь в идентификации палеобиоты, М.П. Покровскому – за обсуждение терминологических и классификационных вопросов. Особая благодарность – Т.И. Степановой за бесценные консультации по микрофоссилиям.

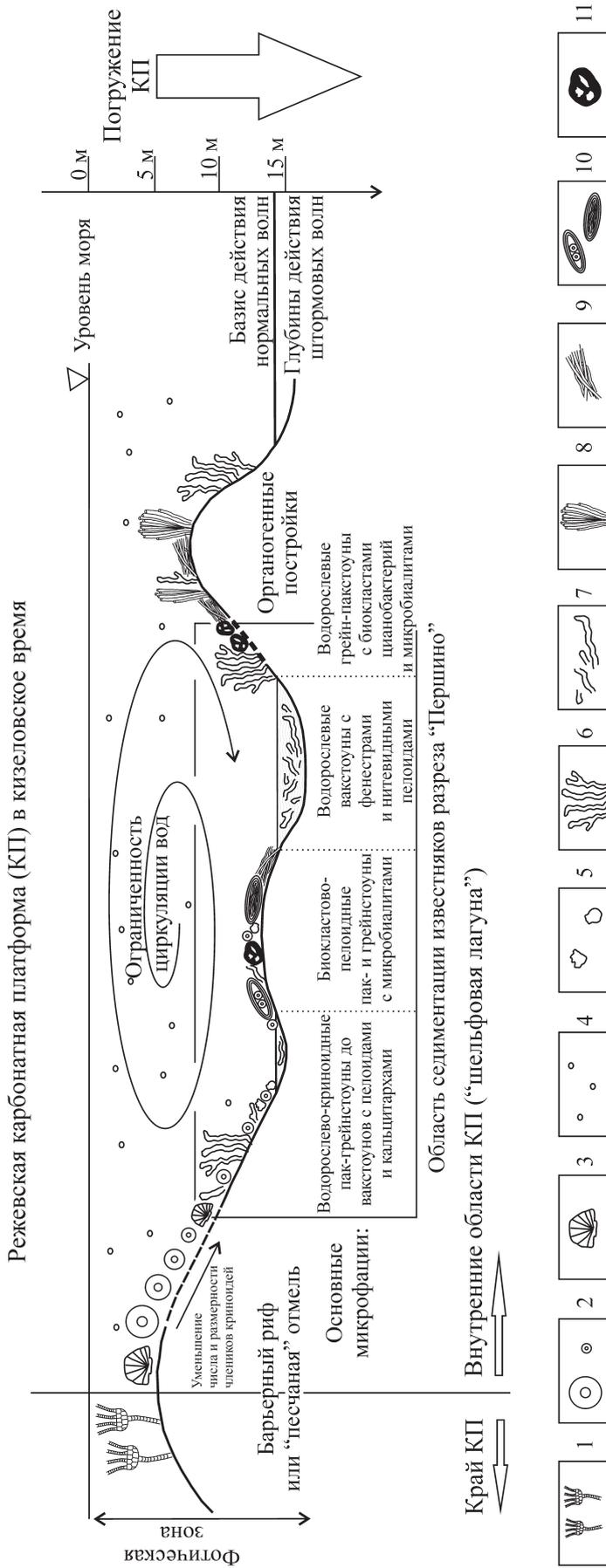


Рис. 10. Схематичный профиль обстановки осадконакопления.

1 – криноидеи, 2 – членики криноидей, 3 – крупнораковинная фауна, 4 – планктонные кальцитархи, 5 – бентосные кальцитархи, 6 – известковые кальцитархи, 7 – известковые водоросли, 8 – биокласты зеленых водорослей, 9 – известковые кустиковидные цианобактерии (сообщества цианобактерий), 10 – биокласты цианобактерий (в том числе отдельные трубки), 11 – онколиты с разными ядрами, 11 – микротромболиты/интракласты.

