

УДК 564.1.017:551.736(571)

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ И СКОРОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ВИДОВ И РОДОВ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ В ПЕРМИ СЕВЕРО-ВОСТОКА АЗИИ

Бяков А. С.

ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н.А. Шило ДВО РАН, г. Магадан
E-mail: abiakov@mail.ru

Рассмотрены продолжительность существования и скорость образования видов и родов пермских двустворчатых моллюсков Северо-Востока Азии. Установлено, что средняя продолжительность жизни видов составляла 2–5 млн лет, а родов – 10–20 млн лет. Подавляющее большинство долгоживущих таксонов характеризует раннепермские (ассельско-среднеартинские) сообщества. Доля долгоживущих видов, существовавших более 10 млн лет, составляет здесь более 25 % от общего количества видов двустворок, обитавших в течение этого этапа. Начиная с конца артинского века (и еще более – с кунгура), значительно увеличивается количество относительно короткоживущих видов. Возможная причина этого явления – увеличение частоты проявления геобиосферных событий (преимущественно событий вымирания (Бяков, 2012а)), которые были вызваны усилением эндогенной активности Земли и выражены в проявлении вулканической деятельности различной природы и воздействии глубинных флюидов на биоту. Длительный временной интервал, охватывающий почти всю нижнюю пермь и характеризующийся относительно спокойным ходом геологической истории, сменяется интервалом, где проявлены резкие потрясения, отразившиеся и на развитии всей биоты, в том числе и двустворках. Скорость образования таксонов также связана с геобиосферными событиями и контролируется, прежде всего, событиями вымирания.

Ключевые слова: продолжительность существования и скорость образования видов и родов, двустворчатые моллюски, пермь, геобиосферные события, Северо-Восток Азии.

DOI: 10.34078/1814-0998-2022-4-10-23

ВВЕДЕНИЕ

Как очень точно подчеркнул Б. С. Соколов (2010, с. 6), «смысл и течение геологического времени передают нам лишь конкретные биогеосферные события в истории Земли». Весьма интересным в этом контексте представляет-

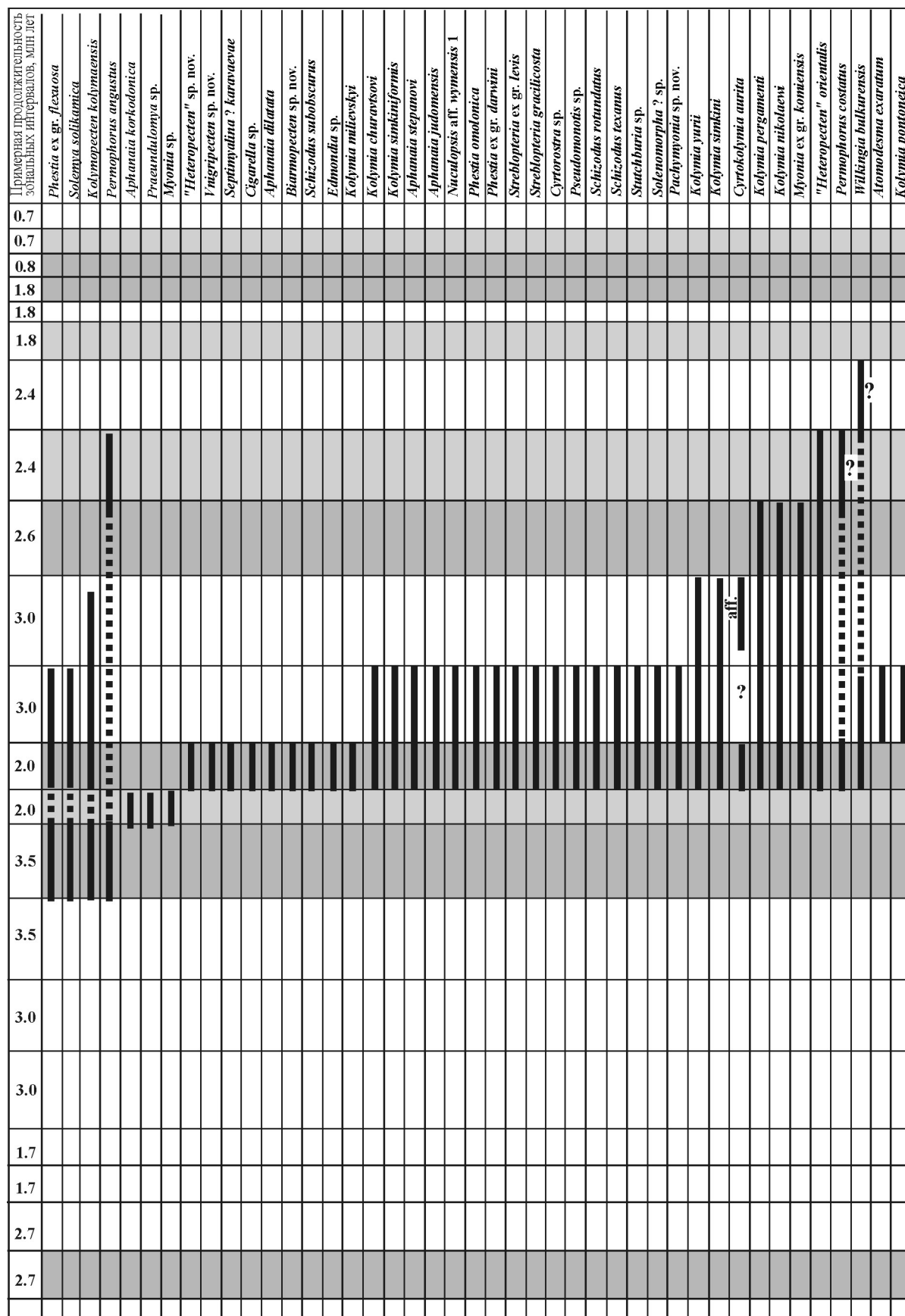
ся рассмотрение длительности существования и скорости образования таксонов видового и родового ранга пермских двустворчатых моллюсков Северо-Востока Азии и их связь с геобиосферными событиями, выявленными в перми суперрегиона (Бяков, 2012а).

