

УДК 56:551.736(571.56+571.65)

## ПЕРМСКИЕ БИОСФЕРНЫЕ СОБЫТИЯ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ АЗИИ

© 2012 г. А. С. Бяков

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан  
e-mail: [abiakov@mail.ru](mailto:abiakov@mail.ru)

Поступила в редакцию 06.12.2010 г., получена после доработки 02.03.2011 г.

Анализ динамики видового разнообразия двустворчатых моллюсков Северо-Восточной Азии на протяжении перми позволил выявить ряд уровней его значительного увеличения и уменьшения. Установлены четыре крупных события вымирания двустворок – в конце ранней перми, в начале эпитенского века, на рубеже эпитена и вучапина и в самом конце перми. Наряду с эпизодами вымираний выделяется пять событий значительного увеличения таксономического разнообразия и появления инноваций – раннеассельское, среднекунгурское, раннероудское, поздневордское, раннечансинское. Выявленные биотические феномены нашли подтверждение в динамике биоразнообразия и других основных групп пермской фауны (фораминиферы, брахиоподы, аммоноидеи), проявляются в разных бассейнах и, как правило, отражены в изменении характера седиментации, изотопных параметров, эвстатических колебаний и других факторов среды. Большая часть установленных биотических событий прослеживается далеко за пределами Северо-Восточной Азии и имеет, скорее всего, общие причины (изменение эндогенного режима Земли и связанный с ним комплекс стрессовых воздействий на биоту), что может быть использовано для целей глобальной корреляции.

*Ключевые слова:* события, динамика биоразнообразия, двустворчатые моллюски, брахиоподы, фораминиферы, аммоноидеи, пермь, Северо-Восток Азии.

### ВВЕДЕНИЕ

В конце пермского периода произошел ряд крупных биосферных кризисов, прежде всего крупнейшее в фанерозое вымирание на рубеже перми и триаса. Но уже задолго до него пермская биота испытала несколько значительных биотических перестроек, связанных как с расцветом, так и с вымиранием основных групп организмов.

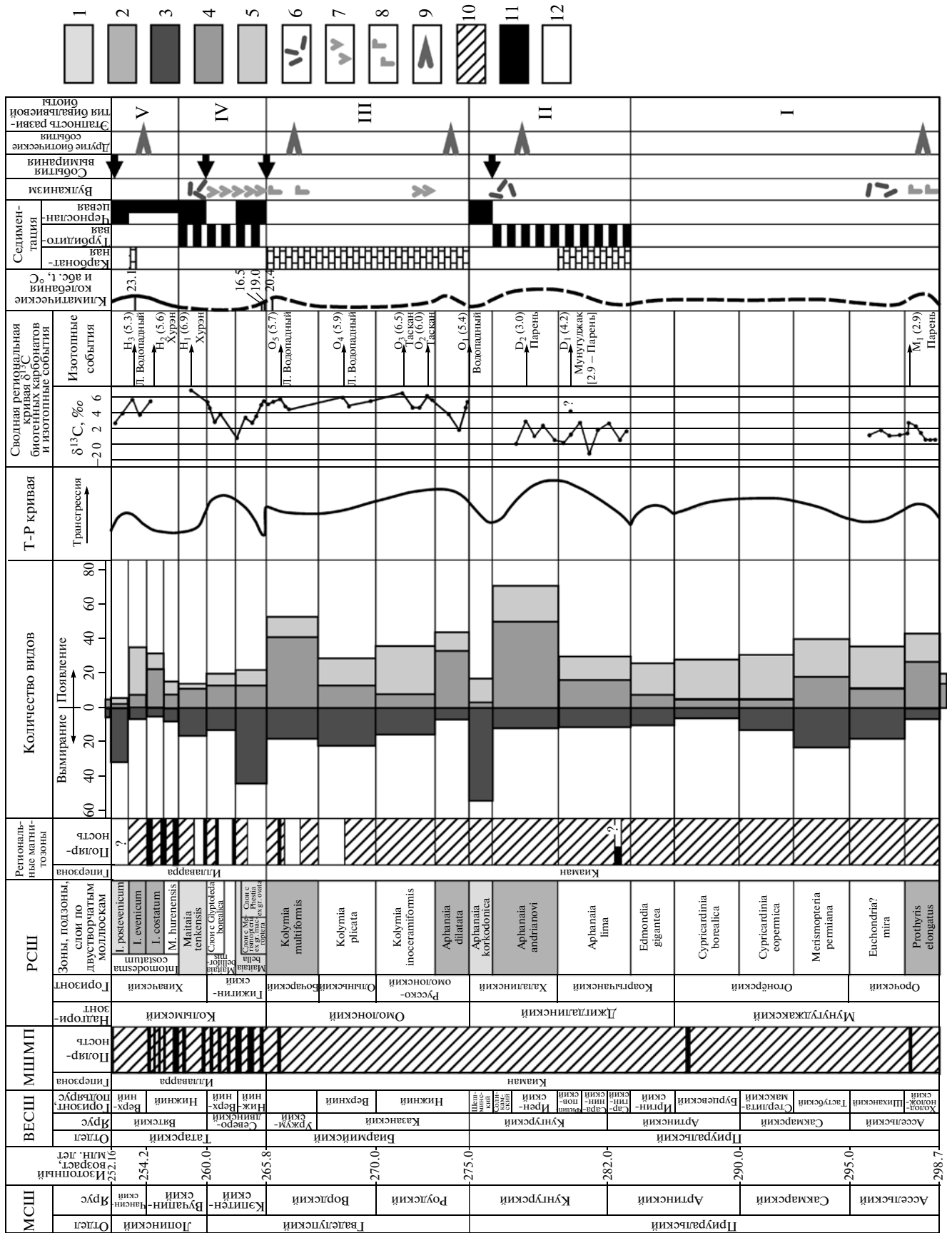
Многие из этих биосферных событий были выявлены в результате анализа динамики таксономического разнообразия разных групп фауны и флоры и в настоящее время интенсивно изучаются. На Северо-Востоке Азии такие исследования стали проводиться лишь недавно (Бяков, Ганелин, 1998; Бяков, 2008).

Изучение динамики видового разнообразия двустворчатых моллюсков Северо-Восточной Азии на протяжении пермского периода позволило выявить ряд уровней его значительного увеличения и уменьшения (рис. 1). Позднее было установлено, что эти события затрагивают и другие основные группы пермской фауны (фораминиферы, брахиоподы, аммоноидеи), проявляются в разных бассейнах Северо-Востока Азии и, как правило, отражены в изменении характера седиментации, изотопных параметров, эвстатических колебаний и других факторов среды.

В данной статье приведены количественные оценки, основанные на новых уточненных данных по таксономическому разнообразию основных групп биоты, и дано статистическое обоснование установленных биотических событий, прослежена их связь с абиотическими факторами среды.

Большая часть выявленных биотических событий (особенно эпизоды массовых вымираний) прослеживается далеко за пределами Северо-Восточной Азии, что может быть использовано для целей глобальной корреляции. Массовые вымирания были вызваны, скорее всего, какими-то общими причинами, вероятно изменением эндогенного режима Земли и связанным с ним комплексом стрессовых воздействий на биоту. Установленные биотические феномены отражаются в эвстатических колебаниях уровня Мирового океана, резком изменении характера седиментации, проявлении вулканизма различной природы, широком развитии аноксических обстановок, экскурсах кривой  $\delta^{13}\text{C}$  биогенных карбонатов, вариациях полярности магнитного поля.