Fig. 10. The sedimentary environment schematic profile.

1 – crinoidea, 2 – crinoid columns, 3 – large-shell fauna, 4 – planktonic calcitarcha, 5 – benthic calcitarcha, 6 – calcareous calcitarcha, 7 – green algae bioclasts, 8 – calcareous "bushy" (dendritic) cyanobacteria (cyanobacterial community), 9 – cyanobacteria bioclasts (including isolated tubes), 10 – oncoids with various nuclei, 11 – microtrombolites/intraclasts.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-35-00263 мол_а) и программы фундаментальных исследований УрО РАН (проект № 15-18-5-36).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антошкина А.И., Пономаренко Е.С., Канева Н.А. (2014) Фенестровые известняки – специфика позднедевонских морей, Тимано-Североуральский регион. *Литология и полез. ископаемые*, (6), 493-505.
- Афанасьева М.С., Амон Э.О. (2014) Фоссилизация скелетов радиолярий. *Становление скелета у различных групп организмов и биоминерализация. Серия "Геобиологические системы в прошлом"*. М.: ПИН РАН, 104-131.
- Вдовенко М.В., Гроздилова Л.П., Раузер-Черноусова Д.М., Рейтлингер Е.А., Сабиров А.А. (1993) Справочник по систематике фораминифер палеозоя (за исключением эндотироидей и пермских многокамерных лагеноидей). М.: Наука, 126 с.
- Горбачик Т.Н., Долицкая И.В., Копаевич Л.Ф., Пирумова Л.Г. (1996) Микрорпалеонтология. М.: МГУ, 112 с.
- Журавлева И.Т., Лучинина В.А., Мешкова Н.П., Пельман Ю.Л., Репина Л.Н., Бородаевская З.В. (1983) Экология населения раннекембрийского бассейна Сибирской платформы (на примере Агдабанского рифоида). *"Проблемы экологии фауны и флоры древних бассейнов"*. К I Международному конгрессу по палеоэкологии. Тр. ПИН АН СССР, 194. М.: Наука, 33-43.
- Иванова Е.А. (1958) Развитие фауны в связи с условиями существования. М.: АН СССР, 303 с.
- Иванова Р.М. (2013) Известковые водоросли карбона Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 244 с.
- Кабанов П.Б. (2000) Микритизация осадочных частиц как фациальный индикатор в мелководно-морских карбонатных породах. *Бюллетень МОИП. Отд. Геол.*, 75(4), 39-48.
- Канева Н.А., Пономаренко Е.С., Шевчук С.С. (2013) Проблема генетической интерпретации *Calcisphaera insertae sedis* (на примере верхнедевонских отложений Тимано-Печорского региона). *Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН*, (12), 15-19.
- Кузнецов В.Г. (2007) Литология. Осадочные горные породы и их изучение. М.: Недра, 511 с.
- Кузнецов В.Г. (2016) Эволюция осадочного породообразования в истории Земли. М.: Научный мир, 212 с.
- Кучева Н.А. (2014) Особенности распространения фациальных комплексов макрофауны в карбонатных отложениях турнейского яруса разреза "Першино" (восточный склон Среднего Урала). *Ежегодник-2013*, Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 161, 32-38.
- Лучинина В.А. (1990) Кальцибионты – известковые водоросли венда-фанерозоя. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Новосибирск: ИГиГ СО РАН. 33 с.
- Марков А.В. (2009) Зачем цианобактерии выют из себя веревки. *"Элементы"*. *Новости науки*, 19.11.2009. http://elementy.ru/novosti_nauki/431195/Zachem_tsianobakterii_vyut_iz_sebya_verevki
- Марковский Б.П. (1966) Методы биофациального анализа. М.: Недра, 271 с.
- Маслов В.П. (1973) Атлас породообразующих организмов. М.: Наука, 257 с.