Рисунок. Распространение двустворчатых моллюсков в пермских отложениях Северо-Востока Азии (по Бяков, 2012б, с изменениями и добавлениями). Розовым цветом показаны уровни вымирания, зеленым – увеличения таксономического разнообразия. В графе реперных изотопных дат синим цветом показаны результаты, полученные методом SHRIMP-II, красным – ID TIMS; здесь же приняты следующие сокращения руководящих таксонов аммоноидей: *B. m.* – *Bulunites mezhvilki*, *E. m.* – *Epijuresanites musalitinii*, *E. spp.* – *Eotumaroceras spp.*, *N. t. h.* – *Neoshumardites triceps hyperboreus*, *P. e.* – *Prouddenites evolutus*, *S. a.* – *Sverdrupites amunseni*, *S. h.* – *Sverdrupites harkeri*, *T. spp.* – *Tumaroceras spp.*, *U. o.* – *Uraloceras omolonense*, *U. s.* – *Uraloceras subsimense*

Figure. Distribution of bivalves in Northeast Asia's Permian deposits (by Biakov, 2012b, with amendments and additions). Pink shows extinction levels; green, increased taxonomic diversity. In the graph of reference isotope dates, the results obtained by the SHRIMP-II method are shown in blue; the obtained by the ID TIMS results, in red; the following abbreviations are used for the most important ammonoid taxa: *B. m.* – *Bulunites mezhvilki*, *E. m.* – *Epijuresanites musalitinii*, *E. spp.* – *Eotumaroceras spp.*, *N. t. h.* – *Neoshumardites triceps hyperboreus*, *P. e.* – *Prouddenites evolutus*, *S. a.* – *Sverdrupites amunseni*, *S. h.* – *Sverdrupites harkeri*, *T. spp.* – *Tumaroceras spp.*, *U. o.* – *Uraloceras omolonense*, *U. s.* – *Uraloceras subsimense*

