

О методах стратиграфического расчленения докембрия. Взгляд из фанерозоя

Рассматривается вопрос о методах стратиграфического расчленения докембрийских толщ. Показано, что исключительно региональными работами невозможно решить проблемы, накопившиеся в стратиграфии верхнего докембрия России и сопредельных стран. Приведены аргументы в пользу того, что докембрийский фрагмент Общей стратиграфической шкалы (далее ОСШ докембрия) должен иметь хроностратиграфический каркас, как и шкала фанерозоя. Обосновывается необходимость концентрации усилий специалистов, направленных в первую очередь на совершенствование ОСШ докембрия – ориентира для всех исследователей в регионах. Особое внимание уделено обсуждению вопроса установления границы рифея и венда.

Ключевые слова: верхний докембрий, хроностратиграфия, стратотип, лимитотип, GSSP, рифей, венд.

S. A. DUB (IGG UB RAS)

On methods of stratigraphic division of the Precambrian. A view from the Phanerozoic

Principles of the Precambrian stratigraphic subdivision are considered. It is shown that it is impossible to solve problems of the Upper Precambrian stratigraphy in Russia and adjacent countries by exclusively regional investigations. Precambrian fragment of the General Stratigraphic Scale (GSS) should have a chronostratigraphic framework, like the Phanerozoic Scale. The necessity of concentrating the efforts of specialists aimed primarily at improving the Precambrian GSS as a reference point for all researchers in the regions is substantiated. Particular attention is paid to the discussion of establishing the Riphean/Vendian boundary.

Keywords: Upper Precambrian, chronostratigraphy, stratotype, limitotype, GSSP, Riphean, Vendian.

Для цитирования: Дуб С. А. О методах стратиграфического расчленения докембрия. Взгляд из фанерозоя // Региональная геология и металлогения. – 2022. – № 90. – С. 33–40. DOI: 10.52349/0869-7892_2022_90_33-40

Введение. На конференции «Стратиграфия верхнего докембрия: проблемы и пути решения», прошедшей в ИГГД РАН (Санкт-Петербург) в сентябре 2021 г., на обсуждение научного сообщества был вынесен проект преобразований Общей стратиграфической шкалы (ОСШ) докембрия [4]. В частности, было предложено упразднить акротемы/акроны; утвердить архей и протерозой в качестве эонотем/эонов; изъять из употребления термин «верхний протерозой»; придать рифею и венду ранг эратем/эр; считать бурзяний, юрматиний, каратавий, а также аршиний (если он будет выделен в шкале как самостоятельное стратиграфическое подразделение) системами/периодами рифея. Особо подчеркивалась необходимость создать рабочую группу по вопросу границ рифея и венда, были представлены два наиболее аргументированных варианта хроностратиграфического критерия: (1) по наступлению глобального оледенения Стёрт и (2) по окончанию субглобального оледенения Гаскье.

У многих исследователей эти идеи вызвали неприятие как не соответствующие отечественно-

му методологическому подходу к стратиграфическому расчленению докембрия. Была высказана мысль, что, пока нет детально проработанных региональных стратиграфических схем (в т. ч. схем для стратотипических местностей), изменения в ОСШ вносить не следует.

Действительно, в Стратиграфическом кодексе (2019, ст. III.2) сказано: «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. Границы подразделений определяются проявлениями различных геологических событий в стратотипических местностях (крупные тектонические движения и процессы метаморфизма, усиление интрузивной деятельности, резкая смена формаций и т. п.)». Задача настоящей работы – разобраться, насколько сейчас рациональны данные представления. Если они не выдерживают современных требований и препятствуют дальнейшему развитию отечественной стратиграфии,

то кропотливое изучение разрезов в регионах следует проводить параллельно с преобразованием шкалы.

Региональные и глобальные маркеры границ.

Для расчленения осадочных толщ мировое научное сообщество пользуется методами хроностратиграфии как наиболее эффективными [13; 25; 26 и мн. др.]. Хроностратиграфия подразумевает опору на хронологическую (относительную) последовательность глобальных геологических событий (как биотических, так и абиотических), следы которых можно обнаружить в разрезах. Соответствующие этим событиям уровни допустимо считать изохронными [20; 28], поэтому они могут быть положены в основу стратиграфической шкалы. В фанерозое хроностратиграфическая концепция царствует безраздельно, но в докембрии она только начала отвоёвывать перспективы у хронометрии, базирующейся на измерении геологического времени в физических единицах (годах).

Присутствие названий реальных геологических последовательностей в ОСШ докембрия — неоспоримое достоинство российской шкалы. Однако все отметки абсолютного возраста границ стратиграфических подразделений, имеющиеся в ОСШ докембрия на данный момент, не отличаются от типичной хронометрической «нарезки». Сегодня проследить нижние границы стратиграфических подразделений докембрия весьма проблематично, так как в стратотипах они приурочены не к глобальным геологическим событиям, а к перерывам в осадконакоплении, а также к «крупным тектоническим движениям, проявлениям магматизма» и т. д., т. е. к последствиям региональных геологических процессов. Имеющиеся отметки абсолютного возраста отражают лишь время начала накопления осадочных толщ в стратотипе того или иного стратиграфического подразделения. Но и эти данные для многих подразделений шкалы устарели [14]. Чтобы границы стали хроностратиграфическими, необходимо коллегиально и целенаправленно определить критерии, ассоциирующиеся с глобальными событиями, происшедшими незадолго до или непосредственно после (разумеется, в масштабах геологического времени) принятого «рубежа», а затем выбрать эталонные разрезы — лимитотипы, в которых проявлена действительность данных критериев и имеются датировки абсолютного возраста.

