

## ВЕРХНЕРИФЕЙСКО-ВЕНДСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ ЮЖНОГО УРАЛА: СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ И СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ

С.А. Дуб

*Институт геологии и геохимии им. Академика А.Н. Заварицкого УрО РАН,  
620110, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15, Россия*

На основе современных представлений об изменениях в биосфере, атмосфере, гидросфере (и, соответственно, в климате и ходе осадочных процессов) в интервале ~1000—540 млн лет, с учетом предложений по совершенствованию Общей стратиграфической шкалы (ОСШ) докембрия и данных последних исследований, рассмотрен альтернативный существующему вариант стратиграфического расчленения верхнерифейско-вендских (примерно соответствующих неопротерозою Международной стратиграфической шкалы — МСШ) отложений Башкирского мегантиклинория (БМА). Подчеркивается необходимость жесткого разграничения общих и местных стратиграфических подразделений. Представлены данные в пользу перевода зильмердакской свиты в ранг серии и отнесения трех ее нижних свит к среднему рифею /юрматинию. Показано, что время накопления каратауской серии (в составе катавской, инзерской, миньярской и укской свит) существенно меньше продолжительности позднего рифея /каратавия. Особое внимание уделено обсуждению возраста укской свиты (анализ имеющихся сведений позволил уточнить ее стратиграфическое положение): наиболее вероятно, что она сформировалась в диапазоне 780—740 млн лет. Продемонстрирована высокая неопределенность стратиграфического положения вышележащих геологических тел. Бакеевскую, толпаровскую, суировскую, кургашлинскую свиты необходимо рассматривать в составе терминального рифея/аршиния.

Аршинскую серию, состоящую из байнасской, махмутовской, игонинской и шумской свит в Тирлянской мульде, а также представленную криволукской свитой в Криволукской синклинали, вероятно, не следует в полном объеме относить к терминальному рифею. Поднят вопрос об исключении бакеевской свиты и толпаровско-суировской последовательности из состава ашинской серии: скорее всего, эти отложения являются модификацией аршинской серии на западном крыле БМА. Отмечено, что урюкская свита, возможно, имеет довендский возраст. Интерпретированы существующие на текущий момент противоречивые данные о стратиграфии надурюкской части ашинской серии; проблемы возраста составляющих серию геологических тел и стратиграфического диапазона серии в целом по-прежнему требуют тщательной проработки.

*Верхний рифей, терминальный рифей, венд, неопротерозой, стратотип, Башкирский мегантиклинорий*

### NEOPROTEROZOIC DEPOSITS OF THE BASHKIR MEGA-ANTICLINORIUM (*Southern Urals*): STATE OF THE ART IN REGIONAL STRATIGRAPHY

S.A. Dub

This paper presents an alternative variant of stratigraphic subdivision of the upper Riphean–Vendian deposits (approximately corresponding to the Neoproterozoic Erathem of the International Chronostratigraphic Chart (ICC)) of the Bashkir Mega-Anticlinorium (BMA), based on the modern concepts of changes in the biosphere, atmosphere, and hydrosphere (and, accordingly, in the climate and the course of sedimentary processes) in the period ~1000–540 Ma, with regard to the results of recent studies and the proposals for improving the Russian General Stratigraphic Scale (GSS) of the Precambrian. The strict necessity of subdividing chronostratigraphic and lithostratigraphic units is shown. The presented data give grounds to regard the Zil'merdak Formation as a Group and assign three of its lower formations to the Middle Riphean (Yurmatinian). It is shown that the period of accumulation of the Karatau Group (comprising the Katav, Inzer, Min'yar, and Uk formations) was significantly shorter than the duration of the Late Riphean (Karatavian). Special attention is focused on the age of the Uk Formation (analysis of the existing data made it possible to refine its stratigraphic position): It formed, most likely, in the period 780–740 Ma. A high uncertainty of the stratigraphic position of the overlying geologic bodies is demonstrated. The Bakeevo, Tolparovo, Suirovo, and Kurgashla formations must be regarded as part of the Terminal Riphean (Arshinian). The Arsha Group, comprising the Bainas, Makhmutovo, Igonino, and Shum formations in the Tirylyan trough and represented by the Krivaya Luka Formation in the Krivaya Luka syncline, should not be totally assigned to the Terminal Riphean. It is proposed to exclude the Bakeevo Formation and the Tolparovo–Suirovo sequence from the Arsha Group, because these deposits are, most likely, a modification of the Arsha Group located on the western flank of the BMA. The Uryuk Formation is probably of pre-Vendian age. The current contradictory data on the stratigraphy of the supra-Uryuk unit of the Arsha Group are interpreted. The ages of the geologic bodies composing the Group and its stratigraphic interval still call for a thorough study.

*Upper Riphean, Terminal Riphean, Vendian, Neoproterozoic, stratotype, Bashkir Mega-Anticlinorium*

## ВВЕДЕНИЕ

Осадочные породы фиксируют особенности развития атмосферы, гидросферы и биосферы Земли. В частности, кардинальные изменения в составе газовой оболочки планеты и химии Мирового океана, а также своеобразные этапы эволюции живых организмов отражены в геологической летописи неопротерозоя МСШ (от 1000 до ~540 млн лет). С данным отрезком геологического времени ассоциируют коренные изменения облика Земли [Planavsky et al., 2015], в том числе к нему приурочены крупнейшие в истории оледенения [Чумаков, 2015]: наиболее распространенная гипотеза характеризует состояние планеты в интервалах ~717—660 и ~650—635 млн лет (в криогении) словосочетаниями «снежный ком», или «Земля-снежок» — snowball Earth [Hoffman, 1998; Rooney et al., 2015; Hoffman et al., 2017].

Обнаружены свидетельства значительного роста содержания кислорода в атмосфере неопротерозоя, известного как «неопротерозойское кислородное событие» [Kump, 2008; Lyons et al., 2014], на фоне низкого по сравнению с предшествующими эрами парциального давления углекислого газа [Kasting, 1993; Sheldon, 2006; Cox et al., 2016], но точное время проявления этого события пока неизвестно (повидимому, оно было многофазным) [Williams et al., 2019]. Считается, что при этом глубинные слои океана в основном оставались аноксидными [Canfield, 1998; Canfield et al., 2008; Sperling et al., 2015; Wallace et al., 2017], а отдельные бассейны осадконакопления могли являться «кислородными оазисами» [Sperling et al., 2014; Gilleaudeau, Kah, 2015; Маслов, Подковыров, 2018]. В эдиакарии океан эпизодически становился оксигенизированным [Sahoo et al., 2016]. В рассматриваемой эре морская вода оказалась менее насыщенной углекислотой по сравнению с более ранними этапами геологической истории [Grotzinger, 1990; Riding, 2006; Krissansen-Totton et al., 2018].

Предполагается, что эукариоты к этому времени уже существовали [Knoll et al., 2006; Butterfield, 2015], но стали таксономически более разнообразными только в тонии (от 1000 до ~717 млн лет) [Сергеев, 2006; Cohen, MacDonald, 2015]; ~730 млн л. н. появились первые представители царства Хромиста [Cavalier-Smith, 2018], а позже — примитивные животные [Love et al., 2009; Antcliffe, 2013; Nettersheim et al., 2019; и др.]: предполагаемые остатки Metazoa (в виде эмбрионов) обнаружены в отложениях с возрастом 600—633 млн лет [Xiao et al., 1998; Yin et al., 2007; Cunningham et al., 2017]. В интервале ~570—540 млн лет в субквальных экосистемах господствовали «мягкотелье» вендобионты и другие существа, которые не имеют аналогов в современном мире [Seilacher, 1992; Grazhdankin, 2004; Pu et al., 2016], в конце эдиакарии—начале кембрия возникла и распространилась скелетная фауна [Porter, 2010; Erwin et al., 2011; Zhuravlev, Wood, 2018].

Известно, что в раннем неопротерозое завершилась сборка суперконтинента Родиния; его распад ~850—700 млн л. н. сопровождался формированием крупных магматических провинций; в эдиакарии (635—541 млн лет) «осколки» Родинии объединились в Гондвану [Ernst et al., 2008; Li et al., 2008, 2013]. Однако взаимосвязи между колебаниями уровня моря, изменениями темпов образования океанической коры и глобальными оледенениями пока не ясны в полной мере [Liu, Peltier, 2013; van der Meer et al., 2017; Bechstädt et al., 2018; Williams, Gostin, 2019].

Проблемам корреляции МСШ докембрия с Общей и региональными стратиграфическими шкалами России посвящено множество работ. В частности, в настоящее время принято считать, что неопротерозойской эре приблизительно соответствует позднерифейско—вендский интервал, отличающийся от нее несколько большей продолжительностью [Семихатов, 2000; Стратиграфический кодекс..., 2019; International..., 2020]. Данная публикация, посвященная стратиграфии неопротерозойских отложений БМА западного склона Южного Урала, ставит своей задачей привлечь внимание исследователей к вопросу сопоставления верхнерифейско-вендских отложений на территории России (и сопредельных стран) и неопротерозойских образований других регионов.

Территория БМА в позднем рифее представляла собой проксимальную часть пассивной окраины Восточно-Европейской платформы (шельф Родинии/Балтики) [Маслов и др., 2002; Раабен, 2007], к востоку от которой (в современных координатах) находился океанический бассейн, согласно [Li et al., 2013]. По данным В.Н. Пучкова [2010], на вендский период приходится фаза тиманской складчатости и формирование орогена в обрамлении Балтики. Недавно появились основания утверждать, что на территории современного Южного Урала коллизия Восточно-Европейской платформы и тектонического блока с гетерогенным фундаментом произошла еще раньше, а в венде—кембрии на континентальной окраине возник активный вулканоплутонический пояс [Рязанцев и др., 2019].

### АСПЕКТЫ СТРАТИГРАФИИ ВЕРХНЕРИФЕЙСКО-ВЕНДСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ БМА

В пределах БМА к верхнему рифею—венду с той или иной степенью условности относят каратаускую, аршинскую и ашинскую серии. Отложения каратауской и ашинской серий присутствуют как на западном, так и на восточном крыльях БМА, тогда как на востоке в пределах разных геологических

структур залегают разнородные по литологии отложения — аршинская серия (Тирлянская мульда), а также криволукская, кургашлинская и байназаровская свиты (Криволукская синклиналь).

### Каратауская серия

Разрез верхнего рифея стратотипической местности — каратауской серии — снизу вверх состоит из терригенной зильмердакской, существенно карбонатной катавской, карбонатно-терригенной инзерской, карбонатной миньярской и терригенно-карбонатной укской свит [Беккер, 1961; Маслов и др., 2001; Постановления..., 2010; Пучков и др., 2017]. Снизу и сверху серия ограничена несогласиями. Еще один перерыв в осадконакоплении отмечается между миньярской и укской свитами [Кузнецов и др., 2014; Маслов, 2020].

Наличие перерыва в подошве серии иллюстрируется залеганием зильмердакской свиты на разных уровнях авзянской свиты юрматинской серии [Маслов, Анфимов, 2000 и ссылки в этой работе]. Но его продолжительность вызывает дискуссии. Имеющиеся данные С-изотопной хемотратиграфии по авзянской свите (свидетельствующие о ее возрасте ~1270 млн лет [Bartley et al., 2007]) и находка обломочно-го циркона с возрастом  $964 \pm 57$  млн лет в низах зильмердакской свиты [Маслов и др., 2018a] заставляют предполагать весьма длительный интервал, не представленный в геологической летописи. С другой стороны, результаты межбассейновой корреляции отложений, основанные на сопоставлении карбонатов авзянской свиты с отложениями других осадочных бассейнов только по значениям величин  $\delta^{13}\text{C}$  [Bartley et al., 2007], не могут быть признаны надежными (особенно в свете данных по изотопному составу углерода в карбонатах каратауской серии, см. ниже), равно как и известные до этого К-Аг датировки по глаукониту, составляющие ~1226 млн лет [Стратотип..., 1983]. На более молодой возраст авзянской свиты указывают ассоциации микрофоссилий [Сергеев и др., 2010]. В нижней подсвите зильмердакской свиты только один обломочный циркон имеет возраст менее 1 млрд лет (без учета погрешности) [Маслов и др., 2018a]. Кроме того, полученную ранее датировку ~910—950 млн лет по детритовым ортоклазам в этой же подсвите [Glasmacher et al., 1999] на сегодня нельзя считать полностью валидной. Все это пока не позволяет уверенно признать очень большую продолжительность (порядка 300 млн лет) перерыва между юрматинской и каратауской сериями.

