

МИКРОБИОТА КАЛТАСИНСКОЙ СВИТЫ НИЖНЕГО РИФЕЯ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В СВЕТЕ НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ОКСИГЕНИЗАЦИИ ПРОТЕРОЗОЙСКОГО ОКЕАНА

© 2018 г. В. Н. Сергеев¹, Н. Д. Сергеева², Э. А. Сперлинг³,
Мукунд Шарма⁴, Н. Г. Воробьева¹

¹ Геологический институт РАН, г. Москва, Россия. E-mail: sergeev-micro@rambler.ru

² Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия. E-mail: riphey@ufaras.ru

³ Стэнфордский университет, Стэнфорд, США. E-mail: esper@stanford.edu

⁴ Палеоботанический институт Барбала Сани, Лакнау, Индия.

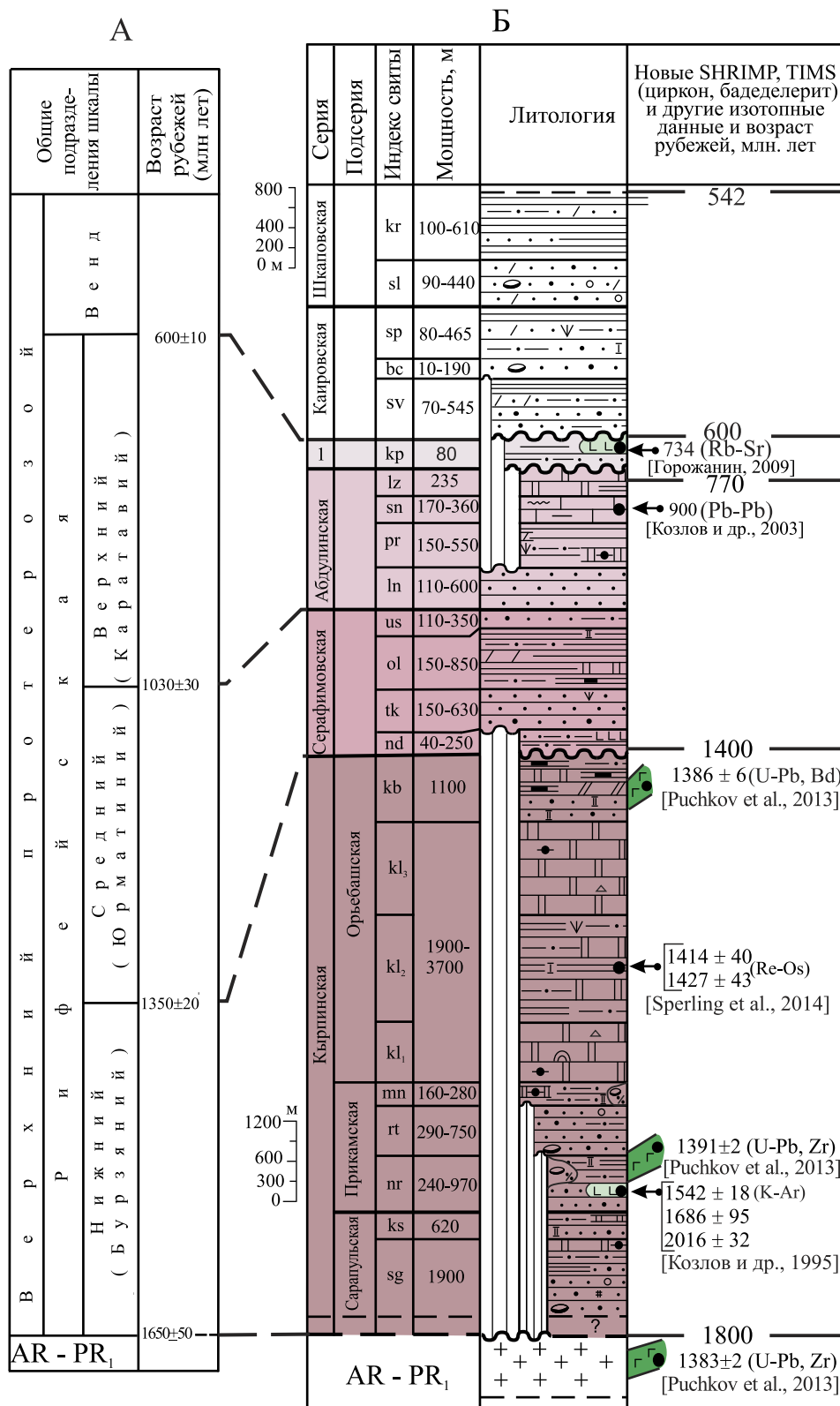
E-mail: sharmatikundl@rediffmail.com

Введение

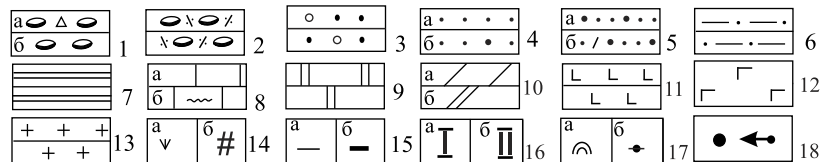
На раннерифейском этапе эволюции биосферы в отложениях встречаются многочисленные микроостатки: прокариотные цианобактерии и эвкариотные, прежде всего зеленые, микроводоросли. До недавнего времени все разнообразие найденных морфотипов в раннерифейских образованиях в основном сводилось к таксонам различных цианобактерий, а многие относительно сложно построенные и крупные формы, найденные в раннемезопротерозойских отложениях, считались микрофоссилиями более молодого возраста, присутствующими в породах, ошибочно датированных ранним рифеем. Однако материалы последних 10–15 лет подтвердили высокий уровень эволюционного развития докембрийской эвкариотной микрофлоры уже в раннем рифее, что в данной статье рассматривается на новом материале по микробиоте из отложений калтасинской свиты нижнего рифея Волго-Уральской области.