Хроностратиграфический подход, собственно, в этом и заключается — абстрагироваться от стратотипического разреза подразделения (особенно если его нижнюю границу невозможно трассировать в другие осадочные бассейны) и выбрать критерий, который зафиксирован в максимально возможном числе других разрезов и по которому эти разрезы можно коррелировать. Строго говоря, любое местное (или региональное) стратиграфическое подразделение в случае, когда оно становится общим (т. е. попадает в ОСШ или МСШ), должно обязательно приобретать такую

характеристику — для того, чтобы его можно было диагностировать на местности. К сожалению, и подразделения рифея, и венд до сих пор нуждаются в выборе такого критерия и, соответственно, в жестком определении их объема, не базирующемся только на положении границы в стратотипе и оценках абсолютного возраста. Поэтому указанные стратотипы не были признаны зарубежным сообществом и не попали в МСШ. Поскольку трудно сочетать в шкале наименования реальных последовательностей и границы, ассоциированные с глобальными геологическими событиями, международное научное сообщество перешло на новую шкалу.

Международная комиссия по стратиграфии постоянно обновляет и совершенствует МСШ. В то же время современная ОСШ докембрия — олицетворение накопившихся стратиграфических проблем теоретического характера в нашей стране. Отечественные исследователи пытаются решать одно уравнение с двумя неизвестными — отсутствующим критерием нижней границы у общего стратиграфического подразделения в шкале и неопределённым возрастом геологических тел. Поэтому так важно приступить к работе над обновлением ОСШ. Несомненно, шкала должна быть главным ориентиром при всех региональных работах. Региональные стратиграфические подразделения используются для сопоставления стратиграфических схем с ОСШ, а не наоборот [21, ст. IV.4]. Любой разрез, в том числе стратотипический — лишь отдельная страница геологической летописи, которую стратиграфическая шкала разделяет на главы. Сегодня для стратиграфической привязки исследователям нередко приходится опираться на представления предшественников, которые могут оказаться ошибочными.

Если в шкале нет обозначенных хроностратиграфических уровней, то полноценное расчленение любых осадочных толщ за пределами стратотипических местностей общих стратиграфических подразделений становится просто невозможным. Но если уточнить ОСШ — как минимум, договориться о том, где проводить границы, — то появится и инструмент для работы на местности. В противном случае в осадочных бассейнах мы будем иметь дело со «стратиграфическими ярлыками», а не с реальными стратиграфически расчленёнными разрезами. Другими словами, определять возраст какого-либо геологического тела можно, когда есть договоренность о том, что считать началом каждого отрезка геологического времени (или основанием общего стратиграфического подразделения в шкале). Пока не будут выработаны постановления, по каким критериям (связанным с глобально коррелируемыми геологическими событиями) определять нижние границы стратотипов, основные проблемы решить не получится. Нельзя забывать о том, что любое общее стратиграфическое подразделение должно иметь не только стратотип, но и лимитотип. При этом возраст произвольно взятых отложений

следует определять именно посредством их сопоставления со шкалой (т. е., по сути, с лимитотипом, если он утвержден), а не со стратотипом.

Данные рассуждения ни в коем случае не являются призывом отказаться от изучения реальных разрезов. Наоборот, это следует делать с максимальной тщательностью, особое внимание обращая на уровни, непосредственно содержащие следы глобальных геологических событий. Для этого должно задействовать методы биостратиграфии, абсолютной геохронологии, хемотратиграфии, палеомагнитные данные и т. д. Представляется, что сама природа критерия, ассоциирующегося с этими событиями, не так важна. Он не обязательно должен быть биостратиграфическим, главное — его действенность. Так, в современной МСШ фанерозоя, помимо традиционных биостратиграфических, присутствуют хемотратиграфические, магнитостратиграфические, климатические и импактные типы границ стратиграфических подразделений [1].

В будущем все наиболее полные разрезы интервалов, содержащие хроностратиграфические границы, можно будет рассматривать в качестве кандидатов на эталонный разрез нижней границы (лимитотип или GSSP) того или иного подразделения докембрия. Вполне возможно, что подходящего по всем параметрам эталонного разреза может не оказаться на территории РФ, тогда необходимо привлекать разрезы других стран (очевидно, что границы РФ для природы не имеют значения, поскольку «общие стратиграфические подразделения имеют потенциально планетарное распространение» [21, ст. III.1]). Необходимо стремиться к максимально возможной интеграции ОСШ и МСШ. В противном случае российской шкале угрожает полная изоляция или от нее вообще придется отказаться.

О границе рифея и венда. Стратотипическая местность рифея — Башкирский мегантиклинорий (БМА) Южного Урала, венда — запад и северо-запад Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Согласно Стратиграфическому кодексу, для определения границы между рифеем и вендом нужно ориентироваться на объемы этих подразделений в стратотипах. Но можно представить себе ситуацию, что их стратиграфические диапазоны в стратотипах перекрываются (что вполне возможно и в реальности). Где в этом случае проводить границу? Такой мысленный эксперимент показывает, что одними региональными исследованиями вопрос не решить.

Разное понимание объема венда в настоящее время частично связано с развитием взглядов на данное стратиграфическое подразделение его первооткрывателя Б. С. Соколова. В ранних работах к венду он относил только отложения волынской и валдайской серий ВЕП [17], в поздних — включал в вендский комплекс также и тиллитоносную вильчанскую серию как аналог лапландского горизонта [16], но при этом отмечал, что к венду нужно относить только послед-

ние тиллиты [15] и что «вендский период начался в конце ледникового периода, а точнее — в конце ледниковой субэратемы — одной из самых грандиозных в истории Земли и связанной с крупнейшими проявлениями геодинамики» [18]. Уже к 1980-м гг. у исследователей появились разные точки зрения на объем венда [15].

