

УДК @@@

ПЛИНСБАХ – ТОАРСКАЯ БИОТИЧЕСКАЯ ПЕРЕСТРОЙКА НА СЕВЕРЕ СИБИРИ И В АРКТИКЕ

© 2006 г. В. А. Захаров*, Б. Н. Шурыгин**, В. И. Ильина**, Б. Л. Никитенко**

*Геологический институт РАН, Москва

**Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН, Новосибирск

Поступила в редакцию 31.01.2006 г.

Описана биотическая перестройка (БП) в пограничном интервале плинсбаха – тоара на севере Сибири среди двустворок, остракод, фораминифер, диноцист, спор и пыльцы (СПК). Границу плинсбаха и тоара на севере Сибири пересекают только 5 из 24 родов двустворчатых моллюсков и 2 из 4-х родов остракод и в основании зоны *Narproceras falciferum* полностью обновляется родовой и семейственный состав. В пределах трех аммонитовых зон наблюдается снижение родовой разнообразия у фораминифер: с 27 в зоне *Amaltheus margaritatus* (верхний плинсбах) до 17 в зоне *Tiltoniceras antiquum* (нижний тоар) и до 15 в зоне *Narproceras falciferum*, единичные находки диноцист в плинсбахе сменяются изобильными в основании тоара, существенно перестраиваются СПК. Обсуждаются причины “массовых вымираний” морских беспозвоночных с привлечением гипотезы палеогеографических перестроек, аноксийных событий, эвстатических колебаний уровня моря и климатических флуктуаций. Главной причиной БП в Арктике являются флуктуации тепла. БП связана, не столько с вымираниями, сколько со смещением границ ареалов таксонов к югу в период быстрого похолодания и постепенным возвращением тех же таксонов на прежние места обитания в период потепления.

Ключевые слова. Плинсбах, тоар, биотическая перестройка, север Сибири, двустворчатые моллюски, фораминиферы, остракоды, диноцисты, споры, пыльца, палеоклимат, эвстатика, аноксия.

ВВЕДЕНИЕ

Биотическая перестройка на границе плинсбаха и тоара (183 млн. лет) в глобальном масштабе была установлена Д. Раупом и Д. Сепкоски на основе анализа динамики таксономического разнообразия семейств морских беспозвоночных фанерозоя (Raup, Sepkoski, 1982, 1984; Sepkoski, Raup, 1986). По данным Д. Сепкоски из 12 пиков вымирания в фанерозое – 10 приходятся на последние 250 млн. лет. Плинсбах-тоарское вымирание третье в этом временном диапазоне после конечно-пермского и конечно-триасового. Правда, по интенсивности оно значительно слабее предшествующих двух, но пик вымирания на границе плинсбаха и тоара устойчиво присутствует при каждом повторном исследовании. К. Литтл и М. Бентон (Little, Venton, 1995) выявили уровни вымирания семейств, которые охватывают 5 фаз по аммонитам в течение позднего плинсбаха и раннего тоара в интервале 7.5 млн. лет, и показали, что эти уровни были распространены неравномерно в бореальной, тетической и австралийской областях. Наиболее детально поведение макрофауны беспозвоночных было изучено на полных в седиментационном отношении осадочных последовательностях в Северо-Западной Европе. Было установлено, что большинство видовых вы-

мираний имело место в раннем тоаре вследствие регионального аноксидного события. Таким образом, не было обнаружено свидетельств единого массового вымирания в конце плинсбаха на семейственном таксономическом уровне, как предполагал Д. Сепкоски (Sepkoski, 1990). Скорее, имеется 5 зональных фаз вымирания от позднего плинсбаха до раннего тоара.

На региональном уровне (разрезы морских отложений на севере Западной Европы) биотическая перестройка впервые была описана Э. Хэллемом вначале на основе анализа двустворчатых моллюсков (Hallam, 1986), и вскоре других групп морских беспозвоночных: аммонитов, брахиопод, фораминифер, остракод (Hallam, 1987). Затем В.А. Захаров, Б.Н. Шурыгин, В.И. Ильина и Б.Л. Никитенко привели свидетельства существенной биотической перестройки на этом же рубеже среди двустворчатых моллюсков, остракод, фораминифер, диноцист, спор и пыльцы на севере Сибири (Захаров и др., 1993, 1994; Ильина и др., 1994; Nikitenko, Shurygin, 1994; Zakharov, 1994). Позднее М. Аберхан и Ф. Фюрзих (Aberhan, Fursich, 1997) обнаружили перестройку в сообществах морских двустворок Андского бассейна (Южная Америка). Эти авторы заявили, что открытие второго региона дает им основание для

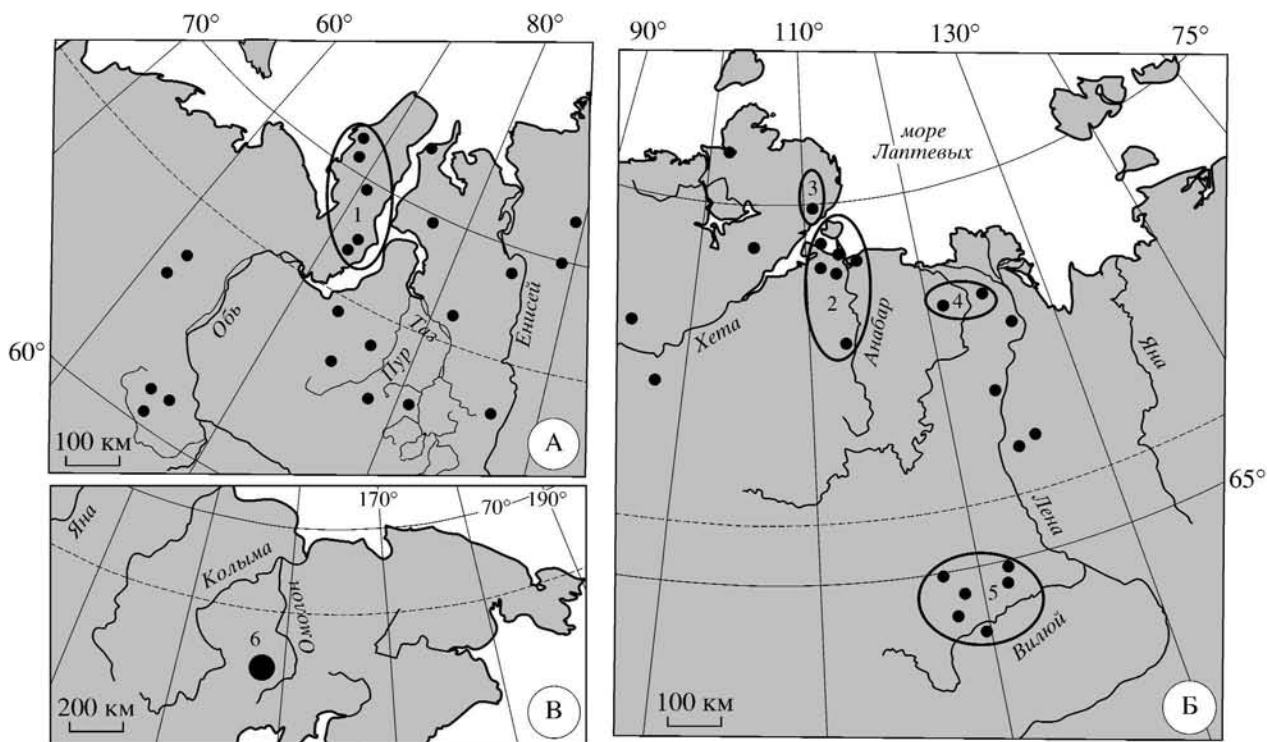


Рис. 1. Схема расположения изученных основных разрезов нижней юры азиатской части России (А – Западная Сибирь, Б – Восточная Сибирь, В – Северо-Восток России). Точки показывают местонахождения изученных разрезов, в овалах с нумерацией – основные эталонные разрезы нижней юры:

1 – север Западной Сибири (скв. Новопортовская, Бованенковская, Харасавейская, Арктическая и других площадей); 2 – Анабаро-Нодвикский район (обнажения, скв. Суолемской и Восточной площадей); 3 – Восточный Таймыр; 4 – Оленек-Келимярский район; 5 – Вилюйская синеклиза (разрезы по рекам Тунг, Марха, Вилюй и скважины); 6 – Северо-Восток России (басс. р. Левый Кедон).