Все биотические события перми Северо-Востока Азии подразделены нами на две группы: массового вымирания и увеличения биоразнообразия и появления инноваций.



**Рис. 1.** Геобиосферные события перми на Северо-Востоке Азии.

Продолжительность веков перми и Международная шкала магнитной полярности (МШМП) приведены по (International..., 2010), региональные магнитозоны — по (Кашик и др., 1990; Колесов, 2010). МСШ — Международная стратиграфическая шкала пермской системы, ВЕСШ — Восточно-Европейская (Общая) стратиграфическая шкала, РСШ — региональная стратиграфическая шкала Северо-Востока Азии. 1 — зональные интервалы массовых вымираний; 2 — зональные интервалы значительного увеличения биоразнообразия; 3–5 — динамика видового разнообразия двустворчатых моллюсков; 3 — количество вымерших видов, 4 — количество появившихся видов, 5 — общее количество видов; 6–8 — проявление вулканизма: 6 — преимущественно кислого состава, 7 — преимущественно среднего состава, 8 — преимущественно основного состава; 9 — события увеличения биоразнообразия и появления инноваций; 10–12 — полярность в палеомагнитных шкалах: 10 — обратная, 11 — прямая, 12 — неизученные интервалы.

## СОБЫТИЯ МАССОВОГО ВЫМИРАНИЯ

Установлены четыре событийных уровня резкого уменьшения таксономического разнообразия фауны — позднекунгурский (позднехалалинский), раннеэпитенский (раннежигинский), ранневучапинский (раннехивачский) и позднечансинский (конец позднехивачского времени).

### *Позднекунгурское событие*

Позднекунгурское событие (рис. 2) характеризуется очень резким уменьшением таксономического разнообразия во всех группах фауны. Оно непосредственно следует за среднекунгурским биотическим событием (см. ниже), когда все основные группы морской фауны Северо-Востока Азии испытывали расцвет.

Среди двустворок вымирают 55 видов (78%) и 20 родов (50%), появляются всего 3 новых вида, сходных с видами из более древних отложений, новых родов не отмечено. Общее разнообразие двустворок составляет 17 видов, относящихся к 12 родам (с учетом транзитных форм). Почти все они (16 видов) известны в Омолонском бассейне и приурочены к мелководным фациям. В более глубоководных обстановках отмечаются единичные находки двух-трех видов. Только шесть видов двустворок известны из Верхояно-Охотской системы бассейнов. Общий облик сообщества двустворок имеет реликтовый характер за счет явного доминирования раннепермских форм. Следует отметить крайнюю редкость находок остатков двустворок в рассматриваемом интервале (это относится и к другим группам фауны).

Брахиоподы также испытывают катастрофический упадок — среди них вымирает 31 вид (86%) и 15 родов (52%), появляются лишь пять новых видов и два рода. Всего отсюда известно 10 видов девяти родов. Все они встречены в Колымо-Омолонском регионе, в Верхояно-Охотском бассейне известны лишь единичные находки *Kolymaella ogoneperensis* (Zavodowsky).

Среди фораминифер вымирают 23 вида (60%) и пять родов (30%), появляются лишь шесть новых видов. Всего здесь встречены (с учетом транзитных форм) 22 вида 12 родов. В целом облик фораминиферовой биоты наследуется от преды-

дущей зоны. Аммоноидеи не известны из отложенных рассматриваемого уровня, все их представители к этому времени вымирают.

**Седиментогенез и эвстатические изменения.** Событийный рубеж связан с концом крупного трансгрессивно-регрессивного седиментационного цикла 1-го порядка (Кашик и др., 1990; Будников и др., 2003) и наиболее отчетливо фиксируется в относительно мелководных разрезах Омолонского бассейна. В некоторых из них отмечаются признаки черносланцевой седиментации, связанной с накоплением углистых алевролитов (руч. Водопадный) и битуминозных известняков (междуречье Большой и Малой Ауланджи, р. Авлондя). В разрезах относительно глубоководных бассейнов рассматриваемый событийный уровень выражен неотчетливо, поскольку остатки фауны, позволяющие надежно его идентифицировать, обычно отсутствуют. Но и здесь, как правило, часто встречаются алевролиты и аргиллиты, обогащенные органическим веществом (Аян-Юряхский бассейн и юго-восточная периферия Омолонского бассейна).

Достаточно широкое распространение черносланцевой седиментации и почти полное отсутствие остатков фауны в рассматриваемом интервале позволяют предполагать широкое развитие аноксических обстановок, возможно связанных с сероводородным заражением. Последнее косвенно подтверждается тем, что немногочисленные остатки бентоса известны исключительно из очень мелководных разрезов. Это позволяет предполагать почти повсеместное развитие эвксинных обстановок на шельфе в условиях падения уровня Мирового океана.

Возможно, с этим же событием связана активизация Охотского сегмента Охотско-Тайгоносской вулканической дуги. Проявления известково-щелочного вулканизма этого времени выявлены новыми U-Pb датировками (с использованием вторично-ионного масс-спектрометра SHRIMP) матрикса вулканогенных диамиктитов Аян-Юряхского бассейна (Бяков и др., 2010). Средневзвешенный возраст проанализированных 13 зерен цирконов составил  $278.8 \pm 3.0$  млн. лет.

Рассматриваемое событие может быть зафиксировано по значительному уменьшению таксо-

