

Общая стратиграфическая шкала верхнего докембрия: проблемы и предложения по совершенствованию

С. А. Дуб

Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620110, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15,
e-mail: sapurins@gmail.com

Поступила в редакцию 11.02.2021 г., принята к печати 11.03.2021 г.

Объект исследования. Анализ некоторых проблем Общей стратиграфической шкалы (ОСШ) верхнего докембрия, в том числе неопределенностей в иерархии ее подразделений. **Результаты.** Рассмотрены перспективы детализации ОСШ верхнего докембрия, проблемы ее корреляции с Международной стратиграфической шкалой (МСШ) и вопросы установления нижних границ стратонов. Отмечается необходимость унификации представлений исследователей. **Выводы.** Рекомендовано внести в ОСШ следующие изменения: упразднить акротемы/акроны; утвердить протерозой (равно как и архей) в качестве эонотемы/эона; минимизировать использование терминов “верхний протерозой” и “нижний протерозой”; придать рифею и венду ранг эратем/эр (при этом сохранить и статус венда как системы/периода); считать бурзяний, юрматиний, каратавий и аршиний системами/периодами рифея. Основное внимание уделено верхнерифейско-вендскому интервалу. Нижнюю границу верхнего рифея (каратавия) предложено проводить по первому появлению микрофоссилий *Trachyhystrichosphaera* sp., а терминального рифея (аршиния) – по подошве тиллитов, образовавшихся во время глобального оледенения Стёрт (что приблизительно соответствует подошве криогения МСШ). По-видимому, следует поднять нижнюю границу венда до уровня кровли тиллитов Гаскье как отложенный последнего крупного оледенения в докембрии. Дано обоснование указанным предложениям. Подчеркивается необходимость формирования рабочих групп по выработке решений.

Ключевые слова: ОСШ, верхний докембрий, верхний рифей, терминальный рифей, венд, МСШ, неопротерозой, тоний, криогений, эдиакарий

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках темы № АААА-А18-118053090044-1 госзадания ИГТ УрО РАН

Upper Precambrian General Stratigraphic Scale of Russia: Main problems and proposals for improvement

Semyon A. Dub

A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry Ural Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st.,
Ekaterinburg 620110, Russia, e-mail: sapurins@gmail.com

Received 11.02.2021, accepted 11.03.2021

Research subject. Main problems of the General Stratigraphic Scale (GSS) of the Upper Precambrian including uncertainties in the hierarchy of subdivisions are analyzed. **Results.** Prospects for detailing the Upper Precambrian GSS are discussed, along with questions of its correlation with International Chronostratigraphic Chart (ICSC) and establishing the lower boundaries of chronostratigraphic subdivisions. The importance of unifying the existing views is emphasized. **Conclusions.** It is proposed to carry out the following reforms of GSS: to abolish Acrothemes / Acrons; to approve the Proterozoic (as well as the Archean) as an Eonotheme / Eon; to minimize the use of terms “Upper Proterozoic” and “Lower Proterozoic”; to assign the Riphean and Vendian to the rank of Erathem / Era (while preserving the status of the Vendian as a System / Period); to consider Burzyanian, Yurmatinian, Karatavian and Arshinian as Systems / Periods of the Riphean. Attention is focused on the Upper Riphean-Vendian interval. The lower boundary of the Upper Riphean (Karatavian) was proposed to establish according to the first appearance of the *Trachyhystrichosphaera* sp. microfossils. Then, the Terminal Riphean (Arshinian) lower boundary should be traced to the base of the tillites formed during the global Sturtian glaciation

Для цитирования: Дуб С.А. (2021) Общая стратиграфическая шкала верхнего докембрия: проблемы и предложения по совершенствованию. *Литосфера*, 21(4), 449-468. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-4-449-468>

For citation: Dub S.A. (2021) Upper Precambrian General Stratigraphic Scale of Russia: Main problems and proposals for improvement. *Lithosphere (Russia)*, 21(4), 449-468. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-4-449-468>

(which approximately corresponds to the base of the Cryogenian in ICSC). Apparently, the Vendian lower boundary may be raised to the level of the top of the Gaskiers tillites, as the deposits of the last major glaciation in the Precambrian. The indicated proposals are substantiated. It is necessary to form work groups to develop solutions.

Keywords: *GSSP, Upper Precambrian, Upper Riphean, Terminal Riphean, Vendian, ICSC, Neoproterozoic, Tonian, Cryogenian, Ediacaran*

Funding information

The studies were carried out in accordance with the State Contract No. AAAA A18-118053090044-1

Acknowledgements

The ideas considered in the publication were born in discussions with A.V. Maslov, M.T. Krupenin, D.V. Grazhdankin, V.V. Chernykh, M.P. Pokrovsky, D.V. Grazhdankin and A.B. Kuznetsov helped to improve the content of this work. The author expresses sincere gratitude to all of them.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время большинство исследователей, занимающихся установлением границ стратиграфических подразделений верхнего докембрия, сходятся во мнении, что эти границы следует привязывать к глобальным биосферным или геолого-климатическим событиям, избегая малоинформативных геохронометрических отметок (Cloud, 1972; Семихатов, 2008; Van Kranendonk et al., 2012). При изучении докембрийских отложений важнейшее значение приобрели методы изотопной хемотратиграфии (Veizer, Compston, 1976; Halverson et al., 2010; Кузнецов и др., 2014), при этом наибольшие перспективы по расчленению древних осадочных толщ связываются с вариациями изотопного состава углерода, обусловленными глобальными субсинхронными изменениями в атмосфере, гидросфере и биосфере Земли (Kaufman et al., 1997; Saltzman, Thomas, 2012; Swanson-Hysell et al., 2015; Cox et al., 2016; и др.). Только реконструкция исторической (хронологической) последовательности событий позволяет вести речь об относительном возрасте пород в разрезах, в которых отсутствуют объекты, пригодные для радиоизотопного датирования.

Во многом эти взгляды близки к господствующей в современной стратиграфии концепции GSSP (Global Stratotype Section and Point), которая применима ко многим естественным последовательностям (Remane et al., 1996; и др.), и, хотя и не лишена недостатков (см. обзор в Lucas, 2018), широко используется. В соответствии с ней, для утверждения эталона нижней границы какого-либо стратиграфического подразделения должны быть выполнены следующие основные условия: 1) указан маркер границы (отражающий событие или комплекс событий), диагностируемый в осадочных последовательностях различных регионов мира, 2) выбран разрез, характеризующийся полнотой и непрерывностью геологической летописи (а также доступностью), для которого продемонстрирована валид-

ность упомянутого критерия. В начале 90-х гг. прошлого века за рубежом был принят новый вариант стратиграфической шкалы докембрия с предельно определенными на геохронометрической основе границами стратиграфических подразделений (Plumb, 1991), с перспективой дальнейшего установления лимитотипов в рамках описанного концептуального подхода. Так, в 2004 г. ратифицирован GSSP основания неопротерозоя III – эдиакария (Knoll et al., 2006), сейчас активно обсуждается вопрос об эталоне нижней границы криогения (Shields et al., 2018, см. также статьи в этом же издании), после решения которого планируется поиск критерия для установления подошвы тония (Shields et al., 2021).

В России создана и используется Общая стратиграфическая шкала (ОСШ), рассматриваемая как аналог Международной стратиграфической шкалы (МСШ), адаптированный к специфике строения земной коры в пределах нашей страны и прилегающих территорий (Захаров, 2013; Жамойда, 2015). В отличие от фанерозойских, стратиграфические подразделения протерозоя ОСШ существенно отличаются от таковых в МСШ. Благодаря активным исследованиям докембрийских отложений на территории СССР в середине XX в., в стратиграфических схемах появились такие подразделения, как рифей (Шатский, 1945, 1952) и венд (Соколов, 1952). К сожалению, в силу разных обстоятельств эти наименования реальных последовательностей отсутствуют в современном варианте МСШ.

ПРОБЛЕМЫ ОБЩЕЙ СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ ВЕРХНЕГО ДОКЕМБРИЯ

Действующие представления о рифее и венде (Стратиграфический кодекс..., 2019) не отвечают современным требованиям, предъявляемым к стратиграфическим подразделениям, в первую очередь по причине отсутствия у данных подразделений строго установленных и глобально коррелируемых границ, следствием чего является различное пони-

мание объема этих подразделений разными авторами и трудности в межбассейновых сопоставлениях разновозрастных отложений. Кроме того, еще в начале 1990-х гг. отмечалась недостаточная проработанность темы иерархии подразделений верхнего докембрия ОСШ (Постановления..., 1992).

Иерархия стратонов ОСШ

Для современной ОСШ докембрия можно выделить ряд остро стоящих вопросов, требующих незамедлительного решения. Один из них – неопределенный ранг рифея как подразделения ОСШ: он занимает промежуточную позицию между эратемами и эонотемами, фигурируя в виде внесистемной единицы “подэонотема” которая практически не упоминается в Стратиграфическом кодексе. М.А. Семихатов (2008, с. 41) и В.З. Негруца (2011, с. 10) считали рифей, как и верхний протерозой, эонотемой.

В МСШ архей и протерозой имеют статус эонотем (наравне с фанерозоем), тогда как в ОСШ докембрия им соответствует ранг акротем, при этом другие акротемы не выделяются. Наряду с этим в ОСШ докембрия отсутствуют системы/периоды, за исключением венда. Можно констатировать, что российское научное сообщество давно готово к разделению рифея на системы, о чем свидетельствуют, например, работы (Хоментовский, 2002, 2014; Puchkov et al., 2014; Пучков и др., 2017). Провозглашается, что историко-геологические подходы, применяемые при расчленении фанерозоя, в целом правомерны и для докембрия (International..., 1998; Негруца, 2011).

Рифей

Закономерным отличием границ подразделений рифея от таковых фанерозоя является привязка первых к основаниям трансгрессивных циклитов (несогласиям) и процессам вулканизма, “которые знаменовали собой начало новых этапов геологического развития стратотипических районов соответствующих подразделений” (Семихатов, 2000). Однако сходные проявления тектоно-магматической активности в удаленных разрезах без должного обоснования нельзя считать признаком синхронности происходящего в это время осадконакопления, поэтому магматические и орогенические события не должны рассматриваться как надежные критерии для проведения границ стратиграфических подразделений (Шатский, 1952; Меннер, Штрейс, 1971; Van Kranendonk et al., 2012). При этом границы, связанные с несогласиями, имеют некоторый потенциал для межбассейновых корреляций – при наличии свидетельств об эвстатическом (глобальном) изменении уровня моря (International..., 1998; Wang, Su, 2000; Becker et al., 2016).

Разделение рифея в стратотипической местности (Башкирский мегантиклинорий Южного Урала (БМА)) на нижний, средний и верхний (и соответственно на бурзянскую, юрматинскую и каратаускую серии) (Келлер, 1952) первоначально казалось оправданным. Крупные несогласия, и/или появление в разрезах продуктов вулканической деятельности и признаков рифтогенеза рассматриваются в качестве индикаторов нижних границ указанных подразделений (Парначев и др., 1990; Маслов, Анфимов, 2000; Крупенин, 2004; Ковалев, 2008; Пучков, 2010; Маслов, 2018; и др.). Но региональный характер данных маркеров предопределил невозможность использования выделенных на этой основе стратонов в качестве общих подразделений МСШ, невалидными они оказались и для ОСШ.

В то же время нижние границы нижнего и среднего рифея Южного Урала сейчас достаточно хорошо откалиброваны и составляют соответственно 1750–1800 и ≈ 1400 млн лет (Семихатов и др., 2015; Пучков и др., 2017, см. также ссылки в этих работах), однако эти данные не отражены в ОСШ, в которой упомянутые границы все еще зафиксированы на отметках 1650 и 1350 млн лет¹. В настоящий момент стратотипический статус южноуральских разрезов рифея требует выбора иных, глобально коррелируемых, критериев для установления границ его подразделений и самого рифея в целом. Необходим поиск подходящих лимитотипов в других регионах.

Так, для установления маркеров подошвы верхнего рифея были использованы материалы по сибирскому гипостратотипу: в качестве эталона была предложена подошва лахандинской серии Учуро-Майского прогиба (Семихатов и др., 1991; Семихатов, 2000). Присутствующие в этой серии микрэфоссилии и строматолиты по таксономическому составу резко отличаются от развитых в более древних отложениях (Герман, 1990; Семихатов и

¹ Поскольку нижняя граница рифея в стратотипе оказалась более древней, чем считалось ранее, абсолютный возраст основания рифея в ОСШ должен быть понижен до ≈ 1750 млн лет (Семихатов и др., 2015). Этому не противоречат данные об изотопном возрасте вепсия (верхнего подразделения карелия стратотипической местности), осадочные комплексы которого сформировались ранее 1770 ± 12 млн лет (Бибикова и др., 1990), т. е. стратиграфические интервалы рифея и карелия не будут перекрываться. Но окончательно решить вопрос подошвы рифея можно будет только благодаря обнаружению некоего глобального события, произошедшего в интервале 1600–1800 млн лет и оставившего в геологической летописи узнаваемый след, который стал бы валидным критерием для проведения границы между карелием и рифеем. Нахождение такого критерия имеет перспективы в установлении рубежа между палеопротерозоем и мезопротерозоем МСШ на хроностратиграфической основе.

др., 2015). В частности, в ней появляются акантоморфные акритархи рода *Trachyhystrichosphaera* Timofeev et Hermann (включая *T. aimica* Hermann), которые специалистами по микрофоссилиям считаются типично верхнерифейскими (Микрофоссилии..., 1989; Вейс и др., 2003; Сергеев и др., 2010; Наговицин, 2000, 2016). Возраст данной границы оценен на уровне 1030 ± 30 млн лет (Семихатов, 2000, см. также ссылки в этой работе; Семихатов и др., 2015). Однако подошва лахандинской серии маркируется перерывом в осадконакоплении и сменной фаций (Семихатов, 2008; Сергеев и др., 2010; Семихатов и др., 2015), что не позволяет проследить эту границу в других регионах, в том числе и стратотипической местности рифея (Сергеев и др., 2010; Маслов и др., 2018).