Калтасинская свита (стратиграфическое положение, состав и строение)

Калтасинская свита орьебашской подсерии кырпинской серии нижнего рифея является основной маркирующей толщей в осадочных комплексах верхнего докембрия Волго-Уральской области и используется при межрегиональной корреляции (рис. 1). Свита впервые выделена К.Р. Тимергазиным [16] со стратотипом в скважине 3 Калтасинская в интервале глубин 1996–2014 м и названа по д. Калтасы Калтасинского района Республики Башкортостан. Наиболее полные (непрерывные) разрезы свиты были вскрыты скважинами 7000 Арланская, 83 Калтасинская, 82 Орьебашская, пробуренными в 60–70 гг. прошлого века на севере платформенного Башкортостана. Однако керновый материал этих скважин в настоящее время сохранился лишь в авторских коллекциях. В Волго-Уральской области с 1971 по 1991 гг. в рамках единой Государственной программы СССР были пробурены параметрические скважины: 203 Бедряжская (56,340809° с. ш., 55,475973° в. д.), 133 Азино-Пальниковская (56,523374° с. ш., 53,529541° в. д.) и в 2004 г. — 1 Восточно-Аскинская (56,0538° с. ш., 59,4210° в. д.). По керновому материалу этих скважин получена новая информация о вещественном составе, стратиграфии, геохронологии и микропалеонтологии нижнего рифея и прежде всего калтасинской свиты ВУО (рис. 2). Новые хемостратиграфические исследования и изотопное датирование осадочных и магматических образований докембрийских отложений, вскрытых в перечисленных скважинах, значительно уточнили стратиграфическую позицию и возрастную характеристику калтасинской свиты (см. рис. 1). Раннерифейский возраст калтасинской свиты кырпинской серии надежно определяют Re-Os изотопные датировки (1414±40 млн лет и 1427±43 млн лет [25]) аргиллитов арланской подсвиты калтасинской свиты скважины 203 Бедряжская (см. рис. 2). Ранее раннерифейский возраст калтасинской свиты и (шире) всей кырпинской серии был подтвержден хемостратиграфическими исследованиями, проведенными совместно с геологами университетов США — Теннесси и Западной Джорджии [5]. Было показано, что низкие отношения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr и почти



1-Завершающий рифей



← **Рис. 1. Общие подразделения Стратиграфической шкалы верхнего докембрия России [9, 15] (А) и Сводная литолого-стратиграфическая колонка отложений рифея и венда Волго-Уральской области (Б) [14]**

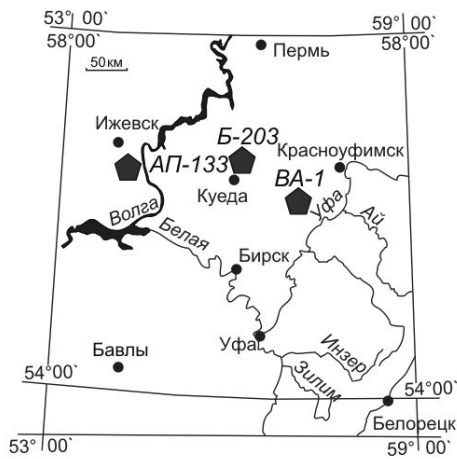
Условные обозначения: 1 — конгломерато-брекчии (а), конгломераты (б); 2 — тиллиты и тиллоиды, 3 — гравелиты, 4–5 — песчаники: 4 — кварцевые (а) и полевошпат-кварцевые (б), 5 — аркозовые (а) и полимиктовые (б); 6 — алевролиты, 7 — аргиллиты, 8 — известняки (а) и струйчатые известняки (б); 9 — доломиты, 10 — мергели известковые (а) и доломитовые (б); 11 — базальты, 12 — габбродолериты, 13 — породы кристаллического фундамента, 14–16 — характеристика породы: 14 — глауконит (а), ангидритизация (б); 15 — глинистость (а) и углеродистость (б), 16 — кальцитизация (а), доломитизация (б); 17 — палеонтологические остатки: строматолиты (а) и микрофитолиты (б)? 18 — местоположение датированных проб. **Свиты:** sg — сигаевская, ks — костинская, ng — норкинская, rt — ротковская, mn — минаевская, kl — калтасинская, kb — кабаковская, nd — надеждинская, tk — тукаевская, ol — ольховская, us — усинская, ln — леонидовская, rg — приютовская, sn — шиханская, lz — леузинская, kp — кипчакская, sv — сергеевская, bc — байкибашевская, sp — старопетровская, sl — салиховская, kr — карлинская.

инвариантные значения $\delta^{13}\text{C}$ в карбонатах калтасинской свиты, изученных в разрезах скважин 133 Азино-Пальниковской и 203 Бедряжской, явно контрастируют с этими параметрами в средне- и верхнерифейских отложениях и сравнимы с изотопными характеристиками нижнерифейских (мезопротерозойских отложений древнее 1300 млн лет). Датировка (1386 ± 6 млн лет), полученная U-Pb методом (SHRIMP-II) по бадделеиту для дайки габбродолерита, прорывающей отложения кабаковской свиты в скв. 1 Восточно-Аскинская [13], контролируют верхний возрастной предел образований кабаковской и калтасинской свит и всей кырпинской серии, и дают основание для отнесения кырпинской серии к нижнему рифею (см. рис. 2).