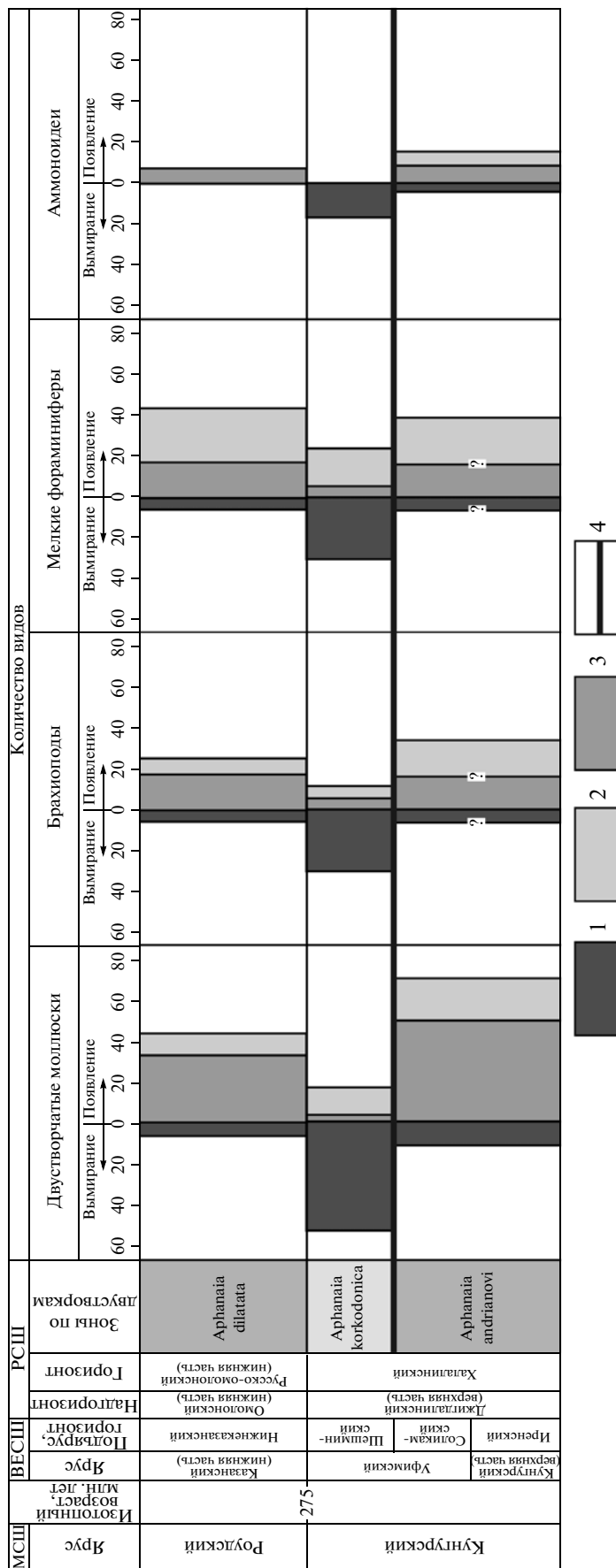


Рис. 2. Изменение основных групп биоты на рубеже нижней и средней перми. 1 — количество вымерших видов, 2 — общее количество видов, 3 — количество вновь появившихся видов, 4 — уровень вымирания.

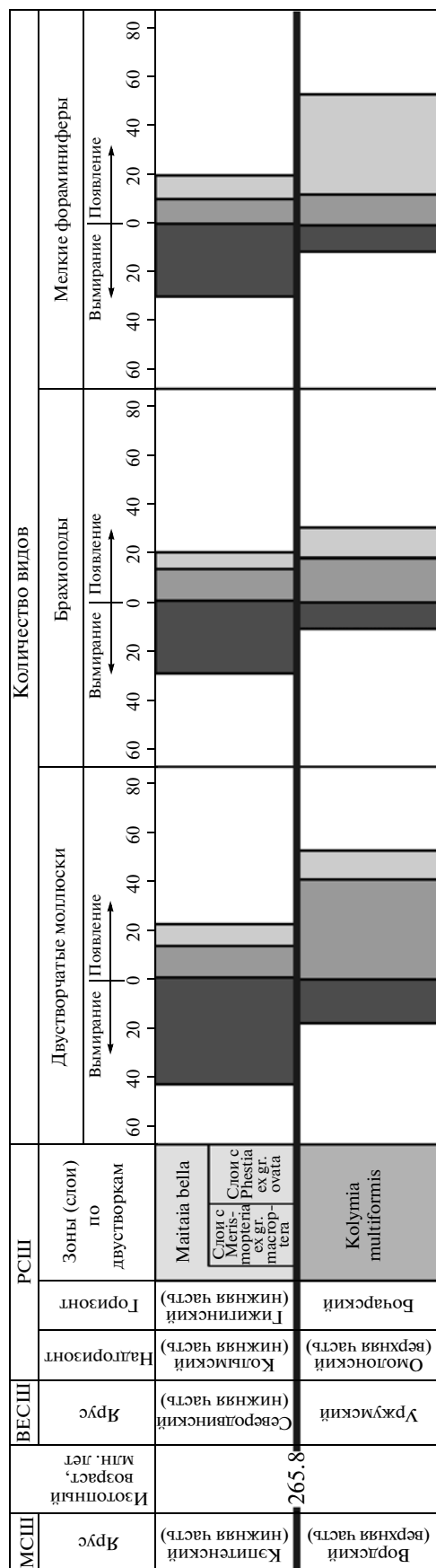


Рис. 3. Изменение основных групп биоты на рубеже ворда–кэпитена. Условные обозначения см. на рис. 2.

номического разнообразия во всех группах фауны в бассейнах различных климатических зон (Zhou et al., 1996), а также в континентальных фациях на Восточно-Европейской платформе (Наугольных, 1992).

#### Раннекэпитенское событие

Впервые событийный характер границы омолонского и колымского надгоризонтов был отмечен в работе (Бяков, Ганелин, 1998), позднее характеристика этого рубежа была дополнена (Бяков, 2008). Событие связано со значительным уменьшением таксономического разнообразия во всех группах фауны (рис. 3). Здесь вымирают многие доминанты среднепермских сообществ, ранее процветавшие в бассейнах Северо-Восточной Азии.

Среди фораминифер исчезают гломоспиреы. Из двустворок вымирают высокоспециализированные эндемики Восточно-Бореальной биогеографической области – двустворчатые моллюски подсемейства *Kolymia* (*Kolymia*, *Taimyrokolymia*), а также ряд других родов колымиид – *Cigarella*, *Evenia*, *Okhotodesma* и представители некоторых палеозойских родов (*Parallelodon*, *Solemya*, *Oriocrassatella*, *Vacunella*). Брахиоподы характеризуются исчезновением ряда “древних” родов (*Komiella*, *Megousia*, *Linoproductus*), резко сокращается разнообразие тонкоструйчатых линпродуктид и гладкосинусных спириферид (Ганелин и др., 2003).

Общее биоразнообразие основных групп фауны в начале кэпитена составило: фораминиферы – 21 вид 11 родов, двустворки – 22 вида 15 родов, брахиоподы – 19 видов 11 родов, что в 1.5–2.5 раза меньше предкризисного уровня. Остатки фауны этого возраста известны преимущественно из мелководных фаций восточной части Омлонского бассейна, где обитали 17 видов семи родов фораминифер, 17 видов 13 родов двустворок, 15 видов девяти родов брахиопод. Во всех других бассейнах кризис выражен гораздо менее отчетливо, поскольку здесь развиты исключительно глубоководные фации, в которых остатки ископаемой фауны встречаются крайне редко. Лишь в Охотском бассейне и некоторых разрезах Верхоянского бассейна кризис фиксируется более-менее четко. В Верхоянском бассейне известно пять видов и пять родов фораминифер, семь видов шести родов двустворок, девять видов восьми родов брахиопод. В Охотском бассейне существовали лишь единичные двустворки (три вида и три рода) и один вид и один род брахиопод.

Особенно велик процент вымирания на видовом уровне (55–85%). Среди фораминифер вымерли 30 видов (56%) и два рода (13%), появились девять видов и два рода; среди двустворок исчезли 45 видов (90%) и 11 родов (73%), появилось 13 видов, новых родов не отмечено; среди брахиопод вымерли 29 видов (88%) и 18 родов (75%), появились 13 видов и два рода.

Еще одна характерная черта кризисных кэпитенских сообществ бентоса – существенное упрощение их структуры. Если для поздневордских ассоциаций характерно экологическое разнообразие и в них преобладают эпи- и инфаунные сестонофаги, то в кэпитенских сообществах существенна роль детритофагов при почти полном отсутствии инфаунных сестонофагов, что особенно свойственно бассейнам с терригенной седиментацией (Верхоянский и Охотский). Последнее может свидетельствовать о дефиците кислорода в осадке.