За последнее десятилетие в публикациях по стратотипу рифея все чаще стал упоминаться новый стратон – аршиний, или терминальный рифей, занимающий промежуточное положение между верхним рифеем и вендом (Козлов и др., 2011; Краснобаев и др., 2012; Пучков и др., 2017), но он пока не получил официального признания и не введен ни в ОСШ, ни в региональные стратиграфические схемы. Возможно, такое положение дел объясняется опытом неудачных попыток Б.М. Келлера внедрить в шкалу стратона “вендомий” (терминальный рифей, в состав которого им включался и венд (Келлер, 1973)) и “кудаш” (верхняя часть верхнего рифея (Стратотип..., 1983)). В качестве терминального рифея некогда рассматривался и венд (Семихатов, 1974). Тем не менее подобные предложения были не лишены оснований: исследователи, занимающиеся изучением пограничных рифей-вендских отложений Южного Урала, неоднократно приходили к выводу, что между верхним рифеем и вендом можно выделить еще одно стратиграфическое подразделение (Стратотип..., 1983; Горожанин и др., 2016). Так, между верхами каратауской серии (которую венчает укская свита) верхнего рифея и урюкской свитой ашинской серии венда (Беккер, 1968; Козлов, 1982; Маслов и др., 2001; Пучков, 2010; Кузнецов и др., 2012; Kolesnikov et al., 2015) на территории как западных, так и восточных районов БМА встречаются различные по литологии и происхождению толщи, в отдельных случаях с признаками ледникового генезиса (Козлов, 1982; Пучков и др., 2014; Чумаков, 2015; Горожанин и др., 2016, 2019; Горожанин, Канипова, 2017; и др.): байнасская, махмутовская, игонинская и шумская свиты аршинской серии, а также бакеевская, толпаровская, суировская, криволукская и кургашлинская свиты. Большинство из них имеют весьма неопределенное стратиграфическое положение и включаются в ашинскую серию венда или считаются аналогами аршинской серии рифея восточного крыла БМА (Пучков, 2010).

Венд

Одной из наиболее актуальных тем остается проблема венда, при этом многочисленные дискуссии вызывают темы ранга и объема данного стратиграфического подразделения в шкале. Венд рассматривается как самостоятельная система/период, занимающая место между двумя более высоко-ранговыми подразделениями – рифеем и палеозоем (Стратиграфический кодекс..., 2019). Ранее предлагалось решить проблему неопределенности его позиции включением в состав одной из названных групп или эр (Соколов, 1952; Келлер, 1968; Семихатов, 1974; и др.), но Межведомственному стратиграфическому комитету удалось отстоять автономность этого стратона (Соколов, 1997, 2011). Нерешенные вопросы в иерархической классификации подразделений верхнего докембрия в ОСШ сохраняются и сейчас.

Возраст нижней границы венда неоднократно пересматривался: в разное время принимались датировки от 650 ± 20 до 600 ± 10 млн лет (Стратотип..., 1983; Семихатов и др., 1991; Соколов, 1995, 1997, 2011; Семихатов, 2000; Гражданкин, Маслов, 2015; Семихатов и др., 2015). В настоящий момент в ОСШ подошва венда установлена на уровне 600 млн лет. Традиционно в основание венда помещался лапландский (или варангерский) горизонт, содержащий ледниковые отложения (Чумаков, 1974; Соколов, 1995; Гражданкин, Маслов, 2015; Семихатов и др., 2015). Вероятнее всего, ныне существующие разночтения в понимании нижней границы венда обусловлены сложной стратиграфией этого горизонта. К настоящему моменту в неопротерозое МСШ устанавливается как минимум три уровня тиллитов разного возраста, соответствующих глобальным оледенениям Стёрт (717–660 млн лет) и Марино (640(650?)–635 млн лет) и субглобальному Гаскье² (≈580 млн лет) (Rooney et al., 2015; Prave et al., 2016; Pu et al., 2016; Hoffman et al., 2017; Zhou et al., 2019). Отечественными стратиграфами отложения первого из них в составе лапландского горизонта обычно не рассматривались. В то же время и за рубежом среди исследователей также не было единого мнения о возрасте варангерского оледенения: ряд авторов считали его более молодым по сравнению с Марино (Grotzinger et al., 1995; Murgow, Kaufman, 1999; Rice et al., 2003), другие отождествляли его ранние этапы с Марино, а поздние – с

² Здесь и далее названия “Стёрт”, “Марино” и “Гаскье” фигурируют в качестве формальных обозначений оледенений/гляциоциклов, они приняты в МСШ и коррелируются на мировом уровне. Но многие австралийские исследователи не считают применение наименования “Марино” к событию, произошедшему в интервале ≈650–635 млн лет, правомерным (Grey, Calver, 2007; Williams et al., 2008; Williams, Gostin, 2019), употребляя название “Элатина” (формация Elatina).

Гаскье (Kaufman et al., 1997; Чумаков, 2015) (или же только с Марино (Prave, 1999; Corsetti, Lorentz, 2006)), а третьи принимали его как аналоги Стёрт и Марино (Kennedy et al., 1998). Впоследствии словосочетание “варангерское оледенение” перестали использовать в англоязычной литературе (Corsetti, Lorentz, 2006). В осадочных последовательностях Земли обнаруживаются также признаки других, локальных оледенений, до-Стёртских и пост-Гаскьерских, а также, возможно, происходивших в интервале между событиями Марино и Гаскье (Frimmel et al., 1996; Xu et al., 2009; Чумаков, 2009, 2015; Маслов и др., 2013; Hofmann et al., 2015; Zhou et al., 2019), но время проявления большинства из них требует более надежных возрастных обоснований. Без радиоизотопных данных и/или надежных литогеохимических переломов очень трудно безошибочно проследить какой-либо из этих урвней между удаленными регионами.

В современных публикациях можно обнаружить несколько вариантов понимания объема венда. Они кратко охарактеризованы ниже. 1. Первооткрыватель венда Б.С. Соколов подчеркивал (2011), что этот период начался с образования последних в протерозое морских тиллитов. В то же время к лапландскому горизонту нижнего венда он относил вильчанскую серию (содержащую более одного тиллитоносного горизонта) северо-запада Русской платформы в ее полном объеме (Соколов, 1997). Гляциопериоды протерозоя естественным образом разделяются на две группы: ранние (Гуронские) и поздние (начиная со Стёртского), в этой связи все оледенения конца протерозоя теоретически можно было бы отнести к венду. 2. Широко распространена точка зрения, согласно которой подошву лапландского горизонта (и, соответственно, нижнюю границу венда) следует коррелировать с основанием тиллитов Марино (Чумаков, 2015; Семихатов и др., 2015; Зайцева и др., 2019). По этим соображениям возраст границы рифея и венда принимается равным $\approx 640\text{--}650$ млн лет. 3. Опираясь на датировки по базальтам, подстилающим отложения с несколькими уровнями диамиктитов на Среднем Урале (в составе серебрянской и сыльвицкой серий) (Маслов и др., 2013), Д.В. Гражданкин и А.В. Маслов (2015) проводят нижнюю границу венда по рубежу ≈ 600 млн лет. С этой же отметкой абсолютноного возраста сейчас связывается положение нижней границы венда в ОСШ, принятое в 2000 г. на основе данных о времени образования вулканитов ($600\text{--}610$ млн лет), подстилающих тиллиты Авалонского террейна (формация Гаскье), сопоставляемые с лапландскими (Семихатов, 2000; Стратиграфический кодекс..., 2019). По мнению Н.М. Чумакова (Чумаков, 2015; Семихатов и др., 2015), все диамиктиты серебрянской и сыльвицкой серий соответствуют оледенению Гаскье. 4. К.Э. Якобсон неоднократно обосновывал необходимость исключения лапланд-

ского горизонта из состава венда (Якобсон, Крылов, 1977; Якобсон, 2014) и предлагал рассматривать венд в стратотипической местности (западные районы ВЕП) только в объеме надтиллитовых волынской и валдайской серий (Якобсон, 2014). Учитывая, что максимальный возраст Волынской магматической провинции составляет $\approx 573 \pm 14$ млн лет³ (Shumlyansky et al., 2016), основанием венда при таком подходе можно считать кровлю нижележащей тиллитоносной вильчанской серии. Точка зрения о том, что в объем венда, возможно, следует включать только пост-Гаскьерские отложения, также была высказана зарубежными исследователями (Narbonne et al., 2012). 5. Некоторые авторы в своих работах используют термины “венд” и “эдиакарий” как эквиваленты, подразумевая равные объемы подразделений. По-видимому, перечисленные различия обусловлены отсутствием удовлетворительного индикатора нижней границы венда и недостаточной изученностью объектов. Нет единого мнения и по вопросу границы нижнего и верхнего венда (сравни: Соколов, 2011; Якобсон, 2014; Гражданкин, Маслов, 2015; Чумаков, 2015; Стратиграфический кодекс..., 2019).

При этом ряд исследователей полагает, что можно обосновать нижнюю границу венда (или любого другого стратиграфического подразделения) в каком-либо регионе, установив возраст геологического тела, которое традиционно относилось к этому подразделению. Однако такой подход применим только к территориям, на которых это подразделение было впервые выделено, во всех остальных случаях принадлежность отложений к этому же стратону для начала должна быть надежно обоснована. Если не выявлен комплекс конкретных признаков, по которым производится корреляция, или же интерпретация таких признаков ошибочна, то достоверно вписать время образования отложений в существующую последовательность геологических или биологических событий невозможно (Мейен, 1989; Черных, 2015). Ясно, что при недостатке данных взгляды исследователей на возраст тех или иных объектов могут отличаться.

Соответственно, делать вывод о возрасте стратиграфического подразделения на основе субъективных представлений по меньшей мере преждевременно. Так, на одном из этапов изучения верх-

³ Полученный ранее для верхней части формации Ślawatycze (коррелируемой с волынской серией) возраст 551 ± 4 млн лет (Compston et al., 1995; Чумаков, 2015) плохо согласуется с данными по лежащим стратиграфически выше отложениям валдайской серии, точнее редкинского регионального яруса, временные рамки которого оцениваются от 580 до ≈ 560 млн лет (Grazhdankin, 2014) (если считать, что всегда правомерно “надстраивать” волынскую серию валдайской), и, возможно, объясняется влиянием наложенных магматических процессов.

него рифея БМА миньярская свита относилась к ордовику (проблематичные образования в породах были приняты за мшанки), а укская – к девону (Домрачев, 1952). Значит ли это, что, получив абсолютные датировки их возраста, мы должны пересмотреть свои представления об ордовике и девоне БМА? Примечательно, что вендские отложения, вскрытые по берегам Белого моря, более века считались девонскими – до тех пор, пока не началось их детальное изучение (Соколов, 1997, стр. 20). В случае, когда критерии проведения границ общих стратиграфических подразделений твердо определены, появление новых знаний о возрасте конкретных геологических тел неизбежно приводит к совершенствованию региональных стратиграфических схем (и изменению традиционных представлений).

Граница протерозоя и фанерозоя

Уровень верхней границы докембрия (точнее, подошвы кембрия) в МСШ отличается от таковой в ОСШ (Brasier et al., 1994; Bowring et al., 2007; Linnemann et al., 2019). В МСШ она проводится по появлению ихнофоссилий *Treptichnus (Trichophycus) pedum*, в России – по массовому появлению хиолитов, моллюсков, беззамковых брахиопод и губок (Розанов и др., 2008); в качестве критерия проведения подошвы томмотского яруса предложено рассматривать первое появление моллюсков *Aldanella attleborensis* (Parkhaev, 2014; Grazhdankin et al., 2020). Уровень границы эдиакария и кембрия МСШ сложно трассировать в осадочные последовательности других регионов, в этой связи соотношение между границами эдиакария–кембрия в терригенной последовательности на Ньюфаундленде (GSSP) и венда–кембрия в карбонатных разрезах Сибири остается под вопросом (Розанов и др., 1997; Хоментовский, Карлова, 2005). Граница докембрия и фанерозоя в последнем варианте МСШ (v2021/05) зафиксирована на отметке 541 ± 1 млн лет. В ОСШ в качестве изотопного возраста нижней границы кембрия фигурирует значение 535 ± 1 млн лет (Семихатов, 2000; Стратиграфический кодекс..., 2019), но оно достаточно условно, поскольку указанная датировка получена на основе данных по цирконам (со средневзвешенным возрастом 534.6 ± 0.4 млн лет) из обломков вулканитов в отложениях с дискуссионным стратиграфическим положением (Bowring et al., 1993; Розанов и др., 1997; Марусин, 2016). Для средней части разреза томмотского яруса на севере Сибири известна датировка 529.7 ± 0.3 млн лет (Kaufman et al., 2012; Grazhdankin et al., 2020). Таким образом, вопросы глобальной корреляции и абсолютного возраста границы докембрия и фанерозоя остаются актуальными, но их дальнейшее обсуждение не входит в задачи настоящей работы.

Итак, перед отечественными исследователями докембрия стоят как минимум три основные задачи. 1. Выбор жестких критериев для проведения нижних границ стратиграфических единиц, уже имеющихся в ОСШ (венда и подразделений рифея), и построение системы их иерархического соподчинения. 2. Более дробное расчленение указанных единиц на отделы и ярусы, часть из которых в дальнейшем может быть заимствована из МСШ (между тем, у венда (Vendian) есть перспективы занять в МСШ место верхнего отдела эдиакария (Narbonne et al., 2012; Гражданкин, Маслов, 2015)). 3. Корреляция МСШ с ОСШ и с региональными шкалами докембрия.

В завершение обсуждения проблем докембрия ОСШ необходимо подчеркнуть, что цель настоящей публикации – инициировать дискуссию по обозначенным выше вопросам.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ОСШ ВЕРХНЕГО ДОКЕМБРИЯ

Полный переход на международную терминологию в докембрийской стратиграфии потребует необходимости кардинальных изменений в геологической документации и сознании исследователей, существенно усложнит восприятие опубликованных работ по стратиграфическому расчленению отложений и окончательно не решит существующих проблем. Он означает отказ от традиционных представлений, учитывающих специфику геологического строения северной Евразии, поэтому вряд ли рационален. Для конструктивного взаимодействия с зарубежными специалистами достаточно (и необходимо) четко обозначить корреляционные уровни и границы, по которым будут сопоставляться общие стратиграфические подразделения Международной и Общей шкал, что также поможет избежать изоляции отечественной стратиграфии от остального мира.

Иерархия стратонов

В отечественной стратиграфической схеме докембрия отсутствуют подразделения ранга системы, за исключением венда. В то же время представляется логичным, что длительность геохронологических отрезков в докембрии может превышать таковую у подразделений того же ранга в фанерозое, поскольку докембрий сам по себе приблизительно в 7.5 раз продолжительнее, а стандартные биостратиграфические методы, имеющие высокую разрешающую способность, к довендским последовательностям практически не применимы. Последним изданием Стратиграфического кодекса продолжительность периодов, как и подразделений иного ранга, не регламентируется. Ранее существовавшее правило (Стратиграфический кодекс..., 1992,

с. 97) о сходстве продолжительности периодов фанерозоя и докембрия фактически было отменено. Более того, в Стратиграфическом кодексе не прописаны различия в требованиях, предъявляемых к новым зонам, эрам и периодам. Сказано лишь: “Таксономический ранг общего стратиграфического подразделения определяется эмпирически с учетом значения и длительности соответствующего ему этапа геологической истории, проявленно-го в различных признаках эволюции литосферы и биосферы” (Стратиграфический кодекс, 2019, статья III.4). И далее “При установлении общих стратиграфических подразделений докембрия используются проявления крупной этапности развития земной коры в избранных стратотипических местностях, а также смена комплексов остатков организмов и продуктов их жизнедеятельности” (с. 16). В таком ключе наиболее приемлемым представляется рассмотрение стратотипических подразделений рифея – бурзяния, юрматиния, каратавия (и, возможно, наравне с ними и аршиния) не в качестве эр, а в ранге периодов, как представлено в работе (Пучков и др., 2017).