заклучения о глобальном характере перестройки биоты на границе плинсбах и тоара. Ссылки на публикации российских исследователей в трудах этих авторов появились позже (Aberhan, Fug-sich, 2000).

СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ

Нижнетоарские глины, распространенные в Сибири на площади нескольких миллионов квадратных километров, перекрывают песчаные и алевроитовые породы верхнего плинсбаха с седиментационным, но обычно без биостратиграфического перерыва. Эти отложения весьма однородные по литологии и геохимическим параметрам охватывают зоны *Tiloniceras antiquum*, *Naugoceras falciferum* и нижнюю часть *Dactyloceras commune* (Князев и др., 1991). На севере Восточной Сибири они известны как китербютский горизонт, в Западной Сибири – как китербютская и тогурская свиты, в Вилюйской гемисинеклизе и Приверхоянье – как сунтарская свита (нижняя ее часть). Общая площадь нижнетоарских глинисто-алевритовых толщ превышает 1 млн. км². На

большей части этой площади удивительно устойчива мощность глин в пределах 20–40 м. Благодаря хорошо разработанной системе параллельных зональных шкал все разрезы морского нижнего тоара уверенно сопоставляются между собой на уровне зон по аммонитам, двустворкам, фораминиферам и остракодам (Шурыгин и др., 2000). На основе параллельных шкал по этим группам пограничный плинсбах-тоарский интервал на севере Сибири достаточно надежно скоррелирован с одновозрастными по всей Арктике, Северо-Восточной Азии и на севере Восточной Европы. Это позволило нам при оценке БП привлекать материалы не конкретного разреза, а многочисленных местонахождений переходных плинсбах/тоарских слоев не только на севере Сибири, но и по всей Арктике: островам – Свальбарду, Земле Франца-Иосифа и Северной Аляске (рис. 1).

Разрезы верхнего плинсбаха и нижнего тоара на севере Сибири довольно существенно различаются по литологическому строению. В разрезах Усть-Енисейского района, Енисей-Хатанского прогиба (рис. 1, А, Б), Восточного Таймыра (рис. 1, 3Б), р. Анабар (рис. 1, 2Б) в основании верхнего плинсбаха широко развита зимняя свита

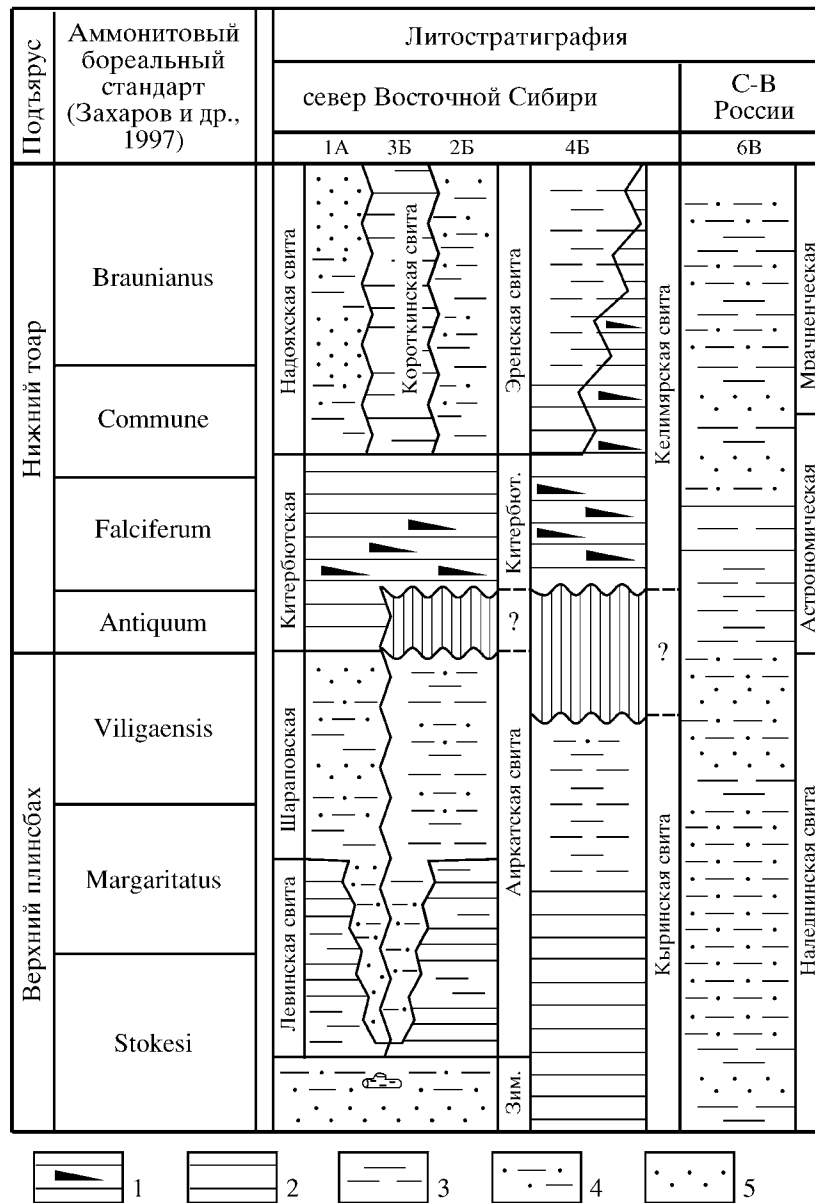


Рис. 2. Стратиграфические колонки верхнего плинсбах и нижнего тоара на севере Азии:

1 – высокоуглеродистые глины и аргиллиты; 2 – глины и аргиллиты; 3 – алевролиты и алевролиты; 4 – песчаные алевролиты и алевролиты; 5 – пески и песчаники. Зим. – зимняя свита; китербот. – китерботская свита; др. усл. обозначения см. на рис. 1.