- Мизенс Г.А., Кулешов В.Н., Сапурин С.А., Степанова Т.И., Петров О.Л. (2016) Некоторые особенности геохимии стабильных изотопов углерода и кислорода ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$) в разрезе изолированной карбонатной платформы на востоке Урала (фаменский и турнейский ярусы). *Литосфера*, (3), 126-138.
- Мизенс Г.А., Степанова Т.И., Кучева Н.А., Сапурин С.А. (2014) Геохимические особенности известняков и условия осадконакопления на изолированной карбонатной платформе в позднем девоне и начале карбона на восточной окраине Урала. *Литосфера*, (6), 53-76.
- Петров П.Ю. (2016) Molar tooth structures и происхождение пеллоидов протерозойских карбонатных платформ (средний рифей Туруханского поднятия Сибири). *Литология и полез. ископаемые*, (4), 336-358.
- Постановление Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 38. Каменноугольная система. (2008) СПб: ВСЕГЕИ, 61-68.
- Постоялко М.В., Кучева Н.А., Степанова Т.И., Ширшова Д.И. (1999) Фаунистическая характеристика отложений фаменского и турнейского ярусов в разрезе "Першино". *Проблемы стратиграфии и палеонтологии Урала*. Екатеринбург: Минприроды РФ, ОАО УГСЭ, 114-136.
- Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 145 с.
- Рейтлингер Е.А. (1957) Сферы девонских отложений Русской платформы. *Докл. АН СССР*, 115(4), 774-776.
- Рейтлингер Е.А. (1960) Характеристика озерских и хованских слоев по микроскопическим органическим остаткам (Центральная часть Русской платформы). М.: Госгортехиздат, 136-177.
- Рифогенные постройки в палеозое России. (1997) (Ред. А.Б. Ивановский). М.: Наука, 157 с.
- Сабиров А.А. (2015) Классификация и филогения палеозойских известковых фораминифер отряда Earlandiida. *Изв. АН Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук*, 161(4), 128-137.
- Сапурин С.А., Мизенс Г.А. (2014) К вопросу об условиях образования пеллоидных известняков восточного склона Среднего Урала. *Ежегодник-2013*, Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 161, 108-111.
- Степанова Т.И. (2014) Зависимость состава комплексов фораминифер от микрофаций на примере верхнесерпуховских отложений в разрезе "Бражка". *Ежегодник-2013*, Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 161, 112-119.
- Степанова Т.И. (2015) Особенности фораминиферовой зональности в верхнедевонских-турнейских отложениях восточной зоны Среднего Урала (на примере разреза "Першино"). *"Современная микрорпалеонтология"*. Тр. XVI микрорпалеонтологического совещания. Калининград, 275-278.
- Фортунатова Н.К., Карцева О.А., Баранова А.В., Агафонова Г.В., Офман И.П. (2005) Атлас структурных компонентов карбонатных пород. М.: ВНИГНИ, 440 с.
- Чувашов Б.И. (1968) История развития и биомическая характеристика позднедевонского бассейна на западном склоне Среднего и Южного Урала. М.: Наука, 132 с.
- Шуйский В.П. (1973) Известковые рифообразующие водоросли нижнего девона Урала. М.: Наука, 155 с.
- Шуйский В.П. (1981) Фациальная природа фамен-тур-

- нейских отложений Киенгопского вала. *Литология и условия образования докембрийских и палеозойских отложений Урала*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 54-70.
- Уилсон Дж.Л. (1980) Карбонатные фации в геологической истории. М.: Недра, 463 с.
- Berkyova S., Munnecke A. (2010) "Calcspheres" as a source of lime mud and peloids – evidence from the early Middle Devonian of the Prague Basin, the Czech Republic. *Bulletin Geosciences*, **85**(4), 585-602.
- Flugel E. (2004) Microfacies of carbonate rocks. Analysis, interpretation and application. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 976 p.