В страторегионе к вендскому комплексу сейчас отнесена вся вильчанская серия (в составе блонской и глусской свит) с несколькими уровнями тиллитов. Но их абсолютный возраст пока неизвестен. На основании сходства стратиграфического положения и генезиса отложений с формациями Смалфьорд и Мортенснес Северной Норвегии предполагается, что тиллиты вильчанской свиты отвечают соответственно оледенениям Марино и Гаскье [22]. Однако такие корреляции нельзя признать надежными. Вполне может оказаться так, что нижние тиллиты соответствуют оледенению Стёрт, а отложения гляциопериода Гаскье вовсе не представлены в разрезе. Известные на сегодня датировки детритовых цирконов [9; 31] этому не противоречат. Даже если для вильчанской серии будет получена какая-либо датировка, она может являться только ориентиром при определении нижней границы венда в стратотипе, но не корреляционным уровнем в шкале, т. е. в любом случае без установления хроностратиграфического критерия обойтись не получится.

Нижняя граница венда в стратотипической местности приурочена к перерыву. Следовательно, лимитотип основания венда следует искать в каком-либо другом регионе. Но привлечение к обоснованию нижней границы венда так называемого «лапландского гляциогоризонта» Норвегии теперь представляется ошибочным: неясность стратиграфического положения уровня с тиллитами привела к возникновению различных вариантов корреляции с удаленными разрезами. К лимитотипам следует предъявлять очень жесткие требования: следы глобального события в выбранном разрезе должны быть хорошо выражены и представлены в непрерывной последовательности, а само событие — максимально точно датировано [32]. Но, прежде чем искать такие разрезы, нужно определиться, какой уровень изучать наиболее детально, т. е. какое из глобальных геологических событий есть наиболее перспективный критерий границы между рифеем и вендом. В таком порядке (сначала выбран критерий, потом — разрез) происходил выбор GSSP основания эдиакария [29] и, судя по успешности корреляции этого уровня во многих разрезах планеты, данный подход оказался эффективным с методологической точки зрения. Более того, даже в фанерозое немногие границы могут считаться настолько изохронными.

Таким образом, региональные работы важны, но одновременно с ними необходима ратификация общих подразделений, в частности, определение объема венда исходя из современных представлений о глобальных геологических событиях того времени. Для этого на базе Комис-

сии по верхнему докембрию Межведомственного стратиграфического комитета можно создать рабочую группу, которая бы выбрала и утвердила наиболее стратиграфически значимый критерий. Это позволит разным исследователям однозначно понимать объем венда. Конечно, не во всех разрезах удастся точно проследить границы, но вполне допустимо какие-то толщи считать пограничными (переходными) с неопределенным возрастом. Даже если выбор окажется не универсальным, в дальнейшем, при нахождении более удачного критерия, границы подразделений в регионах можно будет уточнять, но объем общего стратиграфического подразделения уже не будет существенно меняться. Например, именно такая ситуация сложилась с границей девона и карбона, и сейчас идет процесс выбора нового GSSP основания карбона (точнее, основания турнейского яруса) [24].

На данный момент достаточно надежно установлено, что гляциопериод Стёрт в масштабах геологического времени начался и закончился субсинхронно, условно одновременным было и окончание гляциопериода Марино [27]. Последнее геологическое событие как раз используется в качестве маркера начала эдиакарского периода [29]. Можно уверенно говорить, что вариант проведения нижней границы венда по подошве тиллитов гляциопериода Марино не очень удачен. Во-первых, время наступления этого оледенения до сих пор точно не установлено, свидетельства его субсинхронного начала во многих регионах планеты отсутствуют. Во-вторых, проведение границы между двумя крупными оледенениями не решит проблем корреляции разноразличных тиллитов, особенно с учетом того, что в каких-то регионах на один гляциопериод могут приходиться несколько эпизодов образования тиллитов. В-третьих, уровень между двумя последовательными глобальными оледенениями не вполне соответствует статусу границы между двумя эратемами, т. к. предполагает, что одно глобальное оледенение (Стёрт) отойдет рифею, а другое (Марино) – венду. С точки зрения эволюции Земли границы между гляциопериодами одной гляциозеры все-таки менее значимы, чем границы, знаменующие наступление или окончание самой гляциозеры. Здесь важно отметить, что концепция нижней границы последней системы неопротерозоя в основании тиллитов Марино в свое время уже была отклонена подавляющим большинством членов подкомиссии, рассматривающей вопрос о выборе GSSP основания этой системы [29, Appendix: The process of GSSP selection]. Сходные аргументы имеются и против варианта проведения нижней границы венда по подошве тиллитов гляциопериода Гаскье.

На восточном крыле БМА в интервале между традиционным верхним рифеем (каратауской серией) и отложениями, относимыми большинством исследователей к венду (аршинской серией), обнажаются отложения аршинской серии (которые ряд специалистов предлагает

рассматривать в качестве терминального рифея). Следовательно, пограничный рифейско-вендский интервал здесь представлен более полно, чем на западном крыле. Точка зрения, что стратотипическая местность рифея – только западные и центральные районы БМА, не выглядит аргументированной. Напротив, полнота разреза является важнейшим требованием, предъявляемым к стратотипам [21, прил. 2]. Более того, Н. С. Шатский при выделении рифея (1945) отнес к нему все древние свиты (от айской до ашинской включительно) западного склона Южного Урала. Соответственно, нет оснований не включать отложения восточного крыла БМА в составной стратотип. При этом, безусловно, следует учитывать степень их метаморфизма. Таким образом, концепция терминального рифея тесным образом сопряжена с проблемой нижней границы венда. Очевидное перекрытие диапазонов рифея (в понимании первооткрывателя) и венда в стратотипических местностях заставляет нас применить хроностратиграфический подход при решении вопроса границы этих общих стратиграфических подразделений.