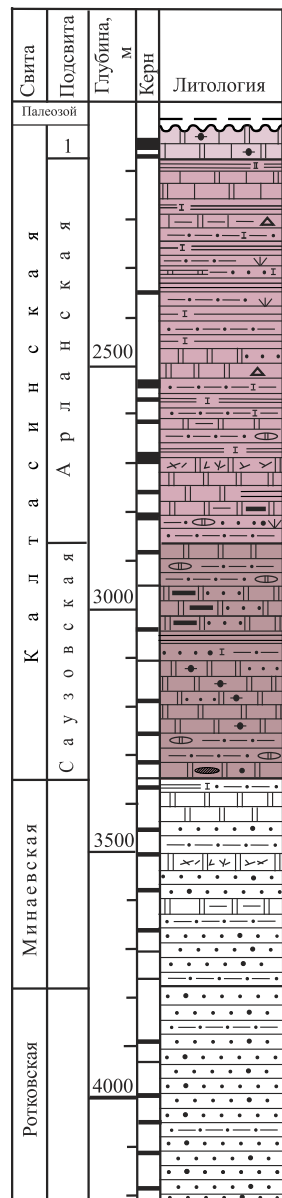
Для микропалеонтологических исследований был отобран представительный материал из отложений калтасинской свиты в скважинах 133 Азино-Пальниковская, 203 Бедряжская и 1 Восточно-Аскинская, где стратиграфическая позиция и возраст этих отложений получили надежное обоснование.

В скважине 133 Азино-Пальниковская, расположенной в сводовой части одноименного сейсмического поднятия в 40 км юго-восточнее г. Ижевска (Удмуртская республика), калтасинская свита вскрыта в интервале глубин 2024–3350 м и представлена терригенно-карбонатными отложениями, расчлененными (снизу) на саузовскую, арланскую и ашитскую подсвиты (см. рис. 1). Саузовская подсвита сложена доломитами нередко обломочными с прослоями аргиллитов, песчаников и алевролитов субаркозового и полевошпат-кварцевого состава; отмечаются стилолитовые швы, заполненные глинистым материалом и метаморфизованными битумоидами и нередко пиритизированные. Арланская подсвита представлена неравномерным чередованием доломитов и аркозовых, субаркозовых и полевошпат-кварцевых песчаников и алевролитов, их доломитовых разностей и аргиллитов. В аргиллитах подсвиты (см. рис. 1) А.Ф. Вейсом [6] была выявлена представительная микробиота органостенных форм и названа пальниковской по наименованию скважины. Стратиграфически значимыми таксонами пальниковской биоты были сочтены акритархи *Chuarina*?, *Simia*, *Navifusa*, *Spumosina*, колониальные коккоидные микрофоссилии *Ostiana*, своеобразные фрагменты *Asperatofilum*, многорядные *Polytrichoides*, орнаментированные *Siphonophycus*, удлиненно-эллипсоидальные *Brevitrichoides*, трубчатые? кутикулярные образования *Rectia* и *Plicatidium*, широкие нити *Polaeolynghya sphaerocephala* Herm. et Pyl., гигантские трихомы и трихомоподобные образования, сложнопостроенные *Pellicularia*, оболочки с длинным одиночным выростом *Caudosphaera*, талломы с продольной текстурой ex gr. *Pseudodendron* и наиболее крупные ветвящиеся талломы *Archaeoclada*. Перечисленные в составе пальниковской микробиоты таксоны свидетельствовали о близости последней к микробиотам каратавия (мулдакаевской, шишенякской и укской) стратотипа рифея, что послужило А.Ф. Вейсу [6] поводом для отнесения калтасинской свиты к верхнему рифею. Ашитская подсвита существенно карбонатная и по составу и облику пород близка саузовской подсвите. Вскрытая мощность калтасинской свиты в скважине 133 Азино-Пальниковская составляет 1336 м.

В скважине 203 Бедряжская, расположенной на юге Пермского края в 25 км севернее г. Куеда на одноименном сейсмическом поднятии, отложения калтасинской свиты (интервал глубин 2339–4458 м) представлены преимущественно известняками тонкозернистыми, глинистыми, серыми