Введение такого подразделения как “акротема”, используемого только для докембрия и отсутствующего в фанерозое, разрушает единство принятой хронологической системы иерархической классификации стратонов. Архей и протерозой наиболее рационально воспринимать как зоны, как это принято в МСШ. Протерозой в ОСШ разделен на две части (верхний и нижний), тогда как в МСШ принято его трехчленное расчленение. Думается, что процесс глобализации геологической науки неизбежно приведет к частичному отождествлению и путанице терминов “нижний протерозой” и “палеопротерозой”, а также “верхний протерозой” и “неопротерозой”. По этой причине следует упразднить в ОСШ подразделения “нижний протерозой” и “верхний протерозой” и разделить протерозойскую зонотему на три полноправные эратемы – карелий, рифей и венд. При этом будет нелишним сохранить привычный термин “верхний докембрий” (соответствующий верхнему протерозою (Келлер, 1968; Маслов, 2018)) – неформальный стратон, объединяющий рифей и венд.

Взаимоотношения рифея и венда

В свое время Н.С. Шатский (1952) предлагал рассматривать все верхнепротерозойские отложения в составе рифейской группы (с. 48), но это не было принято, и сейчас представления о рифее и венде как о смежных геохронологических стратонах укоренились очень глубоко. Высказывалась также идея о включении венда в состав палеозоя (Соколов, 1952), но она не была воспринята. Вероятно, сейчас решить проблему статуса и положения этого подразделения можно лишь утвердив

его в ранге эратемы. Вопрос об этом ранее уже неоднократно поднимался (Соколов, 1997, см. также ссылки в этой работе). Уникальный комплекс вендских организмов (Федонкин, 1983; Seilacher, 1992; Еськов, 2001; Xiao, Laflamme, 2009), резко отличный от палеозойской биоты, вполне может служить достаточным основанием для таких нововведений в ОСШ, несмотря на небольшую длительность венда.

Необходимость изменений в схемах пограничных отложений рифея и венда продиктована появлением новых данных о временных рамках глобальных неопротерозойских оледенений (Rooney et al., 2015; Prave et al., 2016; Pu et al., 2016; Hoffman et al., 2017; Zhou et al., 2019), знаменующих особый этап в развитии всех сфер Земли. Во многих регионах ему соответствует пробел в геологической летописи, тогда как осадочные последовательности в более полных разрезах (которые, очевидно, присутствуют и на Южном Урале) требуют своего отнесения к тому или иному стратиграфическому подразделению. За рубежом для отложений гляциопериодов Стёрт и Марино таким решением стал криогений (≈ 720 – 635 млн лет).

Теперь, когда параметры и возраст крупнейших оледенений уточнен, вряд ли имеет смысл распределять их между рифеем и вендом, тем более что неполная геологическая летопись и отсутствие датировок часто приводят к неправильной корреляции уровней с диамиктитами в разрезах разных осадочных бассейнов. К тому же время наступления оледенения Марино пока точно не известно (Hoffman et al., 2017). Также слабоаргументированным представляется проведение нижней границы венда на уровне наступления оледенения Кайгас (условно ≈ 750 млн лет): даже если правомерность выделения этого события будет доказана, проследить данный уровень между удаленными разрезами, по-видимому, будет очень сложно. Установление нижней границы венда в кровле тиллитов Марино (т. е. в подошве венчающих карбонатов – на уровне основания эдиакария) не решит проблемы корреляции разновозрастных тиллитов и, скорее всего, приведет к вытеснению русского термина зарубежным. На рис. 1 показаны два наиболее обоснованных варианта нижней границы венда: (А) на уровне появления отложений гляциопериода Стёрт (на отметке ≈ 717 млн лет, что приблизительно соответствует подошве криогения) или (Б) на уровне кровли тиллитов, относимых к гляциопериоду Гаскье (≈ 580 млн лет).

Наиболее близким к распространенным в настоящее время в научной среде представлениям выглядит вариант проведения нижней границы вендской эратемы на уровне подошвы тиллитов Стёрт. Такой вариант в перспективе предполагает разделение этой эратемы на три или две (например, близкие по объему криогению и эдиакарию) системы. Так или



Рис. 1. Неопротерозойский фрагмент МСШ (серыми полосами обозначены интервалы оледенений Стёрт, Марино и Гаскье) и два варианта проведения нижней границы венда в ОСШ (А) и (Б).

Fig. 1. Neoproterozoic fragment of ICSC (gray stripes indicate the intervals of Sturtian, Marino and Gaskiers glaciations) and two options for the establishment the Vendian lower boundary in GSS (A) and (B).

иначе, в качестве критериев, наиболее пригодных для детализации, следует рассматривать наступления крупных оледенений и/или дегляциации (определяющие в том числе и колебания уровня Мирового океана), поскольку именно они часто отчетливо проявлены в геологической летописи.

Между тем, изначально Б.С. Соколовым (1952) вендом были названы только самые верхние толщи докембрия северо-запада Русской платформы (но нужно отметить, что в более поздних работах он склонялся к установлению подошвы венда на значительно более низком стратиграфическом уровне). В отложениях, подстилающих волынскую серию стратопической местности венда, макроскопические остатки вендской биоты не обнаруживаются, что считается одним из аргументов в пользу исключения ледниковых горизонтов из состава венда (Якобсон, 2014). Согласно последним данным, первые мягкотелые организмы появились примерно через 10 млн лет после завершения оледенения Гаскье (Pu et al., 2016)), т.е. граница на уровне кровли последних тиллитов в той или иной степени оказывается биостратиграфически значимой. Известно, что с окончанием оледенения Гаскье тоже ассоциируют венчающие карбонаты, но значительно менее мощные по сравнению с таковыми Стёрт и Марино (Myrow, Kaufman, 1999; Corsetti, Lorentz, 2006; Чумаков, 2015), по этой причине могут возникнуть

закономерные трудности в отслеживании данной границы. Вместе с тем предполагается, что с событием Гаскье в карбонатных разрезах коррелируют экскурсы на кривых вариации изотопного состава стронция и углерода. К началу гляциопериода приурочены значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.7085 и более, а к окончанию – 0.7080 и менее (в вышележащих последовательностях они снова возрастают) (Sawaki et al., 2010; Macdonald et al., 2013; Zaky et al., 2019). Крупный отрицательный экскурс (именуемый EN2) магнитудой $\approx 9\text{‰}$ и более на кривой вариации величины $\delta^{13}\text{C}$ в карбонатных разрезах, вероятно, ассоциирует с уровнем проявления оледенения Гаскье⁴ (Macdonald et al., 2013; Furuyama et al., 2017; Cochrane et al., 2019). С этим гляциопериодом связан один из серии дискретных эпизодов оксигенизации океана (Sahoo et al., 2016), поэтому для уточнения предполагаемого рубежа могут быть привлечены данные по редокс-чувствительным элементам.

Если рассматривать венд в качестве эратемы, подошва которой будет определяться по наступлению оледенения Стёрт, то он уже не сможет стать верхним подразделением эдиакария в МСШ (Гражданкин, Маслов, 2015). В то же время за рубежом венд уже давно воспринимается как верхняя часть эдиакария (Narbonne et al., 2012; и др.). Кроме того, сдвиг нижней границы венда вверх по геохронологической шкале дает возможность терминальному рифею тоже занять место в ОСШ. Таким образом, вероятно, самым подходящим критерием для проведения границы между рифеем и вендом является все же окончание последнего в протерозое крупного оледенения Гаскье (рис. 2). В любом случае вопрос объема венда пока остается открытым, потребуются усилия широкого круга заинтересованных специалистов и формирование рабочей группы по выработке окончательного решения.

Несмотря на то что автор концепции венда Б.С. Соколов выступал категорически против понижения венда только в объеме постгляциальных докембрийских отложений, так как предполагал, что в более древних толщах непременно будут обнаружены прямые предшественники вендобиионтов (Соколов, 1997), появление новой информации заставляет вносить коррективы в привычные представления. Предки палеозойских многоклеточных скелетных животных тоже существовали в докембрии, но вряд ли этот факт может являться основанием для существенного сдвига нижней границы фанерозоя.

⁴ Проблема в том, что в карбонатных разрезах, по которым имеются С-изотопные данные, отсутствуют признаки оледенения, т.е. возможны разные варианты корреляций (Narbonne et al., 2012). Некоторые китайские исследователи в последнее время (Zhou et al., 2019) сопоставляют уровень события Гаскье с аномалией EN3/Shuram-Wonoka. Представляется, что дальнейшее изучение разрезов, в том числе и на территории России, поможет уточнить этот момент.

ОСШ России (Стратиграфический кодекс..., 2019)						Предлагаемые изменения в ОСШ (данная работа)					
Акротема	Эонотема, подэонотема	Эратема	Система	Отдел	Возраст, млн лет	Эонотема	Эратема	Система	Критерий нижней границы	Возраст, млн лет	
Протерозойская PR	Верхнепротерозойская PR ₂	Рифейская RF	Вендская V	Верхний V ₂	535 ± 1	Протерозойская PR	Вендская V (венд V)	Вендская V	Окончание оледенения Гаскье	≥ 530	
				Нижний V ₁	555–570						
					600						
								Аршинская (терминальный рифей RF ₄)	Начало оледенения Стёрт	≈ 580	
								Рифейская (рифей) RF	Каратавская (верхний рифей RF ₃)	FAD <i>Trachystrichosphaera</i>	≈ 717
									Юрматинская (средний рифей RF ₂)	?	1000–1130
									Бурзянская (нижний рифей RF ₁)	?	≈ 1400
									Верхнекарельская KR ₂	?	≈ 1750
									Нижнекарельская KR ₁	?	2100 ?
											2500

Рис. 2. Современное состояние ОСШ протерозоя (Стратиграфический кодекс..., 2019) и предложения по ее совершенствованию. FAD (first appearance datum) – первое появление таксона в геологической летописи.

Fig. 2. Current state of the Proterozoic fragment of GSS (Stratigraphic code..., 2019) and proposals for its improvement. FAD – first appearance datum.

Подчеркнем, что при дальнейшем установлении границы между рифеем и вендом (а также границ более мелких стратонев внутри них) в каком-либо определенном разрезе следует ориентироваться в первую очередь на коррелируемые события и только во вторую – на датировки абсолютного возраста, которые к тому же часто имеют существенную погрешность. Лишь таким образом можно уйти от хронометрии к хроностратиграфии и избежать навешивания “стратиграфических ярлыков” на геологические тела: необходимо руководствоваться конкретными признаками, присущими объектам, и осознавать разницу между местными и общими стратиграфическими подразделениями.

Для выбора эталонного разреза подошвы венда огромное значение имеют работы по изучению данного стратиграфического подразделения в пределах Уринского поднятия Сибири. Здесь на тиллитах большешепатомской свиты залегает терригенно-карбонатная баракунская свита с кэп-карбонатами в основании, обе свиты слагают нижнюю часть дальнетайгинской серии. Сложность в том, что ледниковые отложения серии могут быть сопоставлены как с гляциопериодом Марино, так и с Гаскье (Покровский и др., 2006; Чумаков, 2015; Рудько и др., 2017, 2020; Петров, 2018; Воробьева, Петров, 2020). В частности, данные по микрофоссилиям и результаты изучения изотопного состава углерода в дальнетайгинской серии не противоречат идее о том, что тиллиты большешепатомской свиты соответствуют событию Гаскье (Sergeev et al., 2011; Рудько и др., 2017, Воробьева, Сергеев, 2018; Голубкова,

2019; Воробьева, Петров, 2020). Между тем, изотопный состав стронция свидетельствует в пользу предположения, что указанный гляциогоризонт все же отвечает оледенению Марино, а гляциопериод Гаскье, скорее всего, “выпадает” на перерыв между дальнетайгинской серией и лежащей выше жуинской (Рудько и др., 2020). Перспективы установления лимитотипа нижней границы венда в Сибири и присвоения этому объекту статуса “опорного разреза” тесно связаны с решением данной стратиграфической проблемы.

Вопрос о существовании следов всех трех крупных неопротерозойских оледенений на Восточно-Европейской и Сибирской платформах, а также в обрамляющих их структурных комплексах является одним из самых дискуссионных. В частности, тиллиты вильчанской серии, подстилающие вольтинскую серию в страторегии венда, считаются “гаскьерскими” отложениями (Чумаков, 2015). Однако самые молодые детритовые цирконы в этой серии имеют возраст 977 ± 6 млн лет (Paszowski et al., 2019; Кузьменкова и др., 2019), т.е. теоретически рассматриваемые тиллиты могут принадлежать любому из трех гляциопериодов (равно как и блонская и глусская свиты в составе серии с высокой степенью вероятности включают в себя разновозрастные тиллиты). Известные в пределах Сибирской платформы и ее южного обрамления гляциальные комплексы характеризуются широким стратиграфическим диапазоном (Советов, Комлев, 2005; Советов, 2015; Кочнев и др., 2015), но ледниковый генезис некоторых из них оспаривается (Кочнев и

др., 2019). Часть из них ранее относилась то к верхнему рифею, то к венду. Во многих районах Сибирской платформы, по-видимому, отсутствуют отложения гляциопериода Гаскье (в южной части платформы ему, возможно, соответствует преднепский перерыв (Мельников, 2018)). Установление терминального подразделения рифея – аршиния – как системы, объединяющей уровни всех широко распространенных ледниковых образований позднего докембрия⁵, вероятно, положит конец дискуссиям и позволит исследователям сосредоточиться на работах по дальнейшему расчленению этого стратона.

Границы аршиния и подразделений внутри него должны быть определены с учетом особенностей разрезов в регионах с наиболее полной геологической летописью. При этом разрезы стратотипической местности (западный склон Южного Урала) могут быть дополнены последовательностями Среднего Урала, содержащими несколько горизонтов тиллитов, возрастной диапазон которых “зажат” между отметками 598 ± 6 и 567 ± 4 млн лет (Гражданкин и др., 2011; Маслов и др., 2013; Гражданкин, Маслов, 2015). Соответственно, в объеме аршиния могут быть включены и вероятные локальные оледенения, произошедшие в указанном интервале времени.