Ранее нами было предложено рассмотреть два хроностратиграфических уровня, к одному из которых можно было бы привязать нижнюю границу венда (рисунок). Первый – на уровне появления отложений гляциопериода Стёрт (на отметке ~717 млн лет, что приблизительно соответствует подошве криогения). Второй – на уровне кровли тиллитов, относимых к гляциопериоду Гаскье (~580 млн лет), а основание терминального рифея как стратиграфического подразделения может быть скоррелировано с подошвой отложений гляциопериода Стёрт.

Аргументы в пользу первого варианта: основание венда может быть скоррелировано с подошвой криогения; не будет необходимости введения в ОСШ терминального рифея (рифей остается трехчленным); вендская эратема может приобрести достаточно большой объем (~720–530 млн). Такой формат предполагает разделение вендской эратемы на две или три системы: например, на нижний и верхний венд с границей на уровне кровли тиллитов Гаскье – т. е. все неопротерозойские тиллиты (за исключением, возможно, локально развитых тиллитов гляциопериодов Кайгас и Байконур) должны оказаться в нижнем венде. Кроме того, пока неясным остается возраст нижней границы тиллитона аршинской серии: известны оценки на уровне 770 млн лет [8; 12], но он может оказаться и близким к 717 млн лет [3].

Второй вариант подразумевает, что терминальный рифей объединит все наиболее крупные оледенения неопротерозоя, нижняя граница венда будет в некоторой степени биостратиграфически значимой (т. к. выше нее появляются остатки биоты мягкотелых), и венд останется потенциальным кандидатом на роль верхнего отдела эдиакария МСШ. Контраргументы к этому варианту: четырехчленное деление рифея (что не очень

ОСШ России (Стратиграфический..., 2019)					Проект МСШ по (Shields et al., 2021)					
Акро-тема	Эонотема, подэонотема	Эратема	Система	Отдел	Возраст, млн лет	Эоно-тема	Эра-тема	Система	Возраст, млн лет	
Протерозойская PR	Верхнепротерозойская PR ₂	Рифейская RF		Венд-ская V	Верхний V ₂	Протерозойская PR	Нео-протерозой	Эдиакарий	535 ± 1	541
					Нижний V ₁			Криогений	555-570	635
								Тоний	600	~720
								? Клейсий		? 800
								Стений		1000
	Нижне-протерозойская PR ₁ (карельская KR)						Мезо-протерозой	Эктазий	1030	1200
								Калиммий	1350	1400
								Статерий	1650	1600
								Орозирий		1800
								Риасий		2050
	Верхне-карельская KR ₂				Палео-протерозой	? Скурий	2100	2300		
	Нижне-карельская KR ₁						2500	2500		

Вариант 1			Вариант 2			Критерий нижней границы	Возраст, млн лет
Эоно-тема	Эра-тема	Система	Эоно-тема	Эра-тема	Система		
Протерозойская PR	Вендская (венд) V	Система II (верхний венд V ₂)	Протерозойская PR	Венд-ская (венд) V	Вендская V	Окончание оледенения «Гаскье»	~530
		Система I (нижний венд V ₁)			Аршинская (терминальный рифей RF ₄)	Начало оледенения «Стёрт»? FAD <i>Trachystrichosphaera</i>	~580
	Рифейская (рифей) RF	Каратавская (верхний рифей RF ₃)		Рифейская (рифей) RF	Каратавская (верхний рифей RF ₃)	?	~717 ?
		Юрматинская (средний рифей RF ₂)		Юрматинская (средний рифей RF ₂)	Юрматинская (средний рифей RF ₂)	?	1400
		Бурзьянская (нижний рифей RF ₁)		Бурзьянская (нижний рифей RF ₁)	Бурзьянская (нижний рифей RF ₁)	?	1800
		Карельская KR (карелий, нижний протерозой)		Вепсийская VP	Карельская KR (карелий, нижний протерозой)	Вепсийская VP	?
	Калевийская KL			Калевийская KL	Калевийская KL	?	1920
	Людиковийская LD			Людиковийская LD	Людиковийская LD	?	2100
	Ятулийская JT			Ятулийская JT	Ятулийская JT	?	2300
	Сариолийская SR	Сариолийская SR		Сариолийская SR	?	2400	
Сумийская SM	Сумийская SM	Сумийская SM	?	2500			

Рисунок. Современная ОСШ докембрия [21], проект изменений в МСШ по [33], проект изменений в ОСШ – два варианта в зависимости от выбора уровня нижней границы венда. Символом «часы» обозначены хронометрические границы

удобно); небольшой объем вендской эратемы (~580–530 млн лет), ее уравнивание по объему с системой и, возможно, в дальнейшем с отделом; во многих разрезах границу трудно диагностировать, поскольку оледенение Гаскье не было глобальным.

К сожалению, оба варианта предполагают определенные сложности при корреляции отложений. Но унификация необходима, как необходима и максимально возможная объективность при выборе критерия границы.