(геттанг – низы верхнего плинсбах) (рис. 2), представленная морскими, прибрежно-морскими песчаниками с пропластками аргиллитов и алевролитов. На разных уровнях отмечаются прослои гравеллитов и конгломератов. На северо-востоке Восточной Сибири (бассейн р. Оленек) (рис. 1, 4Б) аналогом зимней свиты является нижняя часть глинистой морской кыринской свиты (геттанг–плинсбах) сложенной глинами с прослоями алевролитов и песков. Зимняя свита в Усть–Енисейском районе и на западе Енисей-Хатангского прогиба согласно перекрывается морскими темно-се-

рыми аргиллитами и алевролитами левинской свиты (средняя часть верхнего плинсбах) (рис. 2) с рассеянной галькой кварца, кремней и эффузивных пород. На севере Западной Сибири (рис. 1, 1А) левинская свита залегает на породах палеозоя. В разрезах Восточного Таймыра (рис. 1, 3Б), р. Анабар (рис. 1, 2Б) левинской свите соответствует нижняя часть аиркатской свиты (средняя часть верхнего плинсбах), сложенной преимущественно глинами и аргиллитами с прослоями алевролитов и с редко рассеянной галькой. Более высокие горизонты аиркатской свиты

(верхняя половина верхнего плинсбаха) представлены циклично построенными пачками крупнозернистых алевритов с прослоями глин и мелкозернистых песчаников. На севере Западной Сибири, западной части Енисей-Хатангского прогиба этому уровню соответствует шараповская свита (рис. 2), которая представлена мелководно- и прибрежно-морскими алевролитами, аргиллитами, песчаниками с небольшими прослоями конгломератов и гравелитов. В разрезах Северо-Востока России (Омолонский массив) (рис.1, 6В) обособляется наледнинская свита (рис. 2) сложенная преимущественно алевролитами, песчаными алевролитами с прослоями песчаников и глин (верхний плинсбах).

Тоарские отложения резко обособляются в разрезах благодаря однообразному глинистому, часто тонкоотмученному составу нижней части толщи, с повышенным содержанием органического вещества и, иногда, битуминозному. В разрезах западной и центральной частей Восточной Сибири (рис. 1, А, 2Б, 3Б) в основании тоара залегает китербютская свита (нижняя часть нижнего тоара) (рис. 2), представленная монотонной толщей аргиллитов или тонкоотмученных глин, в прослоях часто битуминозных. В восточном направлении (рис. 1, 4Б) китербютская свита замещается тонкоотмученными глинами нижней части келимярской свиты (тоар – низы бата). В основании келимярской свиты выделяется маломощная курунгская пачка (нижний тоар – основание верхнего тоара), представленная черными сланцеватыми битуминозными глинами. В разрезах Северо-Востока России (рис. 1, 6В) уровню китербютских глин примерно соответствуют тонкоотмученные глины с прослоями алевритов астрономической свиты (рис. 2). На севере Западной Сибири, Усть-Енисейском районе и западной части Енисей-Хатангского прогиба китербютские глины перекрываются чередованием песчаников и алевролитов с редкими прослоями аргиллитов нижней части надояхской свиты (верхняя часть нижнего тоара – низы нижнего аалена). В разрезах Восточного Таймыра (рис. 1, 3Б) синхронные отложения представлены глинами и аргиллитами короткинской свиты (рис. 2). В разрезах р. Анабар (рис. 1, 2Б) эта часть тоара представлена циклично построенной песчано-алевролитовой толщей эренской свиты (верхняя часть нижнего – низы верхнего тоара). В Вилнойской синеклизе (рис. 1, 5Б) нижнетоарские отложения сложены в нижней части тонкоотмученными, иногда битуминозными глинами, в верхней – алевритистыми глинами с прослоями алевритов и песчаников сунтарской свиты (тоар – низы нижнего аалена). На Северо-Востоке России (рис. 1, 6В) верхняя часть нижнего тоара представлена песками и алевритами мраченской свиты (рис. 2) (верхи нижнего – верхний тоар).

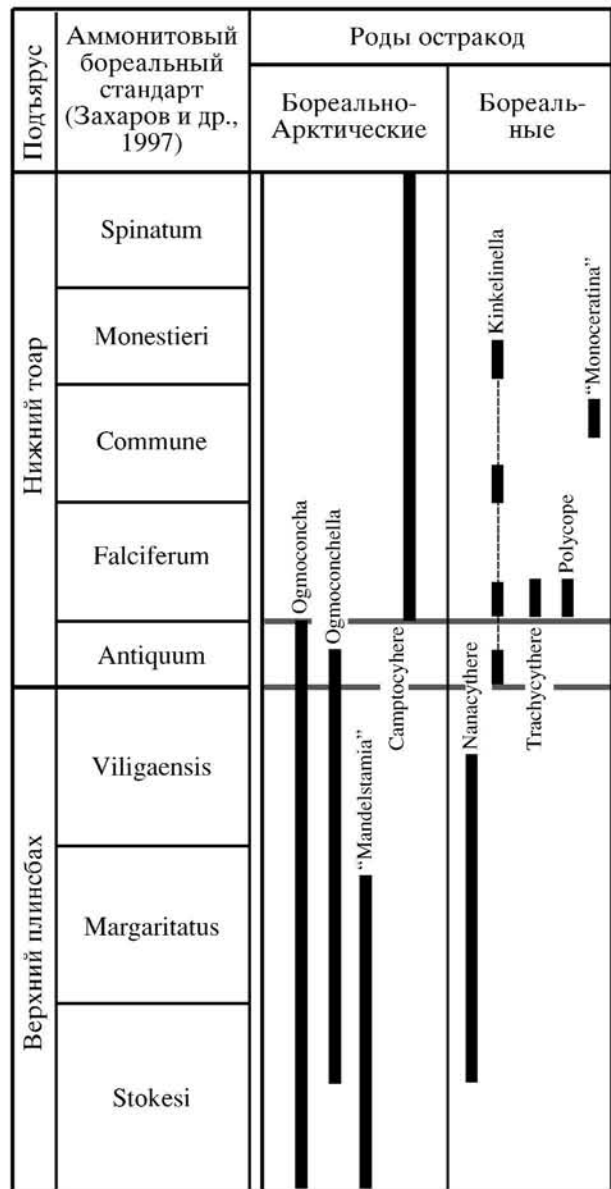


Рис. 4. Остракоды на границе плинсбаха и тоара на севере Сибири и Северо-Востоке России.

Таким образом, на севере Сибири верхняя часть верхнего плинсбаха сложена преимущественно песчано-алевролитовыми породами, иногда с конгломератами в основании, а нижний тоар – преимущественно глинистый или алеврито-глинистый (рис. 2). Это дает основание предполагать существенную палеогеографическую перестройку в переходное время между плинсбахом и тоаром. Прибрежные ландшафты позднеплинсбахских морей, скорее всего, были гористые и холмистые, как на севере (верхнеплинсбахские конгломераты известны на северо-восточном Таймыре и в устье р. Лены), так и юге со стороны среднесибирской суши. На основе фациального анализа в начале

