

## СОПОСТАВЛЕНИЕ КОНОДОНТОВОЙ И РАДИОЛЯРИЕВОЙ ЗОНАЛЬНЫХ ШКАЛ ДЕВОНА

© 2012 г. М. С. Афанасьева\*, Э. О. Амон

В современной биостратиграфии фанерозоя по радиоляриям имеется несколько десятков зональных шкал различного масштаба: локальных, региональных, субглобальных – и разной степени детальности. Наиболее значимыми в стратиграфии являются, например: зональная шкала по радиоляриям юры и нижнего мела Тетического пояса [18], океанические шкалы мела, палеогена и неогена [22] и ряд других. Для территории СССР и современной Российской Федерации разработаны зональные шкалы для палеозоя [8], мезозоя [4] и палеогена [6]. Следует заметить, что шкалы по радиоляриям неравноценны не только по различиям в детальности, но и по степени обоснованности выделенных в них радиоляриевых биостратонов. В ряде случаев стратиграфическая позиция зональных подразделений не подтверждена совместными находками ортостратиграфических групп фоссилий и принята по косвенным данным, в том числе по положению в разрезе [18]; не вполне ясны границы ряда зон по вертикали [22] и латерали [6, 8].

Вероятно, в силу названных и по ряду других причин (единичность находок, редкость определений абсолютного возраста вмещающих толщ) в радиоляриологии пока не ставился вопрос о более или менее точном положении границ и измерении длительности радиоляриевых зон в масштабе геологического времени (абсолютная геохронология). В лучшем случае измерения проводились по датировкам границ ярусов систем фанерозоя, изложенным в популярных справочниках (например, в [9, 13]). Понятно, что точность такого рода измерений является невысокой (плюс-минус миллионы лет) и мало что дает для биостратиграфии и эволюционной палеонтологии радиолярий.

В настоящее время появилась возможность провести достаточно точное измерение длительности некоторых радиоляриевых биостратиграфических зональных подразделений (биостратонов) на примере девонской системы палеозоя. Завершена разработка зональной шкалы девона России и сопоставимых регионов на большой территории эпиконтинентальных окраинных и внутренних морских бассейнов блока палеоконтинентов Лавруссия (Еврамерика) и Палеоазиатского океана [10, 11], начатая еще исследованиями Б.Б. Назарова [7, 8]. Важно подчеркнуть, что радиоляри-

евые биостратоны не только зафиксированы, синонимизированы и проанализированы для регионов Западной Европы, Русской платформы, Урала, Алтая, но и поставлены в точное соответствие с зональной шкалой по конодонтам благодаря совместному нахождению радиолярий и конодентов в одних слоях. Последнее дает инструмент для точных (а не в рамках ярусных датировок) измерений длительности радиоляриевых зональных подразделений. Такая точность пока невозможна для других систем палеозоя, поскольку, как было упомянуто выше, для них (скажем, для силура или перми) не вполне ясны число, состав и границы радиоляриевых биостратонов.

Детальность, точность и обоснованность конодонтовой зональной шкалы настолько значительны и общеприняты, что стали уже хрестоматийными. Подобная сверхдетальность конодонтовой шкалы предоставляет возможность оценивать объемы радиоляриевых биостратонов и определять их длительность в млн. лет в соответствии с объемами и длительностью конодонтовых зон.

Благодаря полномасштабному аналитическому исследованию, выполненному Б. Кауфманном, зональный конодонтовый стандарт девона ныне имеет надежное датирование на шкале абсолютного геологического времени, и, как выразился цитируемый автор, стал “биохронометрируемым”: “The new construction thus represents a “biochronometric” time scale, which allows the assignment of numeric ages not only to stage boundaries but also to each biozone boundary” [14, p. 175].

При исследовании длительности биостратонов радиолярий девона (табл. 1) нами были привлечены все имеющиеся к настоящему времени данные, в том числе для наиболее сложного франского интервала – стандартная конодонтовая зональность [17, 23, 24] и альтернативная конодонтовая зональность [12, 16, 19].