Предложения по совершенствованию ОСШ докембрия. Главные вопросы для дискуссии. Ранее мы подробно рассмотрели основные проблемы ОСШ докембрия [4]. Ниже кратко представлены вопросы, нуждающиеся в обсуждении

специалистами. Для решения последнего вопроса, по-видимому, требуется создание рабочей группы. Коллективное обсуждение и голосование будут способствовать легитимизации принятых решений, но возлагают ответственность на всех членов научной дискуссии.

1. Нужно ли упразднить акротемы?
2. Уместно ли считать рифей и венд, а также карелий, равноправными эратамами?
3. Если да, то, по-видимому, необходимо отказаться от употребления термина «верхний протерозой» (но остается равный ему по объему «верхний докембрий»). Приемлемо ли это?
4. Могут ли бурзьяний, юрматиний и каратавий считаться системами [12]? Если да, то, сходным образом, надгоризонты региональной шкалы Фенноскандии тоже правомерно

рассматривать как системы [10; Медведев П. В., устное сообщение].

5. Следует ли принять возраст нижней границы рифея предварительно на уровне 1800 млн лет, исходя из последних данных, полученных по стратотипу [8; 14]? Если да, то этот уровень в дальнейшем может быть скоррелирован с границей между палеопротерозоем и мезопротерозоем МСШ [33]. Такая корреляция и необходимость придать нижней границе рифея валидность напрямую определяют заинтересованность отечественных исследователей в кооперации с зарубежными при дальнейшем выборе глобального лимитотипа. При этом важно понимать, что абсолютный возраст будущей хроностратиграфической границы будет несколько отличаться от предлагаемой сейчас исключительно хронометрической отметки в 1800 млн лет.

6. Может ли в качестве критерия нижней границы верхнего рифея (каратавия) рассматриваться FAD (первое появление в разрезе) *Trachystrichosphaera* sp.? Если да, то абсолютный возраст этой границы в ОСШ понизится до ~1100–1130 млн (на основе данных [11; 19; 30]).

7. На каком хроностратиграфическом уровне проводить нижнюю границу венда и нужен ли в ОСШ терминальный рифей? Точки зрения по этой проблеме представлены в работах [2; 5; 12; 14–16; 18; 22; 23 и др.].

В решении вопросов стратиграфии верхнего докембрия заинтересованы все организации геологоразведочной отрасли, а также исследователи в регионах. Сложно понять, почему в ОСШ абсолютный возраст границы рифея и венда установлен на отметке 600 млн лет (т. е. формально все отложения древнее 600 млн лет должны относиться к рифею), а в большинстве современных публикаций, посвященных венду, фигурируют значения 640–650 млн лет. И в том, и в другом случае неясно, какими признаками руководствоваться при определении нижней границы венда в произвольном разрезе. Поэтому важно в ближайшее время привести в порядок ОСШ. Но еще важнее принципиально пересмотреть подходы к стратиграфическому расчленению докембрия в России.

Источник финансирования. Работа соответствует теме № АААА-А18-118053090044-1 госзадания ИГГ УрО РАН.

1. Алексеев А. С. Современное состояние международной стратиграфической шкалы: положительные и отрицательные последствия для общей стратиграфической шкалы России // *Общая стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы обустройства* / Под ред. М. А. Федонкина – М.: ГИН РАН, 2013. – С. 9–13.

2. Гражданкин Д. В., Маслов А. В. Место венда в Международной стратиграфической шкале // *Геология и геофизика*. – 2015. – Т. 56, № 4. – С. 703–717.

3. Дуб С. А. Верхнерифейско-вендские отложения Башкирского мегантиклинория Южного Урала: состояние изученности и стратиграфическое расчленение // *Геология и геофизика*. – 2021. – Т. 62, № 11. – С. 1511–1530.

4. Дуб С. А. Общая стратиграфическая шкала верхнего докембрия: проблемы и предложения по совершенствованию // *Литосфера*. – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 449–468.

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

6. Козлов В. И. и др. Аршиний – новый стратон рифея в стратотипических разрезах Южного Урала / В. И. Козлов, В. Н. Пучков, А. А. Краснобаев, А. Г. Нехорошева, С. В. Бушарина // *Геологический сборник № 9 Института геологии УНЦ РАН*. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. – С. 3–8.

7. Краснобаев А. А. и др. Новые данные по цирконовой геохронологии аршинских вулканитов (Южный Урал) / А. А. Краснобаев, В. И. Козлов, В. Н. Пучков, Н. Д. Сергеева, С. В. Бушарина // *Литосфера*. – 2012. – № 4. – С. 127–140.

8. Краснобаев А. А. и др. Цирконология навышских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале / А. А. Краснобаев, В. И. Козлов, В. Н. Пучков, Н. Д. Сергеева, С. В. Бушарина, Е. Н. Лепехина // *Докл. РАН*. – 2013. – Т. 448, № 4. – С. 437–442.

9. Кузьменкова О. Ф. и др. Актуальные вопросы стратиграфии рифея и венда Вольно-Оршанского палеоавлакогена запада Восточно-Европейской платформы / О. Ф. Кузьменкова, А. Г. Лапцевич, А. Б. Кузнецов, Л. В. Шумлянский, Е. Ю. Голубкова, Т. С. Зайцева, С. С. Манкевич // *Этапы формирования и развития палеопротерозойской земной коры: стратиграфия, метаморфизм, магматизм, геодинамика. Материалы VI Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия*. – СПб.: Свое издательство, 2019. – С. 125–127.

10. Куликов В. С., Куликова В. В. О национальной стратиграфической шкале нижнего докембрия России // *Общая стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы обустройства* / Под ред. М. А. Федонкина. – М.: ГИН РАН, 2013. – С. 66–67.