В разрезе каратауской серии отсутствуют (или не обнаружены) прослои вулканогенно-осадочных пород, по этой причине стратиграфические подразделения верхнего рифея Южного Урала не имеют сколь-либо валидных U-Pb датировок. Однако об абсолютном возрасте некоторых свит можно судить благодаря использованию Г.В. Овчинниковой с коллегами Pb-Pb метода датирования карбонатных пород: для нижней подсвиты инзерской свиты получен возраст  $836 \pm 25$  млн лет [Овчинникова и др., 1998], а для средней части миньярской свиты —  $780 \pm 85$  млн лет [Овчинникова и др., 2000]. Совершенствование указанной методики впоследствии позволило предоставить для примерно этих же уровней несколько иные датировки, соответственно  $844 \pm 24$  и  $820 \pm 77$  млн лет [Kuznetsov et al., 2017].

Кроме того, к 80-м годам XX в. было опубликовано множество работ с результатами датирования К-Аг методом широко распространенного в отложениях каратауской серии глауконита. Так, значения/разброс значений возраста этого минерала в катавской свите составил 938 млн лет, в инзерской — 896—740 млн лет, в миньярской — 713—681 млн лет, в укской — 658—630 млн лет [Гаррис, 1977; Стратотип..., 1983; Горохов и др., 2019], с учетом уточнения объемов инзерской и миньярской свит в 1991 г. Позднее возраст раннего диагенеза отложений нижней части инзерской свиты оценивался Rb-Sr методом в пределах 830—806 млн лет [Gorokhov et al., 1995] или 836—803 млн лет [Горохов и др., 2019], а нижеукской подсвиты —  $688 \pm 10$  млн лет [Горожанин, Кутявин, 1986] и  $663 \pm 9$  млн лет [Зайцева и др., 2008]. Глауконит бакеевской свиты, несогласно перекрывающей верхнерифейские отложения на западном крыле БМА, имеет Rb-Sr возраст ~650—630 млн лет [Зайцева и др., 2019].

Зильмердакская свита (состоящая снизу вверх из бирьянской, нугушской, лемезинской и бедерышинской подсвит) в разных районах и по разным оценкам имеет мощность в пределах 500—3300 м, что сопоставимо с суммарной мощностью отложений от катавской до укской свит включительно — от 1000 до 2700 м [Горяинова, Фалькова, 1937; Стратотип..., 1983; Пучков и др., 2017; Маслов, 2020]. Ряд исследователей подразделяют подсвиты зильмердакской свиты на толщи или связки [Горяинова, Фалькова, 1937; Козлов, 1982], что делает картину стратиграфического расчленения разреза более сложной. Отмечается, что граница между зильмердакской и катавской свитами отчетливо выражена [Стратотип..., 1983].

Важнейшую информацию о возрасте зильмердакской свиты предоставляют результаты изучения в ней комплексов микрофоссилий [Янкаускас, 1982; Вейс и др., 2003; Сергеев, 2006; Сергеев и др., 2010]. Так, в трех нижних подсвитах присутствует комплекс остатков «туруханского (среднерифейского) этапа» развития органического мира, возрастные рамки которого условно оцениваются в пределах 1200—1030 млн лет, тогда как типичные верхнерифейские формы (комплекс остатков «учуро-майского

этапа» (1030—850 млн лет), характерных для лахандинской серии Сибири) обнаруживаются только в самой верхней бедерышинской подсвите [Сергеев и др., 2010]. Приведенные сведения идут вразрез с классическими представлениями о принадлежности всей зильмердакской свиты к верхнему рифею. В то же время они хорошо согласуются с данными Г.А. Петрова [2018], указывающего на ее литологическое сходство с ишеримской свитой среднего рифея Северного Урала, возраст которой оценивается в интервале ~1150—1080 млн лет (корректнее, минимальный возрастной предел последней 1079 ± 41 млн лет).

Бирьянско-нугушская последовательность сопоставляется с усинской свитой, лемезинская подсвита — с леонидовской свитой, а бедерышинская — с приотовской свитой абдулинской серии верхнего рифея Волго-Уральской области [Маслов и др., 2002], между тем усинскую свиту ряд авторов относят к нижележащей серафимовской серии среднего рифея [Стратиграфическая схема..., 2000; Сергеева и др., 2018].

По неопубликованным данным А.В. Маслова, в бирьянской подсвите зильмердакской свиты 102 зерна детритовых цирконов из 103 имеют возраст более 1051 ± 18 млн лет. При этом в лемезинской подсвите отсутствуют детритовые цирконы моложе 1817 ± 59 млн лет [Романюк и др., 2013].

Здесь также важно подчеркнуть очевидность того, что применительно к каратауской серии в целом некорректно вести речь о едином тектоноседиментационном цикле развития осадочного бассейна. Начиная с зигальгинской свиты юрматинской серии в разрезе отсутствуют непосредственные свидетельства рифто- и орогенеза на данной территории, а накопление осадочных толщ происходило при пассивном тектоническом режиме. Вместе с тем следует иметь в виду, что перерыв между юрматинской и каратауской сериями совпадает по времени с гренвильскими орогеническими событиями, слабопроявленные следы которых обнаруживаются на западном склоне Урала [Маслов и др., 2014, 2018а; Петров и др., 2015; Шардакова, 2018]. На это же время приходится один или несколько эпизодов тектонотермальной активизации флюидов и формирование месторождений полезных ископаемых [Крупенин, 2004; Мичурин и др., 2018; Ковалев и др., 2020]. В соответствии с вышеприведенными сведениями, аркозовые песчаники бирьянской подсвиты могут иметь молассовую природу (отвечая предположительно заключительным этапам денудации гор), тогда как кварцевые песчаники лемезинской подсвиты, несомненно, являются значительно более зрелыми.

Стратиграфически значимой для каратауской серии считается находка микрофоссилий *Melanocyrrillium* в миньярской свите [Маслов и др., 1994]: предполагается, что панцирные амебы, коим принадлежат эти остатки, появились не раньше ~850 млн лет назад [Сергеев и др., 2010]. Необходимо отметить, что, по мнению А.Ф. Вейса с коллегами [2003], эта находка должна быть повторена.

Противоречивые свидетельства о возрасте характерны и для укской свиты. Приведенные выше датировки указывают, что она сформировалась во временном диапазоне ~700—650 млн лет [Горожанин, Кутявин, 1986; Зайцева и др., 2008, 2019; Кузнецов и др., 2014]. Однако все остальные геологические данные это опровергают. В частности, в Тирлянской мульде на укской свите залегает аршинская серия, которая была отнесена к терминальному рифею [Козлов и др., 2011; Puchkov et al., 2014; Пучков и др., 2017]. Вулканические породы в составе этой серии имеют возраст ~707 и ~732 млн лет (U-Pb датирование цирконов [Краснобаев и др., 2012]) и 677 ± 31 млн лет (Rb-Sr [Горожанин, 1995]). Укская свита, венчая разрез верхнего рифея на западном крыле БМА, в структурном плане имеет с подстилающими отложениями гораздо больше общих черт (по распространенности и элементам залегания), нежели с перекрывающими. Несогласное залегание последних [Ларионов и др., 2015] и интенсивность вторичных преобразований пород верхней части укской свиты во многих разрезах указывает на длительный перерыв между ней и вышележащими образованиями.

Для укской свиты измеренное отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в известняках, удовлетворяющих геохимическим критериям сохранности изотопных систем, составляет 0.70535—0.70611 [Кузнецов и др., 2003, 2014, 2018]. Но такие низкие значения стронциевого отношения, согласно данным, приведенным в наиболее полной на сегодня работе А. Заки с соавторами [Zaky et al., 2019], не характерны для криогенических и более молодых отложений. В то же время на основе Sr-изотопной систематики укская свита хорошо коррелирует с докриогенической формацией Дидикама в Эфиопии: в синклинии Негаш карбонатные породы со значениями  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  от 0.70519 до 0.70621 (значения возрастают снизу вверх по разрезу) согласно залегают на отложениях, в которых наиболее молодые детритовые цирконы имеют возраст ~777 млн лет [Miller et al., 2009; Swanson-Hysell et al., 2015].

В укской свите значения  $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$  варьируют от 0.7 до 3.4 ‰ [Подковыров и др., 1998; Кузнецов и др., 2006]. В эфиопской последовательности данный параметр в основном лежит в пределах 1—3 ‰, но вблизи ее кровли отмечается глубокий отрицательный экскурс<sup>1</sup> [Swanson-Hysell et al., 2015]. Поэтому на

<sup>1</sup> Г. Халверсон с коллегами [Halverson et al., 2018a, b] установили, что к верхам тония приурочена не одна (аномалия Islay), а две глубокие отрицательные аномалии — аномалия Russøya (в интервале ~735—740 млн лет) и аномалия Garvellach (~717—720 млн лет) [Fairchild et al., 2018; Lamothe et al., 2019].

основе хемотратиграфических данных верхнеульская подсвита может условно сопоставляться с нижней и, возможно, средней частями формации Дидикама. Установлено, что эта формация древнее 735 млн лет [MacLennan et al., 2018].

Наконец, для верхнеульской подсвиты характерна пачка с многочисленными текстурами molar tooth (MT) [Дуб и др., 2018], которые, как считается, практически полностью исчезают из геологической летописи на уровне ~717 млн лет — вблизи границы тония и криогения. Как исключение, находки этих текстур известны лишь в двух разрезах эдиакарских отложений, в каждом из которых они приурочены только к одному пласту и отражают специфику обстановок; достоверных свидетельств присутствия MT-текстур в породах криогения (точнее, интервала от начала оледенения Стерт до конца гляциопериода Марино) к настоящему моменту нет [James et al., 1998; Shields, 2002; Kuang, 2014; Fairchild et al., 2018; Hodgskiss et al., 2018; и др.].

### Аршинская серия

Аршинская серия Тирлянской мульды восточного крыла БМА включает (снизу вверх) байнаскую, махмутовскую, игонинскую и шумскую свиты [Козлов и др., 2011]. Байнасская свита сложена сланцами, иногда с примесью карбонатного вещества; терригенная махмутовская свита содержит тиллиты и прослой карбонатных пород; игонинская свита представлена в основном вулканогенными образованиями; шумская свита включает в себя кварцитопесчаники и сланцы, а также тиллитоподобные отложения [Козлов и др., 2011; Пучков и др., 2017]. Сообщается о находках венчающих карбонатов внутри аршинской серии [Горожанин и др., 2013].

Как отмечалось выше, по цирконам вулканитов игонинской свиты были получены SIMS-датировки  $707.0 \pm 2.3$  и  $732.0 \pm 1.7$  млн лет [Краснобаев и др., 2012], а литохимические параметры магматических пород позволили отнести их к внутриконтинентальным рифтогенным образованиям [Маслов и др., 2018б]. В соответствии с указанными значениями абсолютного возраста, тиллиты махмутовской свиты были сопоставлены с отложениями гляциопериода Кайгас<sup>2</sup>, а сама аршинская серия — с криогением МСШ [Пучков и др., 2014; Puchkov et al., 2014] (до 2015 г. нижняя граница криогения проводилась на уровне 850 млн лет).

