

ДОКЕМБРИЙ В ШКАЛЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ: ПРОЕКТ-2012

В настоящее время для расчленения докембрия используются, как известно, два подхода – хронометрический и хроностратиграфический [1]. Оба подхода предполагают наличие изохронных границ у общих подразделений, но отличаются в понимании объектов расчленения, методах определения границ и принципах типизации последних.

Хронометрические шкалы основаны на разделении на отрезки не вещественной стратиграфической летописи, а абстрактного времени. Хронологические единицы в них выделяются исключительно по изотопно-геохронологическим данным. Хроностратиграфические шкалы исходят из анализа естественной последовательности, соотношений и особенностей материальных объектов (горных пород и содержащихся в них органических остатков), установлении стратотипов подразделений и закреплении границ последних в специально выбранных разрезах. Границы подразделений в таких шкалах определяются биосферными событиями и фиксируются точкой в разрезе (глобальный стратотипический разрез и точка, GSSP, “золотой гвоздь”).

В конце 1980-х гг. шкалы первого из упомянутых типов (например, “Шкала-1991” [4, 5], рис. 1) привлекли повышенное внимание специалистов в области геологии докембрия вследствие существенного увеличения количества методически корректных изотопных датировок как осадочных, так и магматических пород, с одной стороны, и нарастающего пессимизма в оценке возможности расчленения докембрийских отложений по органическим остаткам – с другой. В приведенном выше примере изотопные датировки границ рассматривались как глобальные стандарты стратиграфического возраста (GSSA). Естественно, что палеонтологические и любые иные особенности заключенных между ними отрезков геологической истории как в идеальной, так и в реальной ситуации никак на выбранные датировки не влияли.

Такая ярко выраженная “независимость” границ подразделений, оказалась с одной стороны весьма привлекательной, с другой же – вошла в противоречие с накопленной более чем за полтора столетия разнообразной геологической информацией. Последнее предопределило поиск компромиссов, одним из которых явилось стремление тем или иным образом все же связать подразделения шкалы с геологическими событиями. Результатом стал проект “Шкала-2004” [2, 3] (рис. 2). Но и здесь, как отмечает М.А. Семихатов [1], критерии выбора границ внутри наиболее крупных подразделений шкалы – архея и протерозоя – оказались различными.

В протерозое границы выбирались так, чтобы “рассекать как можно меньше известных циклов седиментации, орогенезов и магматизма...”. Для архея границами подразделений являлось время заложения зеленокаменных поясов и образования осадочных бассейнов. Возраст границ не контролировался прецизионным датированием реперного объекта, а устанавливался по совокупности датировок ряда комплексов или формаций. В “Шкале-2004” стратиграфический объем архея и протерозоя сокращен за счет выделения пограничного между ними подразделения (Переходный эон), что существенно меняет устоявшееся в мировой геологической литературе их понимание и т.д.

В 2012 г. под редакцией Ф.М. Градштейна, Й.Г. Ога, М.Д. Шмитца, и Г.М. Ога вышла в свет капитальная монография “Шкала геологического времени 2012”¹. Приведенные в ней обширные и разноплановые данные призваны показать, что в докембрии наша планета развивалась под влиянием серии взаимосвязанных событий, каждое из которых можно считать глобальным (или близким к таковому) и именно это позволяет весьма существенно улучшить общую шкалу докембрийского времени, в том числе, наметив такие границы крупных ее подразделений, которые могут рассматриваться как GSSP (Глобальный стратотипический разрез и точка) (рис. 3).