11. Наговицин К. Е. Современный взгляд на возможности микрофоссилий для стратиграфии рифея // *Стратиграфия верхнего докембрия: проблемы и пути решения. VII Российская конференция по проблемам геологии докембрия (Санкт-Петербург, 21–24 сентября 2021 г.)*. – СПб.: Свое издательство, 2021. – С. 129–131.

12. Пучков В. Н., Сергеева Н. Д., Краснобаев А. А. Стратиграфическая схема стратотипа рифея Южного Урала // *Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ*. – 2017. – Т. 23. – С. 3–26.

13. Семихатов М. А. Хроностратиграфия и хронометрия: конкурирующие концепции общего расчленения докембрия // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический*. – 2008. – Т. 83, № 5. – С. 36–58.

14. Семихатов М. А., Кузнецов А. Б., Чумаков Н. М. Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. – 2015. – Т. 23, № 6. – С. 16–27.

15. Соколов Б. С. Вендская система: предкембрийская геобиологическая среда // *Палеонтология. Стратиграфия. Международный геологический конгресс. XXVI сессия. Доклады советских геологов*. – М., 1980. – С. 9–21.

16. Соколов Б. С. *Очерки становления венда*. – М.: КМК Scientific Press, 1997. – 142 с.

17. Соколов Б. С. Проблема нижней границы палеозоя и древнейшие отложения досинийских платформ Евразии // *Труды ВНИГРИ*. – Вып. 126. Геологический сборник № 3. – Л.: Гостоптехиздат, 1958. – С. 5–68.

18. Соколов Б. С. Хроностратиграфическое пространство и венд как геоисторическое подразделение неопротерозоя // *Геология и геофизика*. – 2011. – Т. 52, № 10. – С. 1334–1348.