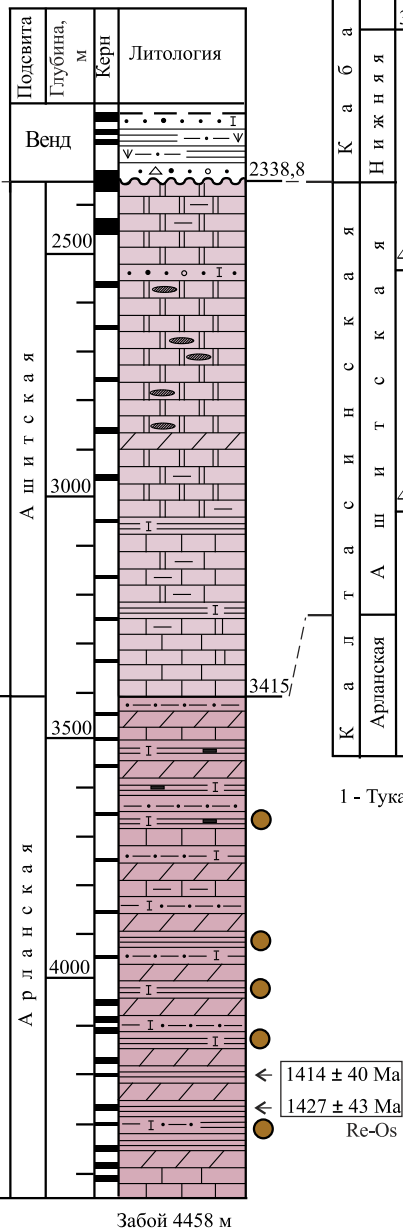


С-133 Азино-Пальниковская



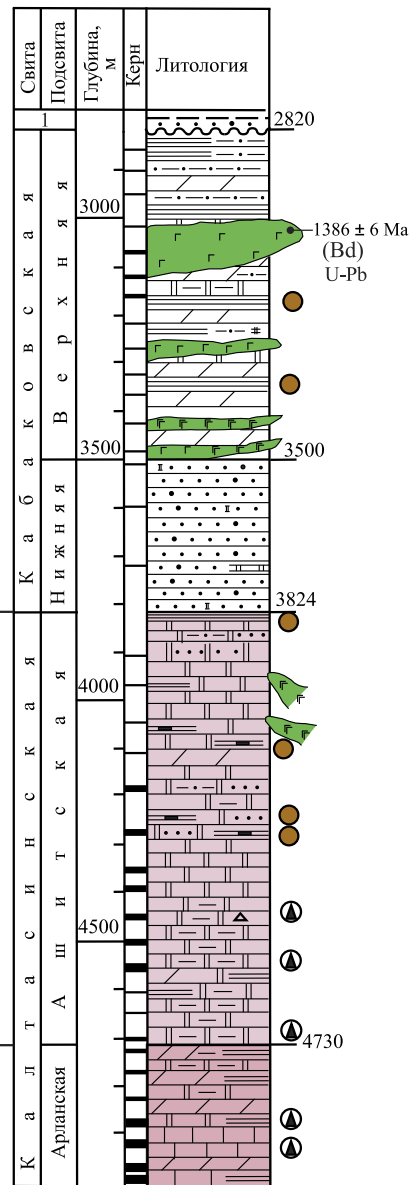
1 - Ашитская; Забой 4204 м

С-203 Бедряжская



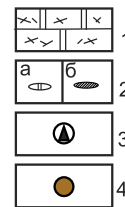
Забой 4458 м

С-1 Восточно-Аскинская



Забой 5000 м

1 - Тукаевская;



← 1414 ± 40 Ma
← 1427 ± 43 Ma
Re-Os

← **Рис. 2. Сопоставление разрезов калтасинской свиты нижнего рифея по профилю скважин 133 Азино-Пальниковская – 203 Бедряжская – 1 Восточно-Аскинская**

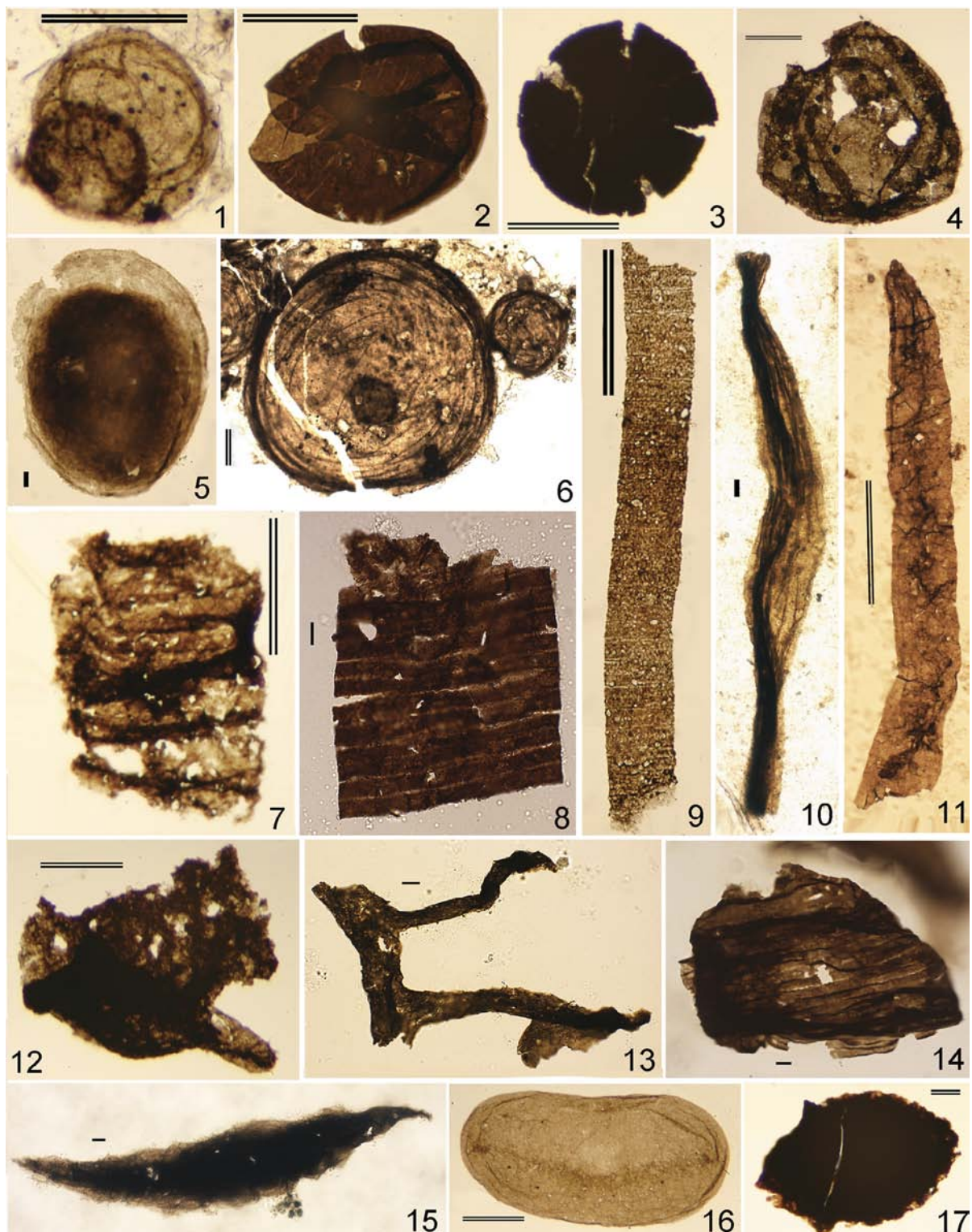
Условные обозначения: 1 — зона трещиноватости, 2 — доломитовые интракласты (а), кремни (б), 3 — проявления битума, 4 — местоположение проб на микрофоссилии. Остальные условные обозначения см. рис. 1.