С начала кэпитена двустворчатые моллюски начинают заметно преобладать над брахиоподами и в мелководных сообществах, что особенно характерно для Верхояно-Охотской системы бассейнов, где брахиоподы нередко почти полностью отсутствуют в сообществах бентоса. Вероятно, во многом это было связано также и с резким сокращением мелководных биотопов в начале кэпитенского века.

**Седиментогенез и эвстатические изменения.** Рассматриваемое событие связано с границей крупных трансгрессивно-регрессивных седиментационных циклов 1-го порядка (Кашик и др., 1990; Будников и др., 2003). Однако в разрезах конкретных бассейнов эта цикличность имеет более сложный характер. Так, для Охотского бассейна отмечается его углубление в конце предыдущего (роудско-вордского) цикла, что фиксируется здесь сменой мелководных алевролитово-песчаных отложений с многочисленной бентосной фауной турбидитами.

Начало гижигинского времени, по-видимому, было связано с неоднократными крупными эвстатическими колебаниями, зафиксированными в образовании мощных толщ и пачек диамиктитов в Охотском и Аян-Юряхском бассейнах, диамиктитов и зерновых потоков Балыгычанского бассейна и микститов Верхоянского бассейна. В большинстве разрезов Омолонского бассейна относительно мелководные “колымиевые” известняки омолонского надгоризонта сменяются более глубоководными глинистыми породами с рассеянным гравийно-галечным материалом.

Образование этих осадков связывается нами с активизацией вулканизма в пределах Охотско-Тайгоносской вулканической дуги и с последующим перемещением продуктов извержений в де-

прессионные части морских бассейнов вследствие крупных эвстатических колебаний (Бяков и др., 2010). В то же время в некоторых разрезах (р. Русская-Омолонская) на событийной границе отмечаются признаки коры выветривания, вероятно связанные со значительным обмелением бассейна.

В Сугойском бассейне на “колымиевых” известняках среднетактайско-юряхской подсвиты залегают аргиллиты и алевролиты, иногда с рассеянным гравийно-галечным материалом верхнетактайско-юряхской подсвиты. В Тасканском бассейне “колымиевые” известняки туринской свиты сменяются аргиллитами нижней части рогачевской свиты. В Балыгычанском бассейне на дистальных турбидитах купкинской свиты залегают грейниты и диамиктиты балыгычанской свиты. На северо-восточной периферии Охотского бассейна и в Аян-Юряхском бассейне дистальные турбидиты и нефелоидиты верхних частей хурэнской свиты, форельской толщи и пионерской свиты сменяются диамиктитами атканской свиты. В большинстве разрезов Верхоянского бассейна более песчаниковая верхняя часть разреза деленжинского горизонта сменяется глубоководными аргиллитами и алевролитами, иногда с прослоями микститов, низов дулгалахского горизонта (Будников и др., 2003).

Все эти осадки свидетельствуют о значительных эвстатических колебаниях и общем углублении бассейнов в условиях крупной трансгрессии. Последнее подтверждается проникновением ряда представителей бентосной фауны за пределы Северо-Восточной Азии. Так, брахиоподы *Cancrielloides obrutshewi* (Likharew) известны в Восточном Забайкалье и Корякском нагорье, а двустворки *Maitaia bella* Biakov – в Забайкалье, Приморье, Северо-Восточной Монголии. Среди двустворок отмечается и присутствие некоторых гондванских таксонов (ряд представителей родов *Glyptoleda*, *Merismopteria*, *Myonia*, *Trabeculatia*, *Australomya*), что свидетельствует о разнонаправленных миграциях фауны (Бяков, 2008).

**Палеомагнетизм.** С рассматриваемой событийной границей, по-видимому, связана и смена полярности магнитного поля. Существовавший почти на протяжении всего пермского периода режим стабильной обратной полярности гиперзоны Киаман сменился знакопеременным режимом гиперзоны Иллаварра. Достоверно появление знакопеременного режима в опорном разрезе по руч. Водопадный (Омолонский массив) установлено несколько выше кризисной границы, что, скорее всего, связано с недостаточной детальностью отбора проб из-за сыпучести нижнегижигинских пород и их частичным перемагничиванием здесь вследствие внедрения силлов и даек

мезозойского возраста (Кашик и др., 1990). Новые палеомагнитные материалы по этому интервалу из разрезов Омuleвского блока пока находятся в стадии изучения, но некоторые полученные предварительные данные (Колесов, 2010) позволяют утверждать, что знакопеременная полярность может быть зафиксирована уже до событийной границы, в верхней части оломонского надгоризонта (бивальвиевая зона *Kolymia multiformis*).

**Изотопная геохимия.** Получены первые данные по изотопии O и C раковинного вещества двустворок и брахиопод из разрезов Омолонского и Тасканского бассейнов (Zakharov et al., 2005; Бяков, 2008; Zakharov et al., 2008). Установлены высокие значения  $\delta^{13}\text{C}$  как в конце оломонского времени (конец ворда), так и в самом начале гижигинского времени (начало кэпитена): от +4.8 до +5.7‰ — и их дальнейшее быстрое снижение до +0.8...+1.1‰. Последнее может свидетельствовать о резком уменьшении продуктивности биоты вследствие развития биотического кризиса. Негативный экскурс  $\delta^{13}\text{C}$  зафиксирован и в ряде разрезов мира (Retallack et al., 2006). Средние оценки палеотемператур морской воды начала кэпитенского века, вычисленные по значениям  $\delta^{18}\text{O}$ , составляют 16.5–19°C, что хотя и ниже температуры конца ворда (20.4°C), но не согласуется с утверждениями ряда авторов о значительном похолодании климата в это время.

Таким образом, раннекэпитенское событие фиксируется весьма отчетливо как в изменении биоты, так и другими данными. Однако причины этого вымирания пока еще недостаточно ясны и, скорее всего, обусловлены действием ряда факторов. По-видимому, одним из наиболее значимых является быстрое затопление мелководных биотопов вследствие существенного эвстатического подъема уровня океана после кратковременной регрессии.

Рассматриваемое событие затронуло все группы фауны и проявилось далеко за пределами Северо-Восточной Азии, особенно в Бореальной надобласти (Zhou et al., 1996; Голубев, 1999; Леонова, 1999; Котляр, 2000; Молостовский и др., 2002). С этим рубежом во многих регионах связаны и крупные абиотические события, как глобальные (смена полярности магнитного поля), так и проявившиеся в региональном масштабе (изменение характера седиментогенеза (Котляр, 2000)).

#### *Ранневучапинское событие*

В это время уровень видового разнообразия фауны был самым низким за всю пермскую историю. Если в конце кэпитенского (гижигинского) века общее биоразнообразие составляло: фора-

миниферы — 23 вида восьми родов, брахиоподы — 10 видов семи родов, двустворки — 20 видов 14 родов, то в начале хивачского (ранневучапинского) века фораминиферы вообще отсутствовали, брахиоподы насчитывали лишь пять видов пяти родов, двустворки — 14 видов девяти родов (с учетом транзитных форм, неизвестных непосредственно в данном интервале, но встречающихся до и после него). Вымирание составило от 65 (двустворки) до 80% (брахиоподы) на видовом уровне и 25–33% на уровне родов. Особенно показательны в этом отношении разрезы Колымо-Оломонского региона, где остатки фауны практически полностью отсутствуют на этом уровне.