В том, что терминальный рифей может рассматриваться как стратиграфическое подразделение, вмещающее отложения всех крупных неопротерозойских оледенений, заключается его преимущество перед криогением МСШ в отношении российских разрезов (см. рис. 2). Если верно предположение, что возраст основной части аршинской серии на самом деле меньше ≈ 717 млн лет (Дуб, 2021), то нижняя граница аршиния как стратона трассируется в основание криогения МСШ. Но даже если это не так, ничто не препятствует установить на этом уровне границу терминального рифея, только отождествлять последний с аршинием (и аршинской серией) тогда будет некорректно. Теоретически, с целью упрощения корреляции ОСШ и МСШ, для нижней границы терминального рифея (или нижней границы венда в случае реализации варианта А), может быть выбран тот же критерий, что и для GSSP основания криогения. В большинстве разрезов мира отложения гляциопериода Стёрт залегают на подстилающих толщах с перерывом (Shields et al., 2018), поэтому для многих реальных последовательностей разница между уровнями появления в разрезе первых тиллитов и непосредственно предваряющей их С-изотопной отрицательной аномалии не будет иметь значения.

⁵ Выделение в позднем докембрии байконурского гляциопериода, более молодого по сравнению с Гаскье (Чумаков, 2009, 2015), все еще требует надежного обоснования датировками абсолютного возраста.

Граница среднего и верхнего рифея

Следует отформатировать и представления о рубеже среднего и верхнего рифея. Здесь важнейшим является то обстоятельство, что остатки эукариот *Trachyhystrichosphaera*, считающиеся типично верхнерифейскими (см. выше) и сейчас рассматриваемые как таксоны (в первую очередь *T. aimica*), характерные для верхнего мезопротерозоя–раннего неопротерозоя (Butterfield et al., 1994; Loron et al., 2019; и др.), были обнаружены в отложениях древнее 1074 ± 11 млн лет (Станевич и др., 2009), а также в породах с возрастом от 1107 ± 12 до 1109 ± 22 млн лет (Beghin et al., 2017; Loron et al., 2019). Первое появление индексо-таксонов микрофоссилий в разрезах является наиболее надежным основанием для стратиграфического расчленения и корреляции докембрийских отложений (Станевич и др., 2006; и др.). Такой подход к установлению работающего критерия используется в стратиграфии фанерозоя, когда уровень первого появления остатков определенного вида-маркера в разрезе рассматривается как нижняя граница биостратиграфической зоны (при этом принято исходить из допущения, что данный вид появился в истории Земли в соответствующее этому уровню время). В этой связи необходимо установление эталона подошвы верхнего рифея в непрерывной и литологически однородной последовательности, если таковая будет найдена. Таким образом, изотопный возраст нижней границы верхнего рифея за пределами Учуро-Майского региона может оказаться значительно более древним, нежели 1030 ± 30 млн лет – вплоть до 1130 млн лет. Мы вынуждены констатировать, что южноуральские разрезы также не могут претендовать на роль лимитотипов (не только в связи с отсутствием радиоизотопных данных, но и, вероятно, по тем же причинам, что и учуро-майские, в которых распределение микрофоссилий контролируется фациями (Семихатов, 2008)). Выбор нового эталонного разреза будет в дальнейшем иметь и мировое значение, когда начнутся работы с разрезами-кандидатами GSSP оснований тония и стения, но при этом объект должен обладать U-Pb датировками абсолютного возраста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По причине низкой разрешающей способности традиционных стратиграфических методов в дофанерозойских толщах в целях совершенствования ОСШ докембрия предлагается выделить бурзаний, юматиний, каратавий и аршиний в качестве систем в составе рифейской эратемы. Для устранения иерархических несоответствий в шкалу должна быть введена вендская эратема. Вопрос о ее объеме (уровне нижней границы и количестве систем) требует обсуждения отечественными специалистами.

2. Привязка рубежей общих стратиграфических подразделений докембрия к несогласиям и началам крупных тектонических циклов показала свою перспективность при телекорреляциях. Оценки абсолютного возраста, известные для стратонев верхнего докембрия, также не могут являться диагностическим признаком для установления границ этих подразделений. В основе стратиграфической шкалы докембрия, как и шкалы фанерозоя, должна лежать хронологическая последовательность глобально коррелируемых геологических событий. В качестве таких событий-критериев, определяющих начало позднего рифея (1), терминального рифея (2) и венда (3), могут рассматриваться соответственно: 1) эволюционное появление *Trachyhuysrichosphaera aimika* или иных *Trachyhuysrichosphaera* sp.; 2) наступление оледенения Стёрт; 3) окончание оледенения Гаскье как последней крупной ледниковой эпохи в докембрии (или вариации изотопного состава Sg и C). Несомненно, указанные точки отсчета не способны обеспечить изохронность границ общих подразделений, установленных в разных разрезах, но вариации их одновременности могут рассматриваться в рамках хронологической идентичности, как это принято в фанерозое.

3. Среди отечественных специалистов, изучающих геологическую историю докембрия, прочно укоренились представления, что стратиграфические рубежи следует ассоциировать с резкими литологическими границами. Однако разрезы, в которых границы подразделений совпадают с перерывом в осадконакоплении, не могут быть эталонными. Исключение составляют те случаи, когда маркером стратиграфической границы служит эвстатическое событие, например наступление глобального оледенения или дегляциация. Когда же критерий является биостратиграфическим, то очевидно, что его действительность распространяется только на литологически однородную и наиболее полную осадочную последовательность. В связи с тем что в полных разрезах остатки *Trachyhuysrichosphaera* sp. появляются уже на уровне 1100–1130 млн лет, изотопный возраст границы среднего и верхнего рифея должен быть пересмотрен.

4. В качестве стратиграфического подразделения, охватывающего отложения всех крупных позднедокембрийских гляциопериодов, предложено рассматривать терминальную систему рифея – аршиний. На территории России (в том числе на Южном и Среднем Урале) обнаружены отложения оледенений Стёрт, Марино и Гаскье, но на современном этапе исследований принадлежность к тому или другому гляциопериоду не всегда может быть достоверно определена. Необходимы дальнейшие работы по детальному изучению этого стратона.

5. Одним из наиболее обоснованных вариантов установления нижней границы венда является уро-

вень кровли тиллитов Гаскье (≈580 млн лет), иногда маркированный венчающими карбонатами. Выше тиллитов, образовавшихся во время этого события, в разрезах появляются остатки биоты мягкотелых. В карбонатных последовательностях к уровню оледенения Гаскье приурочены отрицательные экскурсы на кривых вариации изотопного состава стронция и углерода. С этим гляциопериодом связан один из нескольких дискретных эпизодов оксигенизации океана.

6. Из-за неоднозначности и неопределенности термин “лапландский горизонт” следует исключить из употребления.

Благодарности

Рассмотренные в публикации идеи рождались при обсуждении тематических вопросов с А.В. Масловым, М.Т. Крупениным, Д.В. Гражданкиным, В.В. Черных, М.П. Покровским. Конструктивные замечания Д.В. Гражданкина и А.Б. Кузнецова позволили улучшить содержание данной работы. Автор искренне признателен всем указанным лицам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беккер Ю.Р. (1968) Позднедокембрийская моласса Южного Урала. Л.: Недра, 160 с.
- Бибикова Е.В., Киринова Т.И., Лазарев Ю.И., Макаров В.А., Николаев А.А. (1990) U-Pb изотопный возраст вепсия Карелии. *ДАН СССР*, **310**(1), 189-191.
- Вейс А.Ф., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Воробьева Н.Г. (2003) Микрофоссилии типового разреза верхнего рифея (каратавская серия Южного Урала). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **11**(6), 19-44.
- Воробьева Н.Г., Петров П.Ю. (2020) Микробиота баракунской свиты и биостратиграфическая характеристика дальнетайгинской серии: ранний венд Уринского поднятия Сибири. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **28**(4), 26-42.
- Воробьева Н.Г., Сергеев В.Н. (2018) *Stellarossica* gen. nov. и инфрагруппа *Kelmiides* infrag. nov.: аномально крупные акантоморфные акритархи венда Сибири и Восточно-Европейской платформы. *Палеонтол. журн.*, (5), 91-100.
- Герман Т.Н. (1990) Органический мир миллиард лет назад. Л.: Наука, 52 с.
- Голубкова Е.Ю. (2019) Органостенные микрофоссилии в стратиграфии венда юго-востока Сибирской платформы. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб., 206 с.
- Горожанин В.М., Канипова З.А. (2017) Литологические индикаторы Марино-гляциального генезиса отложений байназаровской свиты венда (Криволукский грабен Башкирского мегантиклинория, Южный Урал). *Геол. сборник № 13 ИГ УНЦ РАН*. СПб.: Свое издательство, 34-43.
- Горожанин В.М., Мичурин С.В., Канипова З.А., Биктимерова З.Р. (2016) Толпаровский разрез верхнего докембрия как типовой разрез криогения на Южном Урале. *Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий*. Мат-лы XI межрегион. науч.-практич. конф. Уфа, 36-38.

- Горожанин В.М., Мичурин С.В., Войкина З.А., Шарипова А.А., Биктимерова З.Р., Султанова А.Г. (2019) Марино-гляциальные отложения в Толпаровском разрезе верхнего докембрия (реки Зилим и Малый Толпар). *Геол. вестник*, (3), 69-92.
- Гражданкин Д.В., Марусин В.В., Меерт Дж., Крупенин М.Т., Маслов А.В. (2011) Котлинский горизонт на Южном Урале. *Докл. АН*, **440**(2), 201-206.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В. (2015) Место венда в международной стратиграфической шкале. *Геология и геофизика*, **56**(4), 703-717.
- Домрачев С.М. (1952) Девон хр. Каратау и прилегающих районов Южного Урала. *Девон Западного Приуралья*. Л.; М.: Гостоптехиздат, Ленингр. отд-е, 5-121.
- Дуб С.А. (2021) Верхнерифейско-вендские отложения Башкирского мегантиклинория Южного Урала: состояние изученности и стратиграфическое расчленение. *Геология и геофизика*, DOI: 10.15372/GiG2021120.
- Еськов К.Ю. (2001) Черновики Господа Бога. *Знание – Сила*, (6), 56-61.
- Жамойда А.И. (2015) Состояние и проблемы Общей стратиграфической шкалы России. *Геология и геофизика*, **56**(4), 655-670.
- Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Горожанин В.М., Горохов И.М., Ивановская Т.А., Константинова Г.В. (2019) Основание венда на Южном Урале: Rb-Sr возраст глауконитов бакеевской свиты. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **27**(5), 82-96.
- Захаров В.А. (2013) Как обустроить Общую стратиграфическую шкалу России? *Росс. недра*, **146**(2), 6.
- Келлер Б.М. (1952) Рифейские отложения краевых прогибов Русской платформы. М.: Изд-во АН СССР, 63 с.
- Келлер Б.М. (1968) Верхний протерозой Русской платформы: рифей и венд. (Ред. А.А. Богданов). М.: Изд-во МГУ, 102 с.
- Келлер Б.М. (1973) Венд, юдомий и терминальный рифей (вендомий). *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (1), 86-92.
- Ковалев С.Г. (2008) Позднедокембрийский рифтогенез в истории развития западного склона Южного Урала. *Геотектоника*, (2), 68-79.
- Козлов В.И. (1982) Верхний рифей и венд Южного Урала. М.: Наука, 128 с.
- Козлов В.И., Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Нехорошева А.Г., Бушарина С.В. (2011) Аршиний – новый стратон рифея в стратотипических разрезах Южного Урала. *Геол. сборник № 9 ИГ УНЦ РАН*. Уфа, ДизайнПолиграфСервис, 52-56.
- Кочнев Б.Б., Марусин В.В., Семенова Д.В. (2019) Неопротерозойские тиллиты и “тиллиты” на юге Сибирской платформы: генезис, распространение и возраст. *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)*. Мат-лы совещ., вып. 17. Иркутск: ИЗК СО РАН, 131-133.
- Кочнев Б.Б., Покровский Б.Г., Прошенкин А.И. (2015) Верхнепротерозойский гляциокомплекс центральных областей Сибирской платформы. *Докл. АН*, **464**(4), 448-451.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2012) Новые данные по цирконовой геохронологии аршинских вулканитов (Южный Урал). *Литосфера*, (4), 127-140.
- Крупенин М.Т. (2004) Минерагеническое и геодинамическое значение среднерифейского времени на западном склоне Южного Урала. *Докл. АН*, **399**(4), 503-505.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. (2014) Возможности стронциевой изотопной хемотратиграфии в решении проблем стратиграфии верхнего протерозоя (рифей и венда). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **22**(6), 3-25.
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шацилло А.В., Орлов С.Ю., Голованова И.В., Данукалов К.Н., Ипатьева И.С. (2012) Первые результаты массового U/Pb-изотопного датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из ашинской серии Южного Урала: палеогеографический и палеотектонический аспекты. *Докл. АН*, **447**(1), 73-79.
- Кузьменкова О.Ф., Лапцевич А.Г., Кузнецов А.Б., Шумлянский Л.В., Голубкова Е.Ю., Зайцева Т.С., Манкевич С.С. (2019) Актуальные вопросы стратиграфии рифея и венда Вольно-Оршанского палеоавлагодена запада Восточно-Европейской платформы. *Этапы формирования и развития палеопротерозойской земной коры: стратиграфия, метаморфизм, магматизм, геодинамика*. Мат-лы VI Росс. конф. по проблемам геологии и геодинамики докембрия. СПб.: Свое издательство, 125-127.
- Марусин В.В. (2016) О нижней границе кембрия Общей стратиграфической шкалы. *Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России*. Мат-лы Межвед. раб. совещ. СПб., 100-102.
- Маслов А.В. (2018) Осадочные ассоциации верхнего докембрия западного склона Южного Урала (современное состояние исследований). *Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий*. Мат-лы XII межрегион. науч.-практич. конф., Уфа. СПб.: Свое изд., 128-138.
- Маслов А.В., Анфимов Л.В. (2000) Авзянская рудоносная свита среднего рифея Южного Урала (литостратиграфия, условия образования, минерагения). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 132 с.
- Маслов А.В., Ерохин Е.В., Гердес А., Ронкин Ю.Л., Иванов К.С. (2018) Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS-изотопного датирования обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал). *Докл. АН*, **482**(5), 558-561.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. (2001) Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерагения, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, Т. 1, 351 с. Т. 2, 134 с. Т. 3, 130 с. Т. 4, 103 с.
- Маслов А.В., Меерт Дж., Левашова Н.М., Ронкин Ю.Л., Гражданкин Д.В., Кузнецов Н.Б., Крупенин М.Т., Федорова Н.М., Ипатьева И.С. (2013) Новые данные о возрасте ледниковых отложений венда Среднего Урала. *Докл. АН*, **449**(3), 322-327.
- Мейен С.В. (1989) Введение в теорию стратиграфии. М.: Наука, 216 с.
- Мельников Н.В. (2018) Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы (стратиграфия, история развития). Новосибирск: СНИИГТиМС, 177 с.
- Меннер В.В., Штрейс Н.А. (1971) О тектонических аспектах геохронологической шкалы. *Проблемы теоретической и региональной тектоники*. К 60-ле-