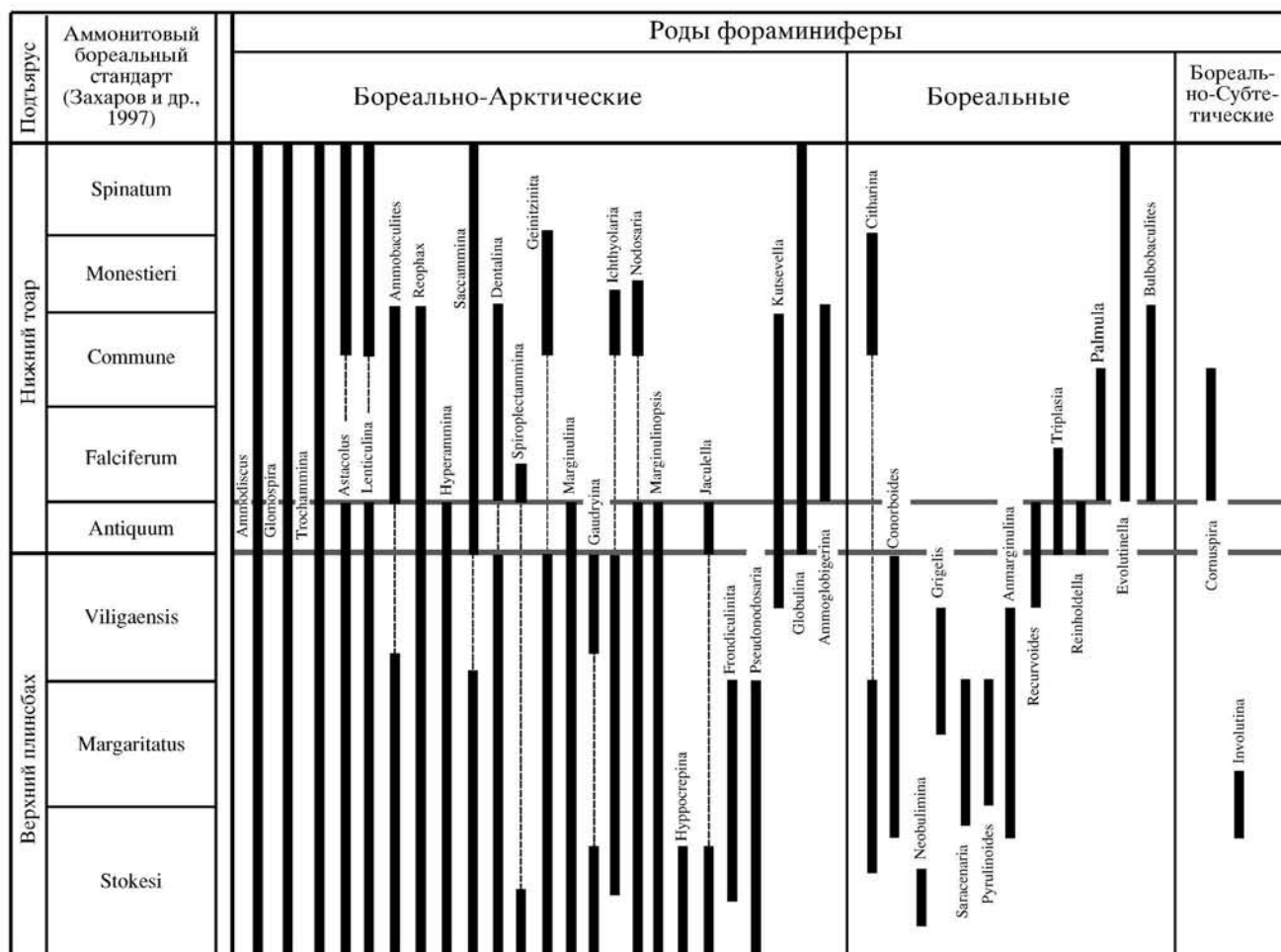


Рис. 5. Фораминиферы на границе плинсбаха и тоара на севере Сибири и Северо-Востоке России.

тоара реконструируется низкая суша – пенеппен (Палеогеография севера..., 1983).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИСЛЕДОВАНИЯ

Главные разрезы, материал которых – наблюдения и коллекции – положен в основу настоящего исследования, находятся на севере Восточной Сибири (рис. 1). Наряду с восточно-северосибирскими в работе использованы данные по разрезам Северо-Восточной Азии и многочисленным скважинам севера Западной Сибири, а также результаты личного изучения кернов и коллекций из буровых скважин Северной Аляски. Масштаб и характер плинсбах-тоарской биотической перестройки оценивался на следующих группах фоссилий: двустворчатые моллюски, фораминиферы, остракоды, диноцисты, споры и пыльца растений. Эти группы наиболее многочисленны и разнообразны. Помимо них привлекались другие – реже встречающиеся формы: аммониты, белемниты, гастроподы, лопатоногие.

В качестве главной таксономической единицы при анализе беспозвоночных животных: моллюсков, фораминифер и остракод принят род. Такой выбор сделан с целью максимально избежать субъективизма в понимании объема основной операционной единицы. Палинологи в качестве элементарного операционного таксона используют видовую категорию. Для определения степени доминирования отдельных родов двустворчатых моллюсков в бентосных сообществах каждый род оценен по частоте встречаемости в разрезах по трем категориям: редко, часто и много. Частота встречаемости палинологических таксонов оценена по четырем категориям: редко, часто, много, изобилие. Для оценки степени биогеографической избирательности таксонов в ходе биотической перестройки, все группы организмов были разделены по предпочтению к определенной биогеографической единице – биохореме, исходя из предполагаемой термофильности таксона. Двустворчатые моллюски были разделены на бореально-арктические (или высокобореальные), низкобореальные и субтетические роды; фораминиферы – на