и коричневато-серыми с прослоями аргиллитов зеленовато- и темно-серых и доломитовых мергелей зеленовато-серых. Иногда на плоскостях наложения в коричневато-серых известняках видны тонкие пленки битума. По особенностям состава и порядку напластования калтасинская свита подразделена здесь на подсвиты (снизу): саузовскую, сложенную в основном известняками тонкозернистыми, серыми и коричневато-серыми с прослоями зеленовато-серых аргиллитов, мощностью 78 м; арланскую, представленную неравномерным чередованием аргиллитов, доломитовых мергелей, известняков доломитизированных и алевролитов кварцевых, зеленовато-серых, мощностью 965 м; ашитскую, представленную известняками и доломитами тонкозернистыми серыми, прослоями с коричневатым оттенком, и доломитовыми мергелями розовато- и зеленовато-серыми. Породы участками окремненные, с гравийной примесью полупрозрачного кварца, а на плоскостях наложения наблюдаются трещины гидроразрыва. Мощность подсвиты около 75 м, а всей свиты 2120 м.

В скважине **1 Восточно-Аскинская**, расположенной в республике Башкортостан вблизи границы с Пермским краем (см. рис. 1) на северо-восточном борту Камско-Бельского авлакогена, калтасинская свита вскрыта в интервале глубин 3824–5000 м, где сложена доломитами (преобладают), доломитовыми мергелями и известняками; аргиллиты и песчаники — подчинены. В целом породы свиты серого цвета (преобладают темные тона окраски), тонко и неравномерно слоистые. Слоистость большей частью пологоволнистая, субгоризонтальная, выдержанная, реже прерывистая и линзовидная. Отмечаются стилолитовые швы и тончайшие (от долей до 1 мм) буровато-коричневые, темно-бурые и черные слои глинистого и углеродисто-глинистого материала, часто пропитанные битумом. По литологическому составу и соотношению пород в переслаивании калтасинская свита расчленена здесь на арланскую и ашитскую подсвиты, вскрытая мощность которых достигает 1176 м.

Микробиота калтасинской свиты и обстановки ее обитания

Микробиота калтасинской свиты Волго-Уральской области является одной из наиболее интересных и проблематичных ассоциаций микрофоссилий раннерифейского возраста. Калтасинская ассоциация микрофоссилий содержит остатки относительно сложно построенных и крупных микроорганизмов, что ранее и стало причиной предположений о ее позднерифейском возрасте [6, 2]. В результате проведенных исследований установлен таксономический состав микробиоты калтасинской свиты из арланской и ашитской ее подсвит, который был сравнен с составом ассоциаций микрофоссилий из других одновозрастных микробиот Сибири, Китая и Австралии [19]. Удалось установить, что в ее составе доминируют действительно остатки достаточно крупных микроорганизмов, многие из которых представляют собой несомненные эвкариоты ввиду их большого размера и своеобразной морфологии: внутри шагреневых оболочек присутствуют цистоподобные тела, исключающие возможность рассматривать их как пустые колонии прокариот. Здесь встречены *Leiosphaeridia* Eisenack, *Synsphaeridium* Eisenack, *Polytrichoides* Hermann, *Rugosopsis* Timofeev et Hermann, *Elatera* Hermann, *Moyeria* (?) В. Thusu, *Rectia* Jankauskas, *Tortunema* Hermann, *Siphonophycus* Schopf, *Oscillatoriopsis* Schopf и др. (фототаблица). Остатки являются формами с достаточно широким стратиграфическим распространением и, по современным представлениям, типичны для раннего рифея, поднимаясь и в поздний рифей, а морфологически сложные индекс-таксоны позднерифейского возраста здесь отсутствуют. Это исключает ранее сделанное А.Ф. Вейсом с соавторами [2] заключение о позднерифейском возрасте калтасинской свиты, как и ряде других толщ, развитых в авлакогенах Восточно-Европейской платформы. Вывод о раннерифейском возрасте калтасинской свиты Волго-Уральской области, которая является аналогом саткинской свиты нижнего рифея Башкирского мегантиклинория Южного Урала, подтверждается и новейшими определениями изотопного возраста из ее арланской подсвиты, откуда и извлечено большинство