- тию академика Александра Леонидовича Яншина. М.: Наука, 300-309.
- Микрофоссилии докембрия СССР (1989). (Ред. Т.В. Янкаускас). Л.: Наука, 190 с.
- Наговицин К.Е. (2000) Окремненные микробиоты верхнего рифея Енисейского кряжа (Восточная Сибирь). *Новости палеонтологии и стратиграфии. Приложение к журналу "Геология и геофизика"*, (2-3), 7-32.
- Наговицин К.Е. (2016) Роль микрофоссилий в решении вопросов стратиграфии верхнего протерозоя. *Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России*. Мат-лы Межвед. раб. совещ. СПб., 113-115.
- Негруца В.З. (2011) Проблемы стратиграфии нижнего докембрия России (историко-методологический анализ). *Литосфера*, (1), 3-19.
- Парначев В.П., Швецов П.Н., Крупенин М.Т. (1990) Строение и условия седиментации отложений нижнего рифея Тараташского антиклинория на Южном Урале. Свердловск: УрО АН СССР, 71 с.
- Петров П.Ю. (2018) Постледниковые отложения дальнетайгинской серии: ранний венд Уринского поднятия Сибири. Сообщение 1. Баракунская свита. *Литология и полез. ископаемые*, (5), 459-472.
- Покровский Б.Г., Мележик В.А., Буякайте М.И. (2006) Изотопный состав С, О, Sr и S в позднедокембрийских отложениях патомского комплекса, Центральная Сибирь. Сообщение 1. Результаты, изотопная стратиграфия и проблемы датирования. *Литология и полез. ископаемые*, (5), 505-530.
- Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. (1992) Вып. 26. СПб.: ВСЕГЕИ, 69 с.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А. (2017) Стратиграфическая схема стратотипа рифея Южного Урала. *Геология. Изв. Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ*, (23), 3-26.
- Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Ратов А.А. (2014) Отложения нижнего венда на Южном Урале: особенности состава и строения. *Геол. сборник № 11 ИГ УНЦ РАН*. Уфа: ДизайнПресс, 22-36.
- Розанов А.Ю., Семихатов М.А., Соколов Б.С., Федонкин М.А., Хоментовский В.В. (1997) Решение о выборе стратотипа границы докембрия и кембрия: прорыв в проблеме или ошибка? *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **5**(1), 21-31.
- Розанов А.Ю., Хоментовский В.В., Шабанов Ю.Я., Карлова Г.А., Варламов А.И., Лучинина В.А., Пегель Т.В., Демиденко Ю.Е., Пархаев П.Ю., Коровников И.В., Скорлотова Н.А. (2008) К проблеме ярусного расчленения нижнего кембрия. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **16**(1), 3-21.
- Рудько С.В., Кузнецов А.Б., Петров П.Ю. (2020) Изотопный состав Sr в известняках дальнетайгинской серии Патомского бассейна: опорный разрез венда Сибири. *Литология и полез. ископаемые*, (3), 243-256.
- Рудько С.В., Петров П.Ю., Кузнецов А.Б., Шацило А.В., Петров О.Л. (2017) Уточненный тренд $\delta^{13}\text{C}$ в дальнетайгинской серии Уринского поднятия (венд, юг Средней Сибири). *Докл. АН*, **477**(5), 590-594.
- Семихатов М.А. (1974) Стратиграфия и геохронология протерозоя. М.: Наука, 302 с.
- Семихатов М.А. (2000) Уточнение оценок изотопного возраста нижних границ верхнего рифея, венда, верхнего венда и кембрия. *Дополнения к Стратиграфическому кодексу России*. СПб.: ВСЕГЕИ, 95-107.
- Семихатов М.А. (2008) Хроностратиграфия и хронометрия: конкурирующие концепции общего расчленения докембрия. *Бюлл. МОИП. Отд. геол.*, **83**(5), 36-58.
- Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М. (2015) Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **23**(6), 16-27.
- 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. (1991) Новая стратиграфическая шкала докембрия СССР. *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (8), 3-14.
- Сергеев В.Н., Семихатов М.А., Федонкин М.А., Воробьева Н.Г. (2010) Основные этапы развития докембрийского органического мира: Сообщение 2. Поздний протерозой. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **18**(6), 3-34.
- Советов Ю.К. (2015) Тиллиты вблизи основания стратотипического разреза тасеевской серии венда (Сибирская платформа). *Геология и геофизика*, **56**(11), 1934-1944.
- Советов Ю.К., Комлев Д.А. (2005) Тиллиты в основании оселковой серии Присяня и положение нижней границы венда на юго-западе Сибирской платформы. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, (1), 3-34.
- Соколов Б.С. (1952) О возрасте древнейшего осадочного покрова Русской платформы. *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (5), 21-31.
- Соколов Б.С. (1995) Вендская система и "неопротерозой-III". *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **3**(6), 51-67.
- Соколов Б.С. (1997) Очерки становления венда. М.: КМК Scientific Press, 142 с.
- Соколов Б.С. (2011) Хроностратиграфическое пространство и венд как геоисторическое подразделение неопротерозоя. *Геология и геофизика*, **52**(10), 1334-1348.
- Станевич А.М., Гладкочуб Д.П., Корнилова Т.А., Мазукабзов А.М., Карманов Н.С. (2009) Микрофоссилии уджинской свиты рифея севера Сибирского кратона. *Изв. Томск. политехн. ун-та*, **315**(1), 5-10.
- Станевич А.М., Немеров В.К., Чатта Е.Н. (2006) Микрофоссилии протерозоя Саяно-Байкальской складчатой области. Обстановки обитания, природа и классификация. Новосибирск: Гео, 204 с.
- Стратиграфический кодекс. (1992) СПб.: МСК, 120 с.
- Стратиграфический кодекс России. (2019) СПб.: ВСЕГЕИ, 96 с.
- Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология. (1983) М.: Наука, 184 с.
- Федонкин М.А. (1983) Органический мир венда. Итоги науки и техники. Стратиграфия. Палеонтология. М.: ВИНТИ, 128 с.
- Хоментовский В.В. (2002) Байкалий Сибири (850-650 млн лет). *Геология и геофизика*, **43**(4), 313-333.
- Хоментовский В.В. (2014) Ангарий Енисейского кряжа как стандартное подразделение неопротерозоя. *Геология и геофизика*, **55**(3), 464-472.

- Хоментовский В.В., Карлова Г.А. (2005) Основание томмотского яруса – нижняя граница кембрия Сибири. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **13**(1), 26-40.
- Черных В.В. (2015) Парадоксы стратиграфии. *Геология и геофизика*, **56**(4), 682-693.
- Чумаков Н.М. (1974) Лапландское оледенение. *Этюды по стратиграфии*. М.: Наука, 71-96.
- Чумаков Н.М. (2009) Поздневендский Байконурский ледниковый горизонт. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **17**(4), 23-31.
- Чумаков Н.М. (2015) Оледенения Земли: история, стратиграфическое значение и роль в биосфере. М.: ГЕОС, 160 с.
- Шатский Н.С. (1945) Очерки тектоники Волго-Уральской нефтеносной области и смежной части западного склона Южного Урала. *Материалы к познанию геологического строения СССР*. М.: Изд. МОИП, 131 с.
- Шатский Н.С. (1952) О границе между палеозоем и протерозоем и о рифейских отложениях Русской платформы. *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (5), 36-49.
- Якобсон К.Э. (2014) Проблемы венда Восточно-Европейской платформы. *Регион. геология и металлогения*, **60**, 109-116.
- Якобсон К.Э., Крылов Н.С. (1977) Нижняя граница венда в его стратотипической местности. *Сов. геология*, (7), 59-70.
- Becker R.T., Kaiser S.I., Aretz M. (2016) Review of chrono-, litho- and biostratigraphy across the global Hangenberg Crisis and Devonian-Carboniferous Boundary. *Devonian climate, sea level and evolutionary events* (Eds R.T. Becker, P. Königshof, C.E. Brett). *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, **423**, 355-386.
- Beghin J., Storme J.-Y., Blanpied C., Gueneli N., Brocks J.J., Poulton S.W., Javaux E.J. (2017) Microfossils from the late Mesoproterozoic – early Neoproterozoic Atar. El Mreïti Group, Taoudeni Basin, Mauritania, northwestern Africa. *Prec. Res.*, **291**, 63-82.
- Bowring S.A., Grotzinger J.P., Condon D.J., Ramezani J., Newall M.J., Allen P.A. (2007) Geochronologic constraints on the chronostratigraphic framework of the Neoproterozoic Huqf Supergroup, Sultanate of Oman. *Amer. J. Sci.*, **307**, 1097-1145.
- Bowring S.A., Grotzinger J.P., Isachsen C.E., Knoll A.H., Pelechaty S.M., Kolosov P. (1993) Calibrating rates of Early Cambrian evolution. *Science*, **261**, 1293-1298.
- Brasier M.D., Cowie J., Taylor M. (1994) Decision on the Precambrian-Cambrian boundary stratotype. *Episodes*, **17**, 3-8.
- Butterfield N.J., Knoll A.H., Swett K. (1994) Paleobiology of the Neoproterozoic Svanbergfjellet Formation, Spitsbergen. *Fossils and Strata*, **34**, 1-84.
- Cloud P. (1972) A working model of the primitive earth. *Amer. J. Sci.*, **272**, 537-548.
- Cochrane D.J.W., Navarro L., Arnott R.W.C. (2019) Sedimentological and geochemical evolution of an Ediacaran mixed carbonate-siliciclastic continental slope system, Windermere Supergroup, southern Canadian Cordillera, British Columbia, Canada. *Prec. Res.*, **327**, 47-67.
- Compston W., Sambridge M.S., Reinfrank R.F., Moczyłowska M., Vidal G., Claesson S. (1995) Numerical ages of volcanic rocks and the earliest faunal zone within the Late Precambrian of East Poland. *J. Geol. Soc. Lond.*, **152**, 599-611.
- Corsetti F.A., Lorentz N.J. (2006) On Neoproterozoic cap carbonates as chronostratigraphic markers. *Neoproteroz. Geobiol. Paleobiol. Top. Geobiol.*, **27** (Eds S. Xiao, A.J. Kaufman). Springer, Dordrecht, 273-294.
- Cox G.M., Halverson G.P., Stevenson R.K., Vokaty M., Poirier A., Kunzmann M., Li Z.X., Denyszyn S.W., Strauss J.V., Macdonald F.A. (2016) Continental flood basalt weathering as a trigger for Neoproterozoic Snowball Earth. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **446**, 89-99.
- Frimmel H.E., Klötzli U.S., Siegfried P.R. (1996) New Pb-Pb Single Zircon Age Constraints on the Timing of Neoproterozoic Glaciation and Continental Break-up in Namibia. *J. Geol.*, **104**(4), 459-469.
- Furuyama S., Kano A., Kunimitsu Y., Ishikawa T., Wang W., Liu X. (2017) Chemostratigraphy of the Ediacaran basinal setting on the Yangtze platform, South China: Oceanographic and diagenetic aspects of the carbon isotopic depth gradient. *Island Arc*, **26**, e12196.
- Grey K., Calver C.R. (2007) Correlating the Ediacaran of Australia. *The Rise and Fall of the Ediacaran Biota. J. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* (Eds P. Vickers-Rich, P. Komarower), **286**, 115-135.
- Grazhdankin D. (2014) Patterns of evolution of the Ediacaran soft-bodied biota. *J. Paleontol.*, **88**, 269-283.
- Grazhdankin D.V., Marusin V.V., Izokh O.P., Karlova G.A., Kochnev B.B., Markov G.E., Nagovitsin K.E., Sarsembaev Z., Peek S., Cui H., Kaufman A.J. (2020) Quo vadis, Tommotian? *Geol. Mag.*, **157**(1), 22-34.
- Grotzinger J.P., Bowring S.A., Saylor B.Z., Kaufman A.J. (1995) Biostratigraphic and geochronologic constraints on early animal evolution. *Science*, **270**, 598-604.
- Halverson G.P., Wade B.P., Hurtgen M.T., Barovich K.M. (2010) Neoproterozoic chemostratigraphy. *Prec. Res.*, **182**, 337-350.
- Hoffman P.F., Abbot D.S., Ashkenazy Y., Benn D.I., Brocks J.J., Cohen P.A., Cox G.M., Creveling J.R., Donnadiu 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. (2017) Snowball Earth climate dynamics and Cryogenian geology-geobiology. *Sci. Adv.*, **3**(11), e1600983.
- International stratigraphic guide – An abridged version. International Subcommittee on Stratigraphic Classification of IUGS, International Commission on Stratigraphy. (1998) (Eds M.A. Murphy, A. Salvador). *Episodes*, **22**(4), 255-271.
- Kaufman A.J., Knoll A.H., Narbonne G.M. (1997) Isotopes, ice ages, and terminal Proterozoic Earth history. *PNAS*, **94**, 6600-6605.
- Kaufman A.J., Peek S., Martin A.J., Cui H., Grazhdankin D., Rogov V., Xiao S., Buchwaldt R., Bowring S. (2012) A shorter fuse for the Cambrian Explosion? *GSA Annual Meeting*, **44**(7), 326.
- Kennedy M.J., Runnegar B., Prave A.R., Hoffmann K.-H., Arthur M.A. (1998) Two or four Neoproterozoic glaciations? *Geology*, **26**(12), 1059-1063.
- Knoll A.H., Walter M.R., Narbonne G.M., Christie-Blick N. (2006) The Ediacaran Period: a new addition to the geologic time scale. *Lethaia*, **39**, 13-30.
- Kolesnikov A.V., Marusin V.V., Nagovitsin K.E., Maslov A.V., Grazhdankin D.V. (2015) Ediacaran biota in the aftermath of the Kotlinian Crisis: Asha Group of the