### РАННИЙ ДЕВОН

Наиболее древним является комплекс радиолярий с “*Palaeoactinommids*”, зафиксированный в местонахождении Гойзерберг в Северной Баварии (Франкенвальд, ФРГ) и соответствующий конодонтовой зоне *gronbergi* [15]. Более молодой, позднеэмский радиоляриевый био-

\* Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, г. Москва, e-mail: afanasieva@paleo.ru

Таблица 1. Границы и длительность девонских радиоляриевых биостратонов [10] в абсолютном летоисчислении

Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Стандартные конодонтовые зоны	Радиоляриевые биостратоны	Границы/длительность (млн. лет)										
						1	2									
Девонская		Верхний	Фаменский	Нижний	<i>marginifera</i>	<i>Trilonche minax</i> **		366–370.5/4.5		4.5						
					<i>rhomboidea</i>	–		–		–						
				Верхний	Нижний	<i>crepida</i>	<i>Tetrentactinia barysphaera</i> – <i>Ceratoikiscum famennium</i>	<i>Trilonche vetusta</i> **	372.5–376/3.5	372.5–374.5/2.0	2.0					
						<i>upper triangularis</i>		–		–	3.5					
					Верхний	Нижний		<i>lower triangularis</i>	<i>Trilonche davidi</i> **	376–377.5/1.5	375.5–376.5/1.0	1.0				
								<i>linguiformis</i>	–		–					
			Средний	Франский	Верхний	Нижний	<i>upper rhenana</i>	<i>Bientactinosphaera pittmani</i> – <i>Russirad kazintsovae</i>	<i>Trilonche guangxiensis</i> *	376.5–378.5/2.0	1.5					
									–		2.0					
					Средний	Нижний	<i>lower jameiae</i>	<i>Moskovistella albororum</i> – <i>Ceratoikiscum uktensis</i>	<i>Rdm-3</i>	381–382.5/1.5	378.5–380.5/2.0	2.0				
				<i>upper hassi</i>			<i>Rdm-2</i>		380.5–381/0.5		0.5					
				<i>lower punctata</i>			<i>Rdm-1</i>		–		1.5					
				Средний	Живетский	Верхний	Нижний	<i>transitans</i>	<i>Palaeodiscaleksus punctus</i> – <i>Astroentactinia biaciculata</i>	382.5–383/0.5	0.5					
		<i>upper falsiovalis</i>	–											–	–	
		Верхний	Нижний			<i>disparilis</i>	–	<i>Spongentactinella windjanensis</i> – <i>Bientactinosphaera nigra</i>	384–385/1.0	1.0						
													<i>lower</i>	–	–	–
													<i>varcus</i>	–	–	–
		Эйфельский	Верхний		Нижний	<i>kockelianus</i>	<i>Apophysisphaera hystricuosa</i> – <i>Spongentactinia fungosa</i>	<i>Primaritripus kariukmasensis</i>	388.5–389/0.5	388.5–389.5/1.0	0.5					
									–	–	1.0					
			Нижний		Верхний	<i>costatus</i>	–	–	–	–						
						<i>partitus</i>	–	–	–	–						
						<i>patulus</i>	<i>Primaritripus buribayensis</i> – <i>Entactinia rostriformis</i>		392–394/2.0	2.0						
		Нижний	Верхний	<i>serotinus</i>	–	–	–	–								
				<i>laticost./inversus</i>	–	–	–	–								
				<i>gronbergi</i>	<i>“Palaeoactinommids”***</i>		405–407.5/2.5	2.5								

Примечание. Датировки по [14], округлено до 0.5 млн. лет. Одной и двумя звездочками, соответственно, отмечены комплексы, предложенные О.Т. Обут с коллегами (\* – [20], \*\* – [21]); тремя звездочками – по В. Кислингу [15].

стратон с *Primaritripus buribayensis* – *Entactinia rostriformis* выявлен в Башкирии на Южном Урале; он эквивалентен конодонтовой зоне *patulus* [10, 11] (табл. 1).

## СРЕДНИЙ ДЕВОН

Позднеэйфельский радиоляриевый комплекс с *Arophisisphaera hystricusosa* – *Spongontactinia fungosa* обнаружен в Пражском бассейне Чешской Республики; его объем равен объему конодонтовой зоны *kockelianus* [11]. Другой радиоляриевый комплекс с *Primaritripus kariukmasensis* позднеэйфельского возраста прослежен на Южном Урале в Башкирии с соответствием объему конодонтовых зон *australis-kockelianus* [10, 11] (табл. 1).