Маловероятно, что обе приведенные датировки отражают продолжительное время формирования основного тела игонинской свиты. Эффузивные породы в составе свиты считаются комагматичными образованиями с гранитами Барангуловского массива [Краснобаев и др., 2012] (как и вулканиты машакской свиты среднего рифея и граниты Бердяшского массива, а также многие другие ассоциирующие с рифтами крупные магматические комплексы [Ernst et al., 2006; Ронкин и др., 2016, 2020]). Возраст Барангуловского массива оценивался примерно как  $725 \pm 5$  млн лет (SHRIMP) [Краснобаев и др., 2007]. Однако полученные недавно результаты TIMS-датирования цирконов [Ронкин и др., 2020] несколько «омолаживают» этот массив до  $673 \pm 39$  млн лет. Учитывая, что и вулканиты игонинской свиты могли сформироваться примерно в то же время (ранее для них получена датировка  $677 \pm 31$  млн лет [Горожанин, 1995], а также дополнительные датировки по цирконам с возрастом менее 690 млн лет [Краснобаев и др., 2019]), возможно, тиллиты махмутовской свиты все же отвечают оледенению Стерт.

Прямые данные о возрасте криволукской свиты, а также кургашлинской и байназаровской свит Криволукской синклинали немногочисленны. Отмечается, что криволукская свита залегает на верхнерифейских карбонатах с выраженным перерывом и имеет резкий контакт с вышележащей кургашлинской свитой [Пучков и др., 2014; Ларионов и др., 2015]. По литологическим признакам криволукскую свиту коррелируют с аршинской серией [Козлов и др., 2011; Пучков и др., 2014], к которой она и была в последнее время отнесена [Пучков и др., 2017], тогда как кургашлинско-байназаровская последовательность несет признаки мариногляциального генезиса и по составу слагающих ее отложений близка к урюкской свите ашинской серии [Горожанин, Канипова, 2017; и др.]. Н.М. Чумаков [2015] считает кургашлинскую свиту одновозрастной с аршинскими тиллитами, он же указывает на присутствие прослоев и линз доломитов в ее составе [Чумаков и др., 2013]. В то же время верхний возрастной предел криволукской свиты на основе радиоизотопных измерений Rb-Sr возраста малых интрузий в ней составляет примерно 660 млн лет [Генина и др., 2015]. По наблюдениям А.В. Маслова [2000], за пределами Криволукской синклинали (автотрасса Кага—Верхний Авзян) тиллитосодержащие отложения, сопоставляемые с кургашлинской свитой, выполняют глубокий эрозионный врез, залегая на карбонатах миньярской свиты.

### Ашинская серия

Наиболее дискуссионным объектом в пределах БМА является терригенная ашинская серия. В отношении нее взгляды исследователей разнятся как по вопросам возраста, так и объема. Чаще всего в

<sup>2</sup> Предполагается, что это оледенение могло произойти на уровне  $\sim 750 \pm 15$  млн лет (или, по другим оценкам, 730—750 млн лет) [Frimmel et al., 1996; Xu et al., 2009; Hofmann et al., 2015; MacLennan et al., 2020], но его глобальный характер оспаривается [Rooney et al., 2015; и др.].

ашинскую серию включаются все доордовикские свиты западного крыла БМА, залегающие выше урюкской свиты: бакеевская, толпаровская (в том числе калыштинские слои), суировская, урюкская, басинская, куккараукская (ранее куркураукская) и зиганская [Беккер, 1968, 1975, 1988; Козлов, 1982; Кузнецов и др., 2012, 2019; Пучков и др., 2014, 2017; Горожанин и др., 2019]. В последнее время некоторые исследователи надстраивают указанную последовательность малоямантауской свитой [Беккер, 2010; Разумовский, 2018], при этом, несмотря на высокое фациальное сходство свиты с басинско-зиганскими отложениями, находки в ней ихнофосилий кембрийского облика не позволили Ю.Р. Беккеру [2010] отнести ее к ашинской серии венда. Толпаровская и суировская свиты имеют локальное распространение в разных тектонических структурах, а урюкская свита залегает на бакеевской с перерывом [Маслов и др., 2001]<sup>3</sup>. Соответственно, рядом авторов ашинская серия принимается только в объеме от подошвы урюкской свиты [Kolesnikov et al., 2015].

Более остро стоит вопрос о времени образования данной серии, которому посвящены многочисленные публикации начиная с 30-х годов прошлого века. Очевидно лишь то, что возраст ее подразделений различен и гипотетически лежит в диапазоне от позднего рифея (если ассоциировать толпаровско-суировскую последовательность с гляциоэпохой Стерт) до кембрия (если признать, что фосфатный детрит, обнаруженный в куккараукской свите, образовался при разрушении раковин беззамковых брахиопод [Кузнецов, Шаццлло, 2011]). Самые молодые детритовые цирконы в толпаровской свите имеют возраст  $889 \pm 21$  млн лет [Кузнецов и др., 2019], в басинской и куккараукской соответственно  $705 \pm 12$  и  $617 \pm 10$  млн лет. В куккараукской свите присутствуют также гальки гранитов с возрастом 530—550 млн лет (но эта датировка получена по полевым шпатам и считается «омоложенной»), а также  $714 \pm 6$  млн лет [Glasmacher et al., 1999; Сергеева и др., 2019].

Согласно последним исследованиям, глауконит в составе бакеевской свиты имеет возраст  $642 \pm 9$  млн лет [Зайцева и др., 2019]. Указанные данные привлекаются для обоснования возраста нижней границы венда на уровне ~640 млн лет, в связи с тем, что свита ранее относилась к венду [Беккер, 1975; Козлов, 1982]. Песчаная толпаровская и преимущественно глинистая суировская свиты считаются возрастными аналогами бакеевской свиты, но явных свидетельств этому нет. Толпаровская свита также сопоставляется с криволукской свитой восточного крыла БМА [Келлер и др., 1984]. Толпаровско-суировская последовательность заполняет эрозионную долину, врезанную в отложения верхнего рифея на глубину более 1 км, и содержит признаки призрачного мариногляциального генезиса [Келлер и др., 1984; Горожанин и др., 2019]. Глауконит суировской свиты датирован Rb-Sr методом с результатом  $638 \pm 70$  млн лет [Горожанин, 1995]. В верхней части этой свиты обнаружен прослой венчающих доломитов, который по изотопному составу кислорода отличается от кэп-карбонатов внутри аршинской серии [Горожанин и др., 2012, 2013].

Урюкская свита пока осталась неохваченной исследованиями U-Pb систематики детритовых цирконов. По ней имеются лишь малонадежные сведения о калий-аргоновом возрасте глауконита — 569 и 582 млн лет [Гаррис, 1977; Стратотип..., 1983]. В свите не обнаружены остатки вендской макробиоты [Беккер, 2013; Kolesnikov et al., 2015; Разумовский, 2018], и по причине того, что они отсутствуют и в нижележащих отложениях, нет оснований считать, что свита моложе ~570 млн лет, в соответствии с [Pu et al., 2016]. Урюкская свита состоит из двух разнородных толщ/пачек, нижняя из которых, вероятно, формировалась в условиях холодного климата и содержит подводно-оползневые складки [Козлов, 1982; Маслов, 2000; Горожанин и др., 2019]. Для верхней пачки с «многоэтажной» косой слоистостью в разрезе вблизи г. Усть-Катав Д.В. Гражданкин предполагает аллювиально-дельтовый генезис. Упомянутые признаки не противоречат друг другу и не исключают сходные обстановки осадконакопления, но возможно, что к урюкской свите исследователи относят различные по генезису толщи. Данные о характере контакта свиты с подстилающими отложениями противоречивы [Маслов и др., 2001; Горожанин и др., 2019]. Граница урюкской свиты с басинской также проведена условно [Беккер, 1968; Разумовский, 2018]. Состав породообразующих компонентов в песчаниках этих свит существенно различается (песчаники урюкской свиты близки по составу к аркозам, басинской — к грауваккам), что может указывать на существование между этими геологическими телами перерыва в осадконакоплении [Маслов, 2020]. В то же время литологические критерии, позволяющие установить реальную границу свит (ее положение в разрезе и на местности), отсутствуют (хоть и некоторые характеристические особенности отложений приведены также в работах В.И. Козлова [1982] и А. Виллнера с соавторами [Willner et al., 2001]).

Стратиграфическим «якорем» для ашинской серии являются две датировки цирконов из пеплового прослоя в разрезе возле г. Усть-Катав:  $548.2 \pm 7.6$  млн лет [Гражданкин и др., 2011] и  $547.6 \pm 3.8$  млн лет [Levashova et al., 2013]. В этой местности отсутствуют куккараукские конгломераты, отделяющие басинские отложения от сходных по литологии зиганских, что определило существование нескольких

<sup>3</sup> Литолого-геохимические признаки отложений в целом свидетельствуют, что по крайней мере в нижней (добасинской) части разреза перерывы в осадконакоплении играют весьма значительную роль [Маслов, 2020].

точек зрения на стратиграфическую приуроченность басинско-куккараукско-зиганской последовательности.

1. По мнению Д.В. Гражданкина и А.В. Колесникова с соавторами, данные датировки принадлежат басинской свите, а куккараукско-зиганские отложения на этой территории были размыты в преддевонское время [Kolesnikov et al., 2015]. Такое предположение подкрепляется обнаружением фосфатного детрита, интерпретируемого как обломки раковин беззачатковых брахиопод, в куккараукской свите на руч. Куккараук [Кузнецов, Шаццлло, 2011]; ранее имели место сообщения о находках в ашинской серии сколекодонтов и других палеозойских(?) ископаемых [Чибрикова, Олли, 2008; и др.]. Однако до сих пор не опубликовано ни одной работы, в которой присутствовали бы иллюстрации с однозначно диагностированными палеозойскими формами. Кроме того, Ю.Р. Беккер [2013, с. 54] указывал на находки ихнофоссилий *Treptichnus pedum* (индикатора подошвы кембрия МСШ) в верхней части басинской свиты, но подобная трактовка экземпляров его коллекции в настоящее время оспаривается [Иванцов, Захревская, 2018].

2. Распространены взгляды, что в позднем венде обломочный материал в осадочный бассейн поступал в основном с востока [Беккер, 1968, 1988; Пучков, 2010; Кузнецов и др., 2012; Краснобаев и др., 2019; Маслов, 2020], в связи с этим куккараукская свита выклинивается в западном направлении, и в усть-катавском разрезе уровень с пеплами, по-видимому, представлен зиганской свитой [Levashova et al., 2013; Разумовский, 2018; и др.]. В других структурах БМА пепловые прослои также характерны именно для зиганской свиты [Сергеева и др., 2019].

Таксономический состав остатков вендской биоты в разрезе ашинской серии в окрестностях г. Усть-Катав позволяет коррелировать рассматриваемые отложения с котлинским региоярусом венда [Гражданкин и др., 2011; Kolesnikov et al., 2015], рамки которого оцениваются в ~550—540 млн лет [Grazhdankin, 2014]. Таким образом, если эти фоссилии принадлежат басинской свите, то возраст вышележащей части ашинской серии с высокой степенью вероятности может быть кембрийским, а если зиганской, значит, басинско-куккараукская последовательность древнее 548 млн лет. Однако в ашинской серии не обнаружена типичная биота беломорского региояруса (559—550 млн лет) [Гражданкин и др., 2011; Grazhdankin, 2014], что заставляет либо отнести к котлинскому региоярусу также басинскую и куккараукскую свиты [Kolesnikov et al., 2015], либо предполагать достаточно длительный перерыв (перерывы?) внутри серии [Гражданкин и др., 2011].