Примерная продолжительность зональных интервалов, млн лет										
<i>Astarula</i> ? cf. <i>tumida</i>										
<i>Cyrtocardia</i> sp.										
<i>Cypriocardia</i> ? sp.										
<i>Vacuella</i> ex gr. <i>curvata</i>										
<i>Cosmomya</i> sp. nov.										
<i>Undulomya</i> sp. nov.										
<i>Prothyris elongatus</i>										
<i>Palaconello parenica</i>										
<i>Solemya</i> cf. <i>holmwoodensis</i>										
<i>Modiolus</i> cf. <i>koneckii</i>										
<i>Dysamya</i> ? <i>elegans</i>										
<i>Sanguinolites lukjanovae</i>										
<i>Streblopteria parenica</i>										
<i>Paraliodon</i> ex gr. <i>bimodoliratus</i>										
<i>Wilkingia verchojanica</i>										
<i>Myophossia subarbitrata</i>										
<i>Wilkingia</i> ? sp. nov.										
<i>Streblopteria</i> ex gr. <i>krasnoufmskensis</i>										
" <i>Pernophilorus</i> " sp.										
<i>Vacuella praecurvata</i>										
<i>Naculopsis</i> cf. <i>postolegi</i>										
<i>Naculopsis</i> sp.										
<i>Lithophaga</i> sp.										
<i>Pteronites</i> aff. <i>muticus</i>										
" <i>Aviculopecten</i> " <i>nirus</i>										
" <i>Aviculopecten</i> " aff. <i>sinense</i>										
<i>Streblopteria</i> sp.										
<i>Pernophilorus oblongus</i>										
<i>Schizodus</i> cf. <i>sandimmonensis</i>										
<i>Schizodus</i> aff. <i>escherijaki</i>										
<i>Statichuria</i> ex gr. <i>costata</i>										
" <i>Streblochonidia</i> " ex gr. <i>ufuensis</i>										
<i>Wilkingia</i> aff. <i>abramovi</i>										
<i>Merismopteria permiana</i>										
" <i>Aviculopecten</i> " cf. <i>occidentalis</i>										
<i>Fasciculiconcha</i> ? sp.										
<i>Streblopteria</i> sp.										
<i>Streblopteria</i> sp. 2										
<i>Streblopteria</i> sp. nov.										
<i>Oriocrassatella victori</i>										
<i>Pyranus igori</i>										
<i>Vacuella</i> sp.										
<i>Verchojanogrammysia saphronovi</i>										
<i>Undulomys</i> sp. nov.										

[illegible]



[illegible]

[illegible]

Примерная продолжительность зональных интервалов, млн лет	<i>Maitaia</i> sp. 3	<i>Intomodesma evenicum</i>	<i>Cyrtostrota</i> sp.	<i>Etheripecten</i> sp. nov.	" <i>Streblapteria</i> " sp.	<i>Intomodesma kabymuensis</i>	<i>Intomodesma postevenicum</i>	<i>Pteria</i> cf. <i>ussurica</i>	<i>Palaeonucula aldanensis</i>	<i>Dacryomya</i> sp.	<i>Maitaia</i> ? sp. 1	<i>Maitaia</i> cf. <i>errabunda</i>	<i>Myallina</i> aff. <i>putiatinensis</i>	<i>Sarepta</i> ? sp.	<i>Maitaia</i> ? sp. 2	<i>Unionites</i> cf. <i>canadensis</i>	<i>Unionites fassuensis</i>	<i>Clavioidea</i> aff. <i>primitivus</i>	<i>Clavio</i> sp. (?C. aff. <i>linguacensis</i>)	<i>Eumorphotis</i> sp.	<i>Lapevella</i> ? sp.
0.7																					
0.7																					
0.8																					
1.8																					
1.8																					
1.8																					
2.4																					
2.4																					
2.6																					
3.0																					
3.0																					
2.0																					
2.0																					
3.5																					
3.5																					
3.0																					
3.0																					
1.7																					
1.7																					
2.7																					
2.7																					

Большое значение в свете выше изложенного имеет точность и надежность используемых датировок и проводимых корреляций, которые существенно возросли в последние годы в связи с широким применением на Северо-Востоке Азии методов высокоточного уран-свинцового датирования зерен цирконов из туфов (Davydov et al., 2016; 2018; Бяков и др., 2017а, б; Брынько и др., 2021), а также углеродной и стронциевой хеомстратиграфии (Бяков и др., 2017в; Бяков и др., 2019; 2021).