**Седиментогенез, эвстатические изменения и изотопная геохимия.** Нередко рассматриваемое событие фиксируется перерывом в разрезе (восточная периферия Омолонского бассейна) или резким сокращением мощности отложений (Балыгычанский бассейн). На этом стратиграфическом уровне во многих бассейнах на Северо-Востоке Азии развиты глубоководные, местами черносланцевые осадки, свидетельствующие, вероятно, о повсеместном развитии аноксических обстановок.

Согласно немногочисленным данным по изотопии биогенных карбонатов, значения  $\delta^{13}\text{C}$  в ранневучапинское время были высокими (+6.9‰), что может быть интерпретировано как признак переизбытка  $\text{CO}_2$  в морской воде вследствие поступления больших его объемов в атмосферу, вызванного вулканической деятельностью, с последующим захоронением углерода в осадках.

**Вулканизм.** Недавно нами получены результаты U-Pb датирования цирконов, выделенных из матрикса вулканогенных диамиктитов Балыгычанского бассейна (Бяков и др., 2010). Средневзвешенный возраст основной популяции цирконов, полученный с использованием LAM ICP-MS и SHRIMP, составил около 260 млн. лет (проанализировано 76 зерен) и  $260.7 \pm 2$  млн. лет (проанализировано 10 зерен) соответственно. Эти данные хорошо согласуются с датировками кэпитенско-вучапинской границы и многочисленных слоев туфов кислых вулканитов щелочного ряда, обнаруженных в Южном Китае и связываемых с деятельностью эмейшаньского суперплюма (Isozaki, 2009).

Очевидно, одной из главных причин этого вымирания следует считать повсеместное развитие аноксии (особенно в глубоководных бассейнах Панталассы) (Kato et al., 2002; Isozaki et al., 2007), вероятно вызванной влиянием эмейшаньского суперплюма (Zhou et al., 2002) и других проявлений глубинного вулканизма.

Скорее всего, раннехивачскому биотическому кризису соответствует мидийско-джульфинское событие массового вымирания, фиксируемое во многих регионах мира по разным группам фауны и флоры (Shen, Shi, 2002; Котляр и др., 2004; Raski, Wignall, 2005 и др.).

#### *Позднечансинское событие*

Позднечансинское событие связано с быстрой элиминацией всей пермской биоты. Докризисные сообщества морской фауны отличались богатством и разнообразием (см. ниже), особенно в Омолонском бассейне, хотя некоторые группы (брахиоподы и мшанки) стали испытывать упадок уже с начала кэпитенского века.

В конце чансинского века существовали лишь единичные представители (четыре вида четырех родов, с доминированием рода *Intomodesma*) двустворчатых моллюсков и гастропод (два вида двух родов). Другие группы фауны в бассейнах Северо-Восточной Азии из этого временного интервала не установлены. Ископаемые сообщества позднего чансина достоверно известны лишь из наиболее глубоководных бассейнов Северо-Востока Азии, где фиксируется непрерывный переход от перми к триасу (Аян-Юрхский и Балыгычанский бассейны и, возможно, южная часть Верхоянского бассейна).

**Седиментогенез, эвстатические изменения и изотопная геохимия.** В разрезах глубоководных бассейнов (Аян-Юрхский и Балыгычанский) фиксируются признаки их обмеления — склоновые обстановки седиментации сменяются более мелководными, близкими к шельфовым, с характерным набором текстур биотурбации осадка. В Верхоянском бассейне обстановки мелкого шельфа сменяются дельтовыми и субаэральными. В относительно мелководных бассейнах (Тасканский бассейн, восточная часть Омолонского бассейна) местами фиксируются признаки перерыва на границе перми и триаса.

В самом конце перми отмечается негативный экскурс кривой  $\delta^{13}\text{C}$  биогенных карбонатов (Zakharov et al., 2005), зафиксированный как в Омолонском бассейне, так и в Верхояно-Охотской системе бассейнов и свидетельствующий о значительном падении первичной биопродуктивности.

Очевидно, рассматриваемое событие отвечает глобальному вымиранию конца пермского периода (Erwin, 1994; Wignall, Twitchett, 1996 и многие др.). В частности, негативный экскурс кривой  $\delta^{13}\text{C}$  на границе перми и триаса документируется не только в биогенных карбонатах (Korte et al., 2005; Zakharov et al., 2005), но и в известняках по валовым пробам и в аргиллитах по органическому углероду (Wignall et al., 1998 и др.) и соответствует

данным по изотопам других элементов во многих разрезах мира (Riccardi et al., 2006 и др.).

Рубеж перми и триаса повсеместно на Северо-Востоке Азии фиксируется углублением бассейнов седиментации; в глубоководных фациях отмечаются признаки глобального аноксического события, выявленного по соотношению содержания  $\text{Mo}$  к  $\text{Mn}$  и полному исчезновению текстур биотурбации осадка (Бяков, Ведерников, 2007). Пермо-триасовый биотический кризис привел к практически полному вымиранию бентосных сообществ, частичное восстановление которых произошло лишь к концу инда. В самом начале триаса существовали только редкие представители отоцерасовой фауны, единичные наутилиды, конодонтофориды и бентосные фораминиферы, распространенные только в южной части Верхоянского бассейна. Из двустворок только иноцерамоподобным и некоторым другим родам удалось пережить это вымирание, однако до сих пор нигде на территории Северо-Востока Азии в самых низах триаса их остатки неизвестны.

#### СОБЫТИЯ УВЕЛИЧЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ПОЯВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЙ

Наряду с событиями вымирания устанавливается несколько уровней значительного увеличения таксономического разнообразия двустворок — раннеассельское (раннеорочское), среднекунгурское (раннехалалинское), роудское (раннерусско-омолонское), поздневордское (бочарское) и раннечансинское (середина позднехивачского времени) события. Обычно эти события сменяются эпизодами массовых вымираний. С большинством из них связано увеличение биоразнообразия и в других группах пермской биоты, а также появление инноваций среди колымиид — ведущей группы двустворчатых моллюсков бассейнов Северо-Востока Азии. Многие события маркируют развитие трансгрессий и сопровождаются изменением характера седиментогенеза, изотопных параметров и других факторов среды (рис. 1).

#### *Раннеассельское событие*

В зоне *Prothyris elongatus* наблюдается резкое (более чем в два раза по сравнению с концом карбона) увеличение биоразнообразия двустворок: отсюда известны 43 вида, относящихся к 31 роду. Отмечается появление 27 новых видов и пяти новых родов, в том числе такого доминанта мунугуджакских сообществ, как род *Myorphossa*, вымирающих родов нет. Среди фораминифер появляются первые лагениды (Ганелин и др., 2003).



Рассматриваемое событие распознается пока только в Омолонском бассейне, хотя имеются некоторые данные и по Верхояно-Охотской системе бассейнов, свидетельствующие об определенном увеличении биоразнообразия в это время среди брахиопод (Клец, 2005). Среди них появляются представители четырех новых родов, в частности такие характерные, как *Neochonetes*, *Quinquenella* и *Pterospirifer*. Возможно, в бассейнах Тетической надобласти раннеассельское событие тоже может быть зафиксировано по росту биоразнообразия фузулинид (Левен, 2004).