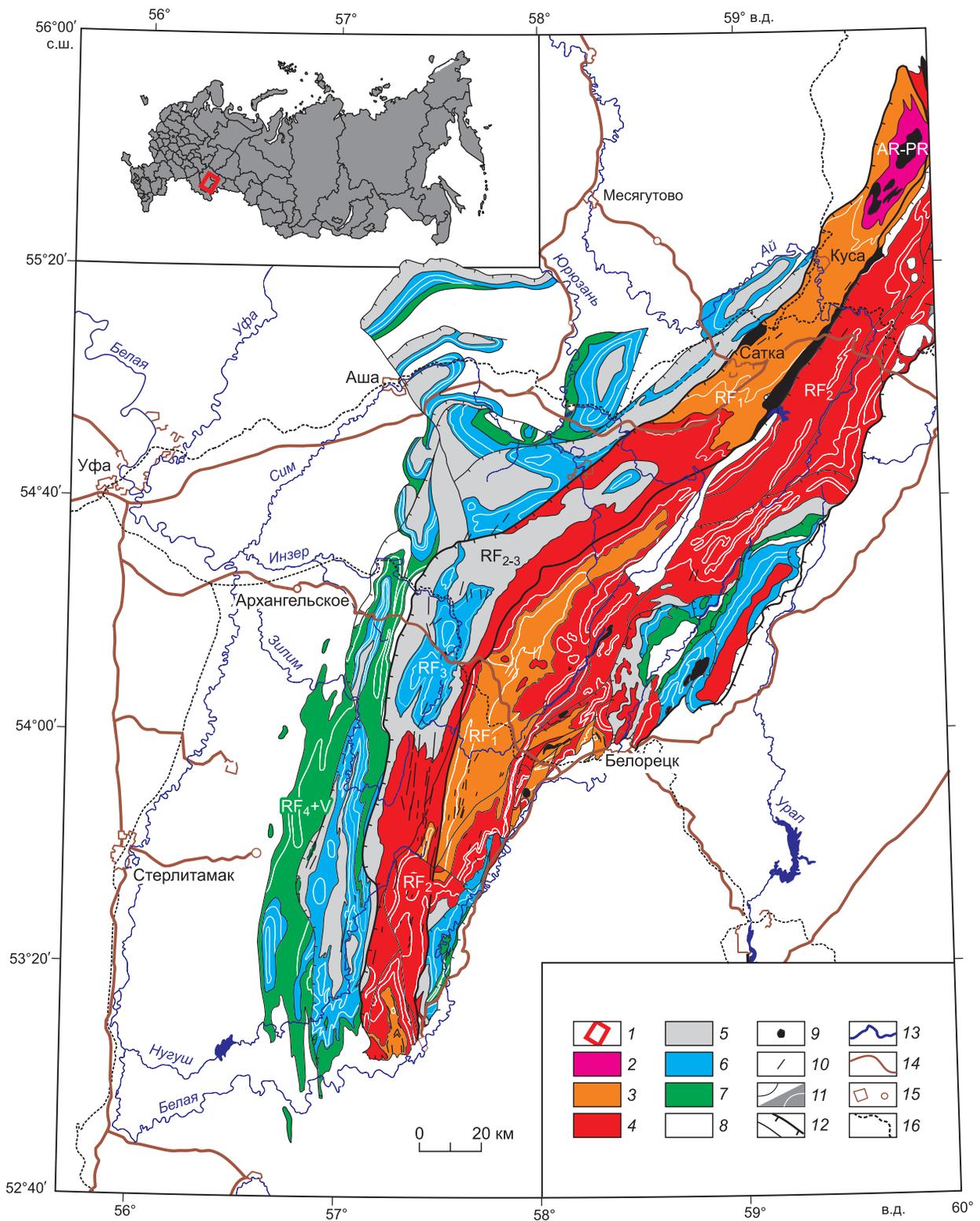
Недавно опубликованные результаты датирования цирконов из пепловых прослоев в ашинской серии свидетельствуют, что отложения басинской свиты накапливались уже  $573.0 \pm 2.3$  млн л. н. [Разумовский и др., 2020]. Но на сегодня нет полной уверенности, что это действительно так, поскольку принадлежность изученных туфов именно басинской свите, на наш взгляд, не вполне обоснованна. Проба была отобрана из обнажения вдоль строящейся дороги Стерлитамак—Белорецк [Разумовский и др., 2020] на достаточно низком стратиграфическом уровне (согласно графике, представленной в обсуждаемой работе) из полосы нерасчлененных отложений ашинской серии [Государственная..., 2013]. Подробные послойные описания и результаты литогеохимических исследований данного разреза пока отсутствуют. В то же время мощность басинской свиты, согласно классическим работам [Беккер, 1968, 2010; Козлов, 1982; Маслов и др., 2001], не превышает 900—1050 м. Кроме того, в этом фрагменте разреза ашинской серии присутствуют необнаженные интервалы. Таким образом, точка отбора пробы может находиться в толще, подстилающей басинскую свиту (в урюкской свите?), что в сочетании с литологически неопределенным уровнем ее нижней границы вполне вероятно (как уже отмечалось, урюкская свита, скорее всего, отделена от вышележащих отложений перерывом и недостаточно хорошо изучена). С другой стороны, все местонахождения эдиакарской макробиоты в басинской свите открыты пока только в ее верхней подсвите [Беккер, 1988; Разумовский, 2018]. Если будет доказана принадлежность комплекса этой биоты к редкинскому региоярусу венда, то нижняя граница басинской свиты действительно должна быть древнее ~570 млн лет, а стратиграфический диапазон надурюкской части ашинской серии окажется значительно шире, чем предполагали многие исследователи.

## НОВЫЙ ВАРИАНТ СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ ВЕРХНЕРИФЕЙСКО-ВЕНДСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ БМА

Привязка рубежей общих стратиграфических подразделений докембрия к несогласиям и началам крупных тектонических циклов показала свою бесперспективность при корреляциях удаленных разрезов. Оценки абсолютного возраста, известные для стратонов верхнего докембрия, также не могут полноценно использоваться для диагностики границ этих подразделений на местности (в отличие от хроностратиграфических маркеров), а служат лишь ориентиром. В основе стратиграфической шкалы докембрия, как и шкалы фанерозоя, должна лежать хронологическая последовательность глобальных и прослеживаемых геологических событий. При этом предлагается рассматривать рифей в качестве эрате-







**Рис. 2. Карта докембрийских образований Башкирского мегантиклинория в границах листа N-40 (на основе [Государственная..., 2013]).**

Откартированы местные стратиграфические подразделения. 1 — расположение листа карты N-40 на схеме РФ, 2 — дорифейские образования, 3 — бурзянская серия, 4 — юрматинская серия, 5 — зильмердакская серия, 6 — каратауская серия, 7 — аршинская и ашинская серии, 8 — палеозойские отложения, 9 — интрузивные тела, 10 — вулканические и гипабиссальные образования, 11 — стратиграфические границы, 12 — тектонические границы, 13 — крупные реки, 14 — главные автодороги, 15 — населенные пункты, 16 — железные дороги.

магнитуды вековых вариаций изотопного состава углерода сходны. Сопоставление кривой вариации величины  $\delta^{13}\text{C}$  в карбонатах каратауской серии [Kuznetsov et al., 2017] и кривых, полученных для отложений тония других бассейнов и лучше откалиброванных по абсолютному возрасту [Swanson-Hysell et al., 2015], позволили прийти к выводу, что вся инзерско(катавско?)-миньярская последовательность, скорее всего, сформировалась в интервале  $\sim 840(850?)$ —820 млн лет (см. рис. 1), что несколько отличается от предыдущих оценок [Kuznetsov et al., 2017] (при этом возраст катавской свиты по-прежнему остается дискуссионным). По всей видимости, бассейн пассивной окраины Балтики в тонии характеризовался специфическими гидрохимическими условиями, но сообщался с Мировым океаном. В частности, относительно низкие значения величин  $\delta^{13}\text{C}$  в карбонатах каратауской серии могут быть объяснены с позиций гипотезы о существовании в неопротерозойских океанах резервуара растворенного органического углерода (DOC) [Rothman et al., 2003; Lowenstein et al., 2014].

К сожалению, глауконит является ненадежным минералом для определения абсолютного возраста пород, испытавших эпигенетические преобразования (особенно приуроченных к складчато-надвиговому поясу). На это указывает увеличивающееся с каждым годом число публикаций, посвященных обнаружению «омоложенного» (по сравнению с реальным абсолютным возрастом отложений) глауконита, в том числе изученного различными физико-химическими методами [Горохов и др., 1997, 2019; Зайцева и др., 2018, 2019; Ивановская и др., 2019]. В свое время Б.М. Келлер, опираясь на опыт предшественников, не рекомендовал пользоваться определениями возраста глауконита (K-Ar) до тех пор, пока они не будут подтверждены другими радиоизотопными методами [Стратотип..., 1983]. С. Боуринг с соавторами приводили доказательства того, что рубидий-стронциевый метод определения возраста пород не очень надежен [Bowring et al., 1993]. С учетом вышеизложенного, имеющиеся датировки по глаукониту в каратауской серии нельзя рассматривать в качестве реперов. Данные Sr- и C-изотопной хемотратиграфии свидетельствуют, что осадки укской свиты возникли в интервале  $\sim 780$ —740 млн лет, вследствие чего ее следует относить к тонию/верхнему рифею. Однако мы вынуждены признать, что для этого интервала времени пока не так много достоверных данных об изотопном составе стронция в морской воде [Derry et al., 1992; Miller et al., 2009; Park et al., 2020; Zhou et al., 2020]. Если другими независимыми методами возраст укской свиты будет определен в этих пределах, то ее отложения могут оказаться мировым эталоном для указанного отрезка геологической летописи. Публикация результатов датирования детритовых цирконов из нижеукской подсвиты, возможно, позволит уточнить нижнюю границу диапазона вероятного возраста.

### Терминальный рифей и венд

При установлении нижней границы терминального рифея (аршиния) по появлению ледниковых отложений гляциопериода Стерт<sup>6</sup>, а верхней — по кровле тиллитов Гаскье во всех дальнейших построениях нужно учитывать, что стратиграфический объем аршиния как системы, скорее всего, больше диапазона аршинской серии, а его основание не совпадает с подошвой последней (подобная участь постигла многие местные подразделения, ставшие впоследствии общими). Предварительно эталоном нижней границы аршиния ОСШ может служить подошва первых однозначно диагностируемых тиллитов махмутовской свиты. Нижележащую байнасскую свиту, таким образом, следует включить в состав каратавия ОСШ (в случае, если конгломераты в ее основании не являются тоже гляциогенными образованиями). Для подтверждения или опровержения варианта корреляции тиллитов махмутовской свиты с оледенением Стерт необходимо датировать цирконы синседиментационных вулканитов игонинской свиты методом CA-ID-TIMS (но гарантий эффективности таких исследований нет, так как первые шаги в этом направлении свидетельствуют о чрезвычайно широком диапазоне возрастов цирконов [Краснобаев и др., 2012, 2019]).

Сведения по толпаровско-суировской и кургашлинско-байназаровской последовательностям, выполняющим врезанные долины и несущим признаками мариногляциального генезиса, заставляют предполагать их приуроченность к событию Марино. Но недавно было показано, что это оледенение не сопровождалось катастрофическим падением уровня Мирового океана, а наиболее крупные эрозионные формы рельефа, часто открывавшиеся в древние рифты, в других регионах мира были в основном приурочены к оледенению Стерт [Bechstädt et al., 2018; Williams, Gostin, 2019; Mitchell et al., 2019]. По этой причине полноценные корреляции для аршиния БМА с МСШ пока преждевременны. Возможно, образование врезанных долин происходило во время оледенения Стерт, а их осадочное заполнение формировалось позднее, в несколько этапов, при повышении уровня моря.