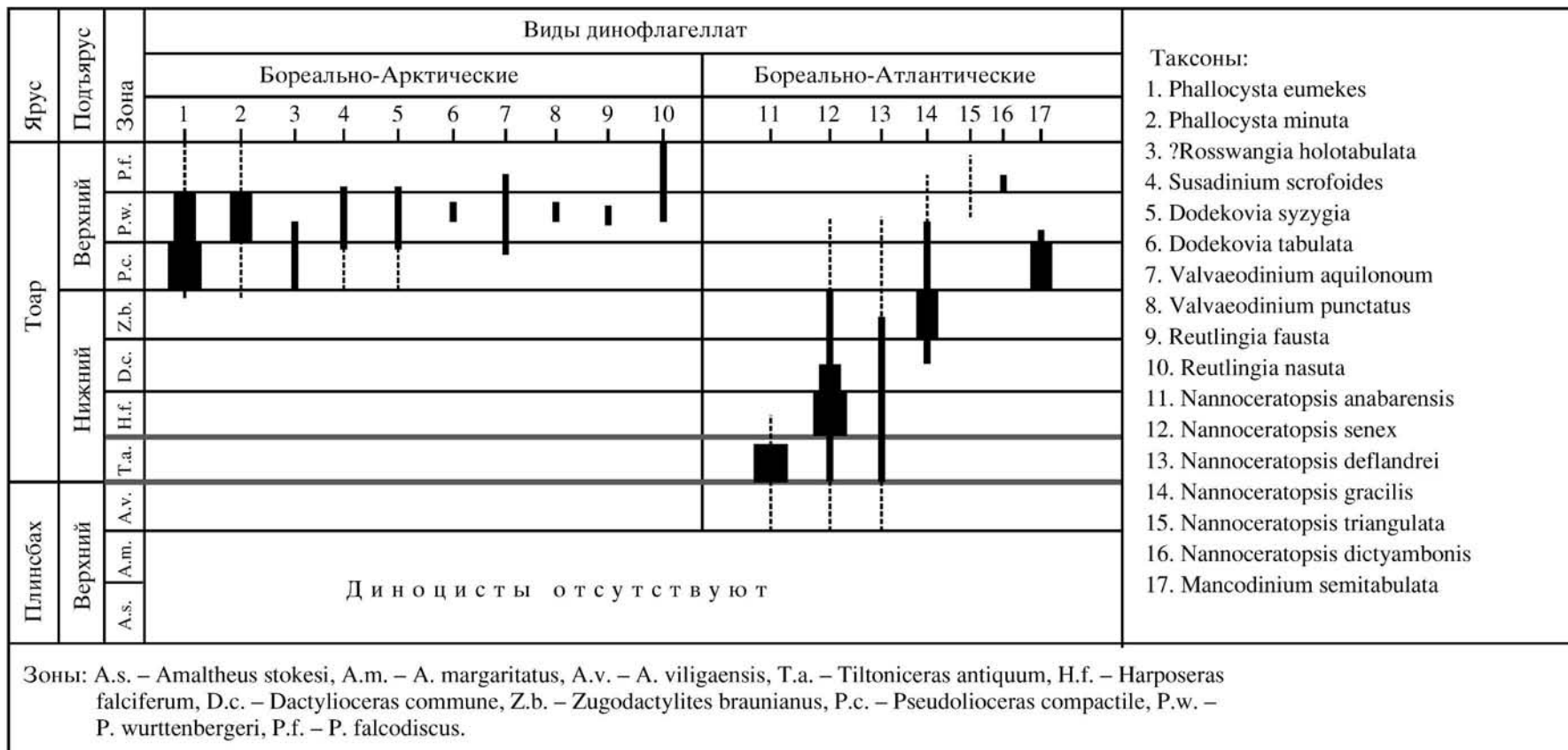


Рис. 6. Ассоциации динофлагеллат в позднем плинсбахе и тоаре на севере Сибири.

бореально-арктические, бореальные и бореально-субтетические роды; остракоды – на бореально-арктические и бореальные роды, динофлагеллаты – на бореально-арктические и бореально-атлантические виды, споры и пыльца растений – на преимущественно сибирские, космополитные и преимущественно евросинийские таксоны.

СВИДЕТЕЛЬСТВА БИОТИЧЕСКОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ

При исследовании динамики перестроек (кризисов) в геологическом времени обычно анализируется таксономическое разнообразие, иногда экологическая структура сообществ (смена доминантов, степень нивелировки таксонов, характер разрушения прежних пищевых цепей) и, крайне редко, биогеографическая структура сообществ. В нашем случае наибольший интерес представляют именно результаты анализа биогеографической структуры.

Если судить по следам таксономической перестройки среди всех исследованных групп организмов: двустворок, остракод, фораминифер, динофлагеллат, спор и пыльцы, то основные события в море и на суше на севере Сибири разворачивались в начале раннего тоара в фазе *Tiloniceras antiquum*. Основной “удар” по биоте был нанесен именно в самом начале тоарского века. Позднее события развивались более спокойно и, в основном, по линии возрождения и восстановления утраченного на раннем этапе.

Как было сказано выше, нами исследовался материал, прежде всего из разрезов Северной Сибири, однако для заключений в ряде специально оговоренных случаев привлекался материал из других, преимущественно арктических регионов: Земли короля Карла, Земли Франца-Иосифа, бассейна р. Печоры и Северной Аляски.

Таксономическое разнообразие. Наблюдается снижение таксономического разнообразия во всех группах морских беспозвоночных при переходе от плинсбах к тоару. Резкое падение разнообразия двустворчатых моллюсков фиксируется в основании тоара – зоне *Tiloniceras antiquum* (рис. 3). Границу плинсбах и тоара на севере Сибири пересекают только 4 из 35 родов двустворчатых моллюсков, установленных в верхнем плинсбахе и 2 из 4-х родов остракод и в основании зоны *Naroceras falciferum* полностью обновляется родовой и семейственный состав (рис. 4). В пределах 3-х аммонитовых зон нижнего тоара наблюдается снижение родового разнообразия у фораминифер: с 27 в зоне *Amaltheus margaritatus* до 17 в зоне *Tiloniceras antiquum* и до 15 в зоне *Naroceras falciferum* (рис. 5). Единичные находки диноцист в плинсбахе сменяются изобильными в основании тоара (рис. 6), существенно перестраи-

ваются споро-пыльцевые комплексы (СПК) (флуктуации *Classopollis*) (рис. 7).

Структура сообществ бентоса. Бентосные сообщества двустворчатых моллюсков выше границы резко отличаются от исходных сменой доминантов, структурированием по типу питания, способам захвата пищи, уровням питания, характеру выравниваемости, популяционным плотностям таксонов. Изменение в структуре бентоса коснулось, прежде всего, таксономического разнообразия, которое, как сказано выше, снизилось почти на порядок. В самом начале тоара исчезла выравненность, поскольку в сообществах не стало таксонов доминантов. Из сообществ полностью исчезли детритофаги низкого уровня (*Malletia*, *Taimugodon*), прежде являвшиеся субдоминантами в некоторых сообществах. Хотя сестонофаги высокого уровня составляют 50% от общего числа сохранившихся в биоценозах родов, их трудно отнести к наиболее жизнестойким, поскольку остается всего два рода: *Kolymonectes* и *Oxytoma* и встречаются они крайне редко. Из сестонофагов низкого уровня найден только один род – *Tanstedtia*. Этот род являлся доминантом в позднем плинсбахе и сохраняет этот статус в тоаре. Детритофаг высокого уровня род *Dasytoma*, редко встречающийся в плинсбахе и переживший критический рубеж довольно быстро (фаза *Naroceras falciferum*) становится доминантом. В течение раннего тоара двустворки постепенно возрождаются, однако даже в позднем тоаре не достигают и половины того родового разнообразия, которое наблюдается в позднем плинсбахе.

Анализ микрофауны в пограничных плинсбах – тоарских отложениях в разрезах севера Средней Сибири приводит к выводу об отсутствии преемственности сообществ фораминифер и остракод плинсбаха и тоара. Во время раннетоарского кризиса резко сокращается дифференциация бентоса по биономическим зонам (преобладают 2–3-х членные катены вместо 3–4-х членных позднего плинсбаха), уменьшается разнообразие жизненных форм в отдельных звеньях катены. Условия обитания, существовавшие в начале китербютского времени (фаза *Falciferum* – начало фазы *commune*), были неблагоприятными для микробентоса. Судя по геохимическим показателям, в самом начале фазы *Falciferum* формирование осадков в прибрежно-мелководной части Северосибирского моря происходило в обстановках с нестабильным солевым режимом (Левчук, 1985). Раковины фораминифер во всех биономических зонах Сибирского палеобассейна обычно очень мелкие, с тонкой стенкой, что позволяет предположить неблагоприятный газовый (стагнационный) режим бассейна, существовавший в начале раннего тоара. Следует отметить, что в рассматриваемом интервале разреза слойки, насыщенные фораминиферами, чередуются со слойками с