**Седиментогенез, изотопная геохимия и эвстатические изменения.** Событие отвечает небольшой трансгрессии, фиксируемой появлением среди двустворок некоторых североамериканских (род *Myalina*) и гондванских (*Astartila*, *Undulomya*, *Duasma* и *Myophossa*) элементов. Отмечается широкое развитие бивальвиево-брахиоподовых биогермов, к которым и приурочено максимальное разнообразие раннеассельских сообществ.

Положительный экскурс  $\delta^{13}\text{C}$  биогенных карбонатов (до +2.8‰; Бяков, 2008), очевидно, свидетельствует об увеличении первичной биопродуктивности сообществ.

#### *Среднекунгурское событие*

Среднекунгурское событие отмечено значительным ростом биоразнообразия во всех группах фауны (рис. 2). Наблюдается максимальное для всего пермского периода разнообразие двустворчатых моллюсков – 72 вида, относящихся к 40 родам; появляются 51 новый вид и 11 новых родов. При этом в Колымо-Омолонском регионе установлен 41 вид 33 родов, а в Верхояно-Охотском – 51 вид 28 родов двустворок. Ведущая группа двустворок – колымиды – испытывает расцвет и диверсификацию. Среди них появляются два новых рода (*Praekolymia* и *Costatoaphanaia*) и большое количество новых видов, особенно в Верхояно-Охотском бассейне, где известны 15 видов иноцерамоподобных двустворок.

Брахиоподовые сообщества рассматриваемого уровня представлены 36 видами 29 родов, из них в Колымо-Омолонском регионе установлены 22 вида 18 родов, а в Верхояно-Охотском – 19 видов 15 родов (Ганелин и др., 2003; Клец, 2005). Среди фораминифер известны 39 видов 17 родов: из Колымо-Омолонских разрезов – 33 вида 13 родов и из Верхояно-Охотского региона – шесть видов четырех родов. Появляются четыре новых рода фораминифер – *Rectoglandulina*, *Dentalina*, *Pseudonodosaria* и *Omoloniella* (Karavaeva, Nestell, 2007). Сообщество аммоноидей почти полностью обновляется и насчитывает 15 видов и 10 родов, из которых наиболее характерны *Tumagoceras* и *Erijuresanites*. Только шесть видов и пять родов

аммоноидей присутствуют в Колымо-Омолонском регионе и 12 видов восьми родов установлены в Верхояно-Охотском регионе (Кутыгин, 2004). Для всех групп фауны характерно появление таксонов-иммигрантов из Западно-Бореальной биогеографической области.

Среднекунгурское биотическое событие прослеживается и по ряду других групп фауны практически повсеместно (Чувашов, 1997; Леонова, 1999; Shen, Shi, 2002).

**Седиментогенез, климатические и эвстатические изменения.** Событие совпадает с одной из наиболее крупных пермских трансгрессий, способствовавшей проникновению в бассейны Северо-Восточной Азии западнобореальных видов двустворчатых моллюсков и брахиопод, и, вероятно, с определенным потеплением климата, фиксируемым появлением некоторых теплолюбивых родов двустворок (*Obliquipeecten* и *Euchondria*).

В разрезах мелководных частей Омолонского бассейна прекращается накопление толщ “колымиевых” известняков, характерных для конца артинского века – начала кунгурского века. В глубоководных бассейнах местами отмечается турбидитовая седиментация. Значения  $\delta^{13}\text{C}$  биогенных карбонатов испытывают флуктуации – от минимальных (+0.6‰) в начале события до +3‰ в его середине.

#### *Раннероудское событие*

Раннероудское событие характеризуется увеличением в 2–2.5 раза биоразнообразия во всех группах фауны. Возникают многие представители таксонов, доминирующих на протяжении более поздних этапов развития. Двустворчатые моллюски представлены 43 видами 26 родов, из которых вновь появившиеся насчитывают 32 вида и восемь родов, в том числе одни из характернейших представителей группы иноцерамоподобных двустворок – *Kolymia* и *Syrtokolymia*. Вымирают семь видов, вымерших родов нет. В Колымо-Омолонской системе бассейнов (главным образом на Омолонском массиве) установлены 26 видов 19 родов, в Верхояно-Охотской – 31 вид 17 родов двустворок.

Ведущая группа двустворок – колымиды – испытывает расцвет: в это время существуют шесть родов иноцерамоподобных и возникают две крупные инновации на уровне родов, один из которых (*Kolymia*) составляет основу бентосных сообществ на протяжении роуда и ворда. Диверсификация иноцерамоподобных двустворок, особенно проявившаяся в Верхоянском и Охотском бассейнах, очевидно, была обусловлена большим количеством экологических ниш, осво-

бодившихся после позднекунгурского вымирания.

Брахиоподы насчитывают 25 видов 23 родов; из них 16 видов 14 родов известны из разрезов Колымо-Омолонского региона и 13 видов 13 родов — из разрезов Верхояно-Охотского региона. Появляются 18 видов 16 родов брахиопод, в том числе такие характерные, как *Mongolusia*, *Terrakea* и *Strophalosia* (Ганелин и др., 2003; Клец, 2005). Вымирают четыре вида и два рода. Фораминиферы представлены 44 видами 12 родов, почти все из них (43 вида и 11 родов) известны из разрезов Омолонского бассейна и только четыре вида трех родов (агглютинирующие формы) — из Верхоянского бассейна. Появляются 18 новых видов и два рода фораминифер, вымирают только четыре вида; вымерших родов нет. Сообщество аммоноидей полностью обновляется и представлено восемью видами пяти родов (четыре вида трех родов в Колымо-Омолонской системе бассейнов и все известные отсюда таксоны в Верхояно-Охотской системе бассейнов), в том числе таких характерных, как *Sverdrupites* и *Daubichites* (Кутыгин, 2004).

Начиная с роуда двустворчатые моллюски постепенно вытесняют брахиопод с исторической сцены, что особенно характерно для Верхояно-Охотской системы бассейнов.

**Седиментогенез, климатические и эвстатические изменения, изотопная геохимия.** Событие совпадает с крупной трансгрессией и вероятным потеплением климата, выраженным в появлении ряда тетических и западнобореальных форм среди двустворчатых моллюсков (*Septimyalina?*, *Vnigrpecten*, *Cyrtorostra*) и аммоноидей. В ряде относительно мелководных бассейнов Колымо-Омолонского региона (Омолонский, Тасканский) оно характеризуется возобновлением интенсивного карбонатонакопления. В то же время в глубоководных бассейнах седиментологическое проявление события неотчетливо. Лишь местами оно отмечено формированием турбидитов (Охотский, Балыгычанский бассейны). Значения  $\delta^{13}\text{C}$  биогенных карбонатов достигают 5.4‰, свидетельствуя о высокой первичной биопродуктивности сообществ.

Рассматриваемое событие широко трассируется в Бореальной надобласти, ряде регионов Тетиса и Гондваны экспансией аммоноидей рудского комплекса и инновациями в основных группах фауны (Котляр и др., 2004).