К числу таких событий и “первых появлений” относятся: 1) образование первых твердых компонентов в Солнечной системе, ~4568 млн. лет назад; 2) аккреция в системе Земля–Луна, ~4500 млн. лет; 3) первое в геологической летописи появление корового материала, цирконы с возрастом ~4404 млн. лет; 4) первое появление хорошо сохранившихся супракристалльных пород, ~3810 млн. лет; 5) первое появление строматолитов (а, следовательно, и макроскопической жизни), ~3490 млн. лет; 6) первое появление наземных биологических сообществ на стабильных континентальных шельфах, около 3 млрд. лет; 7) корообразующее суперсобытие, 2.78–2.63 млрд. лет; 8) первая ярко выраженная отрицательная $\delta^{13}\text{C}_{\text{кероген}}$ аномалии в карбонатных породах со строматолитами, около 2.74 млрд. лет; 9) широкое формирование джеспилитов, 2.63–2.42 млрд. лет; 10) первое глобальное или субглобальное формирование ледниковых отложений и карбонатных пород с $\delta^{13}\text{C}_{\text{карбонат}} \sim -6\text{‰}$, после 2.42 млрд. лет; 11) глобальное снижение магматической активно-

¹ The Geologic Time Scale 2012 / F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg (Eds). V. 1 & 2. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier, 2012. 1144 p.

Эон	Эра	Период	
Фанерозой			← 541 млн. лет
Протерозой	Неопротерозой	Криогений	635
		Тоний	850
		Стений	1000
	Мезопротерозой	Эктазий	1200
		Калиммий	1400
		Статерий	1600
	Палеопротерозой	Орозирий	1800
		Рясий	2050
		Сидерий	2300
			2500
Архей	Неоархей		2800
	Мезоархей		3200
	Палеоархей		3600
	Эоархей		~4000
Гадей (неформальный термин)			~4568 млн. лет

Рис. 1. Хронометрическая шкала докембрийского времени (“Шкала-1991”) [4, 5].

Цифры – GSSA, млн. лет.

сти, оледенения, Великое Окислительное событие, 2.42–2.25 млрд. лет; 12) глобальная вспышка магматизма, начало события Ломагунди-Ятулий, появление фосфоритов, Са-сульфатов и эвкариот, около 2.25 млрд. лет; 13) событие Ломагунди-Ятулий, 2.25–2.06 млрд. лет; 14) беспрецедентное накопление органического углерода (Шунгитовое событие), появление восстановительных обстановок в океанах и “возврат” джеспилитов, 2.06 млрд. лет назад; 15) глобальная орогенезия и накопление джеспилитов, 2.06–1.78 млрд. лет; 16) изотопная стабильность биологических маркеров, сульфидные обстановки в глубоких частях океана и диверсификация эукариот, 1.78–0.85 млрд. лет; 17) появление метазоа, 850 млн. лет; 18) первое проявление

Эон	Эра	Возраст границ, млн. лет	События
Палеозой		~542 600	1 2
Протерозой	Неопротерозой	~1267	3
	Мезопротерозой	~1800	4
	Палеопротерозой	~2300	5
	Переходный	~2600	6
Архей	Неоархей	~2850	7
	Мезоархей	~3100	8
	Палеоархей	~3500	9
	Эоархей	~3850	10
Хедий		~4510	11
		~4560	12

Рис. 2. “Естественная” хроностратиграфическая шкала докембрийского времени (“Шкала-2004”) [2, 3].

1–12 – события в истории Земли, которые разделяют выделенные подразделения: 1 – кембрийская радиация; 2 – появление эдиакарских ископаемых; 3 – рой даек Маккензи (Северная Канада); 4 – образование первого суперконтинента; 5 – первые континентальные красноцветные отложения; 6 – накопление гигантских объемов железорудных формаций (бассейн Хамерсли, Австралия); 7 – несогласие в основании серии Фортескью (Австралия); 8 – несогласие в основании серии Горджи Крик (Австралия); 9 – начало накопления серии Варравуна (Австралия); 10 – древнейшие сохранившиеся супракрустальные последовательности; 11 – гигантское импактное событие, приведшее к формированию Луны; 12 – начало накопления и дифференциации земного вещества.

глобальных оледенений и отрицательных значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{карбонат}}$ ~750 млн. лет; 19) глобальные оледенения, 750–582 млн. лет (Криогений); 20) первое появление эдиакарских организмов (Эдиакарий).