<sup>6</sup> Данный признак является не самым удачным, опыт выбора GSSP подошвы криогения показывает, что предпочтение может быть отдано вариациям изотопного состава C и Sr в подстилающих тиллиты отложениях [Shields et al., 2018], но, несомненно, лучше всего придерживаться единого с МСШ критерия.

Наиболее остро на данный момент стоят вопросы взаимоотношения аршинской и ашинской серий. В связи с тем, что серия — это местное стратиграфическое подразделение, а система (или ярус) — общее, для включения свиты в ту или иную серию главное значение должны иметь ее литологические характеристики, а не возраст. Соответственно, границу между сериями в первую очередь следует определять непосредственно по смене литогеохимических параметров отложений.

Одним из хорошо петрографически выраженных уровней верхнего докембрия БМА считается урюкская свита (и литологически сходные с ней отложения на восточном крыле БМА) [Беккер, 1975; Маслов, 2000; Kolesnikov et al., 2015; Горожанин, Канипова, 2017], поэтому подстилающие ее фациально-различные отложения, лежащие над каратауской серией (на западе это бакеевская свита и толпаровско-суировская последовательность), возможно, следует отнести к аршинской серии.

Однозначно решить вопрос о такой корреляции пока не позволяют имеющиеся предположения о постепенном переходе между суировской и урюкской свитами [Горожанин и др., 2019]. Несмотря на некоторые различия в литологии между урюкской и басинской свитами, обе они традиционно причисляются к ашинской серии [Беккер, 1968]. Байназаровская свита считается аналогом урюкской, соответственно она тоже принадлежит ашинской серии. В серию следует включать и кургашлинскую свиту, если она действительно связана с байназаровской постепенным переходом [Чумаков, 1998; Пучков и др., 2014; Горожанин, Канипова, 2017]. Для подтверждения или опровержения тезиса, что граница между аршинской и ашинской сериями должна проводиться в подошве урюкской свиты, необходимо привлечение надежных петрографических и литогеохимических данных<sup>7</sup>.

Сходным образом, если специальными исследованиями подтвердится предполагаемое сходство литологических и геохимических характеристик басинско-зиганской последовательности и малоямантауской свиты кембрия(?), то последняя также должна быть включена в ашинскую серию.

Что касается нижней границы венда, связываемой нами с окончанием гляциопериода Гаскье, то имеющейся к настоящему моменту информации недостаточно для ее надежного установления в разрезах БМА. Скорее всего, она совпадает с перерывом в осадконакоплении. Необходимы детальные исследования урюкской свиты и нижнебасинской подсвиты (в первую очередь изучение U-Pb систематики детритовых цирконов и микрофоссилий). Похоже обстоит ситуация и с нижней границей кембрия — исследование ихнофоссилий и дальнейший поиск скелетных остатков в ашинской серии, вероятно, позволят решить этот вопрос.

Можно утверждать, что в верхнерифейской геологической летописи БМА значительную роль играют перерывы, тогда как время накопления сохранившихся отложений было в целом значительно меньшим. Такой характер разреза объясняется особенностями седиментации на пассивных континентальных окраинах, которая в первую очередь зависит от колебаний относительного уровня моря [Burchette, Wright, 1992; Catuneanu, 2006]. Позднее рельеф рассматриваемой территории оказался осложнен рифтовыми впадинами и врезанными долинами, благоприятствующими аккумуляции и частичному сохранению отложений терминального рифея. Стратиграфические перерывы, предшествующие накоплению вендских толщ и характерные для большей площади БМА, были связаны с глобальными оледенениями и, возможно, с коллизионными процессами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Зильмердакскую свиту БМА рекомендовано перевести в ранг серии, а бирьянскую, нугушскую, лемезинскую и бедерышинскую подсвиты — в ранг свит. Принципиальные отличия в литологических характеристиках, полученные недавно свидетельства о различных источниках сноса, предположения о наличии перерывов на ряде уровней и данные сопоставительного анализа мощностей являются предпосылками для этих изменений. Предлагаемые преобразования рациональны и с точки зрения различий в литологии между исключительно терригенной зильмердакской и вышележащей терригенно-карбонатной катавско-укской последовательностью. Закономерны аналогичные изменения в стратиграфических схемах для нижнего и среднего рифея.

2. Если в качестве критерия подошвы верхнего рифея будет утверждён уровень первого появления микрофоссилий *Trachyhystrichosphaera* sp., то формально граница среднего и верхнего рифея в стратотипе должна проводиться вблизи основания бедерышинской свиты, ниже которой остатки этих акантоморфных акритарх в разрезе (пока?) не обнаружены. Предполагаемая корреляция зильмердакской серии с ишеримской свитой Северного Урала с возрастом от ~1150 до 1079 ± 41 млн лет подтверждает правомерность внесения корректировок в региональную стратиграфическую схему. С другой сторо-

<sup>7</sup> Несмотря на то, что границы местных стратиграфических подразделений не должны существенно пересматриваться, в связи с получением новой информации по урюкской свите могут возникнуть аргументы в пользу и ее отнесения к аршинской серии.

ны, возраст отложений, в которых найдены индекс-таксоны *Trachyhystrichosphaera* sp., может достигать 1130 млн лет [Beghin et al., 2017]. Но, судя по датировкам детритовых цирконов в бирьянской свите, зильмердакская серия не могла начать формироваться ранее 1100—1050 млн лет назад (для большей точности требуется датирование самой молодой популяции детритовых цирконов бирьянской свиты СА-ID-TIMS методом). Выявленное противоречие объясняется непредставительностью рубежа RF<sub>2</sub>/RF<sub>3</sub> в стратотипе рифея. Очевидно, что разрезы на Южном Урале не могут претендовать на роль эталонов границ между системами рифея в докембрии, соответственно, необходим поиск таковых в других регионах.

3. Данные Sr- и С-изотопной хемотратиграфии указывают на то, что отложения инзерской и миньярской свит, скорее всего, накапливались в интервале ~840—820 млн лет, а укской — ~780—740 млн лет. Несомненно, для укской свиты реальная продолжительность осадконакопления была существенно меньше; возможно, дальнейшие исследования позволят уточнить нижний предел отмеченного интервала.

4. Бакеевскую свиту, а также толпаровско-суировскую последовательность (частично или полностью), вероятнее всего, следует отнести к аршинской серии и рассматривать как модификации последней на западном крыле БМА. Но внесение изменений в стратиграфические схемы уместно только после надежного обоснования сходства отложений западного и восточного крыла по литолого-геохимическим характеристикам, а также их отличий от перекрывающих отложений.

5. В соответствии с представленными нами ранее предложениями по совершенствованию ОСШ верхнего докембрия, махмутовская, игонинская, шумская, кургашлинская, бакеевская свита, а также толпаровско-суировская последовательность, по-видимому, принадлежат аршинской системе (= терминальному рифею, в границах ~717—580 млн лет) рифейской эратемы. К этому же стратиграфическому подразделению с долей вероятности могут быть отнесены урюкская и байназаровская свиты, а также, возможно, криволукская свита.

Автор признателен М.Т. Крупнину, А.В. Маслову, Д.В. Гражданкину и В.Н. Пучкову за продуктивное обсуждение затронутых в статье проблем. А.В. Маслов провел критический анализ первого варианта рукописи, А.Б. Кузнецов и Д.В. Гражданкин высказали ценные замечания по существу изложенного материала, что позволило усовершенствовать данную работу.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-00062) и в рамках темы АААА-А18-118053090044-1 госзадания ИГГ УрО РАН.

## ЛИТЕРАТУРА

**Беккер Ю.Р.** Возраст и последовательность напластования отложений верхней части каратауской серии Южного Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1961, № 9, с. 49—60.

**Беккер Ю.Р.** Позднедокембрийская моласса Южного Урала. Л., Недра, 1968, 160 с.

**Беккер Ю.Р.** О выделении бакеевских отложений в стратотипическом разрезе рифея // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1975, № 6, с. 125—129.

**Беккер Ю.Р.** Молассы докембрия. Л., Недра, 1988, 288 с.

**Беккер Ю.Р.** Геологический потенциал древних ихнофоссилий в стратотипе позднего докембрия Южного Урала // Региональная геология и металлогения, 2010, № 43, с. 18—35.

**Беккер Ю.Р.** Ихнофоссилии — новый палеонтологический объект в стратотипе позднего докембрия Урала // Литосфера, 2013, № 1, с. 52—80.

**Вейс А.Ф., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Воробьева Н.Г.** Микрофоссилии типового разреза верхнего рифея (каратавская серия Южного Урала) // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2003, т. 11, № 6, с. 19—44.

**Гаррис М.А.** Этапы магматизма и метаморфизма в доюрской истории Урала и Приуралья. М., Наука, 1977, 295 с.

**Генина Л.А., Ларионов Н.Н., Захаров А.А.** Интрузивный магматизм и метаморфизм // Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200 000 (второе поколение). Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXII — Тузан. Объяснительная записка. М., МФ ВСЕГЕИ, 2015, с. 83—90.

**Горожанин В.М.** Рубидий-стронциевый изотопный метод в решении проблем геологии Южного Урала: Автореф. дис... к. г.-м. н. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 1995, 23 с.

**Горожанин В.М., Кутявин Э.П.** Рубидий-стронциевое датирование глауконита укской свиты // Докембрий и палеозой Южного Урала. Уфа, БФ АН СССР, 1986, с. 60—63.

**Горожанин В.М., Канипова З.А.** Литологические индикаторы мариногляциального генезиса отложений байназаровской свиты венда (Криволукский грабен Башкирского мегантиклинория, Южный Урал) // Геологический сборник № 13 ИГ УНЦ РАН. СПб, Свое издательство, 2017, с. 34—43.

**Горожанин В.М., Мичурин С.В., Биктимерова З.Р.** Изотопно-геохимические особенности «венчающих доломитов» в вендских отложениях Южного Урала // Геология. Изв. Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ, 2012, № 18, с. 42—52.

**Горожанин В.М., Мичурин С.В., Биктимерова З.Р.** Изотопно-геохимические особенности «венчающих доломитов» аршинской свиты (Южный Урал) // Геология. Изв. Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ, 2013, № 19, с. 61—67.

**Горожанин В.М., Мичурин С.В., Войкина З.А., Шарипова А.А., Биктимерова З.Р., Султанова А.Г.** Мариногляциальные отложения в Толпаровском разрезе верхнего докембрия (реки Зилим и Малый Толпар) // Геологический вестник, 2019, № 3, с. 69—92.

**Горохов И.М., Яковлева О.В., Семихатов М.А., Мельников Н.Н., Ивановская Т.А., Кутявин Э.П.** «Омоложенный» Al-глауконит в пограничных венд-кембрийских отложениях Подольского Приднестровья (Украина): Rb-Sr и K-Ar систематика и <sup>57</sup>Fe мессбауэровские спектры // Литология и полезные ископаемые, 1997, № 6, с. 616—635.

**Горохов И.М., Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Аракелянц М.М., Ковач В.П., Константинова Г.В., Турченко Т.Л., Васильева И.М.** Изотопная систематика и возраст аутигенных минералов в аргиллитах верхнерифейской инзерской свиты Южного Урала // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2019, т. 27, № 2, с. 3—30.

**Горяинова О.П., Фалькова Э.А.** Древние свиты западного склона Южного Урала // Бюл. МОИП. Отд. геол., 1937, т. XV, вып. 3, с. 242—274.

**Государственная геологическая карта РФ м-ба 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист N-40 — Уфа.** СПб, Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013.

**Гражданкин Д.В., Маслов А.В.** Место венда в Международной стратиграфической шкале // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (4), с. 703—717.

**Гражданкин Д.В., Марусин В.В., Меерт Дж., Крупенин М.Т., Маслов А.В.** Котлинский горизонт на Южном Урале // ДАН, 2011, т. 440, № 2, с. 201—206.