- Garcia-Pichel F., Wojciechowski M.F. (2009) The Evolution of a Capacity to Build Supra-Cellular Ropes Enabled Filamentous Cyanobacteria to Colonize Highly Erodible Substrates. *PLoS ONE*, **4**(11). 6 p.
- Garwood E. J. (1914) Some new rock-building organisms from the Lower Carboniferous beds of Westmorland. *Geol. Magazine*, *6th decade*. (1), 265-271.
- Geologic Time Scale 2012 (2012) F. M. Gradstein, J. G. Ogg, M. D. Schmitz, G. M. Ogg (eds). Elsevier, 1144 p.
- Grange J.S., Rybarczyk H., Tribollet A. (2015) The three steps of the carbonate biogenic dissolution process by microborers in coral reefs (New Caledonia). *Environmental Science and Pollution Research*, **22**(18), 13625-13637.
- James N.P., Gravestock D.I. (1990) Lower Cambrian shelf and shelf margin buildups, Flinders Ranges, South Australia. *Sedimentology*, **37**, 455-480.
- Madigan M.T., Martinko J.M., Stahl D.A., Clark D.P. (2012) Biology of microorganisms. (ed. Brock), 1155 p.
- Racki G., Sobon-Podgorska J. (1993) Givetian and Frasnian calcareous microbios of the Holy Cross Mountains. *Acta Palaeontologica Polonica*, **37**(2-4), 255-289.
- Riding R. (2011a) Calcified cyanobacteria. *Encyclopedia of Geobiology, Encyclopedia of Earth Science Series*. Springer, Heidelberg, 211-223.
- Riding R. (2011b) Microbialites, stromatolites and thrombolites. *Encyclopedia of Geobiology, Encyclopedia of Earth Science Series*. Springer, Heidelberg, 635-654.
- Ruggiero M.A., Gordon D.P., Orrell T.M., Bailly N., Bourgoin T., Brusca R.C., Cavalier-Smith T., Guiry M.D., Kirk P.M. (2015) A Higher Level Classification of All Living Organisms. *PLoS ONE*, **10**(4), 60 p.
- Servais T., Munnecke A., Versteegh G.J.M. (2009) Silurian calcspheres (Calcitarcha) of Gotland (Sweden): comparisons with calcareous dinoflagellates. *C. R. Paleovol.*, **8**, 527-534.
- Tribollet A., Radtke G., Golubic S. (2011) Bioerosion. *Encyclopedia of Geobiology, Encyclopedia of Earth Science Series*. Springer, Heidelberg, 117-134.
- Tucker M.E., Wright V.P. (1990) Carbonate sedimentology. Blackwell Scientific. Oxford, 482 p.
- Versteegh G.J.M., Servais T., Munnecke A., Streng M., Vachard D. (2009) A discussion and proposal concerning the use of the term calcspheres. *Palaeontology*, **52**(2), 343-348.
- organizmov i biomineralizatsija. Seriya "Geo-biologicheskiye sistemy v proshlom"* [Formation of the skeleton in different groups of organisms and biomineralization. Series "Geo-biological systems in the past"]. Moscow, PIN RAN Publ., 104-131. (In Russian)
- Antoshkina A.I., Ponomarenko E.S., Kaneva N.A. (2014) Fenestral limestones – specific feature of the Late Devonian seas, Timan–Northern Urals]. *Litol Polezn. Iskop*, (6), 493-505. (In Russian)
- Berkyova S., Munnecke A. (2010) "Calcspheres" as a source of lime mud and peloids – evidence from the early Middle Devonian of the Prague Basin, the Czech Republic. *Bull. Geosciences*, **85**(4), 585-602.
- Chuvashov B.I. (1968) *Istorija razvitija i bionomicheskaja kharakteristika pozdne-devonskogo basseyna na zapadnom sklone Srednego i Juzhnogo Urala* [History and bionomic characteristic of the Late Devonian basin on the Middle and South Urals western slope]. Moscow, Nauka Publ., 132 p. (In Russian)
- Flugel E. (2004) Microfacies of carbonate rocks. Analysis, interpretation and application. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 976 p.