Роль перечисленных событий в периодизации докембрийской истории оценивается исследова-

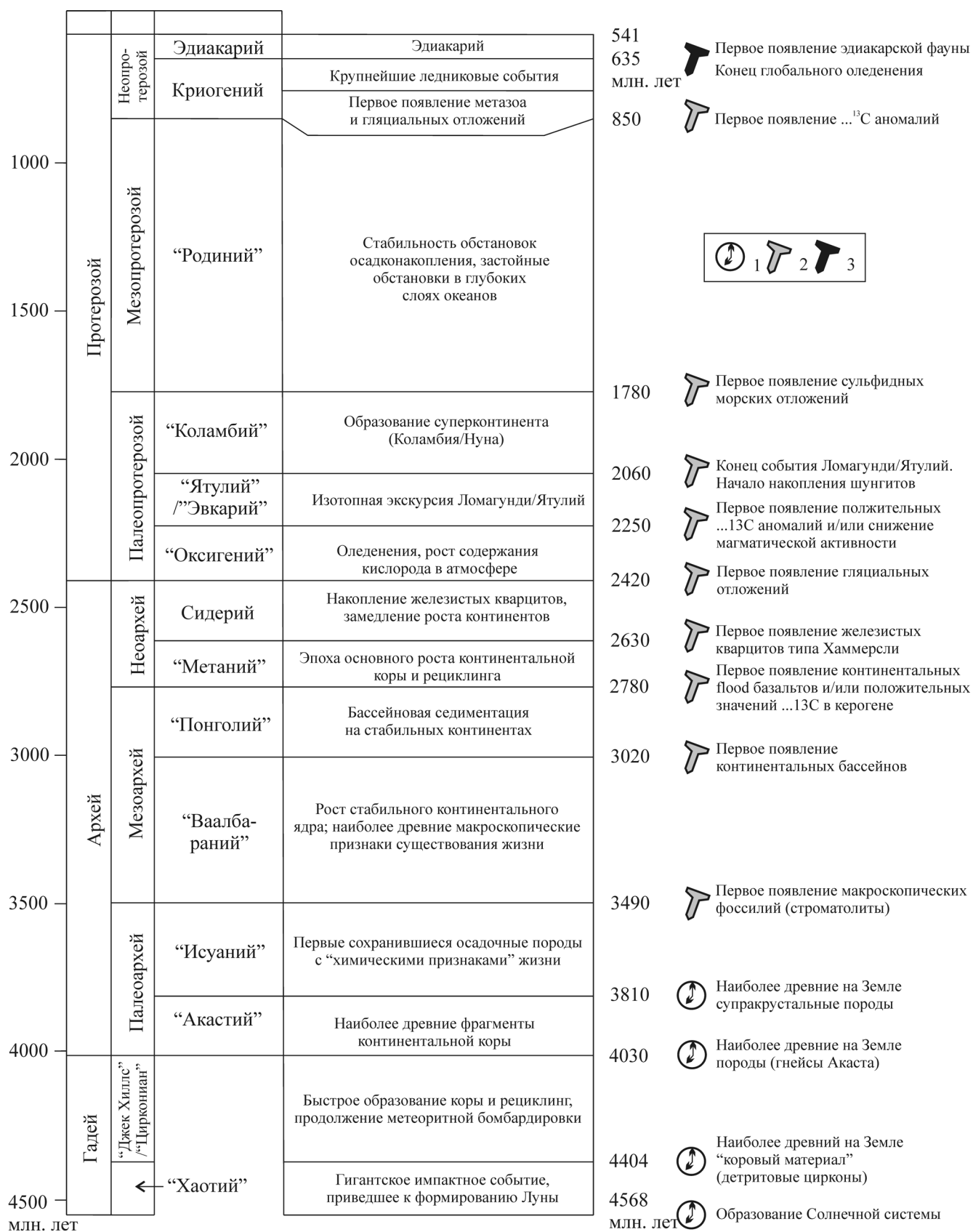


Рис. 3. Проект "полностью пересмотренной" шкалы докембрийского времени ("Шкала-2012") [6].

1 – хронометрическая граница; 2 – границы, которые могут рассматриваться как кандидаты на роль GSSP; 3 – формально утвержденная GSSP-граница.