#### *Поздневордское событие*

Поздневордское событие фиксируется значительным увеличением (почти вдвое на видовом уровне) таксономического разнообразия во всех

группах фауны. Общее число таксонов основных групп бентоса в бассейнах Северо-Восточной Азии в конце ворда составляло: фораминиферы — 54 вида 16 родов, двустворки — 53 вида 29 родов (вновь появившихся 41 вид и шесть родов), брахиоподы — 33 вида 24 родов. В Омолонском бассейне существовали 46 видов 12 родов фораминифер, 19 видов 14 родов двустворок, 26 видов 18 родов брахиопод. В Охотском бассейне обитали 19 видов 16 родов двустворок, восемь видов и восемь родов брахиопод; фораминиферы неизвестны. В Верхоянском бассейне установлено 12 видов восьми родов фораминифер, 32 вида 18 родов двустворок, 12 видов 11 родов брахиопод.

Испытывают расцвет колымииды, среди которых в это время существовали семь родов, в том числе два специализированных (*Taimyrokolytia* и *Okhotodesma*). Среди фораминифер впервые появляются крупные ректогландулины и первые фрондины (Karavaeva, Nestell, 2007). Сообщество брахиопод пополнилось тремя новыми родами — *Olgerdia*, *Magadania*, *Cancrinelloides* (Ганелин и др., 2003). Появление новых таксонов среди двустворок и брахиопод было обусловлено как вселением иммигрантов, так и усилением темпов местного видообразования вследствие увеличения числа новых биотопов.

**Седиментогенез, климатические и эвстатические изменения, изотопная геохимия.** Событие связано с небольшим трансгрессивным эпизодом и, вероятно, с некоторым потеплением климата на фоне высоких значений  $\delta^{13}\text{C}$  (до 5.7‰) биогенных карбонатов. Оно сопровождалось проникновением ряда тетических (“*Heteropecten*” cf. *girtyi* Newell, “*H.*” cf. *gryphus* Newell, *Oriocrassatella elongata* Newell), западнобореальных (*Evenia lenaense* (Voronez)) и нотальных (*Atomodesma* ex gr. *exaratum* Beyrich, *Myonia* ex gr. *elongata* Dana и др.) форм среди двустворок. В ряде бассейнов Колымо-Омолонского региона (Омолонский, Тасканский) продолжается интенсивное карбонатонакопление, нередко сопровождавшееся привносом терригенного материала; в Аян-Юряхском, Балыгычанском и Охотском бассейнах отмечаются незначительные проявления базальтового вулканизма.

#### *Поздневучапинско-раннечансинское событие*

В середине позднехивачского времени (фазы *costatum* и *evenicum*) брахиоподы были представлены 12 видами семи родов, двустворки — 41 видом 24 родов (из них 31 вид и четыре рода — вновь появившиеся); поразительно многочисленны были фораминиферы, насчитывающие 63 вида 11 родов (Karavaeva, Nestell, 2007). Таксономическое разнообразие на видовом уровне увеличилось у двустворок в 2.7 раза, у брахиопод в 3 раза.

Наиболее разнообразные и многочисленные сообщества фауны этого времени известны из разрезов Омолонского бассейна, где присутствуют даже такие редкие для северо-восточно-азиатских бассейнов группы, как остракоды и ругозы. В Верхояно-Охотской системе бассейнов разнообразие биоты заметно меньше и уступает омолонскому по двустворкам и брахиоподам примерно в два раза, а по фораминиферам в несколько раз.

Вполне вероятно, что этому биотическому событию резкого увеличения таксономического разнообразия во всех группах фауны соответствует вятский этап развития на Восточно-Европейской платформе, также характеризующийся существенным ростом таксономического разнообразия всех групп биоты (Молостовский и др., 2002).

**Седиментогенез, климатические и эвстатические изменения, изотопная геохимия.** Событие связано с небольшим трансгрессивным эпизодом, отмеченным появлением ряда западнобореальных и тетических элементов среди двустворчатых моллюсков. В Омолонском и Гижигинском бассейнах фиксируется последняя вспышка карбонатообразования, выразившаяся в накоплении прослоев и пачек (до нескольких десятков метров) “колымиевых” известняков. В то же время в глубоководных бассейнах Охотско-Тайгоносской вулканической дуги (Аян-Юряхский, Омолонский, Гижигинский, Тайгоносский) сохраняется черносланцевая седиментация и связанные с ней аноксидные условия.

Оценки палеотемпературы морской воды (+23.1°C), рассчитанные по значению  $\delta^{18}\text{O}$ , очевидно, свидетельствуют о потеплении климата. Присутствие тетических и низкобореальных родов двустворок *Vnigripecten*, *Guizhoupecten*, *Surgostrotra*, *Fasciculiconcha* и *Claraoides* подтверждает это предположение.

Для события характерны высокие значения  $\delta^{13}\text{C}$  (5.3–5.6‰) биогенных карбонатов, свидетельствующие о высокой первичной биопродуктивности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изучение динамики таксономического разнообразия двустворчатых моллюсков Северо-Восточной Азии на протяжении перми позволило выявить ряд крупных биотических событий этого времени. Почти все они в дальнейшем нашли подтверждение при анализе биоразнообразия других основных групп пермской биоты. Выявленные биотические события (особенно эпизоды вымираний) получили отражение и в

резких изменениях различных абиотических факторов окружающей среды.

Из изложенного следует, что глобальное событие вымирания конца пермского периода было “подготовлено” серией предшествовавших ему вымираний, начиная с конца ранней перми. В то же время некоторые биотические события, установленные за пределами Северо-Востока Азии (например, среднеартинское (Левен и др., 1996)), не получили подтверждения в наших материалах.

Основные причины событий вымирания связаны, скорее всего, с усилением 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  $\text{CO}_2$ , вызывавшими широкое развитие аноксических, а нередко и эвксинных обстановок. В некоторых случаях это предположение подтверждается данными изотопной геохимии (для начала кэпитена) и соотношением содержания Mo/Mn (граница перми и триаса).

События увеличения биоразнообразия и появления инноваций, которые в ряде случаев следуют непосредственно за эпизодами вымираний, могут быть объяснены быстрым заполнением освободившихся после вымираний экологических ниш и последующей быстрой дивергенцией ряда групп фауны. Кроме того, в большинстве случаев существенную роль в увеличении биоразнообразия сыграли таксоны-иммигранты из других биохорий, вселявшиеся в моря Северо-Востока Азии благодаря крупным трансгрессиям.

Выявленные биосферные события маркируют границы пермской системы. Большая часть из них (особенно события массового вымирания) прослеживается далеко за пределами Северо-Восточной Азии и может быть использована для целей глобальной корреляции. Следует признать, что предстоит еще немало сделать, чтобы расшифровать причинно-следственные связи между различными абиотическими факторами каждого из рассмотренных событий.

*Благодарности.* Автор выражает искреннюю признательность Т.Б. Леоновой за конструктивные критические замечания.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты №№ 11-05-0053, 11-05-00950, 11-05-98569-р\_восток и 09-05-98518-р\_восток.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Будников И.В., Гриненко В.С., Клец А.Г. и др.* Модель формирования верхнепалеозойских отложений востока Сибирской платформы и ее складчатого обрамления // Отечественная геология. 2003. № 6. С. 86–92.