Живетский радиоляриевый комплекс с *Spongontactinella windjanensis* – *Bientactinosphaera nigra*, впервые установленный Б.Б. Назаровым [8] на южной периферии Сакмарской зоны Южного Урала (включая Северные Мугоджары), благодаря нашим исследованиям на Рудном Алтае [3] может быть ограничен объемом конодонтовой зоны *disparilis* [10] (табл. 1).

## ПОЗДНИЙ ДЕВОН

Франские радиоляриевые биостратоны имеют разный объем и длительность существования (табл. 1).

**Раннефранский** комплекс радиолярий с *Palaeodiscaleksus punctus* – *Astroentactinia biaciculata* Тимано-Печорского бассейна соответствует конодонтовым зонам *upper falsiovalis* – *transitans*.

**Среднефранский** комплекс с *Primaritripus chuvashovi*, выявленный в Башкирии на Южном Урале эквивалентен конодонтовой зоне *punctata* [10, 11].

В составе среднефранской доманиковой надзоны *Moskovistella allbororum* – *Ceratoikiscum ukhtensis*, выделенной в Тимано-Печорском бассейне и прослеженной на Рудном Алтае, обособляются три последовательно сменяющих друг друга комплекса радиолярий – *Rdm-1*, *Rdm-2*, *Rdm-3* [1]. Первый из них, *Rdm-1*, эквивалентен конодонтовым зонам *punctata* – *lower hassi*; *Rdm-2* соответствует зоне *upper hassi*; *Rdm-3* отвечает конодонтовым зонам *jamieae* и *lower rhenana*.

Выше этой надзоны в Тимано-Печорской провинции следует радиоляриевый биостратон с *Bientactinosphaera pittmani* – *Russirad kazintsovae*, прослеженный также на восточном склоне Среднего Урала и соответствующий конодонтовой зоне *upper rhenana*.

**Позднефранская** ассоциация радиолярий выявлена О.Т. Обут с коллегами на Рудном Алтае [20]. Это комплекс с *Trilonche guangxiensis*<sup>1</sup> эквивалентен конодонтовым зонам *upper rhenana* – *linguiformis*.

Фамен характеризуется серией региональных и локальных радиоляриевых биостратонов.

<sup>1</sup> Комплексы с *Trilonche* здесь и далее названы нами условно, по первому виду в списках-перечнях видов, приводимых О.Т. Обут [20, 21].

В раннем фамене востока Русской платформы и Большого Урала установлены пять<sup>2</sup> биостратонов радиолярий, эквивалентных по объему двум конодонтовым зонам – *triangularis* и *crepida* [10, 11]: *Tetrentactinia barysphaera* – *Retientactinosphaera magnifica* (Тимано-Печорский бассейн); *Tetrentactinia barysphaera* – *Holoeciscus auceps* (Северный Прикаспий); *Tetrentactinia barysphaera* – *Caspiaza spinifera* (Полярный Урал); *Haplentactinia alekseevi* – *Haplentactinia vilvaensis* (западный склон Среднего Урала); *Tetrentactinia barysphaera* – *Ceratoikiscum famennium* (восточный склон Среднего Урала, Южный Урал и Северные Мугоджары).

По материалам разрезов Зеравшано-Гиссарского хребта в Узбекистане намечается, но пока еще до конца не оформлено, более детальное подразделение фамена по радиоляриям. Здесь, по данным О.Т. Обут с коллегами [21], обособляются следующие три комплекса радиолярий (табл. 1): комплекс с *Trilonche davidi* характеризует границу франа и фамена в объеме конодонтовых зон *lower linguiformis* – *lower triangularis*; комплекс с *Trilonche vetusta* отвечает зоне *crepida*; комплекс с *Trilonche minax* соответствует зоне *marginifera*.

## ДАННЫЕ О ДЛИТЕЛЬНОСТИ РАДИОЛЯРИЕВЫХ БИОСТРАТОНОВ

Таким образом, 16 принятых во внимание радиоляриевых биостратонов девона Северного полушария демонстрируют различную длительность в пределах погрешности измерений (с округлением до 0.5 млн. лет) (табл. 1).

Среди них отчетливо выделяются две группы: менее длительные (0.5–2.0 млн. лет) и более длительные (2.5–4.5 млн. лет) биостратоны (рис. 1). Количественно преобладает первая группа с общим вкладом 82%. При этом среди биостратонов радиолярий доминируют две группы: одна с длительностью 0.5 млн. лет, другая – 2.0 млн. лет, с общим вкладом около 50% (рис. 2).