**Дуб С.А.** Проблемы Общей стратиграфической шкалы верхнего докембрия и предложения по ее совершенствованию // Литосфера, 2021, т. 21, № 4, с. 449—468.

**Дуб С.А., Гражданкин Д.В., Бобков Н.И.** Molar tooth structures в укской свите (верхний рифей, Южный Урал) и их стратиграфическое значение // Литология и я: от идеи до выводов. Материалы 3-й Всероссийской школы студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по литологии. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 2018, с. 72—74.

**Зайцева Т.С., Горохов И.М., Ивановская Т.А., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Мельников Н.Н., Аракелянц М.М., Яковлева О.В.** Мессбауэровские характеристики, минералогия и изотопный возраст (Rb-Sr, K-Ar) верхнерифейских глауконитов укской свиты Южного Урала // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2008, т. 16, № 3, с. 3—25.

**Зайцева Т.С., Горохов И.М., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Ивановская Т.А., Константинова Г.В., Доржиева О.В.** «Омоложенные» глобулярные слоистые силикаты в рифейских отложениях Оленекского поднятия: кристаллохимическая идентификация и геологическое значение Rb-Sr и K-Ar датировок // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2018, т. 26, № 5S, с. S3—S26.

**Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Горожанин В.М., Горохов И.М., Ивановская Т.А., Константинова Г.В.** Основание венда на Южном Урале: Rb-Sr возраст глауконитов бакеевской свиты // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2019, т. 27, № 5, с. 82—96.

**Ивановская Т.А., Гептнер А.Р., Савичев А.Т., Зайцева Т.С., Горькова Н.В., Покровская Е.В.** Глауконит в терригенно-карбонатных отложениях нижнего кембрия (Северная Сибирь, Оленекское поднятие) // Литология и полезные ископаемые, 2019, № 4, с. 295—317.

**Иванцов А.Ю., Закревская М.А.** Атлас макрофоссилий верхнего венда и нижнего кембрия (?) Среднего и Южного Урала // Макрофоссилии верхнего венда Восточной Европы. Средний и Южный Урал / Ред. А.Ю. Иванцов. М., ПИН РАН, 2018, с. 32—71.

**Келлер Б.М., Вейс А.Ф., Горожанин В.М.** Толпаровский разрез верхнего докембрия (Южный Урал) // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1984, № 9, с. 119—124.

**Ковалев С.Г., Мичурин С.В., Маслов А.В., Шарипова А.А.** Первые данные по геохимии редкоземельных элементов и платиноидов в породах золоторудного месторождения Улюк-Бар (Южный Урал) // Литосфера, 2020, т. 20, № 4, с. 573—591.

**Козлов В.И.** Верхний рифей и венд Южного Урала. М., Наука, 1982, 128 с.

**Козлов В.И., Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Нехорошева А.Г., Бушарина С.В.** Аршиний — новый стратон рифея в стратотипических разрезах Южного Урала // Геологический сборник № 9 ИГ УНЦ РАН. Уфа, ДизайнПолиграфСервис, 2011, с. 52—56.

**Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Ларионов А.Н., Нехорошева А.Г., Бережная Н.Г.** Полигенно-полихронная цирконология и проблема возраста барангуловского габбро-гранитного комплекса // ДАН, 2007, т. 416, № 2, с. 241—246.

**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.

**Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В.** Природа цирконовой кластики в песчаниках рифея и венда Южного Урала // Георесурсы, 2019, т. 21, №1, с. 15—25.

**Крупенин М.Т.** Минерагеническое и геодинамическое значение среднерифейского времени на западном склоне Южного Урала // ДАН, 2004, т. 399, № 4, с. 503—505.

**Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М., Мельников Н.Н., Константинова Г.В., Кутявин Э.П.** Изотопный состав Sr в карбонатных породах каратавской серии Южного Урала и стандартная кривая вариаций отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в позднерифейском океане // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2003, т. 11, № 5, с. 3—39.

**Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Маслов А.В., Горохов И.М., Прасолов Э.М., Крупенин М.Т., Кислова И.В.** Sr- и S-изотопная хемотратиграфия типового разреза верхнего рифея (Южный Урал): новые данные // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2006, т. 14, № 6, с. 25—53.

**Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М.** Возможности стронциевой изотопной хемотратиграфии в решении проблем стратиграфии верхнего протерозоя (рифей и венда) // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2014, т. 22, № 6, с. 3—25.

**Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М.** Стронциевая изотопная хемотратиграфия: основы метода и его современное состояние // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2018, т. 26, № 4, с. 3—23.

**Кузнецов Н.Б., Шацлло А.В.** Первые находки скелетных фоссилий в куккараукской свите ашинской серии Южного Урала и их значение для определения начала протоуральско-тиманской коллизии // ДАН, 2011, т. 440, № 3, с. 378—383.

**Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шацлло А.В., Орлов С.Ю., Голованова И.В., Данукалов К.Н., Ипатьева И.С.** Первые результаты массового U/Pb-изотопного датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из ашинской серии Южного Урала: палеогеографический и палеотектонический аспекты // ДАН, 2012, т. 447, №1, с. 73—79.

**Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Маслов А.В., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Каныгина Н.А., Дубенский А.С., Белоусова Е.А.** Первые результаты U/Pb датирования детритовых цирконов из песчаников верхневендской бакеевской свиты Башкирского поднятия (Южный Урал) // Проблемы тектоники континентов и океанов. Материалы LI тектонического совещания. Т. 1. М., ГЕОС, 2019, с. 305—309.

**Ларионов Н.Н., Грановская Н.В., Нигматуллина А.М.** Стратиграфия // Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200 000 (второе поколение). Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXII — Тузан. Объяснительная записка. М., МФ ВСЕГЕИ, 2015, с. 9—83.

**Маслов А.В.** Некоторые особенности ранневендской седиментации на Южном и Среднем Урале // Литология и полезные ископаемые, 2000, № 6, с. 624—639.

**Маслов А.В.** Башкирский мегантиклинорий: позднерифейско-вендские перерывы и возможные трансформации систем питания бассейна тонкой алюмосиликокластикой // Литосфера, 2020, № 4, с. 455—470.

**Маслов А.В., Анфимов Л.В.** Авзянская рудоносная свита среднего рифея Южного Урала (литостратиграфия, условия образования, минерагения). Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 2000, 132 с.

**Маслов А.В., Подковыров В.Н.** Редокс-статус океана 2500—500 млн лет назад: современные представления // Литология и полезные ископаемые, 2018, № 3, с. 207—230.

**Маслов А.В., Абдуазимова З.М., Карстен Л.А., Пучков В.Н.** Первые находки меланоцириллитумов в эталонных разрезах рифея на Южном Урале // Состояние, проблемы и задачи геологического картирования областей развития докембрия на территории России. Тезисы докладов Всероссийского совещания. СПб, ИГГД РАН, 1994, с. 90.

**Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В.** Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерагения, геологические памятники природы). В 4 томах. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 2001, т. 1, 351 с.; т. 2, 134 с.; т. 3, 130 с.; т. 4, 103 с.

**Маслов А.В., Оловянишников В.Г., Ишерская М.В.** Рифей восточной, северо-восточной и северной периферии Русской платформы и западной мегазоны Урала: литостратиграфия, условия формирования и типы осадочных последовательностей // Литосфера, 2002, № 2, с. 54—95.

**Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Ронкин Ю.Л.** К вопросу о вкладе гренвильских событий в формирование наиболее полных осадочных последовательностей рифея Северной Евразии // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2014, т. 22, № 2, с. 46—61.

**Маслов А.В., Ерохин Е.В., Гердес А., Ронкин Ю.Л., Иванов К.С.** Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS-изотопного датирования обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал) // ДАН, 2018а, т. 482, № 5, с. 558—561.

**Маслов А.В., Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д.** Аршинская серия рифея Южного Урала: к вопросу о геодинамической природе породных ассоциаций // ДАН, 2018б, т. 480, № 1, с. 64—68.

**Мичурин С.В., Шарипова А.А., Крупенин М.Т., Замятин Д.А., Мусина А.М., Попов В.А.** Сульфидная минерализация, самородное золото и его геохимические связи в рифейских отложениях Авзянского рудного района (Южный Урал) // Литосфера, 2018, т. 18, № 1, с. 61—81.

**Овчинникова Г.В., Васильева И.М., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Гороховский Б.М., Левский Л.К.** U-Pb-систематика карбонатных пород протерозоя: инзерская свита стратотипа верхнего рифея (Южный Урал) // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1998, т. 6, № 4, с. 20—31.

**Овчинникова Г.В., Васильева И.М., Семихатов М.А., Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Гороховский Б.М., Левский Л.К.** Возможности Pb-Pb датирования карбонатных пород с открытыми U-Pb системами: миньярская свита стратотипа верхнего рифея, Южный Урал // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2000, т. 8, № 6, с. 3—19.

**Петров Г.А.** К проблеме корреляции рифейских толщ Южного и Северного Урала // Ежегодник-2017, 2018, с. 67—70. (Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 165).

**Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Маслов А.В.** Проявление гренвилльской орогении в рифейских толщах Северного Урала: термодинамические параметры метаморфизма и Sr-Nd изотопные ограничения // ДАН, 2015, т. 462, № 6, с. 686—691.

**Подковыров В.Н., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Виноградов Д.П., Козлов В.И., Кислова И.В.** Изотопный состав карбонатного углерода в стратотипе верхнего рифея (каратавская серия Южного Урала) // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1998, т. 6, № 4, с. 3—19.

**Покровский Б.Г., Чумаков Н.М.** Изотопный состав углерода и кислорода в карбонатных породах деминской и низьвинской свит, верхний рифей Северного Урала // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2009, т. 17, № 6, с. 105—108.

**Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий /** Ред. А.И. Жамойда. Вып. 39. СПб, Изд-во ВСЕГЕИ, 2010, 84 с.

**Пучков В.Н.** Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа, ДизайнПолиграфСервис, 2010, 280 с.

**Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Ратов А.А.** Отложения нижнего венда на Южном Урале: особенности состава и строения // Геологический сборник № 11 ИГ УНЦ РАН. Уфа, ДизайнПресс, 2014, с. 22—36.

**Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А.** Стратиграфическая схема стратотипа рифея Южного Урала // Геология. Изв. Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ, 2017, № 23, с. 3—26.

**Раабен М.Е.** Строматолитовые формации рифея в обрамлении Восточно-Европейской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2007, т. 15, № 1, с. 35—46.

**Разумовский А.А.** Венд Урала // Макрофоссилии верхнего венда Восточной Европы. Средний и Южный Урал / Ред. А.Ю. Иванцов. М., ПИН РАН, 2018, с. 7—31.

**Разумовский А.А., Новиков И.А., Рязанцев А.В., Рудько С.В., Кузнецов Н.Б., Яшунский Ю.В.** Древнейшие вендские ископаемые Евразии: U-Pb-изотопный возраст басинской свиты (ашинская серия, Южный Урал) // ДАН, 2020, т. 495, № 2, с. 3—8.

**Романюк Т.В., Маслов А.В., Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Серегина Е.С.** Первые результаты U/Pb LA-ICP-MS датирования детритных цирконов из верхнерифейских песчаников Башкирского антиклинория (Южный Урал) // ДАН, 2013, т. 452, № 6, с. 642—645.

**Ронкин Ю.Л., Тихомирова М., Маслов А.В.** ~1380 млн лет LIP Южного Урала: прецизионные U-Pb ID-TIMS ограничения // ДАН, 2016, т. 468, № 6, с. 674—679.

**Ронкин Ю.Л., Маслов А.В., Синдерн С.** U-Pb (ID-TIMS) геохронологический метод и SIMS приемы датирования циркона: возможности и ограничения // Литосфера, 2020, №3, с. 411—431.