СКОРОСТЬ ВИДООБРАЗОВАНИЯ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ ВИДОВ И РОДОВ ПЕРМСКИХ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ АЗИИ

За основу расчета продолжительности зональных интервалов взята разработанная автором зональная шкала перми Северо-Востока Азии по двустворчатым моллюскам (Бяков, 2012б), дополненная биостратиграфическими материалами, полученными недавно по Южному Верхоянью (Бяков и др., 2018). Эта шкала скоррелирована с Международной стратиграфической шкалой пермской системы с учетом радиоизотопных датировок и данных хеомстратиграфии (см. выше) – рисунок.

Продолжительность веков перми принята согласно (Permian..., 2022) с учетом наших данных по нижней границе среднего отдела перми, полученных по Омолонскому массиву и его юго-восточному обрамлению (Брынько и др., 2019).

Определенными ограничениями проведенных расчетов являются отсутствие для нижнепермских отложений суперрегиона результатов прецизионного U-Pb датирования бивальвиевых зон, в связи с чем выполненные корреляции с Международной стратиграфической шкалой основаны преимущественно на данных по аммоноидеям (Kutygin, 2006; Budnikov et al., 2020; Кутыгин и др., 2020). Трудности точной идентификации некоторых таксонов двустворок, вызванные в ряде случаев бедной морфологией раковины или ее плохой сохранностью, также могут вызывать некоторые погрешности в определении бивальвиевой фауны. Сокращенные диапазоны существования некоторых таксонов-мигрантов, вызванные их миграцией, также могут в некоторой степени влиять на полученные результаты.

С учетом стратиграфического распространения тех или иных видов двустворок вычислена приблизительная длительность существования таксонов видового (368 видов) и родового (93 рода) ранга бивальвий. Минимальная продолжительность зонального интервала, вычисленная путем экстраполяции полученных реперных

дат абсолютного возраста, оказалась равной 0.7–0.8 млн лет и зафиксирована в самом конце перми. Максимальная продолжительность зонального интервала составила 3.0–3.5 млн лет и определена в конце ранней – начале средней перми.

Установлены также приблизительные скорости видо- и родообразования для наиболее хорошо и полно изученной на сегодня группы двустворок семейства Kolymiidae (88 видов, относящиеся к 13 родам), являвшейся доминантом пермской бивальвиевой биоты Северо-Востока Азии. Для сравнения рассчитаны также скорости образования таксонов родового и видового ранга других семейств двустворок для ассельско-среднеартинского этапа, когда колымииды еще отсутствовали.

Результаты проведенного исследования показали, что наряду с очень недолго существовавшими видами и родами двустворок, жившими в ряде случаев, очевидно, менее 1 млн лет (*Intomodesma evenicum* Kusnezov, *I. paracostatum* Biakov, *Unionites kobymaensis* Biakov и ряд других, всего около 20, или чуть более 5 % от общего числа пермских видов двустворок), в бассейнах Северо-Востока Азии обитали и «долгожители», интервал стратиграфического распространения которых превышает 20 и более млн лет (*Phestia kolyvanica* (Muromzeva), *Streblopteria englehardti* (Etheridge et Dun), *Kolymopecten mutabilis* (Licharew), *Palaeolima laticostata* Tschernyschew, *Astartella permocarbonica* (Tschernyschew), *A. omolonica* Muromzeva, *Grammysiopsis omolonica* Muromzeva, *Praeundulomya urbajtisiae* Muromzeva, *Schizodus* aff. *jakovlevi* Fedotov и некоторые другие. Но таких долгоживущих таксонов видового ранга тоже относительно немного (не более 5 % от общего числа видов).

Средняя продолжительность существования видов обычно составляет порядка 2–5 млн лет (т. е., как правило, не превышает длительности того или иного зонального интервала). Полученные нами значения согласуются с ранее приведенными оценками (Raup, 1991; Алексеев и др., 2001; Алексеев, 2011). При этом количество видов, время существования которых превышает 10 млн лет, относительно невелико – около 35 (т. е. менее 10 % от общего числа видов). Особенно их много в нижней перми (около 10 видов), несколько меньше в средней (7 видов) и почти нет в верхней (только один вид рода *Streblopteria*).