Долгоживущие биостратоны (3.5 и 4.5 млн. лет) сосредоточены в раннем фамене – два биостратона; один биостратон (2.5 млн. лет) отмечен в эмском веке.

Среднеживущие биостратоны (1.5 и 2.0) распределены следующим образом: в фамене 1 стратон, во фране 4 стратона, в эмском веке 1 стратона.

Короткоживущие биостратоны (0.5 и 1.0 млн. лет) показывают иную картину: в фамене 1 стратон, во фране 4 стратона, в живете 1 стратон, в эйфельском веке 2 стратона.

<sup>2</sup> В связи с одинаковой длительностью биостратонов радиолярий раннего фамена при статистической обработке данных учитывается (а в табл. 1 приведен) только один пространственно-временной биостратон с *Tetrentactinia barysphaera* – *Ceratoikiscum famennium*.

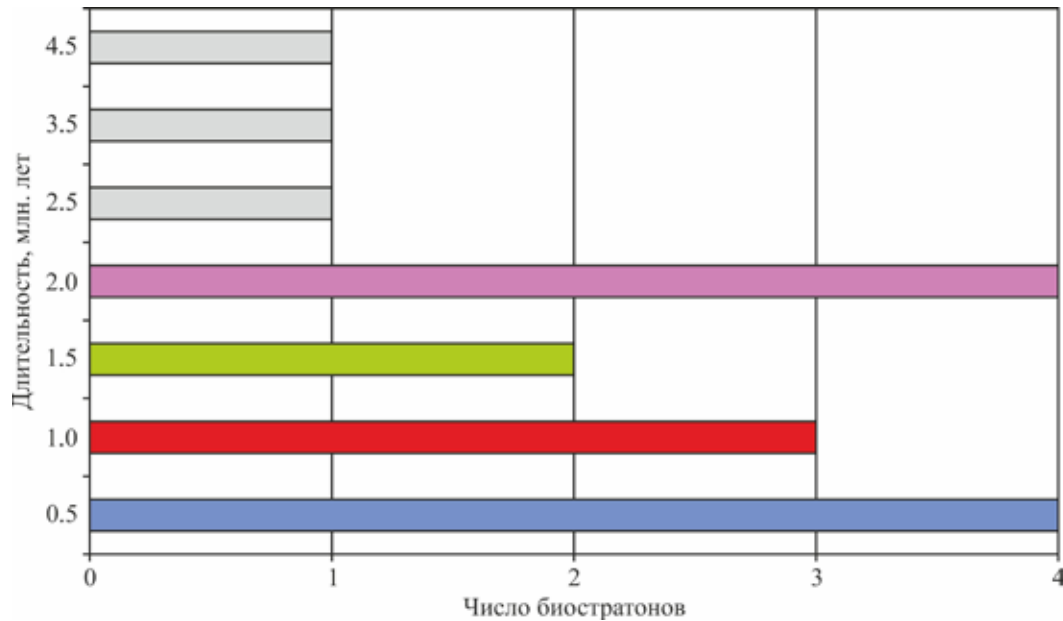


Рис. 1. Диаграмма распределения длительности радиоляриевых биостратонов.

Раннему и среднему девону свойственен сравнительно небогатый набор длительности радиоляриевых биостратонов. В эмсском веке – 2.5 и 2.0; в эйфельском – 1.0 и 0.5; в живетском – 1.0 млн. лет.

В позднем девоне картина меняется и здесь существенно большее разнообразие: франкийский век – от 0.5 до 2.0; фаменский – от 1.0 до 4.5 млн. лет. При этом во франком веке сосредоточено значительное число короткоживущих (шесть) и среднеживущих (два) биостратонов, а в раннем фаме не отмечено наибольшее число долгоживущих – шесть биостратонов.

Распределение радиоляриевых биостратонов по шкале (стреле) времени показывает черты регулярности (табл. 1). Так, при переходе от эмсского века к эйфельскому наблюдается последовательное уменьшение длительности биостратонов от 2.5 до 0.5 млн. лет (2.5 → 2.0 → 1.0 → 0.5). А при переходе к живету фиксируется небольшое увеличение длительности до 1.0 млн. лет. Во франком веке происходит регулярное чередование более длительных и менее длительных биостратонов: 0.5 → 1.5 → 0.5 → 2.0 → 1.5 → 1.0 млн. лет. В раннем фаме отмечена аналогичная закономерность, но на фоне общего увеличения длительности биостратонов: 1.0 → 3.5 → 2.0 → 4.5 млн. лет.