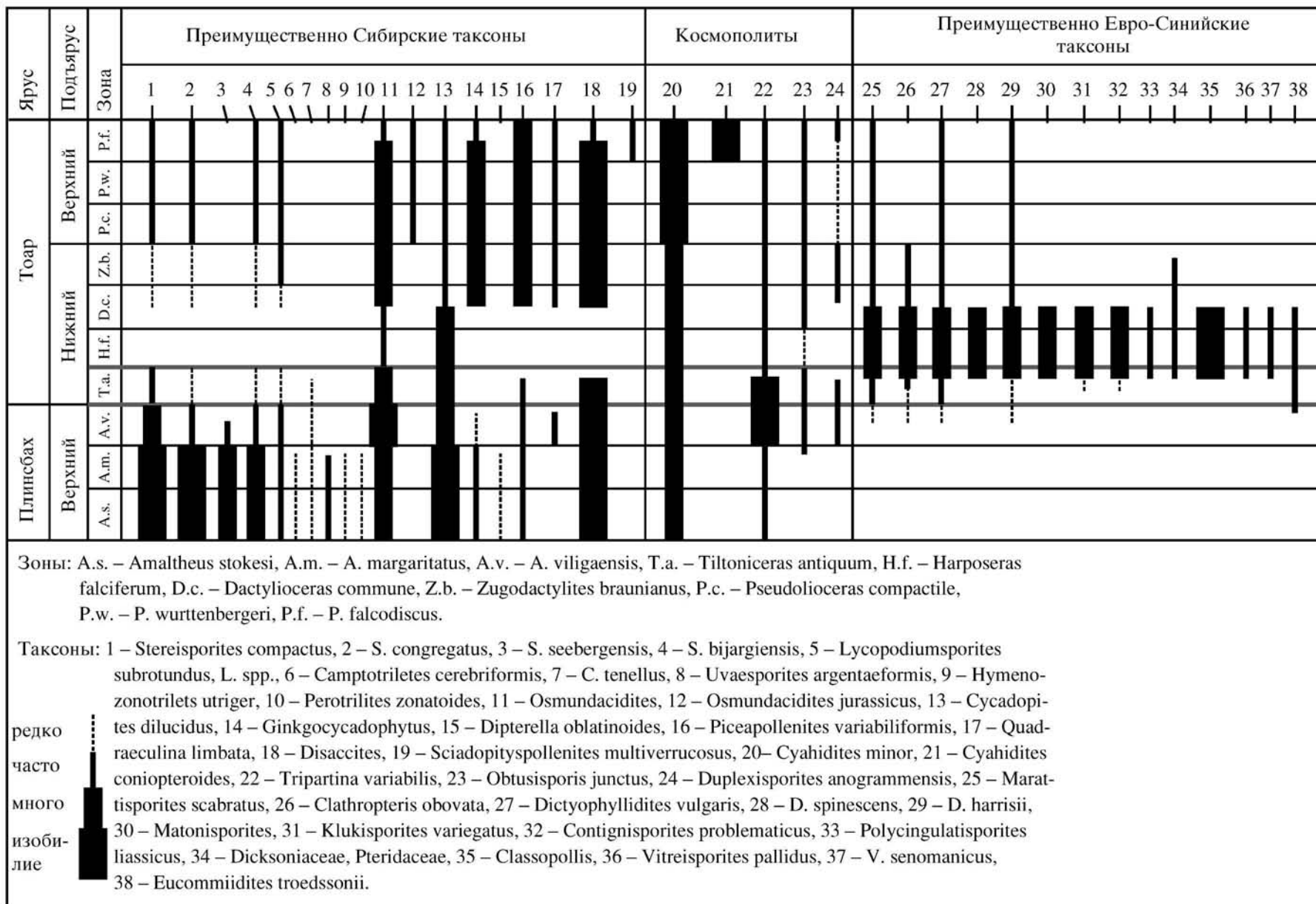


Рис. 7. Споро-пыльцевые комплексы в позднем плинсбахе и тоаре на севере Сибири.

изобильными остракодами. Это свидетельствует о неустойчивости режима придонных вод.

Биогеографическая избирательность выпадения таксонов из морских сообществ и споропыльцевых комплексов. Из 3-х групп двустворок, разделенных по биогеографической принадлежности на бореально-арктические (высокобореальные – 26 родов), низкобореальные (16) и субтетические (7), рубеж перестройки пережили лишь 20% высокобореальных родов, полностью исчезают из донных сообществ представители низкобореальных и субтетических групп (рис. 3). Таким образом, двустворки наиболее ярко демонстрируют драматическую историю плинсбах-тоарского кризиса. Из трех родов бореально-арктических остракод (всего их 4) один (“*Mandelstamia*”) исчезает в конце плинсбаха, два других (*Ogmosoncha* и *Ogmosonchella*) пересекают границу, но неизвестны выше зоны Antiquum. Единственный (из 4-х бореальных), известный в плинсбахе род *Nanasythere* исчезает из разрезов в кровле яруса. С самого начала тоара впервые появляется род *Kinkelinella* (рис. 4). Таким образом, перестройка среди остракод приходится на короткий интервал фазы Antiquum. Бореально-арктическая группа фораминифер насчитывает 24 рода, из которых более половины (13) пересекает границу плинсбаха – тоара. На самой границе или вблизи ее временно исчезают лишь 5 родов. Из 13 бореальных родов 6 выпадают из разрезов верхнего плинсбаха на разных стратиграфических уровнях, 5 родов появляются в основании тоара, один род *Citharina*, исчезнув в плинсбахе, спустя три фазы, появляется в тоаре и только *Recurvoides* пересекает границу. Бореально-субтетические фораминиферы представлены лишь двумя родами: *Involutina* в плинсбахе и *Comuspira* в тоаре (рис. 5). Таким образом, наиболее существенная перестройка биогеографической структуры фораминифер произошла среди относительно теплолюбивых таксонов. Диноцисты, разделенные на две биогеографические группы видов: бореально-арктические (10) и бореально-атлантические (7) практически отсутствуют в плинсбахе. В самой его кровле обнаружены три вида *Nannoceratopsis*. Непосредственно над границей один из этих видов – *N. anabarensis* – дает вспышку, два других часто встречаются в мацерате (рис. 6). Примечательно, что именно бореально-атлантические, а не бореально-арктические виды в изобилии появляются в раннем тоаре. В СПК, разделенных на три группы: сибирские, космополиты и евро-синийкие в интервале пограничных зон *Amaltheus viligaensis* – *Tiltoniceras antiquum* исчезают 16 таксонов из 18 сибирских, и лишь два сохраняются (рис. 7). Границу проходят все космополиты (4 таксона) и в самом основании тоара (или даже кровле плинсбаха) появляются несколько таксонов из 14 евро-синийких, кото-

рые в большом количестве обнаружены в кровле зоны Antiquum и зоне Falciferum. Таким образом, основные события в наземной растительности приходится также на фазу Antiquum начала тоарского века.

ВОЗРОЖДЕНИЕ БИОТЫ ПОСЛЕ КРИЗИСА

Практически все организмы, как животного, так и растительного происхождения претерпевают перестройку в начале раннего тоара в фазе Antiquum. Во всех группах кризис сопровождается более или менее резким сокращением таксономического разнообразия и разрушением структуры сообществ. Восстановление сообществ донных животных начинается, как правило, с возвращения наиболее термофобных таксонов (эффект Лазарус). Так, в разрезах нижнего тоара постепенно появляются бореально-арктические таксоны, исчезнувшие в плинсбахе. Пять родов появляются в донных сообществах через одну фазу (от 0.5 до 1.0 млн. лет), затем в течение 2–3 млн. лет арктические таксоны (те же роды и большинство прежних видов) восстанавливаются полностью. Однако роды-доминанты сменяются (рис. 3). Возрождение нижебореальных двустворок происходит только в позднем тоаре и, в основном, за счет иммигрантов. Ни один из 9-ти нижебореальных таксонов двустворок (те же роды и многие виды) не обнаружен сразу выше границы плинсбаха-тоара. Род *Chlamys* появляется в донных сообществах спустя 3 млн. лет после кризисного рубежа и лишь через 5–6 млн. лет новые для Арктики таксоны почти полностью заполняют пустующие ниши. Такая же картина наблюдается и среди субтетической группы родов. 100% субтетических таксонов двустворок исчезают перед границей и позже возвращается один – *Goniomya*. Только два новых рода появляются спустя, соответственно, три и шесть фаз (т.е. 3 и 6 млн. лет). Таким образом, событие “вымирания” среди двустворок имело гораздо меньшую протяженность, по сравнению с событием возрождения.