- Fortunatova N.K., Kartseva O.A., Baranova A.V., Agafonova G.V., Ofman I.P. (2005) *Atlas strukturnykh komponentov karbonatnykh porod* [Atlas of carbonate rocks structural components]. Moscow: VNIGNI Publ., 440 p. (In Russian)
- Garcia-Pichel F., Wojciechowski M.F. (2009) The Evolution of a Capacity to Build Supra-Cellular Ropes Enabled Filamentous Cyanobacteria to Colonize Highly Erodible Substrates. *PLoS ONE*, **4**(11). 6 p.
- Garwood E.J. (1914) Some new rock-building organisms from the Lower Carboniferous beds of Westmorland. *Geol. Magazine*, *6th decade*, (1), 265-271.
- Geologic Time Scale 2012 (2012) F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg (eds). Elsevier, 1144 p.
- Gorbachik T.N., Dolitskaya I.V., Kopayevich L.F., Pirumova L.G. (1996) Mikropaleontologija [Micropaleontology]. Moscow, Moscow State Univ. Publ., 112 p. (In Russian)
- Grange J.S., Rybarczyk H., Tribollet A. (2015) The three steps of the carbonate biogenic dissolution process by microborers in coral reefs (New Caledonia). *Environmental Science and Pollution Research*, **22**(18), 13625-13637.
- Ivanova E.A. (1958) *Razvitie fauny v svyazi s uslovijami sushchestvovaniya* [The fauna evolution in dependence to existence conditions]. Moscow: AN SSSR, 303 p. (In Russian)
- Ivanova R.M. (2013) *Izvestkovye vodorosli karbona Urala* [Calcareous algae of the Urals Carboniferous]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 244 p. (In Russian)
- James N.P., Gravestock D.I. (1990) Lower Cambrian shelf and shelf margin buildups, Flinders Ranges, South Australia. *Sedimentology*, **37**, 455-480.
- Kabanov P.B. (2000) Sedimentary particles micritization as a facies indicator in shallow-marine carbonate rocks. *Bull MOIP. Ser. Geol.*, **75**(4), 39-48. (In Russian)
- Kaneva N.A., Ponomarenko E.S., Shevchuk S.S. (2013) The problem of genetic interpretation. *Calcisphaera incertae sedis* (case study the Upper Devonian deposits of the Timan-Pechora region)]. *Vest. Inst. Geol. Komi NTs, UB RAS*, (12), 15-19. (In Russian)
- Kuceva N.A. (2014) Distribution characteristics of mac-

REFERENCES

- rofauna facial complexes in carbonate sediments of the "Persino" section, the Tournasian Stage (the Middle Urals eastern slope)]. *Ezhegodnik-2013*, Proc. IGG UB RAS, V. 161, 32-38. (In Russian)
- Kuznetsov V.G. (2007) *Litologiya. Osadochnye gornye porody i ikh izuchenie* [Lithology. Sedimentary rocks and their study]. Moscow, Nedra Publ., 511 p. (In Russian)
- Kuznetsov V.G. (2016) *Evolutsiya osadochnogo porodobrazovaniya v istorii Zemli* [Sedimentary rocks evolution in the Earth's history]. Moscow: Nauchnyi mir Publ., 212 p. (In Russian)
- Luchinina V.A. (1990) Kal'tsibionty – izvestkovye vodorosli vendaro-zoia. Dis. dokt. geol.-min. nauk [Calcibionta – calcareous algae of the Vend-Fanerozoic. Dr geol and min sc. diss.]. Novosibirsk, IGI SB RAS. 33 p. (In Russian)
- Madigan M.T., Martinko J.M., Stahl D.A., Clark D.P. (2012) *Biology of microorganisms*. 13th ed. Brock, 1155 p.