Продолжительность существования родов двустворок тоже значительно разнится. Например, в семействе Kolymiidae, доминанте пермской бивальвиевой биоты, она колеблется от 2 млн лет (*Cyrtokolymia*) до почти 20 млн лет (*Maitaia*), в среднем составляя 5–8 млн лет. При этом относительно недолго (2–7.5 млн лет) существовали специализированные эндемичные роды (*Costatoaphanaia*, *Praekolymia*, *Cyrtokolymia*, *Ok-*

hotodesma, *Taimyrokolymia*, *Evenia*, *Intomodesma*), а долгожителями являлись консервативные таксоны (*Aphanaia*, *Cigarella*, *Maitaia*).

В среднем продолжительность существования родов пермских двустворок насчитывает, по авторским оценкам, около 10–20 млн лет. Есть и очень длительно существовавшие роды двустворок (например, *Nuculopsis*, *Schizodus*, *Streblopteria* и др.), известные еще с раннего карбона, и жившие десятки млн лет. Следует отметить, что «долгожители» встречаются практически во всех семействах двустворок.

Максимальные скорости видо- и родообразования у колымиид характерны для средней перми (5.8–6 видов и 1–1.2 рода/млн лет), а минимальные – для конца кунгурского, начала кепитенского и середины вучапинского веков, когда новых родов не появилось, а скорость образования новых видов не превышала 0.5–1 вид/млн лет.

Очень высокой была скорость видо- и родообразования двустворок и в начале ассельско-среднеартинского этапа, время *elongata* – около 10 видов и 1.8 рода/млн лет, резко сократившись в начале его второй половины (около 1 вида/млн лет).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Подавляющее большинство долгоживущих таксонов характеризует раннепермские (ассельско-среднеартинские) сообщества, во многом наследующие свой облик от каменноугольных. Доля долгоживущих видов, существовавших более 10 млн лет, составляет здесь более 25 % от общего количества видов двустворок, обитавших в течение этого этапа. Начиная с конца артинского века (и еще более – с кунгура) значительно увеличивается количество относительно короткоживущих видов. Особенно это явление характерно для представителей семейства колымиид. Доля долгоживущих видов на протяжении конца артина – чансина не превышает 5 %.

В чем же возможная причина этого явления? На наш взгляд, это связано прежде всего с увеличением частоты проявления различных геобiosферных событий (главным образом, событий вымирания) в суперрегионе, обусловленных рядом факторов, в том числе и глобальных (Бяков, 2012а).

Среди основных причин этих событий вымирания следует назвать усиление эндогенной активности Земли, выразившейся в проявлении вулканической деятельности различной природы и действии глубинных флюидов. Последние, по видимому, были обогащены токсическими газами, в первую очередь, метаном и CO₂, вызывавшими широкое развитие аноксических, а нередко и эвксинных обстановок, губительно воздействовавших на биоту.

Длительный временной интервал, охватывающий почти всю нижнюю пермь и характеризующийся относительно спокойным ходом геологической истории, сменяется интервалом (рубеж вордского и кепитенского веков – конец перми), где увеличивается частота вымираний, что отразилось на развитии всей биоты, в том числе и двустворках.

Скорость образования таксонов, прежде всего, родового и более высоких рангов, также связана с геобиосферными событиями и контролируется также, прежде всего, событиями вымирания и, в меньшей степени, событиями увеличения таксономического разнообразия двустворок (см. рисунок).