**Рязанцев А.В., Кузнецов Н.Б., Дегтярев К.Е., Романюк Т.В., Толмачева Т.Ю., Белоусова Е.А.** Реконструкция венд-кембрийской активной континентальной окраины на Южном Урале по результатам изучения детритовых цирконов из ордовикских терригенных пород // Геотектоника, 2019, т. 53, № 4, с. 43—59.

**Семихатов М.А.** Уточнение оценок изотопного возраста нижних границ верхнего рифея, венда, верхнего венда и кембрия // Дополнения к стратиграфическому кодексу России. СПб, ВСЕГЕИ, 2000, с. 95—107.

**Сергеев В.Н.** Окремненные микрофоссилии докембрия: природа, классификация и биостратиграфическое значение. М., ГЕОС, 2006, 280 с.

**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—34.

**Сергеева Н.Д., Пучков В.Н., Ратов А.А., Козлова О.В.** Стратиграфическая корреляция отложений рифея Волго-Уральской области и Южного Урала и их пространственное взаимоотношение в зоне сопряжения платформенных и складчатых структур по сейсмическим материалам // Геологический вестник, 2018, № 2, с. 79—95.

**Сергеева Н.Д., Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Козлова О.В., Ратов А.А.** Ашинская серия венда: орогенный комплекс тиманид на Южном Урале // Геологический вестник, 2019, №1, с. 3—34.

**Стратиграфическая** схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области / Е.М. Аксенов, В.И. Козлов. Уфа, ИГ УНЦ РАН, 2000, 2 л.

**Стратиграфический** кодекс России / Ред. А.И. Жамойда. СПб, Изд-во ВСЕГЕИ, 2019, 96 с.

**Стратотип** рифея. Стратиграфия. Геохронология / Под ред. Б.М. Келлера, Н.М. Чумакова. М., Наука, 1983, 184 с.

**Чибрикова Е.В., Олли В.А.** Новые находки органических остатков в допалеозойских (?) отложениях Урала / Материалы VII Межрегиональной геологической конференции. Уфа, ИГ УНЦ РАН, 2008, с. 132—134.

**Чумаков Н.М.** Опорный разрез вендских ледниковых отложений Южного Урала (кургашлинская свита Криволукского грабена) // Урал: фундаментальные проблемы геодинамики и стратиграфии. М., Наука, 1998, с. 138—153.

**Чумаков Н.М.** Оледенения Земли: история, стратиграфическое значение и роль в биосфере. М., ГЕОС, 2015, 160 с.

**Чумаков Н.М., Покровский Б.Г., Маслов А.В.** Стратиграфическое положение и значение карбонатных пород, связанных с неопротерозойскими ледниковыми горизонтами Урала // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2013, т. 21, № 6, с. 3—24.

**Шардакова Г.Ю.** Отражение гренвилльских событий в разных изотопных системах гранитоидов и метаморфитов западного склона Урала // Ежегодник-2017, 2018, с. 228—232. (Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 165).

**Янкаускас Т.В.** Микрофоссилии рифея Южного Урала // Стратотип рифея. Палеонтология и палеомагнетизм. М., Наука, 1982, с. 84—120.

**Antcliffe J.B.** Questioning the evidence of organic compounds called sponge biomarkers // *Palaeontology*, 2013, v. 56, p. 917—925.

**Bartley J.K., Kah L.C., McWilliams J.L., Stagner A.F.** Carbon isotope chemostratigraphy of the Middle Riphean type section (Avzyan Formation, Southern Urals, Russia): signal recovery in a fold-and-thrust belt // *Chem. Geol.*, 2007, v. 237, p. 211—232.

**Bechstädt T., Jäger H., Rittersbacher A., Schweisfurth B., Spence G., Werner G., Boni M.** The Cryogenian Ghaub Formation of Namibia — new insights into Neoproterozoic glaciations // *Earth Sci. Rev.*, 2018, v. 177, p. 678—714.

**Beghin J., Storme J.-Y., Blanpied C., Gueneli N., Brocks J.J., Poulton S.W., Javaux E.J.** Microfossils from the late Mesoproterozoic—early Neoproterozoic Atar/El Mreïti Group, Taoudeni Basin, Mauritania, northwestern Africa // *Precambrian Res.*, 2017, v. 291, p. 63—82.

**Bowring S.A., Grotzinger J.P., Isachsen C.E., Knoll A.H., Pelechaty S.M., Kolosov P.** Calibrating rates of Early Cambrian evolution // *Science*, 1993, v. 261, p. 1293—1298.

**Burchette T.P., Wright V.P.** Carbonate ramp depositional systems // *Sediment. Geol.*, 1992, v. 79, p. 3—57.

**Butterfield N.J.** Early evolution of the Eukaryota // *Palaeontology*, 2015, v. 58 (1), p. 5—17.

**Canfield D.E.** A new model for Proterozoic ocean chemistry // *Nature*, 1998, v. 396, p. 450—453.

**Canfield D.E., Poulton S.W., Knoll A.H., Narbonne G.M., Ross G., Goldberg T., Strauss H.** Ferruginous conditions dominated later Neoproterozoic deep-water chemistry // *Science*, 2008, v. 321, p. 949—952.

**Catuneanu O.** Principles of sequence stratigraphy. Amsterdam, Elsevier, 2006, 375 p.

**Cavalier-Smith T.** Kingdom Chromista and its eight phyla: a new synthesis emphasising periplastid protein targeting, cytoskeletal and periplastid evolution, and ancient divergences // *Protoplasma*, 2018, v. 255 (1), p. 297—357.

**Cohen P.A., Macdonald F.A.** The Proterozoic record of eukaryotes // *Paleobiology*, 2015, v. 41, p. 610—632.

**Cox G.M., Halverson G.P., Stevenson R.K., Vokaty M., Poirier A., Kunzmann M., Li Z.X., Denszyn S.W., Strauss J.V., Macdonald F.A.** Continental flood basalt weathering as a trigger for Neoproterozoic Snowball Earth // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2016, v. 446, p. 89—99.

**Cunningham J.A., Vargas K., Yin Z., Bengtson S., Donoghue P.C.J.** The Weng'an Biota (Doushantuo Formation): an Ediacaran window on soft-bodied and multicellular microorganisms // *J. Geol. Soc. London*, 2017, v. 174 (5), p. 793—802.

**Derry L.A., Kaufman A.J., Jacobsen S.B.** Sedimentary cycling and environmental change in the Late Proterozoic: evidence from stable and radiogenic isotopes // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1992, v. 56 (3), p. 1317—1329.

**Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Yamilton V.** Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // Геологический сборник № 5 ИГ УНЦ РАН. Уфа, ДизайнПолиграфСервис, 2006, с. 119—161.

**Ernst R.E., Wingate M.T.D., Buchan K.L., Li Z.X.** Global record of 1600—700 Ma Large Igneous Provinces (LIPs): Implications for the reconstruction of the proposed Nuna (Columbia) and Rodinia supercontinents // *Precambrian Res.*, 2008, v. 160, p. 159—178.

**Erwin D.H., Laflamme M., Tweedt S.M., Sperling E.A., Pisani D., Peterson K.J.** The Cambrian conundrum: Early divergence and later ecological success in the early history of animals // *Science*, 2011, v. 334, p. 1091—1097.

**Fairchild I.J., Spencer T., Ali D., Anderson R., Anderton R., Boomer I., Dove D., Evans J., Hambrey M., Howe J., Sawaki Y., Wang Z., Shields G., Zhou Y., Skelton A., Tucker M.** Tonian-Cryogenian boundary sections of Argyll, Scotland // *Precambrian Res.*, 2018, v. 319, p. 37—64.

**Frimmel H.E., Klötzli U.S., Siegfried P.R.** New Pb-Pb single zircon age constraints on the timing of Neoproterozoic glaciation and continental break-up in Namibia // *J. Geol.*, 1996, v. 104 (4), p. 459—469.

**Gilleaudeau G.J., Kah L.C.** Heterogeneous redox conditions and a shallow chemocline in the Mesoproterozoic ocean: Evidence from carbon—sulfur—iron relationships // *Precambrian Res.*, 2015, v. 257, p. 94—108.

**Glasmacher U.A., Reynolds P., Alekseyev A.A., Puchkov V.N., Taylor K., Gorozhanin V., Walter R.** <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar thermochronology west of the Main Uralian fault, southern Urals, Russia // *Geol. Rundsch.*, 1999, v. 87, p. 515—525.

**Gorokhov I.M., Melnikov N.N., Turchenko T.L., Kutyavin E.P., Samsonova E.N.** Two illite generations in an Upper Riphean shale: the Rb-Sr isotopic evidence // *Terra Nova*, 1995, v. 7, p. 330—331.

**Grazhdankin D.** Patterns of distribution in the Ediacaran biotas: facies versus biogeography and evolution // *Paleobiology*, 2004, v. 30, p. 203—221.

**Grazhdankin D.** Patterns of evolution of the Ediacaran soft-bodied biota // *J. Paleontol.*, 2014, v. 88, p. 269—283.

**Grotzinger J.P.** Geochemical model for Proterozoic stromatolite decline // *Am. J. Sci.*, 1990, v. 290-A, p. 80—103.

**Halverson G.P., Wade B.P., Hurtgen M.T., Barovich K.M.** Neoproterozoic chemostratigraphy // *Precambrian Res.*, 2010, v. 182, p. 337—350.

**Halverson G.P., Kunzmann M., Strauss J.V., Maloof A.C.** The Tonian-Cryogenian transition in North-eastern Svalbard // *Precambrian Res.*, 2018a, v. 319, p. 79—95.

**Halverson G.P., Porter S.M., Gibson T.M.** Dating the late Proterozoic stratigraphic record // *Emerg. Top. Lif. Sci.*, 2018b, v. 2 (2), p. 137—147.

**Hodgskiss M.S.W., Kunzmann M., Poiriere A., Halverson G.P.** The role of microbial iron reduction in the formation of Proterozoic molar tooth structures // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2018, v. 482, p. 1—11.

**Hoffman P.F.** A Neoproterozoic Snowball Earth // *Science*, 1998, v. 281, p. 1342—1346.

**Hoffman P.F., Abbot D.S., Ashkenazy Y., Benn D.I., Brocks J.J., Cohen P.A., Cox G.M., Creveling J.R., Donnadiou Y., Erwin D.H., Fairchild I.J., Ferreira D., Goodman J.C., Halverson G.P., Jansen M.F., Le Hir G., Love G.D., Macdonald F.A., Maloof A.C., Partin C.A., Ramstein G., Rose B.E.J., Rose C.V., Sadler P.M., Tziperman E., Voigt A., Warren S.G.** Snowball Earth climate dynamics and Cryogenian geology-geobiology // *Sci. Adv.*, 2017, v. 3 (11), e1600983.

**Hofmann M., Linnemann U., Hoffmann K.-H., Germs G., Gerdes A., Marko L., Eckelmann K., Gärtner A., Krause R.** The four Neoproterozoic glaciations of southern Namibia and their detrital zircon record: The fingerprints of four crustal growth events during two supercontinent cycles // *Precambrian Res.*, 2015, v. 259, p. 176—188.

**International chronostratigraphic chart**, v2020/03. 2020, <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>.

**James N.P., Narbonne G.M., Sherman A.G.** Molar-tooth carbonates: Shallow subtidal facies of the Mid-to Late Proterozoic // *J. Sediment. Res.*, 1998, v. 68, p. 716—722.

**Kasting J.F.** Earth's early atmosphere // *Science*, 1993, v. 259 (5097), p. 920—926.

**Knoll A.H., Javaux E.J., Hewitt D., Cohen P.** Eukaryotic organisms in Proterozoic oceans // *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B*, 2006, v. 361, p. 1023—1038.

**Kolesnikov A.V., Marusin V.V., Nagovitsin K.E., Maslov A.V., Grazhdankin D.V.** Ediacaran biota in the aftermath of the Kotlinian Crisis: Asha Group of the South Urals // *Precambrian Res.*, 2015, v. 263, p. 59—78.