- Markov A.V. (2009) Why cyanobacteria weave itself in ropes. "Elementy". *Novosti nauki*, 19.11.2009. http://elementy.ru/novosti_nauki/431195/Zachem_tsianobakterii_vyut_iz_sebya_verevki
- Markovskiy B.P. (1966) *Metody biofatsial'nogo analiza* [Methods of biofacies analysis]. Moscow, Nedra Publ., 271 p. (In Russian)
- Maslov V.P. (1973) *Atlas porodobrazujushchikh organizmov* [Atlas of the rock-forming organisms]. Moscow: Nauka Publ., 257 p. (In Russian)
- Mizens G.A., Kuleshov V.N., Sapurin S.A., Stepanova T.I., Petrov O.L. (2016) Some specific features of carbon and oxygen stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$) geochemistry in the isolated carbonate platform section on the east of the Urals (the Famennian and Tournasian Stages). *Litosfera*, (3), 126-138. (In Russian)
- Mizens G.A., Stepanova T.I., Kucheva N.A., Sapurin S.A. (2014) Geochemical features of limestones and depositional environment on the isolated carbonate platform on the eastern Urals margin during the Late Devonian and Early Carboniferous. *Litosfera*, (6), 53-76. (In Russian)
- Petrov P.Yu. (2016) Molar tooth structures and peloids genesis of the Proterozoic carbonate platforms (Turukhansk uplift of Siberia, the Middle Riphean)]. *Litol. Polezn. Iskop.*, (4), 336-358. (In Russian)
- Postanovlenie Mezhdvodomstvennogo stratigraficheskogo komiteta i ego postojannykh komissiy. Vyp. 38. Kamennougol'naya sistema [Resolution of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its standing committees. V. 38. Carboniferous System] (2008) St-Petersburg, VSEGEI Publ., 61-68. (In Russian)
- Postoyalko M.V., Kucheva N.A., Stepanova T.I., Shirshova D.I. (1999) Faunal characteristics of the Famennian and Tournasian sediments of the "Persino" section. "Problemy stratigrafii i paleontologii Urala" [Problems of Stratigraphy and Paleontology of the Urals]. Ekaterinburg: Minprirody RF, OAO UGSE, 114-136. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2000) *Paleogeodinamika Juzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa, Daurija Publ., 145 p. (In Russian)
- Racki G., Sobon-Podgorska J. (1993) Givetian and Frasnian calcareous microbiotas of the Holy Cross Mountains. *Acta Palaeontologica Polonica*, 37(2-4), 255-289.
- Reytlinger E.A. (1957) Spheres of Russian platform Devonian sediments. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 115(4), 774-776. (In Russian)
- Reytlinger E.A. (1960) Ozersk and Khovansk Layers characteristics by microscopic fossils (central part of the Russian platform)]. Moscow, Gosgortekhzdat Publ., 136-177. (In Russian)
- Riding R. (2011a) Calcified cyanobacteria. *Encyclopedia of Geobiology, Encyclopedia of Earth Science Series*. Springer, Heidelberg, 211-223.
- Riding R. (2011b) Microbialites, stromatolites and thrombolites. *Encyclopedia of Geobiology, Encyclopedia of Earth Science Series*. Springer, Heidelberg, 635-654.
- Rifogennye postroyki v paleozoe Rossii (1997) (Ed. A.B. Ivanovskii) [Reefs in the Paleozoic of Russia]. (Ed. A.V. Ivanovskii). Moscow, Nauka Publ., 157 p. (In Russian)
- Ruggiero M.A., Gordon D.P., Orrell T.M., Bailly N., Bourgoin T., Brusca R.C., Cavalier-Smith T., Guiry M.D., Kirk P.M. (2015) A Higher Level Classification of All Living Organisms. *PLoS ONE*, 10(4), 60 p.