19. Станевич А. М. и др. Микрофоссилии уджинской свиты рифея севера Сибирского кратона / А. М. Станевич, Д. П. Гладкочуб, Т. А. Корнилова, А. М. Мазукабзов, Н. С. Карманов // *Известия Томского политехнического университета*. — 2009. — Т. 315, № 1. — С. 5–10.
20. Степанов Д. Л. Принципы и методы биостратиграфических исследований. — Л.: Гостоптехиздат, 1958. — 180 с.
21. Стратиграфический кодекс России. Издание третье, исправленное и дополненное. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. — 96 с.
22. Чумаков Н. М. Оледенения Земли: история, стратиграфическое значение и роль в биосфере. — М.: ГЕОС, 2015. — 160 с.
23. Якобсон К. Э. Проблемы венда Восточно-Европейской платформы // *Региональная геология и металлогения*. — 2014. — Т. 60. — С. 109–116.
24. Aretz M., Corradini S. Global review of the Devonian-Carboniferous Boundary: an introduction // *Paleobiodiversity and Palaeoenvironments*. — 2021. DOI: 10.1007/s12549-021-00499-8
25. Cloud P. A working model of the primitive earth // *American Journal of Science*. — 1972. — Vol. 272. — P. 537–548.
26. International stratigraphic guide – An abridged version. International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS, International Commission on Stratigraphy. Eds. Murphy M. A., Salvador A. // *Episodes*. — 1998. — Vol. 22, No 4. — P. 255–271.
27. Halverson G., Porter S., Shields G. The Tonian and Cryogenian Periods // *The Geologic Time Scale 2020*. Ed. Gradstein F. M., Ogg J. G., Schmitz M. D., Ogg G. M. — Elsevier Science, 2020. — P. 495–519.
28. Hedberg H. D. Chronostratigraphy and biostratigraphy // *Geological Magazine*. — 1965. — Vol. 102, No 55. — P. 451–461.
29. Knoll A. H. et al. The Ediacaran Period: a new addition to the geologic time scale / A. H. Knoll, M. R. Walter, G. M. Narbonne, N. Christie-Blick // *Lethaia*. — 2006. — Vol. 39. — P. 13–30.
30. Loron C. C. et al. Organic-walled microfossils from the late Mesoproterozoic to early Neoproterozoic lower Shaler Supergroup (Arctic Canada): Diversity and biostratigraphic significance / C. C. Loron, R. H. Rainbird, E. C. Turner, J. W. Greenman, E. J. Javaux // *Precambrian Research*. — 2019. — Vol. 321. — P. 349–374.
31. Paszkowski M. et al. 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 / M. Paszkowski, B. Budzyń, St. Mazur, J. Slama, L. Shumlyanskyy, J. Środoń, B. Dhuime, A. Kędzior, S. Liivamägi, A. Piszczowska // *Precambrian Research*. — 2019. — Vol. 331. DOI: 10.1016/j.precamres.2019.105352.
32. Remane J. et al. Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International Commission on Stratigraphy (ICS) / J. Remane, M. G. Bassett, J. C. Cowie, K. H. Gohrbandt, H. R. Lane, O. Michelsen, N. Wang, with the Cooperation of Members of ICS. // *Episodes*. — 1996. — Vol. 19. — P. 77–81.
33. Shields G. A. et al. A template for an improved rock-based subdivision of the pre-Cryogenian timescale / G. A. Shields, R. A. Strachan, S. M. Porter, G. P. Halverson, F. A. Macdonald, K. A. Plumb, C. J. de Alvarenga, D. M. Banerjee, A. Bekker, W. Bleeker, A. Brasier, P. P. Chakraborty, A. S. Collins, K. Condie, K. Das, D. A. D. Evans, R. Ernst, A. E. Fallick, H. Frimmel, R. Fuck, P. F. Hoffman, B. S. Kamber, A. B. Kuznetsov, R. N. Mitchell, D. G. Poiré, S. W. Poulton, R. Riding, M. Sharma, C. Storey, E. Stueeken, R. Tostevin, E. Turner, Sh. Xiao, Sh. Zhang, Y. Zhou, M. Zhu // *Journal of the Geological Society*. — 2021. — Vol. 179, No 1. DOI: 10.1144/jgs2020-222.
1. Alekseev A. S. Sovremennoye sostoyaniye mezhdunarodnoy stratigraficheskoy shkaly: polozhitel'nyye i otritsatel'nyye posledstviya dlya obshchey stratigraficheskoy shkaly Rossii [The current state of the International Stratigraphic Scale: positive and negative consequences for the General Stratigraphic Scale of Russia]. *Obshchaya stratigraficheskaya shkala Rossii: sostoyaniye i perspektivy obustroystva*. Ed. Fedonkin M. A. Moscow, GIN RAN, 2013, pp. 9–13. (In Russian).
2. Grazhdankin D. V., Maslov A. V. The room for the Vendian in the International Chronostratigraphic Chart. *Russian Geology and Geophysics*, 2015, vol. 56, no. 4, pp. 549–559.
3. Dub S. A. Neoproterozoic deposits of Bashkir Mega-Anticlinorium (Southern Urals): State of the art in regional stratigraphy. *Russian Geology and Geophysics*, 2021, vol. 62, no. 11, pp. 1240–1255.
4. Dub S. A. Obshchaya stratigraficheskaya shkala verkhnego dokembriya: problemy i predlozheniya po sovershenstvovaniyu [Upper Precambrian General Stratigraphic Scale of Russia: Main problems and proposals for improvement]. *Litosfera*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 449–468. (In Russian).
5. Zaitseva T. S., Kuznetsov A. B., Gorozhanin V. M., Gorokhov I. M., Ivanovskaya T. A., Konstantinova G. V. The lower boundary of the Vendian in the Southern Urals as evidenced by the Rb–Sr age of glauconites of the Bakeevo Formation. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*, 2019, vol. 27, no. 5, p. 573–587.
6. Kozlov V. I., Puchkov V. N., Krasnobaev A. A., Nekhorosheva A. G., Busharina S. V. Arshiniy – novyy straton rifeya v stratotipicheskikh razrezakh Yuzhnogo Urala [Arshinian is a new straton of the Riphean in stratotype sections of the Southern Urals]. *Geologicheskii sbornik № 9 Instituta Geologii UNTS RAN*. Ufa, DizaynPoligrafServis, 2011, pp. 3–8. (In Russian).
7. Krasnobaev A. A., Kozlov V. I., Puchkov V. N., Sergeeva N. D., Busharina S. V. Novyye dannyye po tsirkonovoy geokhronologii arshinskikh vulkanitov (Yuzhnyy Ural) [New data about Arshinian volcanites zircon geochronology (Southern Urals)]. *Litosfera*, 2012, no. 4, pp. 127–140. (In Russian).
8. Krasnobaev A. A., Kozlov V. I., Puchkov V. N., Sergeeva N. D., Busharina S. V., Lepekhina E. N. Zirconology of Navysh volcanic rocks of the Ai Suite and the problem of the age of the Lower Riphean boundary in the Southern Urals. *Doklady Earth Sciences*, 2013, vol. 448, no. 2, pp. 185–190.
9. Kuz'menkova O. F., Laptsevich A. G., Kuznetsov A. B., Shumlyanskiy L. V., Golubkova Ye. Yu., Zaitseva T. S., Mankevich S. S. Aktual'nyye voprosy stratigrafii rifeya i venda Volyno-Orshanskogo paleoavlakogena zapada Vostochno-Yevropeyskoy platform [Topical problems on the Riphean and Vendian stratigraphy of the Volyn-Orsha paleoavlacogen in the west of the East European platform]. *Etapy formirovaniya i razvitiya paleoproterozoyskoy zemnoy kory: stratigrafiya, metamorfizm, magmatizm, geodinamika. Materialy VI Rossiyskoy konferentsii po problemam geologii i geodinamiki dokembriya*. St. Petersburg, Svoye izdatel'stvo, 2019, pp. 125–127. (In Russian).
10. Kulikov V. S., Kulikova V. V. O natsional'noy stratigraficheskoy shkale nizhnego dokembriya Rossii [National Stratigraphic Scale of the Lower Precambrian of Russia]. *Obshchaya stratigraficheskaya shkala Rossii: sostoyaniye i perspektivy obustroystva*. Ed. Fedonkin M. A. Moscow, GIN RAN, 2013, pp. 66–67. (In Russian).
11. Nagovitsin K. Ye. Sovremennyy vzglyad na vozmozhnosti mikrofosiliy dlya stratigrafii rifeya [A modern view on the microfossil's possibilities for the Riphean stratigraphy]. *Stratigrafiya verkhnego dokembriya: problemy i puti resheniya. VII Rossiyskaya konferentsiya po problemam geologii dokembriya (Sankt-Peterburg, 21–24 sentyabrya 2021 g.)*. St. Petersburg, Svoye izdatel'stvo, 2021, pp. 129–131. (In Russian).
12. Puchkov V. N., Sergeeva N. D., Krasnobaev A. A. Stratigraficheskaya skhema stratotipa rifeya Yuzhnogo Urala [Stratigraphic scheme of the Riphean standard of the Southern Urals]. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnykh resursov AN RB*, 2017, vol. 23, pp. 3–26. (In Russian).
13. Semikhatov M. A. Khronostratigrafiya i khronometriya: konkuriyushchiye kontseptsii obshchego raschleneniya dokembriya [Chronostratigraphy and chronometry: concurrent conceptions of general subdivision of Precambrian]. *Byulleten'*

Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel geologicheskii, 2008, vol. 83, no. 5, pp. 36–58. (In Russian).