Работа выполнена согласно теме госзадания СВКНИИ ДВО РАН и при поддержке РФФИ, проект 20-05-00604. Автор благодарит рецензентов В. В. Силантьева и Ю. Д. Захарова за конструктивные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев А. С. Скорость эволюции организмов и ее значение для анализа развития органического мира // Темпы эволюции органического мира и биостратиграфия. Мат-лы LVII сессии Палеонтологического общества при РАН. Санкт-Петербург, ВСЕГЕИ, 2011. С. 11–12.
- Алексеев А. С., Дмитриев В. Ю., Пономаренко А. Г. Эволюция таксономического разнообразия. Москва : ГЕОС, 2001. 126 с.
- Брынько И. В., Ползуненков Г. О., Бяков А. С. Новые U-Pb (SHRIMP-II) данные по циркону из среднепермских отложений Омолонского массива (Северо-Восток России) // Осадочные планетарные системы позднего палеозоя: стратиграфия, геохронология, углеводородные ресурсы [Электронный ресурс]: сб. тез. Международной стратиграфической конф. Головкинского 2019 (24–28 сентября 2019 г., Казань, Россия). Казань : Изд-во Казанского университета, 2019. С. 74–75.
- Брынько И. В., Ползуненков Г. О., Бяков А. С., Ведерников И. Л. Первые результаты U-Pb SHRIMP датирования цирконов из кепитенских (средняя пермь) отложений Омолонского массива (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40. № 1. С. 77–86.
- Буко А. Эволюция и темпы вымирания. Москва : Мир, 1979. 318 с.
- Бяков А. С. Пермские биосферные события на Северо-Востоке Азии // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2012а. № 2. С. 88–100.
- Бяков А. С. Новая зональная схема пермских отложений Северо-Востока Азии по двустворчатым моллюскам. Статья 1. Зональное расчленение // Тихоокеан. геол. 2012б. Т. 31. № 5. С. 13–40.
- Бяков А. С., Брынько И. В., Бонд Д. (Bond D. P. G.), Харвей Д. (J. Harvey), Горячев Н. А., Ведерников И. Л., Филимонова Т. В. Новые минимальные значения отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в биогенных карбонатах перми Омолонского массива (Северо-Восток Азии) // ДАН. 2019. Т. 488. № 4. С. 397–402.
- Бяков А. С., Захаров Ю. Д., Хорачек М., Горячев Н. А. О положении границы вучапинского и чансинского ярусов на Северо-Востоке России по радиоизотопным и хемотратиграфическим данным // ДАН. Науки о Земле. 2021. Т. 500. № 2. С. 131–134.
- Бяков А. С., Кутыгин Р. В., Горячев Н. А., Бурнатный С. С., Наумов А. Н., Ядренкин А. В., Ведерников И. Л., Третьяков М. Ф., Брынько И. В. Открытие позднечансинского комплекса двустворок и два эпизода вымирания фауны в конце перми на Северо-Востоке Азии // ДАН. 2018. Т. № 480. № 1. С. 121–124.
- Бяков А. С., Горячев Н. А., Ведерников И. Л., Брынько И. В., Толмачева Е. В. Новые результаты U-Pb SHRIMP датирования цирконов из верхневучапинских (верхняя пермь) отложений Северо-Востока России // ДАН. 2017а. Т. 477. № 3. С. 331–336.
- Бяков А. С., Шпикерман В. И., Ведерников И. Л., Толмачева Е. В. Первые результаты U-Pb SIMS датирования цирконов из вучапинских (верхняя пермь) отложений Северо-Востока России: значение для межрегиональных корреляций // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2017б. Т. 25. № 3. С. 19–28.
- Бяков А. С., Хорачек М., Горячев Н. А., Ведерников И. Л., Захаров Ю. Д. Первая детальная запись $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ в пограничных пермо-триасовых отложениях Колымо-Омолонского региона (Северо-Восток Азии) // ДАН. 2017в. Т. 474. № 3. С. 347–350.
- Кутыгин Р. В., Будников И. В., Сивчиков В. Е. Основные черты стратиграфии касимовско-гжельских и пермских отложений Сибирской платформы и ее складчатого обрамления // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020. Т. 25. № 4. С. 5–29. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-1>
- Пономаренко А. Г., Розанов А. Ю., Федонкин М. А. (ред.). Экосистемные перестройки и эволюция биосферы: Вып 4. Москва : Палеонтологический институт РАН, 2001. 200 с.
- Соколов Б. С. Биосфера как биогеомериды и ее биотоп // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2010. Т. 18. № 3. С. 3–8.
- Эволюция биосферы и биоразнообразия. К 70-летию А. Ю. Розанова. Москва : Т-во научных изданий КМК, 2006. 600 с.
- Budnikov I. V., Kutygin R. V., Shi G. R., Sivtchikov V. E., Krivenko O. V. Permian stratigraphy and paleogeography of Central Siberia (Angaraland) – A review // J. Asian Earth Sci. 2020. V. 196. P. 1–21.
- Davydov V. I., Biakov A. S., Crowley J. L., Schmitz M. D., Isbell J. L., Vedernikov I. L. Middle Permian U-Pb zircon ages of the “glacial” deposits of the Atkan Formation, Ayan-Yuryakh anticlinorium, Magadan province, NE Russia: Their significance for global climatic interpretations // Gondwana Research. 2016. V. 38. P. 74–85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2015.10.014>
- Davydov V. I., Biakov A. S., Schmitz M. D., Silantiev V. V. Radioisotopic calibration of the Guadalupian (Middle Permian) Series: Review and Updates // Earth-Science Reviews. 2018. V. 176. P. 222–240. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.10.011>
- Kutygin R. V. Permian ammonoid associations of the Verkhoyansk Region, Northeast Russia // J. Asian Earth Sci. 2006. V. 26. P. 243–257.
- Permian Timescale // Permophiles. 2022. Iss. 73. P. 46.
- Raup D. M. A kill curve for Phanerozoic marine species // Paleobiology. 1991. V. 17. No. 1. P. 37–48.