- Sabirov A.A. (2015) Classification and phylogeny of the calcareous Paleozoic foraminifera order Earlandiida]. *Izv. Akad. Nauk Respubliki Tadjikistan Republ. Detachment phys and math., chem., geol., and eng. sc.*, 161(4), 128-137. (In Russian)
- Sapurin S.A., Mizens G.A. (2014) Peloidal limestones sedimentary environments identification problem on the Middle Urals eastern slope]. *Ezhegodnik-2013*, Proc. IGG UB RAS. V. 161, 108-111. (In Russian)
- Servais T., Munnecke A., Versteegh G.J.M. (2009) Silurian calcispheres (Calcitarcha) of Gotland (Sweden): comparisons with calcareous dinoflagellates. *C. R. Palevol.*, 8, 527-534.
- Shuyskiy V.P. (1973) *Izvestkovye rifoobrazujushchie vodorosli nizhnego devona Urala* [Calcareous reef-building algae in the Lower Devonian of Urals]. Moscow, Nauka Publ., 155 p. (In Russian)
- Shuyskiy V.P. (1981) Facies of the Kiengopskii swell Famennian-Tournasian deposits. *Litologiya i uslovia obrazovaniya dokembriyskikh i paleozoyskikh otlozheniy Urala* [Lithology and conditions of formation Precambrian and Paleozoic deposits of the Urals], Sverdlovsk, UNTs Akad. Nauk SSSR, 54-70. (In Russian)
- Stepanova T.I. (2014) The dependence of the foraminifera complexes composition from the microfacies: case study the Upper Serpukhovian deposits of the "Brazhka" section. *Ezhegodnik-2013*, Proc. IGG UB RAS. V. 161, 112-119. (In Russian)
- Stepanova T.I. (2015) Foraminiferal zonation features in the Upper Devonian-Tournasian deposits of the Middle Urals eastern zone (case study "Persino" section)]. "Sovremennaja mikropaleontologiya" Trudy XVI mikropaleontologicheskogo soveshchaniya ["Modern micropaleontology". Proc. XVI Micropaleontological Meeting]. Kaliningrad, 275-278. (In Russian)
- Tribollet A., Radtke G., Golubic S. (2011) Bioerosion. *Encyclopedia of Geobiology, Encyclopedia of Earth Science Series*. Springer, Heidelberg, 117-134.
- Tucker M.E., Wright V.P. (1990) *Carbonate sedimentology*. Blackwell Scientific. Oxford, 482 p.
- Vdovenko M.V., Grozdilova L.P., Rauzer-Chernousova D.M., Reytlinger E.A., Sabirov A.A. (1993) *Spravochnik po sistematike foraminifer paleozoja (za iskljucheniem endotiroidey i permskikh mnogokamernykh lagenoidy)* [Handbook of Paleozoic foraminifera sys-

- tematics (except endotiroidea and Permian multichambered lagenoidea)]. Moscow, Nauka Publ., 126 p. (In Russian)
- Versteegh G.J.M., Servais T., Munnecke A., Streng M., Vachard D. (2009) A discussion and proposal concerning the use of the term calcispheres. *Palaeontology*, **52**(2), 343-348.
- Wilson J.L. (1980) *Karbonatnye fatsii v geologicheskoy istorii* [Carbonate facies in geologic history]. Moscow, Nedra Publ., 463 p. (In Russian)
- Zhuravleva I.T., Luchinina V.A., Meshkova N.P., Pel'man Yu.L., Repina L.N., Borodayevskaya Z.V. (1983) Biocenosis of the Siberian Platform Early Cambrian basin (case study the Atdabanian rifoid). "Problemy ekologii fauny i flory drevnikh basseynov". K I Mezhdunarodnomu kongressu po paleoekologii [Problems of ecology of fauna and flora of ancient basins "To the First International Congress on Paleocology"]. Proc. of the Paleontological Institute, Akad. Nauk, SSSR, V. **194**. Moscow, Nauka Publ., 33-43. (In Russian)