- Krissansen-Totton J., Arney G.N., Catling D.C.** Constraining the climate and ocean pH of the early Earth with a geological carbon cycle model // *PNAS*, 2018, v. 115 (16), p. 4105—4110.
- Kuang H.-W.** Review of molar tooth structure research // *J. Palaeogeogr.*, 2014, v. 3, p. 359—383.
- Kump L.R.** The rise of atmospheric oxygen // *Nature*, 2008, v. 451, p. 277—278.
- Kuznetsov A.B., Bekker A., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Vasilyeva I.M.** Unradiogenic strontium and moderate-amplitude carbon isotope variations in early Tonian seawater after the assembly of Rodinia and before the Bitter Springs Excursion // *Precambrian Res.*, 2017, v. 298, p. 157—173.
- Lamothe K.G., Hoffman P.F., Greenman J.W., Halverson G.P.** Stratigraphy and isotope geochemistry of the pre-Sturtian Ugab Subgroup, Otavi/Swakop Group, northwestern Namibia // *Precambrian Res.*, 2019, v. 332, 105387.
- Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., Kuznetsov N.B., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Fedorova N.M.** Paleogeography of Baltica in the Ediacaran: Paleomagnetic and geochronological data from the clastic Zigan Formation, South Urals // *Precambrian Res.*, 2013, v. 236, p. 16—30.
- Li Z.X., Bogdanova S.V., Collins A.S., Davidson A., De Waele B., Ernst R.E., Fitzsimons I.C.W., Fuck R.A., Gladkochub D.P., Jacobs J., Karlstrom K.E., Lu S., Natapov L.M., Pease V., Pisarevsky S.A., Thrane K., Vernikovsky V.** Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: a synthesis // *Precambrian Res.*, 2008, v. 160, p. 179—210.
- Li Z.X., Evans D.A., Halverson G.P.** Neoproterozoic glaciations in a revised global palaeogeography from the breakup of Rodinia to the assembly of Gondwanaland // *Sediment. Geol.*, 2013, v. 294, p. 219—232.
- Liu Y., Peltier W.R.** Sea level variations during snowball Earth formation: A preliminary analysis // *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 2013, v. 118, p. 4410—4424.
- Love G.D., Grosjean E., Stalvies C., Fike D.A., Grotzinger J.P., Bradley A.S., Kelly A.E., Bhatia M., Meredith W., Snape C.E., Bowring S.A., Condon D.J., Summons R.E.** Fossil steroids record the appearance of Demospongiae during the Cryogenian period // *Nature*, 2009, v. 457, p. 718—721.
- Lowenstein T.K., Kendall B., Anbar A.** The geologic history of seawater // *Treatise on geochemistry* / Eds. H.D. Holland, K.K. Turekian, 2nd edition. Oxford, Elsevier, 2014, v. 8, p. 569—622.
- Lyons T.W., Reinhard C.T., Planavsky N.J.** The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere // *Nature*, 2014, v. 506, p. 307—315.
- Macdonald F.A., Strauss J.V., Sperling E.A., Halverson G.P., Narbonne G.M., Johnston D.T., Kunzmann M., Schrag D.P., Higgins J.A.** The stratigraphic relationship between the Shuram carbon isotope excursion, the oxygenation of Neoproterozoic oceans, and the first appearance of the Ediacara biota and bilaterian trace fossils in northwestern Canada // *Chem. Geol.*, 2013, v. 362, p. 250—272.
- MacLennan S., Park Y., Swanson-Hysell N., Maloof A., Schoene B., Gebreslassie M., Antilla E., Tesema T., Alene M., Haileab B.** The arc of the Snowball: U-Pb dates constrain the Islay anomaly and the initiation of the Sturtian glaciations // *Geology*, 2018, v. 46, p. 539—542.
- MacLennan S., Eddy M., Merschat A., Mehra A., Crockford P., Maloof A., Southworth C.S., Schoene B.** Geologic evidence for an icehouse Earth before the Sturtian global glaciation // *Sci. Adv.*, 2020, v. 6, 6647.
- Miller N.R., Stern R.J., Avigad D., Beyth M., Schilman B.** Cryogenian slate-carbonate sequences of the Tambien Group, Northern Ethiopia (I): Pre-«Sturtian» chemostratigraphy and regional correlations // *Precambrian Res.*, 2009, v. 170, p. 129—156.
- Mitchell R.N., Gernon T.M., Nordsvan A., Cox G.M., Li Z., Hoffman P.F.** Hit or miss: Glacial incisions of snowball Earth // *Terra Nova*, 2019, v. 31, p. 381—389.
- Nettersheim B.J., Brocks J.J., Schwelm A., Hope J.M., Not F., Lomas M., Schmidt C., Schiebel R., Nowack E.C.M., De Deckker P., Pawlowski J., Bowser S.S., Bobrovskiy I., Zonneveld K., Kucera M., Stuhr M., Hallmann C.** Putative sponge biomarkers in unicellular Rhizaria question an early rise of animals // *Nat. Eco. Evol.*, 2019, v. 3, p. 577—581.
- Park Y., Swanson-Hysell N.L., MacLennan S.A., Maloof A.C., Gebreslassie M., Tremblay M.M., Schoene B., Alene M., Anttila E.S.C., Tesema T., Haileab B.** The lead-up to the Sturtian Snowball Earth: Neoproterozoic chemostratigraphy time-calibrated by the Tambien Group of Ethiopia // *GSA Bull.*, 2020, v. 132, p. 1119—1149.
- Planavsky N.J., Tarhan L.G., Bellefroid E.J., Evans D.A.D., Reinhard C.T., Love G.D., Lyons T.W.** Late Proterozoic transitions in climate, oxygen, and tectonics, and the rise of complex life // *Earth-life transitions: paleobiology in the context of Earth system evolution. Paleontol. Soc. Pap.*, v. 21 / Eds P.D. Polly, J.J. Head, D.L. Fox. 2015, p. 1—36.
- Porter S.** Calcite and aragonite seas and the de novo acquisition of carbonate skeletons // *Geobiology*, 2010, v. 8, p. 256—277.
- Pu J.P., Bowring S.A., Ramezani J., Myrow P., Raub T.D., Landing E., Mills A., Hodgkin E., Macdonald F.A.** Dodging snowballs: Geochronology of the Gaskiers glaciation and the first appearance of the Ediacaran biota // *Geology*, 2016, v. 44, p. 955—958.

- Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Sergeeva N.D.** The new data on stratigraphy of the Riphean stratotype in the Southern Urals, Russia // *J. Geosci. Environ. Prot.*, 2014, v. 2, p. 108—116.
- Riding R.** Cyanobacterial calcification, carbon dioxide concentrating mechanisms, and Proterozoic-Cambrian changes in atmospheric composition // *Geobiology*, 2006, v. 4, p. 299—316.
- Rooney A.D., Strauss J.V., Brandon A.D., Macdonald F.A.** A Cryogenian chronology: Two long-lasting synchronous Neoproterozoic glaciations // *Geology*, 2015, v. 43, p. 459—462.
- Rothman D.H., Hayes J.M., Summons R.E.** Dynamics of the Neoproterozoic carbon cycle // *PNAS*, 2003, v. 100, p. 8124—8129.
- Sahoo S.K., Planavsky N.J., Jiang G., Kendall B., Owens J.D., Wang X., Shi X., Anbar A.D., Lyons T.W.** Oceanic oxygenation events in the anoxic Ediacaran ocean // *Geobiology*, 2016, v. 14, p. 457—468.
- Seilacher A.** Vendobionta and Psammocorallia: lost constructions of Precambrian evolution // *J. Geol. Soc. London*, 1992, v. 149, p. 607—613.
- Sheldon N.D.** Precambrian paleosols and atmospheric CO<sub>2</sub> levels // *Precambrian Res.*, 2006, v. 147 (1—2), p. 148—155.
- Shields G.A.** «Molar-tooth microspar»: A chemical explanation for its disappearance ~ 750 Ma // *Terra Nova*, 2002, v. 14, p. 108—113.
- Shields G.A., Halverson G.P., Porter S.M.** Descent into the Cryogenian // *Precambrian Res.*, 2018, v. 319, p. 1—5.
- 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, p. 373—386.
- Sperling E.A., Wolock C.J., Morgan A.S., Gill B.C., Kunzmann M., Halverson G.P., Macdonald F.A., Knoll A.H., Johnston D.T.** Statistical analysis of iron geochemical data suggests limited late Proterozoic oxygenation // *Nature*, 2015, v. 523, p. 451—454.
- Swanson-Hysell N.L., Maloof A.C., Condon D.J., Jenkin G.R.T., Alene M., Tremblay M.M., Tesema T., Rooney A.D., Hailela B.** Stratigraphy and geochronology of the Tambien Group, Ethiopia: evidence for globally synchronous carbon isotope change in the Neoproterozoic // *Geology*, 2015, v. 43, p. 323—326.
- van der Meer D.G., van den Berg van Saparoea A.P.H., van Hinsbergen D.J.J., van de Weg R.M.B., Godderis Y., Le Hir G., Donnadieu Y.** Reconstructing first-order changes in sea level during the Phanerozoic and Neoproterozoic using strontium isotopes // *Gondwana Res.*, 2017, v. 44, p. 22—34.
- Wallace M.W., Shuster A., Greig A., Planavsky N.J., Reed C.P.** Oxygenation history of the Neoproterozoic to early Phanerozoic and the rise of land plants // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2017, v. 466, p. 12—19.
- Williams G.E., Gostin V.A.** Late Cryogenian glaciation in South Australia: fluctuating ice margin and no extreme or rapid post-glacial sea-level rise // *Geosci. Front.*, 2019, v. 10 (4), p. 1397—1408.
- Williams J.J., Mills B.J.W., Lenton T.M.** A tectonically driven Ediacaran oxygenation event // *Nat. Commun.*, 2019, v. 10(1), p. 1—10.
- Willner A.P., Ermolaeva T., Stroink L., Glasmacher U.A., Giese U., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Walter R.** Contrasting provenance signals in Riphean and Vendian sandstones in the SW Urals (Russia): constraints for a change from passive to active continental margin conditions in the Neoproterozoic // *Precambrian Res.*, 2001, v. 110 (1—4), p. 215—239.
- Xiao S., Zhang Y., Knoll A.H.** Three-dimensional preservation of algae and animal embryos in a Neoproterozoic phosphorite // *Nature*, 1998, v. 391, p. 553—558.
- Xu B., Xiao S., Zou H., Chen Y., Li Z., Song B., Liu D., Zhou C., Yuan X.** SHRIMP zircon U—Pb age constraints on Neoproterozoic Quruqtagh diamictites in NW China // *Precambrian Res.*, 2009, v. 168 (3-4), p. 247—258.
- Yin L., Zhu M., Knoll A.H., Yuan X., Zhang J., Hu J.** Doushantuo embryos preserved inside diapause egg cysts // *Nature*, 2007, v. 446, p. 661—663.
- Zaky A.H., Brand U., Buhl D., Blamey N., Bitner M.A., Logan A.** Strontium isotope geochemistry of modern and ancient archives: tracer of secular change in ocean chemistry // *Can. J. Earth Sci.*, 2019, v. 56 (3), p. 245—264.
- Zhou Y., Pogge von Strandmann P.A.E., Zhu M., Ling H., Manning C., Li D., He T., Shields G.A.** Reconstructing Tonian seawater <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr using calcite microspar // *Geology*, 2020, v. 48, p. 462—467.
- Zhuravlev A.Yu., Wood R.A.** The two phases of the Cambrian Explosion // *Sci. Rep.*, 2018, v. 8, p. 16656—16659.

*Поступила в редакцию 2 апреля 2020 г.,  
принята в печать 18 марта 2021 г.*