телями по разному. Некоторые настаивают на чисто хронометрическом подходе и выделяют короткие (4.56–4.03 млрд. лет, 2.78–1.78 млрд. лет и 850–542 млн. лет) и длительные (4.03–2.78 и 1.78–0.85 млрд. лет) периоды. Однако такой подход, во-первых, игнорирует как природу событий, так и их литостратиграфические характеристики, а, во-вторых, не замечает существование официально признанной номенклатуры крупнейших докембрийских подразделений – архея и протерозоя. Поэтому, по мнению авторов главы 16 рассматриваемой монографии (М. Ван Кранендонк, Б. Бэрд, при участии В. Альтерман, П. Гоффман, К. Джонсон, И. Кастинг, В. Мележик, А. Натман, Д. Папино и Ф. Пирайно), путь здесь может быть только один – сначала установить наиболее важные (литостратиграфические) события в истории Земли и использовать их для установления подразделений первого порядка – эонов. Таких фундаментальных событий два: 1) образование стабильной коры, способной сохраняться на поверхности планеты, а, следовательно, давать пристанище различным формам жизни, и способствовать формированию и сохранению стратиграфической летописи; 2) переход от теплой парниковой ранней Земли с восстановительными океанами и атмосферой, широким накоплением джеспилитов и примитивной жизнью к более холодной, более современной Земле с окислительной атмосферой и преобладанием эукариотов. С событием-2 связано первое исчезновение из геологической летописи джеспилитов и появление около 2.42 млрд. лет назад широко распространенных гляциальных отложений. Это событие уже долгие годы рассматривается как граница архея и протерозоя.

В “Шкале-2012” докембрий разделен на три эона: гадей, архей и протерозой. Гадей охватывает время от образования Солнечной системы ($T_0 = 4568$ млн. лет) до формирования наиболее древних гнейсов Акаста (4030 млн. лет). Это время раннего развития нашей планеты. Деление его на две эры основывается на датировке детритовых цирконов из зеленокаменного пояса Джек Хиллс в Западной Австралии (4404 ± 8 млн. лет). И нижняя и верхняя границы Гадея являются хронометрическими. “Исправленный” архейский эон – часть истории нашей планеты от формирования гнейсов Акаста до первого широкого распространения гляциальных отложений. Это время становления коры и образования биосферы в условиях восстановительной атмосферы. Архейский эон включает три эры и шесть периодов.

Палеоархейская эра (4030–3490 млн. лет) трактуется как время существенного роста объема континентальной коры. Более или менее отчетливые следы жизни для нее не характерны. Палеоархей включает два периода – акастанский (Acatan, 4030–3810 млн. лет) и исуанский (Isuan, 3810–3490 млн. лет). Верхний возрастной предел палеоархея определяется первым появлением отчетли-

вых следов жизни (строматолиты в разрезе формации Dresser, серия Wagawoona, Австралия). Нижняя его граница и граница между акастанским и исуанским периодами будут, по всей видимости, хронометрическими, тогда как для обоснования верхней может быть применена концепция GSSP.

Мезоархейская эра (3490–2780 млн. лет) также включает два периода – Vaalbaran и Понгола. Первый (3490–3020 млн. лет) характеризовался появлением стабильных континентальных ядер – кратонов Пилбара и Каапваальского. Второй (3020–2780 млн. лет) ознаменовался накоплением первых платформенных/бассейновых последовательностей, содержащих признаки микробальной колонизации мелководных отложений (надсерии Витватерсранд, Понгола, Де Грей и др.). GSSP в указанных случаях может быть выбран в подошве названных литостратиграфических подразделений или вблизи нее.

“Обновленная” неоархейская эра (2780–2420 млн. лет) – время интенсивного роста коры и начала ее рециклинга, гигантских рудообразующих событий и значительного воздействия на окружающую среду микробальных сообществ. Она завершается обширными оледенениями и появлением более оксигенизированной атмосферы. Предлагается подразделить ее на два периода – Метановый и Сидерий с границей на уровне 2630 млн. лет, отвечающей первому появлению джеспилитов Хаммерсли-типа.