LIFETIME AND FORMATION RATE OF BIVALVE SPECIES AND GENERA IN THE PERMIAN OF NORTHEAST ASIA

A. S. Biakov

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, FEB RAS, Magadan

The article discussed the duration of existence and the rate of formation for Permian bivalve species and genera in Northeast Asia. It has been established that the species existed averagely for 2–5 million years; and the genera, for 10–20 million years. The vast majority of long-lived taxa characterize the Early Permian (Asselian-Middle Artinskian) assemblages. The proportion of long-lived species that existed for over 10 million years exceeds 25 % of all bivalve species existing on this stage. Since the end of the Artinskian (and even more so since the Kungurian), the number of relatively short-lived species increased significantly. The possible reason for this phenomenon might have been an increase in the frequency of manifestation of geobiospheric, mainly extinction (Biakov, 2012a), events, resulted from an increase in the Earth endogenous activity, and expressed in the manifestation of volcanic activity of various nature and the deep fluids impact on the biota. A long time interval, covering almost the entire Lower Permian and characterized by a relatively calm course of geological history, was replaced by an interval with sharp upheavals manifested, which also affected the development of the entire biota, including bivalves. The rate of taxa formation is also associated with geobiospheric events and is controlled primarily by extinction events.

Keywords: duration of existence and rate of formation of species and genera, bivalves, Permian, geobiospheric events, Northeast Asia.