Арктические остракоды, кроме *Camptocythere*, исчезают из донных сообществ раннего тоара и замещаются более термофильными бореальными родами (рис. 4). Выше плинсбах-тоарской границы существенно обновляется термофильный комплекс фораминифер. В интервале верхний плинсбах-нижний тоар наблюдаются более высокие темпы смены бореальных таксонов фораминифер, чем бореально-арктических (рис. 5). Как было сказано выше, бореально-атлантические, т.е. термофильные виды динофлагеллят доминировали в пелагиали раннеоарских северосибирских морей (рис. 6). Сразу над рубежом перестройки наблюдается резкая вспышка (доминирование в СПК) теплолюбивого рода *Classopollis*. 11 сибирских таксонов из 18 прежних в СПК

вновь появляются в зоне *Dactylioceras commune*, а в подстилающих зонах *Tiloniceras antiquum* и *Narroceras falciferum* обнаружено 14 евро-синийских таксонов, большинство из которых встречены в массовом количестве (рис. 7).

СЦЕНАРИЙ БИОТИЧЕСКОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ

Суммируя вышеизложенное, нам представляется следующий наиболее вероятный сценарий БП в пограничном плинсбах-тоарском временном интервале на севере Сибири.

– поздний плинсбах, вторая половина фазы *Stokesi* – первая часть фазы *Margaritatus* → трансгрессия → потепление → иммиграция низкобореальных и перитетических таксонов беспозвоночных в Арктический бассейн;

– поздний плинсбах, вторая половина фазы *Margaritatus* – фаза *Viligaensis* – ранний тоар первая половина фазы *Antiquum* → регрессия → образование географических барьеров → изменение конфигурации дна и системы морских течений во второй половине фазы *Viligaensis* → быстрое похолодание → падение разнообразия (?сокращение северной части ареалов) таксонов морских беспозвоночных;

– ранний тоар, конец фазы *Antiquum* → начало эвстатического подъема уровня моря → потепление → слабое распреснение поверхностных вод → начало цветения фитопланктона и иммиграция наземных евро-синийских таксонов растений → начало развития дизоксийных обстановок → “вымирание” морских беспозвоночных;

– ранний тоар, фаза *Falciferum* → дальнейший подъем уровня моря с максимумом в конце фазы *Falciferum* → изменение конфигурации дна и системы морских течений → существенное потепление на суше и водных масс → периодические иммиграции низкобореальных таксонов беспозвоночных в Арктический бассейн → миграции аркто-бореальных таксонов микробентоса в низкобореальные моря (фаза *Falciferum* – начало фазы *Commune*) → резкий рост разнообразия наземных растений Евро-Синийской области (изобилие *Classopolis*) → расцвет фитопланктона → развитие дизоксийных, местами аноксийных обстановок в придонных слоях и толще воды → конец вымирания беспозвоночных в начале фазы *Falciferum*;

– ранний тоар, фаза *Commune* → высокое стояние уровня моря → сокращение дизоксийных обстановок → теплые водные массы и теплая атмосфера → иммиграция нижнебореальных, перитетических и рост разнообразия бореально-арктических таксонов морских беспозвоночных → рост видового разнообразия фитопланктона

и наземных растений за счет “притока” сибирских форм;

– ранний тоар, фаза *Braunianus* → понижение уровня моря → сохранение таксономического разнообразия морских беспозвоночных → начало похолодания → резкое сокращение видового разнообразия среди наземных евро-синийских растений (исчезновение *Classopolis*) → падение численности фитопланктона.

ПРИЧИНЫ БИОТИЧЕСКОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ

Палеогеография. Вполне резонно предположить, что значительные палеогеографические события, приводившие к существенному обновлению морских палеоландшафтов, могли вызывать также и пертурбации в биосе. В связи с плинсбах-тоарским биотическим кризисом заслуживает внимание крупная палеогеографическая перестройка на севере Атлантики, совпадающая по времени с пограничным плинсбах-тоарским интервалом. Палеобиогеографический анализ морских беспозвоночных свидетельствует о том, что в позднем плинсбахе южная граница биогеографической надобласти Тетис-Панталасса располагалась на широте Южной Англии и Северо-Западной Франции. Однако уже в начале тоара палеогеографическая перестройка на севере Атлантики усилила влияние холодных водных масс, что привело к перемещению теплолюбивых моллюсков к югу, и, одновременно, смещению на несколько сотен километров к северу (к Южной Скандинавии и Северо-Восточной Гренландии) границы двух супербиохорем: Тетис-Панталасса и Панбореальной (*Damborenea*, 2002, fig. 7).

Ф. Мацциони и Ф. Чека (*Macchioni, Cessa*, 2002) выявили на разрезах Северо-Западной и Южной Европы, а также северо-западной части Африки два четких уровня падения разнообразия аммонитов в начале тоара – зоне *Dactylioceras tenuicostatum*. Первое из них установлено в конце подзоны *Dactylioceras mirabile* и отражает разрушение бореально-тетической провинциальности, с одной стороны за счет быстрого вымирания бореального эндемичного семейства *Amaltheidae*, которое занимало моря Северо-Западной Европы в течение всего плинсбаха, и, с другой стороны, вымирания позднедомерских эндемичных аммонитин на Средиземноморских территориях. Второе драматическое падение разнообразия аммоноидов в верхней части подзоны *Dactylioceras semicelatum* совпало с аноксидным событием (атакой ОАЕ). Оно нашло отражение в эпикеанических аммоноидных кладах, таких как *Phylloceratacea* и *Lytoceratacea*. Авторы считают оба вымирания самостоятельными, а не эпизодами единого ступенчатого события вымирания.

Казалось бы, влияние этих палеогеографических перестроек должно ограничиться районами, примыкающими к Северной Атлантике, и иметь слабое отношение к биотическим событиям в Андском и Северосибирском бассейнах, отстоящих на многие тысячи километров. Однако это не совсем так. По последним данным одновременно с расширением связей морей Северной Атлантики и Арктики по так называемому коридору Викинг в начале тоара резко возрос также обмен водными массами и биотой между Западной Пацификой и Центральной Атлантикой через Испанский коридор (Захаров, 2005 и ссылки на оригинальные публикации). В результате расширения морских путей активизировался обмен фаунами между палеоакваториями. М. Аберхан (Aberhan, 2002) предположил, что вымирание в Южной Америке могло быть частично объяснено иммиграцией двустворок через Испанский коридор и последующим выборочном перемещением. Хотя подсчеты интенсивности перемещения моллюсков из Атлантики в Пацифику и обратно показали слабое взаимное влияние, эффект этого фактора нельзя сбрасывать полностью. Северосибирская биота оказалась более зависимой от североатлантической, чем Андская. Так, вымирание единственного позднеплинсабахского семейства аммонитов *Amaltheidae* в Арктике (как и глобально), вероятно, совпало по времени с расширением морских связей Арктики с Северной Атлантикой. Последующая колонизация сибирских и северо-азиатских бассейнов в самом начале тоара аммонитами семейства *Dactylioceratidae* – выходцами из североатлантических морей – произошла в столь короткое время, что его невозможно оценить биохроностратиграфическим методом. Таким образом, коренное обновление ассоциаций аммонитов на границе плинсабах-тоара и в начале раннего тоара на севере Сибири могло быть вызвано перестройкой в палеогеографии Северной Атлантики и связанной с ней усилением влияния северо-атлантических водных масс в Арктике и одновременно проникновением в арктический бассейн западно-европейских тоарских аммонитов из семейства *Dactylioceratidae* и белемнитов из семейства *Passaloteuthidae* (Сакс и др., 1971).