Подобная картина наводит на мысль о реализации волнового популяционного сценария [5] в распространении эволюционных новообразований, ранее проанализированного нами на примере морфотипа с двумя пористыми сферами и одной основной иглой [2].

Если рассматривать смену составов комплексов радиоляриевых биостратонов во времени и пространстве как смену экологически обусловленных

сообществ, то упомянутый выше переход от эмсского века к эйфельскому может иллюстрировать угасание мощной популяционной волны, начавшейся в позднем эмсе и связанной с массовыми инвазиями радиолярий в новые осваиваемые биотопы [2]. Франкийский век демонстрирует сравнительно малоамплитудный волновой процесс с чередованием волн различной длины и частоты, связанный с приспособительными реакциями популяций к конкретным местам обитания. Ранний фаме показывает

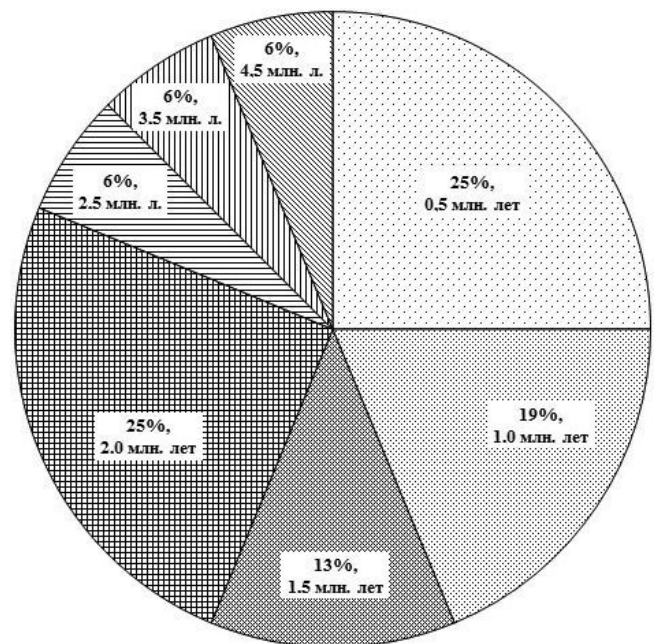


Рис. 2. Круговая диаграмма распределения и вклада (%) радиоляриевых биостратонов.

новую мощную популяционную волну, угасающую к концу фамена и отражающую кардинальную смену таксономического состава радиоларий на границе франа и фамена в связи с начавшимся похолоданием климата [2].