Фототаблица. Микрофоссилии калтасинской свиты

Фиг. 1. *Leiosphaeridia tenuissima* Eisenack (большой светлый диск) и *L. crassa* (Naumova) Jankauskas (меньший темный диск); Фиг. 2. *Leiosphaeridia* sp.; Фиг. 3. *Leiosphaeridia ternata* (Timofeev) Mikhailova et Jankauskas; Фиг. 4. *Leiosphaeridia atava* (Naumova) Jankauskas; Фиг. 5. *Pterospersimorpha pileiformis* Timofeev; Фиг. 6. *Leiosphaeridia wimanii* (Brotzen) Butterfield; Фиг. 7. *Eosolena minuta* Vorob'eva et Sergeev; Фиг. 8. *Rectia* sp.; Фиг. 9. *Tortunema wernadskii* (Schepelova) Butterfield; Фиг. 10. *Polytrichoides lineatus* Hermann; Фиг. 11. *Siphonophycus punctatum* Maithy; Фиг. 12. *Spiromorpha* aff. *segmentata* (Prasad et Asher) Yin, Yuan, Meng et Hu; Фиг. 13. *Pseudodendron anteridium* Butterfield; Фиг. 14. *Rectia* sp.; Фиг. 15. *Pellicularia tenera* Jankauskas; Фиг. 16. *Navifusa* sp.; Фиг. 17. Сфероморфные акритархи с проблематичными шипами. Длина одинарной масштабной линейки 10 мкм, двойной — 100 мкм.

изученных микроостатков. Упомянутые выше $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ и $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ определения аргиллитов арланской подсвиты показали значения 1414 ± 40 и 1427 ± 43 млн лет [25]. Это согласуется как с составом калтасинской микробиоты, так и с новейшими датировками разреза Башкирского мегантиклинория, уверенно коррелируемого с разрезом Волго-Уральской области по геологическим и геофизическим данным [5, 7, 8, 22, 23].

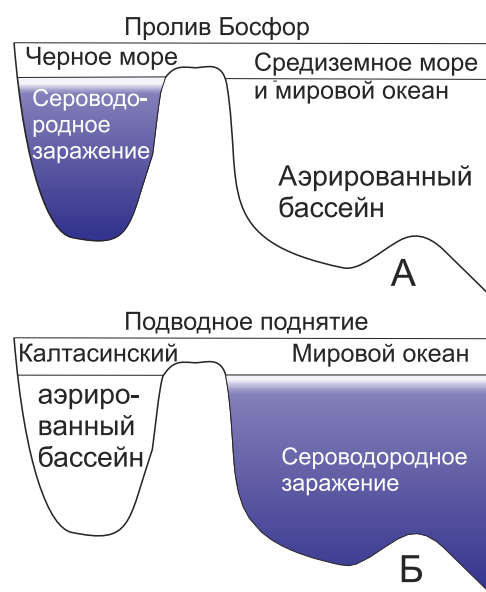
Достаточно интересной оказалась интерпретация палеоэкологических обстановок обитания калтасинской микробиоты, полученной с применением новейших методик на оборудовании Гарвардского университета. Применение геохимических методов с использованием в первую очередь высокорегентного железа (FeHR), а также изотопов углерода и серы, неожиданно показало наличие аэробных окислительных условий при накоплении относительно глубоководных сланцев арланской подсвиты (отношение FeHR/FeT < 0.38). Этот вывод подтверждается данными органической геохимии, и набор биомаркеров, присутствующих в этих породах, также говорит о наличии окислительных условий [25].

Результаты этих исследований противоречат общепринятой концепции существования в интервале примерно от 2 до 0.6 млрд. лет назад преимущественно анаэробного океана [20]. Согласно этой модели, появившийся в атмосфере свободный кислород после Великого окислительного события 2.4–2.2 млрд лет назад [17] в океанах присутствовал только в их самой верхней части, а более глубокие части бассейнов оставались анаэробными, напоминая современное Черное море [18]. До последнего времени эта концепция подтверждалась данными органической и неорганической геохимии, но выявленное наличие в осадках калтасинской свиты свободного кислорода заставляет пересмотреть эту модель и предположить, что в раннем протерозое и рифее распределение кислорода в глубоководных частях бассейна носило мозаичный характер и окислительные условия латерально были сопряжены с анаэробными. Вероятно в условиях глобального распространения анаэробных придонных обстановок подобная ситуация могла возникнуть только в частично изолированном бассейне, где в результате окислительного фотосинтеза цианобактерий были созданы локальные аэробные условия. Ранее была предложена модель частично изолированного калтасинского бассейна [12, 13] рифтового типа (Камско-Бельский авлакоген), зеркально отражающего ситуацию придонных обстановок современного Черного моря (рис. 3). Подобная модель существования частично изолированных аэрированных бассейнов может быть применена и для объяснения эмпирически установленного присутствия в нижнем рифее двух главных типов органостенных микробиот [10, 11]. В одних микробиотах, приуроченных к анаэробным условиям, доминировали мелкие, по видимому, прокариотные микроорганизмы (например, микробиоты саткинской и бакальской свит Южного Урала или омахтинской свиты Учуро-Майского региона), в то время как в кислородных обстановках широким распространением пользовались эвкарриотные относительно крупные микроорганизмы, присутствующие в калтасинской, котуйканской, усть-ильинской свитах и некоторых других толщах раннего рифея, которые и стали причиной первоначального вывода А.Ф. Вейса и его коллег [2, 3] о позднерифейском возрасте содержащих их отложений.