14. Semikhatov M. A., Kuznetsov A. B., Chumakov N. M. 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. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*, 2015, vol. 23, no. 6, pp. 568–579.

15. Sokolov B. S. Vendskaya sistema: predkembriyskaya geobiologicheskaya sreda [The Vendian System: Precambrian geobiological environment]. *Paleontologiya. Stratigrafiya. Mezhdunarodnyy geologicheskiiy kongress. XXVI sessiya. Doklady sovetiskikh geologov*. Moscow, 1980, pp. 9–21. (In Russian).

16. Sokolov B. S. Ocherki stanovleniya venda [Essays on the Advent of the Vendian]. Moscow, KMK Scientific Press, 1997, 142 p. (In Russian).

17. Sokolov B. S. Problema nizhney granitsy paleozoya i drevneyshiy otlozheniya dosiniyskikh platform Yevrazii [The problem of the Paleozoic lower boundary and the oldest deposits of the pre-Sinian platforms of Eurasia]. *Trudy VNIGRI. Vyp. 126. Geologicheskiiy sbornik № 3. Leningrad, Gostoptekhizdat*, 1958, pp. 5–67. (In Russian).

18. Sokolov B. S. The chronostratigraphic space of the lithosphere and the Vendian as a geohistorical subdivision of the Neoproterozoic. *Russian Geology and Geophysics*, 2011, vol. 56, no. 11, pp. 1048–1059.

19. Stanevich A. M., Gladkochub D. P., Kornilova T. A., Mazukabzov A. M., Karmanov N. S. Mikrofosilii udzhinskoy svity rifeya severa Sibirskogo kratona [Microfossils of Udzhinskaya suite of north Riphea of Siberian craton]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 315, no. 1, pp. 5–10. (In Russian).

20. Stepanov D. L. Printsipy i metody biostratigraficheskikh issledovaniy [Principles and methods of biostratigraphic studies]. Leningrad, Gostoptekhizdat, 1958, 180 p. (In Russian).

21. Stratigraficheskiiy kodeks Rossii. Izdanie tret'e, ispravlennoe i dopolnennoe [Stratigraphic Code of Russia. Third edition, revised and enlarged]. St. Petersburg, VSEGEI, 2019, 96 p. (In Russian).

22. Chumakov N. M. Oledneniya Zemli: istoriya, stratigraficheskoye znachenie i rol' v biosfere [Earth glaciations: history, stratigraphic significance and role in the biosphere]. Moscow, GEOS, 2015, 160 p. (In Russian).

23. Yakobson K. E. Problemy venda Vostochno-Yevropeyskoy platform [Problems of the Vendian of the East European Platform]. *Regional Geology and Metallogeny*, 2014, vol. 60, pp. 109–116. (In Russian).

24. Aretz M., Corradini S. Global review of the Devonian-Carboniferous Boundary: an introduction. *Palaeobiodiversity*

and *Palaeoenvironments*, 2021, DOI: 10.1007/s12549-021-00499-8.

25. Cloud P. A working model of the primitive earth. *American Journal of Science*, 1972, vol. 272, pp. 537–548.

26. International stratigraphic guide – An abridged version. International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS, International Commission on Stratigraphy. Eds. Murphy M. A., Salvador A. *Episodes*, 1998, vol. 22, no. 4, pp. 255–271.

27. Halverson G., Porter S., Shields G. The Tonian and Cryogenian Periods. *The Geologic Time Scale 2020*. Eds. Gradstein F. M., Ogg J. G., Schmitz M. D., Ogg G. M. Elsevier Science, 2020, pp. 495–519.

28. Hedberg H. D. Chronostratigraphy and biostratigraphy. *Geological Magazine*, 1965, vol. 102, no. 55, pp. 451–461.

29. Knoll A. H., Walter M. R., Narbonne G. M., Christie-Blick N. The Ediacaran Period: a new addition to the geologic time scale. *Lethaia*, 2006, vol. 39, pp. 13–30.

30. Loron C. C., Rainbird R. H., Turner E. C., Greenman J. W., Javaux E. J. Organic-walled microfossils from the late Mesoproterozoic to early Neoproterozoic lower Shaler Supergroup (Arctic Canada): Diversity and biostratigraphic significance. *Precambrian Research*, 2019, vol. 321, pp. 349–374.

31. Paszkowski M., Budzyń B., Mazur St., Slama J., Shumlyansky L., Środoń J., Dhuime B., Kędzior A., Liivamägi S., Piszczowska A. 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. *Precambrian Research*, 2019, vol. 331. DOI: 10.1016/j.precamres.2019.105352.

32. 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. Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International Commission on Stratigraphy (ICS). *Episodes*, 1996, vol. 19, pp. 77–81.

33. 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. A template for an improved rock-based subdivision of the pre-Cryogenian timescale. *Journal of the Geological Society*, 2021, vol. 179, no. 1. DOI: 10.1144/jgs2020-222.

Дуб Семен Александрович – научный сотрудник, лаборатория литологии, Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого Уральского отделения РАН (ИГГ УрО РАН). Ул. Вонсовского, 15, Екатеринбург, Россия, 620110. <sapurins@gmail.com>

Dub Semyon Aleksandrovich – Researcher, Laboratory of Lithology, A. N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IGG UB RAS). 15 Vonsovskogo St., Yekaterinburg, Russia, 620110. <sapurins@gmail.com>