Таким образом, впервые проведенное измерение длительности радиолариевых биостратонов девона в единицах абсолютного (физического) времени путем сопоставления длительности радиолариевых и конодонтовых биостратонов, проливает дополнительный свет на эволюционные аспекты радиолариевой биостратиграфии. Особенности появления и распространения ассоциаций радиоларий, отраженные в биостратиграфической радиолариевой шкале и измеренные во временной динамике, позволяют прояснить черты освоения радиолариевой биотой девонских бассейнов Мирового океана. При этом вскрывается синхронность образования и эффекта мгновенного (в геологическом масштабе времени) волнового распространения новых морфотипов и особенностей внутривидовых взаимодействий в условиях теплого климата девона.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-04-00143).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьева М.С. Атлас радиоларий палеозоя Русской платформы. М.: Научный Мир, 2000. 480 с.
2. Афанасьева М.С., Амон Э.О. Эволюция в девоне биоразнообразия радиоларий с двумя пористыми сферами и одной основной иглой // Палеонтологический журнал. 2009. № 5. С. 9–23.
3. Афанасьева М.С., Амон Э.О., Гутак Я.М. Новые радиоларии среднего-верхнего девона Рудного Алтая // Докл. АН. 2009. Т. 425. № 3. С. 355–360.
4. Брагин Н.Ю., Вишневецкая В.С., Жамойда А.И., Казинцова Л.И. Радиоларии мезозоя. Практическое руководство по микрофауне. Т. 6. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. 272 с.
5. Ковалев О.В. Фазовые переходы в биологических системах как эволюционный фактор // Фазовые переходы в биологических системах и эволюция биоразнообразия. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. С. 50–62.
6. Козлова Г.Э. Радиоларии палеогена бореальной области России. Практическое руководство по микрофауне. Т. 9. СПб.: ВНИГРИ, 1999. 323 с.
7. Назаров Б.Б. Радиоларии нижнего-среднего палеозоя Казахстана (методы исслед., систематика, стратиграф. знач.). М.: Наука, 1975. 202 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 275).
8. Назаров Б.Б. Радиоларии палеозоя. Практическое руководство по микрофауне СССР. Т. 2. Л.: Недра, 1988. 232 с.
9. Стратиграфический кодекс России. Издание третье. СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. 96 с.
10. Afanasieva M.S., Amon E.O. Biostratigraphic potential of Devonian radiolarians // Biostratigraphy, paleogeography and events in Devonian and Lower Carboniferous (SDS / IGCP 596 joint field meeting): Ufa, Novosibirsk, July 20 – August 10, 2011. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2011. P. 6–9.
11. Afanasieva M.S., Amon E.O. Devonian Radiolarians of Russia // Paleontological Journal. 2011. V. 45. No. 11. Suppl. P. 1313–1532. Pleiades Publishing, Ltd., 2011.
12. Belka Z., Kaufmann B., Bultynck P. A conodont-based quantitative biostratigraphy for the Eifelian of the eastern Anti-Atlas, Morocco // Geological Society of America Bulletin. 1997. V. 109. P. 643–651.
13. Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G. A Geological Time Scale 2004. Cambridge University Press. Reprinted corr. 2006. 599 p.
14. Kaufmann B. Calibrating the Devonian Time Scale: A synthesis of U–Pb ID–TIMS ages and conodont stratigraphy // Earth-Science Reviews. 2006. V. 76. P. 175–190.
15. Kiessling W., Tragelehn H. Devonian Radiolarian Faunas of Conodont-Dated Localities in the Frankenwald (Northern Bavaria, Germany) // Abh. Geol. B.-A. 1994. Band 50. P. 219–255.
16. Klapper G. Graphic correlation of Frasnian (Upper Devonian) sequences in Montagne Noire, France, and western Canada // Geological Society of America. Special Paper. 1997. V. 321. P. 113–129.
17. Klapper G., Becker R.T. Comparison of Frasnian (Upper Devonian) conodont zonations // Bollettino della Società Paleontologica Italiana. 1999. V. 37. P. 339–348.
18. Middle Jurassic to Lower Cretaceous Radiolaria of Tethys: Occurrence, Systematics, Biochronology / P.O. Baumgartner, L. O'Dogherty, S. Gorican, E. Urquhart, A. Pillevuit, P. De Wever, eds. // Memoires de Geologie (Lausanne). 1995. V. 23. 1172 p.
19. Murphy M.A. Conodonts first occurrences in Nevada / Devonian Correlation Table. Weddige K. (Ed.). Senckenbergiana Lethaea. 2000. V. 80. P. 695.
20. Obut O.T., Izokh N.G., Yolkin E.A. First occurrence of radiolarians and conodonts in Frasnian siliciclastic sequences of the Rudny Altai (South of West Siberia) // Subcommission on Devonian Stratigraphy and IGCP 499 Devonian Land Sea Interaction: Evolution of Ecosystems and Climate. Program and Abstracts. Eureka, Nevada, 2007. P. 69–70.
21. Obut O.T., Čejchan P. Frasnian and Famennian (Upper Devonian) radiolarians from the Kule Gorge (Kitab State Geological Reserve, Uzbekistan) // Biostratigraphy, paleogeography and events in Devonian and Lower Carboniferous. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2011. P. 122–123.
22. Plankton Stratigraphy. V. 2. Radiolaria, diatoms, silicoflagellates, dinoflagellates and ichthyoliths / Bolli H.M., Saunders J.B., Perch-Nielsen K., eds. Cambridge University Press, 1985. 1006 p.
23. Sandberg C.A., Ziegler W. Devonian conodont biochronology in geologic time calibration // Senckenbergiana Lethaea. 1996. V. 76. P. 259–265.
24. Sandberg C.A., Ziegler W., Bultynck P. New standard conodont zones and early Ancyrodella phylogeny across Middle-Upper Devonian boundary // Courier Forschungsinstitut Senckenberg. 1989. V. 110. P. 195–230.