Заключение

В результате изучения микробиоты калтасинской свиты удалось уточнить ее таксономический состав, подтвердить раннерифейский возраст и сделать неожиданный вывод о палеоэкологическом положении. Находки новых

Рис. 3. Принципиальная схема, объясняющая локальное аэрирование калтасинского бассейна при общем анаэробном характере океана в раннерифейское время, по аналогии с современным бассейном Черного моря



остатков микроорганизмов не изменили представление о нижнерифейском таксономическом составе калтасинской микробиоты. Здесь в большом количестве встречаются остатки как прокариотных цианобактерий, так и эукариотных микроорганизмов, на что указывает их относительно сложная морфология и крупный размер в сочетании с признаками, свидетельствующими о том, что это остатки одноклеточных микроорганизмов, а не пустых оболочек их колоний. Наличие подобных крупных и морфологически относительно сложно построенных микрофоссилий и привели А.Ф. Вейса к ошибочному заключению о позднерифейском возрасте калтасинской свиты, вступившим в противоречие с имеющимися данными строматолитовой биостратиграфии, изотопной геохронологии и региональной геологии о ее раннерифейском возрасте. Выполненные новые микропалеонтологические исследования как и ранее не выявили в составе калтасинской микробиоты индекс-таксонов позднего рифея, но показали преобладание остатков микроорганизмов, характерных как для ниже-, так и позднерифейских отложений. Раннерифейский возраст калтасинской свиты был подтвержден и применением новой считающейся сейчас наиболее надежной рений-осмиевой методикой изотопного датирования отложений равными 1414 ± 40 и 1427 ± 43 млн лет [25]. В решение вопроса о возрасте карбонатных пород калтасинской свиты внесен существенный вклад материалами исследования С- и Sr-изотопной хемотратиграфии [5] и результатами датирования (1386 ± 6 млн лет U-Pb методом по бадделеиту [23]) дайки габбродолерита, прорывающей отложения верхней подсвиты кабаковской свиты, перекрывающей карбонаты калтасинской свиты в скв. 1 Восточно-Аскинская, что надежно определило стратиграфическую позицию калтасинской и кабаковской свит в составе нижнего рифея.

Революционными оказались выводы о фациально-экологическом положении калтасинской ассоциации микроорганизмов и типе бассейна, в котором она обитала. Имеющиеся текстурно-структурные особенности содержащих микробиоту арланской подсвиты калтасинской свиты указывают на ее достаточно глубоководное положение в пределах спокойных и относительно глубоководных фаций бассейна, что было известно и ранее. Однако выполненные геохимические исследования с применением новейших методик изучения высокореагентного железа неожиданно показали, что содержание кислорода было высоким и бассейн был нормально аэрированным, что противоречит достаточно широко признанной концепции существования на довендском этапе истории Земли преимущественно анаэробных бассейнов.

В существовавшей парадигме развития докембрийской гидросферы более 20 лет превалировала концепция развития так называемого «сульфидного океана» [20], подразумевавшая наличие в эволюции атмосферы и гидросферы Земли, в интервале от середины раннего протерозоя до конца докембрия, локализации кислорода только в приповерхностном слое бассейнов при глобальном сероводородном заражении и анаэробных условиях глубоководных их участков (модель современного Черного моря). Ранее при изучении разреза Восточно-Европейской платформы было показано, что уровень содержания кислорода в атмосфере резко возрастает в вендский период, что в общем согласовалось с данной концепцией и подтвердило старую гипотезу появления многоклеточных животных в конце докембрия как результат повышения парциального давления кислорода [21].

Новые данные по калтасинской свите представляют новый шаг в развитие международной концепции эволюции гидросферы и атмосферы в докембрии, а модель «мозаичной» концепции оксигенизации протерозойского океана является прорывом в эволюции общих представлений о необратимости смены условий на поверхности планеты. Лидирующим аспектом исследований является комплексное изучение калтасинской микробиоты, когда таксономический состав ассоциации был адекватно увязан с условиями ее обитания, что позволяет объяснить парадокс наличия в раннем рифее крупных и сложно построенных эукариотных форм, обитавших в оксигенных обстановках в противовес распространенным в анаэробных условиях комплексам мелких и морфологически простых прокариотных микроорганизмов [25, 24].

Отложения калтасинской свиты считаются основными нефтегазоматеринскими образованиями рифея Волго-Уральской области. Предварительная оценка прогнозных ресурсов углеводородов только Пермского Прикамья [4, 1] показала, что теоретически возможный выход УВ из пород калтасинской свиты составляет до 7.5 млрд тонн (геологические ресурсы). Столь высокая оценка перспектив на УВ отложений калтасинской свиты вполне согласуется с новыми представлениями

об оксигенности калтасинского бассейна, высокое содержание кислорода в котором способствовало развитию микроорганизмов, а в последующем преобразованию органического вещества в УВ.

Исследования проведены в соответствии с планами НИР ИГ УФИЦ РАН (тема гос. задания № 0252-2014-0002) и при поддержке гранта РФФИ 17-55-45081_ИНД.

Литература:

1. Башкова С.Е., Карасева Т.В., Горбачев В.И. Основные проблемы прогноза нефтегазоносности рифей-вендских отложений европейской части России // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2012, № 7. – С. 25–32.
2. Вейс А.Ф., Ларионов Н.Н., Воробьева Н.Г., Ли Сень-Джо. Микрофоссилии в стратиграфии рифея Южного Урала и Приуралья // Стратигр. Геол. корреляция. – 2000. – Т. 8, № 5. – С. 3–28.
3. Вейс А.Ф., Петров П.Ю., Воробьева Н.Г. Геохронологический и биостратиграфический подходы к реконструкции истории докембрийской биоты: новые находки микрофоссилий в рифее западного склона Анабарского поднятия // Доклады РАН. – 2001. – Т. 378, № 4. – С. 511–517.
4. Карасева Т.В., Денисов А.И., Башкова С.Е. Рифейские отложения Волго-Уральской НГП как перспективный объект для поисков углеводородов // Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса Приволжского и Южного округов на 2006 и последующие годы: Тез. докл. научно-практ. конф. – Саратов, 2005. – С. 76–77.
5. Кэй Л.С., Крофорд Д.С., Бартли Д.К., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Пучков В.Н. С- и Sr-изотопная хемотратиграфия как инструмент для уточнения возраста рифейских отложений Камско-Бельского авлакогена Восточно-Европейской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2007. – Т. 15, № 1. – С. 15–34.
6. Козлов В.И., Вейс А.Ф., Сергеева Н.Д., Воробьева Н.Г., Генина Л.А., Михайлов П.Н. Литолого-петрографическая характеристика и микрофоссилии верхнедокембрийских отложений, вскрытых параметрической скважиной 133 Азино-Пальниковская в Удмуртии // Ежегодник–1996 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа, 1998. – С. 63–70.
7. Козлов В.И., Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Нехорошев А.Г., Бушарина С.В. Аршиний – новый стратон рифея в стратотипических разрезах Южного Урала // Геологический сборник № 9. – Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2011. – С. 3–8.
8. Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. Новые данные по цирконовой геохронологии аршинских вулканитов (Южный Урал) // Литосфера. – 2012. – № 4. – С. 127–140.
9. Семихатов М.А., Шуркин К.А., Аксенов Е.М., Беккер Ю.Р., Бибикина Е.В., Дук В.Л., Есипчук К.Е., Карсаков Л.П., Киселев В.В., Козлов В.И., Лобач-Жученко С.Б., Негруца В.З., Робонен В.И., Сезько А.И., Филатова Л.И., Хоментовский В.В., Шемякин В.М., Шульдинер В.И. Новая стратиграфическая шкала докембрия СССР // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1991. – № 4. – С. 3–13.
10. Сергеев В.Н. Окремненные микрофоссилии докембрия: природа, классификация и биостратиграфическое значение. – М.: ГЕОС, 2006. – 280 с.
11. Сергеев В.Н., Семихатов М.А., Федонкин М.А., Воробьева Н.Г. Основные этапы развития докембрийского органического мира: Сообщение 2. Поздний протерозой // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2010. – Т. 18, № 6. – С. 3–33.
12. Сергеев В.Н., Воробьева Н.Г., Сперлинг Э.А. Новые данные о ранней эволюции эукариотных водорослей: нижнерифейские (мезопротерозойские) ассоциации органостенных микрофоссилий Урала и Сибири // Водоросли в эволюции биосферы: Матер. 2-й Палеоальгологической конф. / Под ред. Н.К. Лебедевой, А.А. Горячевой. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2016 – С. 152–153.
13. Сергеев В.Н., Воробьева Н.Г., Петров П.Ю., Семихатов М.А. Таксономический состав и биостратиграфическое значение раннерифейской ассоциации органостенных микрофоссилий усть-ильинской свиты Анабарского массива, Северная Сибирь // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2017. – Т. 25, № 3. – С. 3–18.
14. Сергеева Н.Д., Пучков В.Н. Стратиграфия рифея и венда Волго-Уральской области (изменения и дополнения) // Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России: Матер. Межвед. рабочего совещ. Санкт-Петербург 17–20 окт. 2016 г. – СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2016. – С. 157–159.
15. Стратиграфический кодекс России. – 3-е изд. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. – 96 с.
16. Тимергазин К.Р. Очерки по истории Башкирской нефти: Науч. издание. – Уфа: Башкнигоиздат, 1956. – 91 с.
17. Шонф Дж.В. Геологические доказательства оксигенного фотосинтеза и биотические изменения в ответ на «Великую кислородную революцию» 2400–2200 млн лет назад // Биохимия. – 2014. – Т. 70, № 3. – С. 223–238.

18. *Anbar A.D., Knoll A.H.* Proterozoic ocean chemistry and evolution: a bioinorganic bridge? // *Science*. – 2002. – V. 297. – P. 1137–1142.
19. *Brasier M.D., Lindsay J.F.* A billion years of environmental stability and the emergence of eukaryotes: New data from northern Australia // *Geology*. – 1998. – V. 26. – P. 555–558.
20. *Canfield D.E.* A new model for Proterozoic ocean chemistry // *Nature*. – 1998. – V. 396. – P. 450–453.
21. *Johnston D.T., Poulton S.W., Goldberg T., Sergeev V.N., Podkovyrov V., Vorob'eva N.G., Bekker A., Knoll A.H.* Late Edicaran redox stability and metazoan evolution // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2012. – P. 335–336. – P. 25–35.
22. *Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Sergeeva N.D.* New isotope ages of volcanics in the standard section of the Riphean and Vendian of the Southern Urals: consequences for stratigraphy and tectonics // *Materials for the IXth Republican Conference on Geology and Environment*. – Ufa: Institute of Geology. – 2012. – P. 52–56.
23. *Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R.E., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Soderlund U., Wingate M.T.D., Postnikov A.V., Sergeeva N.D.* The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals // *Lithos*. – 2013. – V. 174. – P. 109–124.
24. *Sergeev V.N., Knoll A.H., Vorob'eva N.G., Sergeeva N.D.* Microfossils from the lower Mesoproterozoic Kaltasy Formation, East European Platform // *Precambrian Research*. – 2016. – V. 278. – P. 87–107.
25. *Sperling E.A., Rooney A.D., Hays L., Sergeev V.N., Vorob'eva N.G., Sergeeva N.D., Selby D., Johnston D.T., Knoll A.H.* Redox heterogeneity of subsurface waters in the Mesoproterozoic ocean // *Geobiology*. – 2014. – V. 12, Iss. 5. – P. 373–386.