- Бяков А.С. Пермские двустворчатые моллюски Северо-Востока Азии: зональная стратиграфия, событийная корреляция, палеобиогеография. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 42 с.
- Бяков А.С., Ведерников И.Л. Свидетельства аноксии на рубеже перми и триаса в глубоководных фациях на Северо-Востоке Азии // Докл. АН. 2007. Т. 417. № 5. С. 654–656.
- Бяков А.С., Ганелин В.Г. Раннетатарский (гижигинский) биотический кризис на Северо-Востоке Азии и его возможные причины // Биостратиграфия и эколого-биосферные аспекты палеонтологии. Тез. докл. XLIV сессии Палеонтол. об-ва. СПб., 1998. С. 17–18.
- Бяков А.С., Ведерников И.Л., Акинин В.В. Пермские диамиктиты Северо-Востока Азии и их вероятное происхождение // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 1. С. 14–24.
- Ганелин В.Г., Бяков А.С., Караваева Н.И. Региональная стратиграфическая схема перми Северо-Востока России // Геодинамика, магматизм и минерализация континентальных окраин севера Пацифики. Материалы Всеросс. совещ., посвященного 90-летию акад. Н.А. Шило. Т. 1. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. С. 125–131.
- Голубев В.К. Биостратиграфия верхней перми Европейской России по наземным позвоночным и проблемы межрегиональных корреляций пермских отложений // Доклады Междунар. симпозиума “Верхнепермские стратотипы Поволжья” М.: ГЕОС, 1999. С. 228–240.
- Кашик Д.С., Ганелин В.Г., Караваева Н.И. и др. Опорный разрез перми Омолонского массива. Л.: Наука, 1990. 200 с.
- Клец А.Г. Верхний палеозой окраинных морей Ангариды. Новосибирск: Гео, 2005. 240 с.
- Колесов Е.В. Магнитостратиграфия палеозоя Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2010. 264 с.
- Котляр Г.В. Среднетатарское событие // Использование событийно-стратиграфических уровней для межрегиональной корреляции фанерозоя России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. С. 53–55.
- Котляр Г.В., Коссовая О.Л., Журавлев А.В. Межрегиональная корреляция основных событийных рубежей пермской системы // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23. № 4. С. 25–42.
- Кутыгин Р.В. Ареалы распространения пермских комплексов аммоноидей Верхоянья // Отечественная геология. 2004. № 5. С. 75–80.
- Левен Э.Я. Фузулиниды и пермская шкала Тетиса // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2004. Т. 12. № 2. Р. 33–47.
- Левен Э.Я., Богословская М.Ф., Ганелин В.Г. и др. Перестройка морской биоты в середине раннепермской эпохи // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1996. Т. 4. № 1. С. 61–70.
- Леонова Т.Б. Об этапности развития и биогеографии пермских аммоноидей // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1999. Т. 7. № 6. С. 53–65.
- Молостовский Э.А., Молостовская И.И., Миних А.В., Миних М.Г. К реконструкции общей стратиграфической шкалы верхнего отдела пермской системы // Известия вузов. Геология и разведка. 2002. № 1. С. 8–20.
- Наугольных С.В. Экологическая катастрофа в пермском периоде? // Природа. 1992. № 4. С. 64–66.
- Чувашов Б.И. Кунгурский ярус пермской системы (проблемы выделения и корреляции) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1997. Т. 5. № 3. С. 10–28.
- Erwin H. The Permo-Triassic extinction // Nature. 1994. V. 367. P. 231–236.
- International Permian Time Scale // Permophiles. 2010. Iss. 55. P. 33.
- Isozaki Y. Illawarra Reversal: The fingerprint of a superplume that triggered Pangean breakup and the end-Guadalupian (Permian) mass extinction // Gondwana Res. 2009. V. 15. P. 421–432.
- Isozaki Y., Kawahata H., Ota A. A unique carbon isotope record across the Guadalupian–Lopingian (Middle–Upper Permian) boundary in mid-oceanic paleo-atoll carbonates: the high-productivity “Kamura event” and its collapse in Panthalassa // Global and Planetary Change. 2007. V. 55. P. 21–38.
- Karavaeva N.I., Nestell G.P. Permian foraminifers of the Omolon massif, northeastern Siberia, Russia // Micropaleontology. 2007. V. 53. № 3. P. 161–211.
- Kato Y., Nakao K., Isozaki Y. Geochemistry of Late Permian to Early Triassic pelagic cherts from southwest Japan: implications for an oceanic redox change // Chem. Geol. 2002. V. 182. P. 15–34.
- Korte K., Jasper T., Kozur H.W., Veizer J.  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  of Permian brachiopods: a record of seawater evolution and continental glaciation // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2005. № 224. P. 333–351.
- Racki G., Wignall P.B. Late Permian double-phased mass extinction and volcanism: an oceanographic perspective // Understanding Late Devonian and Permian–Triassic biotic and climatic events: towards an Integrated approach. Eds. Over D.J., Morrow J.R., Wignall P.B. Oxford: Elsevier, 2005. P. 263–297.
- Retallack G.J., Metzger C.A., Greaver T. et al. Middle–Late Permian mass extinction on land // GSA Bull. 2006. V. 118. № 11/12. P. 1398–1411.
- Riccardi A.L., Arthur M.A., Kump L.R. Sulfur isotopic evidence for chemocline upward excursions during the end-Permian mass extinction // Geochim. Cosmochim. Acta. 2006. V. 70. P. 5740–5752.
- Shen S., Shi G.R. Paleobiogeographical extinction patterns of Permian brachiopods in the Asian–western Pacific region // Paleobiology. 2002. V. 28. № 4. P. 449–463.
- Wignall P.B., Twitchett R.J. Oceanic anoxia and the end Permian mass extinction // Science. 1996. V. 272. № 5265. P. 1155–1158.

*Wignall P.B., Morante R., Newton R.* The Permo-Triassic transition in Spitsbergen:  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  chemostratigraphy, Fe and S geochemistry, facies, fauna and trace fossils // *Geol. Mag.* 1998. V. 135. № 1. P. 47–62.

*Zakharov Y.D., Biakov A.S., Baud A., Kozur H.* Significance of Caucasian sections for working out carbon-isotope standard for Upper Permian and Lower Triassic (Induan) and their correlation with the Permian of North-Eastern Russia // *J. China University of Geosciences.* 2005. V. 16. № 2. P. 141–151.

*Zakharov Y.D., Popov A.M., Biakov A.S.* Late Permian to Middle Triassic palaeogeographic differentiation of key am-

monoid groups: evidence from the former USSR // *Polar Res.* 2008. V. 27. Iss. 3. P. 441–468.

*Zhou M.-F., Malpas J., Song X.-Y., Robinson P.T.* A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2002. V. 196. P. 113–122.

*Zhou Z., Glenister B.F., Furnish W.M., Spinosa C.* Multi-episodal extinction and ecological differentiation of Permian ammonoids // *Permophiles.* 1996. Iss. 29. P. 52–62.

*Рецензенты Т.Б. Леонова, Б.С. Соколов*