- South Urals. *Proc. Res.*, **263**, 59-78.
- Linnemann U., Ovtcharova M., Schaltegger U., Gärtner A., Hautmann M., Geyer G., Vickers-Rich P., Rich T., Plessen B., Hofmann M., Zieger J., Krause R., Kreisfeld L., Smith J. (2019) New high-resolution age data from the Ediacaran-Cambrian boundary indicate rapid, ecologically driven onset of the Cambrian explosion. *Terra Nova*, **31**, 49-58.
- Loron C.C., Rainbird R.H., Turner E.C., Greenman J.W., Javaux E.J. (2019) Organic-walled microfossils from the late Mesoproterozoic to early Neoproterozoic lower Shaler Supergroup (Arctic Canada): Diversity and biostratigraphic significance. *Proc. Res.*, **321**, 349-374.
- Lucas S.G. (2018) The GSSP method of chronostratigraphy: A critical review. *Front. Earth Sci.*, **6**, 191.
- 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. (2013) 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.*, **362**, 250-272.
- Myrow P.M., Kaufman A.J. (1999) A newly discovered cap carbonate above Varanger-age glacial deposits in Newfoundland, Canada. *J. Sed. Res.*, **69**, 784-793.
- Narbonne G.M., Xiao S., Shields G. (2012) The Ediacaran Period. *Geologic Timescale 2012* (Eds F. Gradstein, J. Ogg, M.D. Schmitz, G. Ogg). Boston, Elsevier, 413-435.
- Parkhaev P.Yu. (2014) On the Stratigraphy of Aldanella Atleborensis – Potential Index Species for Defining the Base of Cambrian Stage 2. *Ext. Sum. IGCP Project 591 Field Workshop 2014*. Nanjing, Nanjing Univ. Press, 102-105.
- Paszkowski M., Budzyń B., Mazur St., Slama J., Shumlyanskyy L., Środoń J., Dhuime B., Kędzior A., Liivamägi S., Piszczowska A. (2019) Detrital zircon U-Pb and Hf constraints on provenance and timing of deposition of the Mesoproterozoic to Cambrian sedimentary cover of the East European Craton, Belarus. *Proc. Res.*, **331**, 105352.
- Plumb K.A. (1991) New Precambrian time scale. *Episodes*, **14**(2), 139-140.
- Prave A.R. (1999) Two diamictites, two cap carbonates, two $\delta^{13}\text{C}$ excursions, two rifts; the Neoproterozoic Kingston Peak Formation, Death Valley, California. *Geology*, **27**, 339-342.
- Prave A.R., Condon D., Hoffmann K.-H., Tapster S., Fallick A.E. (2016) Duration and nature of the end-Cryogenian (Marinoan) glaciations. *Geology*, **44**, 631-634.
- Pu J.P., Bowring S.A., Ramezani J., Myrow P., Raub T.D., Landing E., Mills A., Hodgkin E., Macdonald F.A. (2016) Dodging snowballs: Geochronology of the Gaskiers glaciation and the first appearance of the Ediacaran biota. *Geology*, **44**, 955-958.
- Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Sergeeva N.D. (2014) The New Data on Stratigraphy of the Riphean Stratotype in the Southern Urals, Russia. *J. Geosci. Environ. Protect.*, **2**, 108-116.
- Remane J., Bassett M.G., Cowie J.C., Gohrbandt K.H., Lane H.R., Michelsen O., Wang N., with the Cooperation of Members of ICS. (1996) Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International Commission on Stratigraphy (ICS). *Episodes*, **19**, 77-81.
- Rice H.N., Halverson G.P., Hoffman P.F. (2003) Three for the Neoproterozoic: Sturtian, Marinoan and Varangerian glaciations. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, abstract id. 11425.
- Rooney A.D., Strauss J.V., Brandon A.D., Macdonald F.A. (2015) A Cryogenian chronology: Two long-lasting synchronous Neoproterozoic glaciations. *Geology*, **43**, 459-462.
- Sahoo S.K., Planavsky N.J., Jiang G., Kendall B., Owens J.D., Wang X., Shi X., Anbar A.D., Lyons T.W. (2016) Oceanic oxygenation events in the anoxic Ediacaran ocean. *Geobiology*, **14**, 457-468.
- Saltzman M.R., Thomas E. (2012) Carbon isotope stratigraphy. *The Geologic Time Scale 2012* (Eds F. Gradstein, J. Ogg, M.D. Schmitz, G. Ogg). Boston, Elsevier, 207-232.
- Sawaki Y., Ohno T., Tahata M., Komiya T., Hirata T., Maruyama S., Windley B.F., Han J., Shu D., Li Y. (2010) The Ediacaran radiogenic Sr isotope excursion in the Doushantuo Formation in the three Gorges area, South China. *Proc. Res.*, **176**, 46-64.
- Seilacher A. (1992) Vendobionta and Psammocorallia: lost constructions of Precambrian evolution. *J. Geol. Soc. Lond.*, **149**, 607-613.
- Sergeev V.N., Knoll A.H., Vorob'eva N.G. (2011) Ediacaran microfossils from the Ura Formation, Baikal-Patom Uplift, Siberia: taxonomy and biostratigraphic significance. *J. Paleontol.*, **85**(5), 987-1011.
- Shields G.A., Halverson G.P., Porter S.M. (2018) Descent into the Cryogenian. *Proc. Res.*, **319**, 1-5.
- Shields G.A., Strachan R.A., Porter S.M., Halverson G.P., Macdonald F.A., Plumb K.A., de Alvarenga C.J., Banerjee D.M., Bekker A., Bleeker W., Brasier A., Chakraborty P.P., Collins A.S., Condie K., Das K., Evans D.A.D., Ernst R., Fallick A.E., Frimmel H., Fuck R., Hoffman P.F., Kamber B.S., Kuznetsov A.B., Mitchell R.N., Poiré D.G., Poulton S.W., Riding R., Sharma M., Storey C., Stueeken E., Tostevin R., Turner E., Xiao Sh., Zhang Sh., Zhou Y., Zhu M. (2021) A template for an improved rock-based subdivision of the pre-Cryogenian time scale. *J. Geol. Soc.*, <https://doi.org/10.1144/jgs2020-222>.
- Shumlyanskyy L., Nosova A., Billström K., Söderlund U., Andréasson P.-G., Kuzmenkova O. (2016) The U-Pb zircon and baddeleyite ages of the Neoproterozoic Volyn Large Igneous Province: implication for the age of the magmatism and the nature of a crustal contaminant. *GFF*, **138**(1), 17-30.
- Swanson-Hysell N.L., Maloof A.C., Condon D.J., Jenkin G.R.T., Alene M., Tremblay M.M., Tesema T., Rooney A.D., Haileab B. (2015) Stratigraphy and geochronology of the Tambien Group, Ethiopia: evidence for globally synchronous carbon isotope change in the Neoproterozoic. *Geology*, **43**, 323-326.
- Van Kranendonk M.J., Altermann W., Beard B.L., Hoffman P.F., Johnson C.M., Kasting J.F., Melezhik V.A., Nutman A.P., Papineau D., Pirajno F. (2012) A chronostratigraphic division of the Precambrian. *The Geologic Time Scale 2012* (Eds F. Gradstein, J. Ogg, M.D. Schmitz, G. Ogg). Boston, Elsevier, 299-392.
- Veizer J., Compston W. (1976) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in Precambrian carbonates as an index of crustal evolution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **40**(8), 905-914.
- Wang X., Su W. (2000) An important reference criterion for the selection of GSSP. *Chin. Sci. Bull.*, **45**, 472-479.
- Williams G.E., Gostin V.A. (2019) Late Cryogenian glaciation in South Australia: fluctuating ice margin and no extreme or rapid post-glacial sea-level rise. *Geosci. Front.*, **10**(4), 1397-1408.

- Williams G.E., Gostin V.A., McKirdy D.M., Preiss W.V. (2008) The Elatina glaciation, late Cryogenian (Marinoan Epoch), South Australia: sedimentary facies and palaeoenvironments. *Prec. Res.*, **163**, 307-331.
- Xiao S., Laflamme M. (2009) On the eve of animal radiation: phylogeny, ecology and evolution of the Ediacara biota. *Trends Ecol. Evol.*, **24**(1), 31-40.
- Xu B., Xiao S., Zou H., Chen Y., Li Z., Song B., Liu D., Zhou C., Yuan X. (2009) SHRIMP zircon U-Pb age constraints on Neoproterozoic Qurruqtagh diamictites in NW China. *Prec. Res.*, **168**(3-4), 247-258.
- Zaky A.H., Brand U., Buhl D., Blamey N., Bitner M.A., Logan A. (2019) Strontium isotope geochemistry of modern and ancient archives: tracer of secular change in ocean chemistry. *Can. J. Earth Sci.*, **56**(3), 245-264.
- Zhou C., Huyskens M.H., Lang X., Xiao S., Yin Q.-Z. (2019a) Calibrating the terminations of Cryogenian global glaciations. *Geology*, **47**(3), 251-254.
- Zhou C., Yuan X., Xiao S., Chen Z., Hua H. (2019b) Ediacaran integrative stratigraphy and timescale of China. *Sci. China Earth Sci.*, **62**(1), 7-24.
- REFERENCES
- Becker Yu.R. (1968) Late Precambrian molasse of the Southern Urals. Leningrad, Nedra Publ., 160 p. (In Russ.)
- Becker R.T., Kaiser S.I., Aretz M. (2016) Review of chrono-, litho- and biostratigraphy across the global Hangenberg Crisis and Devonian-Carboniferous Boundary. *Devonian climate, sea level and evolutionary events* (Eds R.T. Becker, P. Königshof, C.E. Brett). *Geol. Soc. London. Spec. Publ.*, **423**, 355-386.
- Beghin J., Storme J.-Y., Blanpied C., Gueneli N., Brocks J.J., Poulton S.W., Javaux E.J. (2017) Microfossils from the late Mesoproterozoic – early Neoproterozoic Atar/El Mreïti Group, Taoudeni Basin, Mauritania, northwestern Africa. *Prec. Res.*, **291**, 63-82.
- Bibikova E.V., Kirnozova T.I., Lazarev Yu.I., Makarov V.A., Nikolaev A.A. (1990) U-Pb isotopic age of Vepsian in Karelia. *Dokl. AN SSSR*, **310**(1), 189-191. (In Russ.)
- Bowring S.A., Grotzinger J.P., Condon D.J., Ramezani J., Newall M.J., Allen P.A. (2007) Geochronologic constraints on the chronostratigraphic framework of the Neoproterozoic Huqf Supergroup, Sultanate of Oman. *Amer. J. Sci.*, **307**, 1097-1145.
- Bowring S.A., Grotzinger J.P., Isachsen C.E., Knoll A.H., Pelechaty S.M., Kolosov P. (1993) Calibrating rates of Early Cambrian evolution. *Science*, **261**, 1293-1298.
- Brasier M.D., Cowie J., Taylor M. (1994) Decision on the Precambrian-Cambrian boundary stratotype. *Episodes*, **17**, 3-8.
- Butterfield N.J., Knoll A.H., Swett K. (1994) Paleobiology of the Neoproterozoic Svanbergfjellet Formation, Spitsbergen. *Fossils and Strata*, **34**, 1-84.
- Chernykh V.V. (2015) Paradoxes of stratigraphy. *Russ. Geol. Geophys.*, **56**(4), 532-540 (translated from *Geol. Geofiz.*, **56**(4), 682-693).
- Chumakov N.M. (1974) Lapland glaciation. *Stratigraphy essays*. Moscow, Nauka Publ., 71-96. (In Russ.)
- Chumakov N.M. (2009) The Baykonurian Glaciation of the Late Vendian. *Stratigr. Geol. Correl.*, **17**(4), 373-381 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **17**(4), 23-31).
- Chumakov N.M. (2015) Earth glaciations: history, stratigraphic significance and role in the biosphere. Moscow, GEOS Publ., 160 p. (In Russ.)
- Cloud P. (1972) A working model of the primitive earth. *Amer. J. Sci.*, **272**, 537-548.
- Cochrane D.J.W., Navarro L., Arnott R.W.C. (2019) Sedimentological and geochemical evolution of an Ediacaran mixed carbonate-siliciclastic continental slope system, Windermere Supergroup, southern Canadian Cordillera, British Columbia, Canada. *Prec. Res.*, **327**, 47-67.
- Compston W., Sambridge M.S., Reinfrank R.F., Moczyłowska M., Vidal G., Claesson S. (1995) Numerical ages of volcanic rocks and the earliest faunal zone within the Late Precambrian of East Poland. *J. Geol. Soc. Lond.*, **152**, 599-611.
- Corsetti F.A., Lorentz N.J. (2006) On Neoproterozoic cap carbonates as chronostratigraphic markers. *Neoproteroz. Geobiol. Paleobiol. Top. Geobiol.*, **27** (Eds S. Xiao, A.J. Kaufman). Springer, Dordrecht, 273-294.
- Cox G.M., Halverson G.P., Stevenson R.K., Vokaty M., Poirier A., Kunzmann M., Li Z.X., Denyszyn S.W., Strauss J.V., Macdonald F.A. (2016) Continental flood basalt weathering as a trigger for Neoproterozoic Snowball Earth. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **446**, 89-99.
- Domrachev S.M. (1952) Devonian of the Karatau Mountains and adjacent areas of the Southern Urals. *Devonian of the Western Urals*. Leningrad; Moscow, Gostoptekhizdat Publ. Leningrad, 5-121. (In Russ.)
- Dub S.A. (2021) Neoproterozoic deposits of Bashkir Mega-Anticlinorium (Southern Urals): State of the art in regional stratigraphy. *Russ. Geol. Geophys* (translated from *Geol. Geofiz.*). <https://doi.org/10.15372/GiG2021120>
- Es'kov K.Yu. (2001) God's Rough Drafts. *Znanie – Sila*, (6), 56-61. (In Russ.)
- Fedonkin M.A. (1983) The organic world of Vendian. Results of Science and Technology. Stratigraphy. Paleontology. Moscow, VINITI Publ., 128 p. (In Russ.)
- Frimmel H.E., Klötzli U.S., Siegfried P.R. (1996) New Pb-Pb Single Zircon Age Constraints on the Timing of Neoproterozoic Glaciation and Continental Break-up in Namibia. *J. Geol.*, **104**(4), 459-469.
- Furuyama S., Kano A., Kunimitsu Y., Ishikawa T., Wang W., Liu X. (2017) Chemostratigraphy of the Ediacaran basinal setting on the Yangtze platform, South China: Oceanographic and diagenetic aspects of the carbon isotopic depth gradient. *Island Arc*, **26**, e12196.
- German T.N. (1990) The organic world a billion years ago. Leningrad, Nauka Publ., 52 p. (In Russ.)
- Golubkova E.Yu. (2019) Organ-walled microfossils in the Vendian stratigraphy of the southeastern Siberian platform. Cand. geol.-min. sci. diss. St.Petersburg, 206 p. (In Russ.)
- Gorozhanin V.M., Kanipova Z.A. (2017) Lithological indicators of the marino-glacial genesis of the Baynazar Formation deposits, Vendian (Krivoluksky graben of the Bashkirian meganticlinorium, Southern Urals). *Geol. Sbornik No. 13 IG UNTs RAN*. St.Petersburg, Its publishing house, 34-43. (In Russ.)
- Gorozhanin V.M., Michurin S.V., Kanipova Z.A., Biktime-rova Z.R. (2016) Tolparovo section of the Upper Precambrian as a typical section of the Cryogenian in the Southern Urals. *Geology, mineral deposits and the problems of geoecology of Bashkortostan, Urals and adjacent territories*. Materials of the XI Interregional Scientific and Practical Conference. Ufa, 36-38. (In Russ.)