Граница между археем и протерозоем в “Шкале-2012” проводится по смене обстановок “ранней Земли” (гранит-зеленокаменный тип коры, многочисленные джеспилиты, восстановительные атмосфера и океаны, близкий к парниковому климат, примитивная микробальная жизнь) иными, более близкими к современным (более холодная в целом планета, суперконтинентальные циклы, более оксигенизированная атмосфера, эукариотная жизнь). Этот переход имел место около 2420 млн. лет назад. GSSP этой границы могут быть выбраны в Западной Австралии, где гляциогенные породы серии Turee Creek залегают согласно на джеспилитах самых верхних уровней серии Хаммерсли.

“Обновленный” протерозойский эон (2420–541 млн. лет) имеет хроностратиграфические границы и подразделяется на три эры, границы которых отличаются от традиционных. Основными событиями палеопротерозойской эры (2420–1780 млн. лет) являются обширные оледенения, рост содержания кислорода в атмосфере, заметная эволюция эукариот, “второе пришествие” железорудных формаций, распад позднеархейского суперконтинента Нуна/Коламбия. Рассматриваемая эра на основе характерных породных ассоциаций и вариаций ряда изотопных параметров может быть подразделена на 3 периода (Оксигениум, Ятулий или Eukaryian

и Коламбиан). С первым из них связано появление многочисленных признаков существенного увеличения количества кислорода в атмосфере. Второй ознаменован экстраординарной аномалией $\delta^{13}\text{C}$ и появлением первых эукариотных организмов. Третий отвечает времени образования суперконтинента Нуна/Коламбия и характеризовался накоплением богатых органикой (шунгит) осадочных образований и джеспилитов.

“Обновленная” мезопротерозойская эра (1780–850 млн. лет) характеризовалась достаточно стабильными обстановками, господством сульфидных фаций в глубоких частях океана (т.н. океан Канфильда), низкими темпами диверсификации эукариот, распадом суперконтинента Нуна/Коламбия и сборкой Родинии. Какие-либо периоды в ней пока не выделены.

Начало “обновленной” неопротерозойской эры (850–541 млн. лет) совпадает с завершением распада Родинии и первыми признаками появления достаточно нестабильных обстановок в истории Земли. Наиболее молодой период этой эры – эдиакарий (~635–541 млн. лет). В настоящее время существенное внимание уделяется установлению границ более древнего периода – криогения. Однако для последнего пока нет ни типовой местности, ни вариантов положения GSSP. В то же время, намечающаяся возможность глобального трассирования изотопных аномалий C и Sg позволяет авторам считать, что эта проблема будет вскоре решена.

Таким образом, по сравнению с проектом “Шкалы-2004” в “Шкале-2012” предложены в той или иной степени заметные/существенные изменения для 4 хронометрических и 10 хроностратиграфических (GSSP) границ докембрия. Несомненно, что ко многим из них можно адресовать критику, прозвучавшую при анализе проекта “Шкалы-2004”, но в целом их следует рассматривать как хорошую основу для обсуждения и модификации шкалы докембрийского времени.

Цель будущих исследований – разработка предложений для границ крупнейших эонов, а затем эр и периодов, а также образование рабочих групп для выбора наилучших разрезов для установления GSSP и названий основных подразделений докембрия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семухатов М.А. Хроностратиграфия и хронометрия: конкурирующие концепции общего расчленения докембрия // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2008. № С. 44–72.
2. A Geologic Time Scale, 2004 / Eds.: F.M. Gradstein, J.G. Ogg, A.G. Smith. Cambridge, 2004. 589 p.
3. Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G. et al. A new Geological Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene // Episodes. 2004. V. 27, № 2. P. 83–100.
4. Plumb K.A. New Precambrian time scale // Episodes. 1991. V. 14, № 2. P. 139–140.
5. Plumb K.A., James H.L. Subdivision of Precambrian time: recommendations and suggestions by the Subcommission on Precambrian stratigraphy // Precamb. Res. 1986. V. 32, № 1. P. 65–92.
6. The Geologic Time Scale 2012 / F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg (Eds). V. 1 & 2. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier, 2012. 1144 p.

А.В. Маслов, Д.В. Гражданкин