REFERENCES

- Alekseyev, A. S., 2011. The Rate of Organisms Evolution and Its Significance for the Analysis of the Organic World Development, *Rates of the Organic World Evolution and Biostratigraphy. Materials of the 57th Session of the Russian Paleontological Society*. St. Petersburg, VSEGEI. 11–12 [In Russian].
- Alekseyev, A. S., Dmitriev, V. Yu., Ponomarenko, A. G., 2001. Evolution of Taxonomic Diversity. Moscow, GEOS [In Russian].
- Biakov, A. S., 2012. Permian Biospheric Events in Northeast Asia, *Stratigraphy and Geological Correlation*. 20, 2, 199–210.
- Biakov, A. S., 2012. A New Permian Bivalve Zonal Scale of Northeastern Asia. Article 1: Zonal Subdivision, *Russian Journal of Pacific Geology*. 6, 5, 349–368.
- Biakov, A. S., Brynko, I. V., Bond, D. P. G., Harvey, J., Goryachev, N. A., Vedernikov, I. L., Filimonova, T. V., 2019. New Minimal $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Values in Permian Biogenic Carbonates of the Omolon Massif (Northeastern Asia), *Doklady Earth Sciences*. 488, 2, 1143–1147.
- Biakov, A. S., Zakharov, Yu. D., Horacek, M., Goryachev, N. A., 2021. The Position of the Wuchiapingian–Changhsingian Boundary in Northeast Russia on the Basis of Radioisotopic and Chemostratigraphic Data, *Doklady Earth Sciences*. 500, 2, 816–819.
- Biakov, A. S., Goryachev, N. A., Vedernikov, I. L., Brynko, I. V., Tolmacheva, Ye. V., 2017. New Results of U–Pb SHRIMP Dating of Zircons from Upper Wuchiapingian (Upper Permian) Deposits in Northeastern Russia, *Doklady Earth Sciences*. 477, 1, 1348–1352.
- Biakov, A. S., Horacek, M., Goryachev, N. A., Vedernikov, I. L., Zakharov, Yu. D., 2017. The First Detailed $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ Record in Permo-Triassic Boundary Deposits in the Kolyma-Omolon Region (Northeast Asia), *Doklady Earth Sciences*. 474, 1, 591–594.
- Biakov, A. S., Kutygin, R. V., Goryachev, N. A., Byrnatny, S. S., Naumov, A. N., Yadrenkin, A. V., Vedernikov, I. L., Tret'yakov, M. F., Brynko, I. V., 2018. Discovery of the Late Changhsingian Bivalve Complex and Two Fauna Extinction Episodes in Northeastern Asia at the End of the Permian, *Doklady Earth Sciences*. 480, 1, 78–81.
- Biakov, A. S., Shpikerman, V. I., Vedernikov, I. L., Tolmacheva, Ye. V., 2017c. The First U–Pb SIMS Age Datings of Zircons from Upper Permian Deposits of the Northeastern Russia: Significance for Interregional Correlations, *Stratigraphy and Geological Correlation*. 25, 3, 256–264.
- Boucot, A., 1979. Evolution and Extinction Rate Controls, Moscow, Mir [In Russian].
- Brynko, I. V., Polzunenkov, G. O., Biakov, A. S., 2019. New U–Pb (SHRIMP-II) Data on Zircons from the Middle Permian of the Omolon Massif (Northeastern Russia), 2019, *Late Paleozoic Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources, Abstracts of Kazan Golovinsky Stratigraphic Meeting (September 24–28, 2019)*. 74–75 <http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/151929/golovinsky2019.pdf> [In Russian].
- Brynko, I. V., Polzunenkov, G. O., Biakov, A. S., Vedernikov, I. L., 2021. The First U–Pb SHRIMP Dating of Zircons From Capitanian (Middle Permian) Deposits of the Omolon Massif (Northeast Russia), *Russian Journal of Pacific Geology*. 15, 1, 51–59.
- Budnikov, I. V., Kutygin, R. V., Shi, G. R., Sivtchikov, V. E., Krivenko, O. V., 2020. Permian Stratigraphy and Pa-

leogeography of Central Siberia (Angaraland) – A review, *J. Asian Earth Sci.* 196, 1–21.

Davydov, V. I., Biakov, A. S., Crowley, J. L., Schmitz, M. D., Isbell, J. L., Vedernikov I. L., 2016. Middle Permian U-Pb Zircon Ages of the “Glacial” Deposits of the Atkan Formation, Ayan-Yuryakh Anticlinorium, Magadan Province, NE Russia: Their Significance for Global Climatic Interpretations, *Gondwana Research*. 38, 74–85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2015.10.014>

Davydov, V. I., Biakov, A. S., Schmitz, M. D., Silantiev, V. V., 2018. Radioisotopic Calibration of the Guadalupian (Middle Permian) Series: Review and Updates, *Earth-Science Reviews*. 176, 222–240. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.10.011>

Evolution of the Biosphere and Biodiversity. On the 70th Anniversary of A. Yu. Rozanov, 2006. Moscow, KMK [In Russian].

Поступила в редакцию 20.09.2022 г.

Поступила после доработки 16.11.2022 г.

Kutygin R. V., Budnikov I. V., Sivchikov V. E., 2020. The Main Features of the Kasimovian-Gzhelian and Permian Stratigraphy in the Siberian Platform and the Adjacent Fold Belts, *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 25, 4, 5–29. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-1> [In Russian].

Kutygin, R. V., 2006. Permian Ammonoid Associations of the Verkhoyansk Region, Northeast Russia, *Journal of Asian Earth Sciences*. 26, 243–257.

Permian Timescale, 2022. *Permophiles*, 73, 46.

Ponomarenko, A. G., Rozanov, A. Yu., Fedonkin, M. A. (eds.), 2001. Ecosystem Restructures and the Evolution of Biosphere, Moscow, Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences [In Russian].

Raup, D. M., 1991. A Kill Curve for Phanerozoic Marine Species, *Paleobiology*. 17, 1, 7–48.

Sokolov, B. S., 2010. The Biosphere as a Biogeomeric and Its Biotope, *Stratigraphy and Geological Correlation*. 18, 3, 229–233.