- Gorozhanin V.M., Michurin S.V., Voikina Z.A., Sharipova A.A., Biktimerova Z.R., Sultanova A.G. (2019) Marino-glacial deposits in the Tolparovo section of the Upper Precambrian (the Zilim and Malyy Tolpar rivers). *Geol. Vestnik*, (3), 69-92. (In Russ.)
- Grazhdankin D. (2014) Patterns of evolution of the Ediacaran soft-bodied biota. *J. Paleontol.*, **88**, 269-283.
- Grazhdankin D.V., Marusin V.V., Izokh O.P., Karlova G.A., Kochnev B.B., Markov G.E., Nagovitsin K.E., Sarsembaev Z., Peek S., Cui H., Kaufman A.J. (2020) Quo vadis, Tommotian? *Geol. Mag.*, **157**(1), 22-34.
- Grazhdankin D.V., Marusin V.V., Meert J., Krupenin M.T., Maslov A.V. (2011) Kotlin regional stage in the South Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **440**(1), 1222-1226 (translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **440**(2), 201-206).
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V. (2015) The room for the Vendian in the International Chronostratigraphic Chart. *Russ. Geol. Geophys.*, **56**(4), 549-559 (translated from *Geol. Geofiz.*, **56**(4), 703-717).
- Grey K., Calver C.R. (2007) Correlating the Ediacaran of Australia. *The Rise and Fall of the Ediacaran Biota*. (Eds P. Vickers-Rich, P. Komarower). *J. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, **286**, 115-135.
- Grotzinger J.P., Bowring S.A., Saylor B.Z., Kaufman A.J. (1995) Biostratigraphic and geochronologic constraints on early animal evolution. *Science*, **270**, 598-604.
- Halverson G.P., Wade B.P., Hurtgen M.T., Barovich K.M. (2010) Neoproterozoic chemostratigraphy. *Prec. Res.*, **182**, 337-350.
- 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. (2017) Snowball Earth climate dynamics and Cryogenian geology-geobiology. *Sci. Adv.*, **3**(11), e1600983.
- International stratigraphic guide – An abridged version. International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS, International Commission on Stratigraphy. (1998) (Eds M.A. Murphy, A. Salvador). *Episodes*, **22**(4), 255-271.
- Kaufman A.J., Knoll A.H., Narbonne G.M. (1997) Isotopes, ice ages, and terminal Proterozoic Earth history. *PNAS*, **94**, 6600-6605.
- Kaufman A.J., Peek S., Martin A.J., Cui H., Grazhdankin D., Rogov V., Xiao S., Buchwaldt R., Bowring S. (2012) A shorter fuse for the Cambrian Explosion? *GSA Annual Meeting*, **44**(7), 326.
- Keller B.M. (1952) Riphean deposits of the foredeeps of the Russian platform. Moscow, Izd. AN SSSR, 63 p. (In Russ.)
- Keller B.M. (1968) Upper Proterozoic of the Russian Platform: Riphean and Vendian. (Ed. A.A. Bogdanov). Moscow, Publishing house of Moscow State University, 102 p. (In Russ.)
- Keller B.M. (1973) Vendian, Yudomian and Terminal Riphean (Vendonian). *Izv. AN SSSR. Ser. Geol.*, (1), 86-92. (In Russ.)
- Kennedy M.J., Runnegar B., Prave A.R., Hoffmann K.-H., Arthur M.A. (1998) Two or four Neoproterozoic glaciations? *Geology*, **26**(12), 1059-1063.
- Kochnev B.B., Marusin V.V., Semenova D.V. (2019) Neoproterozoic tillites and “tillites” in the south of the Siberian platform: genesis, distribution and age. *Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from ocean to continent)*. Meeting materials, vol. 17, 131-133. (In Russ.)
- Khomentovsky V.V. (2002) Baikalian of Siberia (850–650 Ma). *Geol. Geofiz.*, **43**(4), 313-333. (In Russ.)
- Khomentovsky V.V. (2014) The Angarian in the Yenisei Ridge as a standard Neoproterozoic Unit. *Russ. Geol. Geophys.*, **55**(3), 361-368 (translated from *Geol. Geofiz.*, **55**(3), 464-472).
- Khomentovsky V.V., Karlova G.A. (2005) The Tommotian Stage base as the Cambrian lower boundary in Siberia. *Stratigr. Geol. Correl.*, **13**(1), 21-34 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **13**(1), 26-40).
- Knoll A.H., Walter M.R., Narbonne G.M., Christie-Blick N. (2006) The Ediacaran Period: a new addition to the geological time scale. *Lethaia*, **39**, 13-30.
- Kochnev B.B., Marusin V.V., Semenova D.V. (2019) Neoproterozoic tillites and “tillites” in the south of the Siberian platform: genesis, occurrence and age. *Geodynamic evolution of the Central Asian Mobile Belt: from Ocean to Continent*. Vyp. 17. Irkutsk, IEC SB RAS, 131-133. (In Russ.)
- Kochnev B.B., Pokrovskii B.G., Proshenkin A.I. (2015) The Upper Neoproterozoic glacial complex in central areas of the Siberian platform. *Dokl. Earth Sci.*, **464**(2), 1001-1004 (translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **464**(4), 448-451).
- Kolesnikov A.V., Marusin V.V., Nagovitsin K.E., Maslov A.V., Grazhdankin D.V. (2015) Ediacaran biota in the aftermath of the Kotlinian Crisis: Asha Group of the South Urals. *Prec. Res.*, **263**, 59-78.
- Kovalev S.G. (2008) Late Precambrian rifting in the geological history of the western slope of the South Urals. *Geotectonics*, **42**(2), 137-146 (translated from *Geotektonika*, (2), 68-79).
- Kozlov V.I. (1982) Upper Riphean and Vendian of the Southern Urals. Moscow, Nauka Publ., 128 p. (In Russ.)
- Kozlov V.I., Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Nekhorosheva A.G., Busharina S.V. (2011) Arshinian is a new straton of the Riphean in stratotype sections of the Southern Urals. *Geol. Sbornik No. 9 IG UNTs RAN*. Ufa, Design-PolygraphService Publ., 52-56. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V. (2012) New data about Arshinian volcanites zircon geochronology (Southern Urals). *Lithosphere (Russia)*, (4), 127-140. (In Russ.)
- Krupenin M.T. (2004) The mineragenic and geodynamic significance of the Middle Riphean time on western slope of Southern Ural. *Dokl. Akad. Nauk*, **399**(4), 503-505. (In Russ.)
- Kuzmenkova O.F., Laptsevich A.G., Kuznetsov A.B., Shumlyanskii L.V., Golubkova E.Yu., Zaitseva T.S., Mankevich S.S. (2019) Topical problems on the Riphean and Vendian stratigraphy of the Volyn-Orsha paleoavlacogen in the west of the East European platform. *Formation and development stages of the Paleoproterozoic crust: stratigraphy, metamorphism, magmatism, geodynamics*. Materials of the VI Russian Conference on problems of the Precambrian geology and geodynamics. St.Petersburg, Its publishing house, 125-127. (In Russ.)
- Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Shatsillo A.V., Orlov S.Yu., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Ipat'eva I.S. (2012) The first results of mass U-Pb isotope dating (LA-ICP-

- MS) for detrital zircons from the Asha Group, South Urals: paleogeography and paleotectonics. *Dokl. Earth Sci.*, **447**(1), 1240-1246 (translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **447**(1), 73-79).
- Kuznetsov A.B., Semikhatov M.A., Gorokhov I.M. (2014) The Sr isotope chemostratigraphy as a tool for solving stratigraphic problems of the Upper Proterozoic (Riphean and Vendian). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **22**(6), 553-575 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **22**(6), 3-25).
- Linnemann U., Ovtcharova M., Schaltegger U., Gärtner A., Hauntmann M., Geyer G., Vickers-Rich P., Rich T., Plessen B., Hofmann M., Zieger J., Krause R., Kreisfeld L., Smith J. (2019) New high-resolution age data from the Ediacaran-Cambrian boundary indicate rapid, ecologically driven onset of the Cambrian explosion. *Terra Nova*, **31**, 49-58.
- Loron C.C., Rainbird R.H., Turner E.C., Greenman J.W., Javaux E.J. (2019) Organic-walled microfossils from the late Mesoproterozoic to early Neoproterozoic lower Shaler Supergroup (Arctic Canada): Diversity and biostratigraphic significance. *Prec. Res.*, **321**, 349-374.
- Lucas S.G. (2018) The GSSP method of chronostratigraphy: A critical review. *Front. Earth Sci.*, **6**, 191.
- 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. (2013) 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.*, **362**, 250-272.
- Marusin V.V. (2016) On the lower boundary of the Cambrian of the General Stratigraphic Scale. *General stratigraphic scale and methodological problems of the development of regional stratigraphic scales in Russia*. Materials Interdepartment working meetings. St.Petersburg, 100-102. (In Russ.)
- Maslov A.V. (2018) Sedimentary associations of the Upper Precambrian of the Southern Urals western slope (current state of research). *Geology, mineral deposits and the problems of geoecology of Bashkortostan, Urals and adjacent territories*. Materials of the XII Interregional Scientific and Practical Conference, Ufa. St.Petersburg, Svoyo izdatel'stvo, 128-138. (In Russ.)
- Maslov A.V., Anfimov L.V. (2000) Ore-bearing Avzyan Formation of the Middle Riphean of the Southern Urals (lithostratigraphy, sedimentary environments, minerageny). Ekaterinburg, IGG UB RAS Publ., 132 p. (In Russ.)
- Maslov A.V., Erokhin E.V., Gerdes A., Ronkin Yu.L., Ivanov K.S. (2018) First results of U-Pb LA-ICP-MS isotope dating of detrital zircons from arkose sandstone of the Biryán Subformation of Zilmerdak Formation (Upper Riphean, South Urals). *Dokl. Earth Sci.*, **482**(2), 1275-1277 (translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **482**(5), 558-561).
- Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. (2001) The Riphean of the Southern Urals western slope (classical sections, sedimentology, lithogenesis, minerageny and natural geological monuments). Ekaterinburg, IGG UB RAS, V. 1, 351 p. V. 2, 134 p. V. 3, 130 p. V. 4, 103 p. (In Russ.)
- Maslov A.V., Meert J., Levashova N.M., Ronkin Yu.L., Grazhdankin D.V., Kuznetsov N.B., Krupenin M.T., Fedorova N.M., Ipatieva I.S. (2013) New constraints for the age of Vendian glacial deposits (Central Urals). *Dokl. Earth Sci.*, **449**(1), 303-308 (translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **449**(3), 322-327).
- Meien S.V. (1989) Introduction to the theory of stratigraphy. Moscow, Nauka Publ., 216 p. (In Russ.)
- Mel'nikov N.V. (2018) Vendian-Cambrian saline basin of the Siberian platform (stratigraphy, history of development). Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 177 p. (In Russ.)
- Menner V.V., Shtreis N.A. (1971) Tectonic aspects of the geochronological scale. *Problems of theoretical and regional tectonics*. To the 60th anniversary of Academician Alexander Leonidovich Yanshin. Moscow, Nauka Publ., 300-309. (In Russ.)
- Myrow P.M., Kaufman A.J. (1999) A newly discovered cap carbonate above Varanger-age glacial deposits in Newfoundland, Canada. *J. Sed. Res.*, **69**, 784-793.
- Nagovitsin K.E. (2000) Silicified Microbiotas of the Upper Riphean of the Yenisei Ridge (Eastern Siberia). *Novosti paleontologii i stratigrafii. Prilozhenie k zhurnalu "Geologiya i geofizika"*, (2-3), 7-32. (In Russ.)
- Nagovitsin K.E. (2016) Significance of microfossils in Solving the Upper Proterozoic stratigraphy problems. *General stratigraphic scale and methodological problems of the development of regional stratigraphic scales of Russia*. Materials of Interdepartment working meeting. St.Petersburg, 113-115. (In Russ.)
- Narbonne G.M., Xiao S., Shields G. (2012) The Ediacaran Period. *Geologic Timescale 2012*. (Eds F. Gradstein, J. Ogg, M.D. Schmitz, G. Ogg). Boston, Elsevier, 413-435.
- Negrutsa V.Z. (2011) Stratigraphy aspects of the Lower Precambrian in Russia (historical-methodological analysis). *Lithosphere (Russia)*, (1), 3-19. (In Russ.)
- Parkhaev P.Yu. (2014) On the Stratigraphy of Aldanella Attleborensis – Potential Index Species for Defining the Base of Cambrian Stage 2. *Ext. Sum. IGCP Project 591 Field Workshop 2014*. Nanjing, Nanjing Univ. Press, 102-105.
- Parnachev V.P., Shvetsov P.N., Krupenin M.T. (1990) Structure and sedimentary environments of the Lower Riphean deposits of the Taratash anticlinorium in the Southern Urals. Sverdlovsk, UB RAS, 71 p. (In Russ.)
- Paszkowski M., Budzyń B., Mazur St., Slama J., Shumlyanskyy L., Środoń J., Dhuime B., Kędzior A., Liivamägi S., Piszarska A. (2019) Detrital zircon U-Pb and Hf constraints on provenance and timing of deposition of the Mesoproterozoic to Cambrian sedimentary cover of the East European Craton, Belarus. *Prec. Res.*, **331**, 105352.
- Petrov P.Yu. (2018) Postglacial deposits of the Dal'nyaya Taiga Group: Early Vendian in the Ural Uplift, Siberia. Communication 1. Barakun Formation. *Lithol. Miner. Res.*, **53**(5), 417-429 (translated from *Litol. Polezn. Iskop.*, (5), 459-472).
- Plumb K.A. (1991) New Precambrian time scale. *Episodes*, **14**(2), 139-140.
- Pokrovskii B.G., Melezhič V.A., Buyakaite M.I. (2006) Carbon, oxygen, strontium, and sulfur isotopic compositions in Late Precambrian rocks of the Patom Complex, Central Siberia: Communication 1. Results, isotope stratigraphy, and dating problems. *Lithol. Miner. Res.*, **41**(5), 450-474 (translated from *Litol. Polezn. Iskop.*, (5), 505-530. (In Russ.)
- Prave A.R. (1999) Two diamictites, two cap carbonates, two $\delta^{13}\text{C}$ excursions, two rifts; the Neoproterozoic Kingston Peak Formation, Death Valley, California. *Geology*, **27**, 339-342.

- Prave A.R., Condon D., Hoffmann K.-H., Tapster S., Fallick A.E. (2016) Duration and nature of the end-Cryogenian (Marinoan) glaciations. *Geology*, **44**, 631-634.
- Precambrian Microfossils of the USSR. (1989) (Ed. T.V. Yankauskas). Leningrad, Nauka Publ., 190 p.
- Pu J.P., Bowring S.A., Ramezani J., Myrow P., Raub T.D., Landing E., Mills A., Hodgkin E., Macdonald F.A. (2016) Dodging snowballs: Geochronology of the Gaskiers glaciation and the first appearance of the Ediacaran biota. *Geology*, **44**, 955-958.
- Puchkov V.N. (2010) Geology of the Urals and Cis-Urals (actual problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa, DesignPoligrafService Publ., 280 p. (In Russ.)
- Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Sergeeva N.D. (2014) The New Data on Stratigraphy of the Riphean Stratotype in the Southern Urals, Russia. *J. Geosci. Environ. Protect.*, **2**, 108-116.
- Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Krasnobaev A.A. (2017) Stratigraphic scheme of the Riphean standard of the Southern Urals. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnikh resursov AN RB*, (23), 3-26. (In Russ.)
- Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Ratov A.A. (2014) The Lower Vendian in the Southern Urals: peculiarities of a composition and structure. *Geologicheskii Sbornik No. 11 IG UNTs RAN*. Ufa, Design Press Publ., 22-36. (In Russ.)
- Remane J., Bassett M.G., Cowie J.C., Gohrbandt K.H., Lane H.R., Michelsen O., Wang N., with the Cooperation of Members of ICS. (1996) Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International Commission on Stratigraphy (ICS). *Episodes*, **19**, 77-81.
- Resolutions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its standing committees. (1992) Iss. 26. St.Petersburg, VSEGEI, 69 p. (In Russ.)
- Rice H.N., Halverson G.P., Hoffman P.F. (2003) Three for the Neoproterozoic: Sturtian, Marinoan and Varangerian glaciations. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, Abstract id. 11425.
- Rooney A.D., Strauss J.V., Brandon A.D., Macdonald F.A. (2015) A Cryogenian chronology: Two long-lasting synchronous Neoproterozoic glaciations. *Geology*, **43**, 459-462.
- Rozanov A.Yu., Semikhatov M.A., Sokolov B.S., Fedonkin M.A., Khomentovskii V.V. (1997) Decision on the choice of the stratotype of the Precambrian-Cambrian boundary: a breakthrough in the problem or a mistake? *Stratigr. Geol. Korrel.*, **5**(1), 21-31. (In Russ.)
- Rozanov A.Yu., Khomentovskii V.V., Shabanov Yu.Ya., Karlova G.A., Varlamov A.I., Luchinina V.A., Pegel T.V., Demidenko Yu.E., Parkhaev P.Yu., Korovnikov I.V., Skorlotova N.A. (2008) To the problem of Stage subdivision of the Lower Cambrian. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **16**(1), 1-19 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **16**(1), 3-21).
- Rud'ko S.V., Kuznetsov A.B., Petrov P.Yu. (2020) Strontium isotope composition in limestones of the Dal'nyaya Taiga Group in the Patom Basin: Vendian reference section of Siberia. *Lithol. Miner. Res.*, **55**(3), 206-217 (translated from *Litol. Polezn. Iskop.*, (3), 243-256).
- Rud'ko S.V., Petrov P.Yu., Kuznetsov A.B., Shatsillo A.V., Petrov O.L. (2017) Refined $\delta^{13}\text{C}$ trend of the Dal'nyaya Taiga Series of the Ura Uplift (Vendian, southern part of Middle Siberia). *Dokl. Earth Sci.*, **477**(2), 1449-1453 (translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **477**(5), 590-594).
- Sahoo S.K., Planavsky N.J., Jiang G., Kendall B., Owens J.D., Wang X., Shi X., Anbar A.D., Lyons T.W. (2016) Oceanic oxygenation events in the anoxic Ediacaran ocean. *Geobiology*, **14**, 457-468.
- Saltzman M.R., Thomas E. (2012) Carbon isotope stratigraphy. *The Geologic Time Scale 2012*. (Eds F. Gradstein, J. Ogg, M.D. Schmitz, G. Ogg). Boston, Elsevier, 207-232.
- Sawaki Y., Ohno T., Tahata M., Komiya T., Hirata T., Maruyama S., Windley B.F., Han J., Shu D., Li Y. (2010) The Ediacaran radiogenic Sr isotope excursion in the Doushantuo Formation in the three Gorges area, South China. *Prec. Res.*, **176**, 46-64.
- Seilacher A. (1992) Vendobionta and Psammocorallia: lost constructions of Precambrian evolution. *J. Geol. Soc. Lond.*, **149**, 607-613.
- Semikhatov M.A. (1974) Stratigraphy and Geochronology of the Proterozoic. Moscow, Nauka Publ., 302 p. (In Russ.)
- Semikhatov M.A. (2000) Refinement of estimates of the Upper Riphean, Vendian, Upper Vendian and Cambrian lower boundaries isotopic ages. *Supplements to the Stratigraphic Code of Russia*. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 95-107. (In Russ.)
- Semikhatov M.A. (2008) Chronostratigraphy and chronometry: concurrent conceptions of general subdivision of Precambrian. *Bull. MOIP. Otd. Geol.*, **83**(5), 36-58. (In Russ.)
- Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B., Chumakov N.M. (2015) Isotope age of boundaries between the general stratigraphic subdivisions of the Upper Proterozoic (Riphean and Vendian) in Russia: the evolution of opinions and the current estimate. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **23**(6), 568-579 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **23**(6), 16-27).
- Semikhatov M.A., Shurkin K.A., Aksenov E.M., Bekker Yu.R., Bibikova E.V., Duk V.L., Esipchuk K.E., Karsakov L.P., Kiselev V.I., Kozlov V.I., Lobach-Zhuchenko S.B., Negruta V.Z., Robonen V.I., Sezko A.I., Filatova L.I., Khomentovskiy V.V., Shemyakin V.M., Shuldiner V.I. (1991) New Precambrian stratigraphic scale of the USSR. *Izv. AN SSSR. Ser. Geol.*, (8), 3-14. (In Russ.)
- Sergeev V.N., Knoll A.H., Vorob'eva N.G. (2011) Ediacaran microfossils from the Ura Formation, Baikal-Patom Uplift, Siberia: taxonomy and biostratigraphic significance. *J. Paleontol.*, **85**(5), 987-1011.
- Sergeev V.N., Semikhatov M.A., Fedonkin M.A., Vorob'eva N.G. (2010) Principal stages in evolution of Precambrian organic world: Communication 2. The Late Proterozoic. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **18**(6), 561-592 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **18**(6), 3-34).
- Shatskii N.S. (1945) Essays on the tectonics of the Volga-Ural oil-bearing region and the adjacent part of the Southern Urals western slope. Materials for the cognition of the USSR geological structure. Moscow, MOIP Publ., 131 p. (In Russ.)
- Shatskii N.S. (1952) About the Paleozoic-Proterozoic boundary and Riphean deposits of the Russian platform. *Izv. AN SSSR. Ser. Geol.*, (5), 36-49. (In Russ.)
- Shields G.A., Halverson G.P., Porter S.M. (2018) Descent into the Cryogenian. *Prec. Res.*, **319**, 1-5.
- Shields G.A., Strachan R.A., Porter S.M., Halverson G.P., Macdonald F.A., Plumb K.A., de Alvarenga C.J., Banerjee D.M., Bekker A., Bleeker W., Brasier A., Chakraborty P.P., Collins A.S., Condie K., Das K., Evans D.A.D., Ernst R., Fallick A.E., Frimmel H., Fuck R., Hoff-

- man P.F., Kamber B.S., Kuznetsov A.B., Mitchell R.N., Poiré D.G., Poulton S.W., Riding R., Sharma M., Storey C., Stueeken E., Tostevin R., Turner E., Xiao Sh., Zhang Sh., Zhou Y., Zhu M. (2021) A template for an improved rock-based subdivision of the pre-Cryogenian time scale. *J. Geol. Soc.*, <https://doi.org/10.1144/jgs2020-222>.
- Shumlyanskii L., Nosova A., Billström K., Söderlund U., Andréasson P.-G., Kuzmenkova O. (2016) The U-Pb zircon and baddeleyite ages of the Neoproterozoic Volyn Large Igneous Province: implication for the age of the magmatism and the nature of a crustal contaminant. *GFF*, **138**(1), 17-30.
- Sokolov B.S. (1952) On the age of the oldest sedimentary cover of the Russian platform. *Izv. AN SSSR. Ser. Geol.*, (5), 21-31. (In Russ.)
- Sokolov B.S. (1995) Vendian system and "Neoproterozoic-III". *Stratigr. Geol. Korrel.*, **3**(6), 51-67. (In Russ.)
- Sokolov B.S. (1997) Essays on the Advent of the Vendian. Moscow, KMK Scientific Press, 142 p. (In Russ.)
- Sokolov B.S. (2011) The chronostratigraphic space of the lithosphere and the Vendian as a geohistorical subdivision of the Neoproterozoic. *Russ. Geol. Geophys.*, **56**(11), 1048-1059 (translated from *Geol. Geofiz.*, **52**(10), 1334-1348).
- Sovetov Yu.K. (2015) Tillites at the base of the Vendian Taseeva Group in the stratotype section (Siberian craton). *Russ. Geol. Geophys.*, **56**(11), 1522-1530 (translated from *Geol. Geofiz.*, **56**(11), 1934-1944).
- Sovetov Yu.K., Komlev D.A. (2005) Tillites at the base of the Oselok Group, foothills of the Sayan Mountains, and the Vendian lower boundary in the southwestern Siberian platform. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **13**(4), 337-366 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, (1), 3-34).
- Stanevich A.M., Gladkochub D.P., Kornilova T.A., Mazukabzov A.M., Karmanov N.S. (2009) Microfossils of Udzhinskaya suite of north Riphea of Siberian craton. *Izv. Tomsk. Politekhnic. Univ.*, **315**(1), 5-10. (In Russ.)
- Stanevich A.M., Nemerov V.K., Chatta E.N. (2006) Proterozoic microfossils of the Sayan-Baikal fold area. Environments, origin and classification. Novosibirsk, Geo Publ., 204 p. (In Russ.)
- Stratigraphic Code. (1992) St.Petersburg, MSK Publ., 120 p. (In Russ.)
- Stratigraphic Code of Russia. (2019) St.Petersburg, Publishing house VSEGEI, 96 p. (In Russ.)
- Stratotype of the Riphean: Stratigraphy and Geochronology. (1983) Moscow, Nauka Publ., 184 p. (In Russ.)
- 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. (2015) Stratigraphy and geochronology of the Tambien Group, Ethiopia: evidence for globally synchronous carbon isotope change in the Neoproterozoic. *Geology*, **43**, 323-326.
- Van Kranendonk M.J., Altermann W., Beard B.L., Hofman P.F., Johnson C.M., Kasting J.F., Melezhik V.A., Nutman A.P., Papineau D., Pirajno F. (2012) A chronostratigraphic division of the Precambrian. *The Geological Time Scale 2012*. (Eds F. Gradstein, J. Ogg, M.D. Schmitz, G. Ogg). Boston, Elsevier, 299-392.
- Veis A.F., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Vorob'eva N.G. (2003) Microfossils from the Upper Riphean type section (the Karatau Group of Southern Urals). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **11**(6), 550-572 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **11**(6), 19-44).
- Veizer J., Compston W. (1976) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in Precambrian carbonates as an index of crustal evolution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **40**(8), 905-914.
- Vorob'eva N.G., Petrov P.Yu. (2020) Microbiota of the Barakun Formation and Biostratigraphic Characteristics of the Dal'nyaya Taiga Group: Early Vendian of the Ura Uplift (Eastern Siberia). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **28**(4), 365-380 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **28**(4), 26-42).
- Vorob'eva N.G., Sergeev V.N. (2018) *Stellarossica gen. nov.* and the infragroup *Keltmiides infragroup. nov.*: extremely large acantomorphic acritarchs from the Vendian of Siberia and the East European Platform. *Paleontol. J.*, **52**(5), 563-573 (translated from *Paleontol. Zhurn.*, (5), 91-100).
- Wang X., Su W. (2000) An important reference criterion for the selection of GSSP. *Chin. Sci. Bull.*, **45**, 472-479.
- Williams G.E., Gostin V.A. (2019) Late Cryogenian glaciation in South Australia: fluctuating ice margin and no extreme or rapid post-glacial sea-level rise. *Geosci. Front.*, **10**(4), 1397-1408.
- Williams G.E., Gostin V.A., McKirdy D.M., Preiss W.V. (2008) The Elatina glaciation, late Cryogenian (Marinoan Epoch), South Australia: sedimentary facies and palaeoenvironments. *Prec. Res.*, **163**, 307-331.
- Xiao S., Laflamme M. (2009) On the eve of animal radiation: phylogeny, ecology and evolution of the Ediacara biota. *Trends Ecol. Evol.*, **24**(1), 31-40.
- Xu B., Xiao S., Zou H., Chen Y., Li Z., Song B., Liu D., Zhou C., Yuan X. (2009) SHRIMP zircon U-Pb age constraints on Neoproterozoic Qurruqtagh diamictites in NW China. *Prec. Res.*, **168**(3-4), 247-258.
- Yakobson K.E. (2014) Problems of the Vendian of the East European Platform. *Region. Geol. Metallogen.*, **60**, 109-116. (In Russ.)
- Yakobson K.E., Krylov N.S. (1977) The lower boundary of Vendian in its stratotype area. *Sov. Geologiya*, (7), 59-70. (In Russ.)
- Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Gorozhanin V.M., Gorokhov I.M., Ivanovskaya T.A., Konstantinova G.V. (2019) The lower boundary of the Vendian in the Southern Urals as evidenced by the Rb-Sr age of glauconites of the Bakeevo Formation. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **27**(5), 573-587 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **27**(5), 82-96).
- Zakharov V.A. (2013) How to renovate the General Stratigraphic Scale of Russia? *Russ. Nedra*, **146**(2), 6. (In Russ.)
- Zaky A.H., Brand U., Buhl D., Blamey N., Bitner M.A., Logan A. (2019) Strontium isotope geochemistry of modern and ancient archives: tracer of secular change in ocean chemistry. *Can. J. Earth Sci.*, **56**(3), 245-264.
- Zhamoida A.I. (2015) General Stratigraphic Scale of Russia: State of the art and Problems. *Russ. Geol. Geophys.*, **56**(4), 511-523 (translated from *Geol. Geofiz.*, **56**(4), 655-670).
- Zhou C., Huyskens M.H., Lang X., Xiao S., Yin Q-Z. (2019a) Calibrating the terminations of Cryogenian global glaciations. *Geology*, **47**(3), 251-254.
- Zhou C., Yuan X., Xiao S., Chen Z., Hua H. (2019b) Ediacaran integrative stratigraphy and timescale of China. *Sci. China Earth Sci.*, **62**(1), 7-24.