Эвстатика и аноксия. Среди причин “массовых вымираний” двустворчатых моллюсков – группы преимущественно бентосной, наиболее популярна гипотеза аноксических обстановок, широкое распространение которых связывают с повышением уровня моря во время раннетоарской трансгрессивной фазы (Hallam, 1987; Hallam, Wignall, 1999; Aberhan, Baumiller, 2003). Эта трансгрессия, имевшая, скорее всего, эвстатическую природу, привела, как полагают, к образованию черных сланцев. Сланцы и глины раннетоарского возраста известны во многих регионах Северного полу-

шария: в Северо-Западной Европе, в альпийско-средиземноморской области, в Канаде, в Арктике и Японии. Они размещаются в разнообразных палеоокеанографических ситуациях, но исследователи пород и фоссилий практически единодушны в том, что высокоуглеродистые черные сланцы нижнего тоара повсюду формировались в условиях дефицита кислорода в придонных водах бассейнов. Синхронные отложения этих фаций в разных частях Земного шара побудили Дженкинса (Jenkyns, 1988) высказать предположение о существовании “аноксидного океанического события” (ОАЕ) в начале раннего тоара (фаза *Falciferum*). Развитие условий с дефицитом кислорода как в глубоководных бассейнах, так и на мелководных площадях (плато Тренто в Южных Альпах) документировано седиментологическими и геохимическими исследованиями самого Дженкинса и его же с соавторами (Jenkyns et al., 1985; Jenkyns, Clayton, 1997). Исследования продуктивности тоарских черных сланцев в другом районе Северной Италии (бассейне Беллуно), выполненные А. Белланка с соавторами (Bellanca et al., 1999), привели этих авторов к выводу о том, что обогащенные органическим карбонатом черные сланцы, циклически чередующиеся с биотурбированными известняками и серыми мергелями, являются следствием раннетоарского аноксидного события в бассейне Тетис. Негативный экскурс $\delta^{13}\text{C}$ в средней части изученного ими интервала коррелируется с максимумом содержания общего органического углерода (ТОС) и высоким значением V/Rb Ba/Rb , которые, по мнению авторов, были вызваны тоарским аноксидным событием, стадией наибольшей интенсивности придонной аноксии совместно с высокой продуктивностью приповерхностных вод. Классическим эталоном высокоуглеродистых черносланцевых толщ являются нижне-тоарские посидониевые сланцы Юго-Западной Германии. По мнению подавляющего большинства исследователей их формирование происходило в мелководном полузамкнутом морском бассейне. Г.-И. Рель с соавторами (Rohl et al., 2001), изучив комплексом методов (седиментологических, геохимических и палеоэкологических) разрезы посидониевых сланцев на всем их протяжении от Швабского (на юго-западе) до Франконского Альба (на северо-востоке), пришли к выводу о преобладании аноксических условий в придонных водах “посидониевого” бассейна в течение всего времени их формирования. Притом максимум кислородного истощения и экстремальный негативный сдвиг значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ (–34‰) имеет место в течение начального времени зоны *Falciferum*. Следует заметить также, что и в Андском бассейне (Чили) среди причин перестройки в сообществах двустворок на границе плинсабах-тоара указывается высокое стояние уровня моря и широкое распространение аноксии

(Aberhan, 2002; Aberhan, Fursich, 1997). Из рассмотренных примеров мы видим, что аноксические придонные условия реконструируются для разных типов бассейнов как в Северном, так и Южном полушариях Земли.

Таким образом, фактор аноксии для объяснения сокращения видового разнообразия морских бентосных организмов называется одним из основных. Широкое распространение аноксических обстановок связывается с океанографическим сценарием, в котором изменения уровня моря рассматривается, как основная причина. В этом сценарии, обычно, не называется триггер, приводивший к быстрому, по существу, мгновенному в масштабе геологического времени (в течение одной фазы, т.е. менее одного млн. лет!) глобальному подъему уровня моря.

На севере Сибири в разрезах, расположенных на сотни и даже тысячи километров один от другого, происходит быстрая (иногда в интервале нескольких дециметров по мощности) смена песчано-алевритовых осадков – глинистыми и глинисто-алевритовыми, местами обогащенными S_{org} . В этом интервале, действительно, установлено резкое падение таксономического разнообразия макро- и микрофауны. Однако несколько родов двустворок, среди которых представители трех разных трофических групп: сестонофаги низкого (Tancredia) и высокого (Kolymonectes, Oxytoma) уровня и собиратели низкого уровня (Dacryotoma), продолжают существовать. Все они нуждались в обогащенных кислородом придонных водах, и, конечно, не выносили не только аноксической, но и диксигмической среды. Притом Dacryotoma питалась под поверхностью осадков–вода, так что и ниже поверхности дна не могло быть значительного дефицита кислорода, не говоря уже о сероводородном заражении. Довольно разнообразные (17 родов) бентосные фораминиферы в начальном тоарскую фазу Antiquum тоже населяли придонные воды. Они нуждались в нормальном газовом режиме. Конечно, нельзя утверждать, что подобные условия сохранялись повсюду в огромном эпиконтинентальном северосибирском море: от Ямала до Чукотки. Определенно существовали участки с дефицитом кислорода в придонных водах. Широкое распространение в раннем тоаре Северного полушария тонкозернистых осадков, местами обогащенных органическим веществом, логично, конечно, объяснить высоким стоянием уровня моря и довольно выровненным низкогорным рельефом вокруг большинства раннетоарских бассейнов (Jenkyns, 1988). По мнению ряда авторитетных ученых, самое высокое стояние уровня в течение всей ранней и начале средней юры приходится именно на ранний тоар (Hallam, 1992, fig. 4, 5).

Климат. Все это так, но следует заметить, что большинство исследователей связывают с эвстатическими подъемами общее потепление климата. Именно климат оказывал непосредственное влияние на биоту. Ниже мы покажем, что многие факты во временной динамике ассоциаций беспозвоночных и растений логичнее объяснить климатическими флуктуациями. Климатические флуктуации мы считаем непосредственной причиной биотической перестройки на севере Сибири: теплые условия в позднем плинсбахе сменились похолоданием в самом его конце (в конце фазы Viligaensis) и начале тоара (начале фазы Antiquum), а затем на севере Сибири постепенно потеплело (см. сценарий). Этот вывод основан на факте исчезновения в пограничных плинсбах-тоарских слоях остатков морских теплолюбивых животных, постепенном возвращении в северосибирские моря в первую очередь высокобореальных таксонов, и только затем теплолюбивых животных и наземных растений, притом, например, среди двустворок прежние тепловоднолюбивые роды не вернулись, а вместо них пришли новые. Такая динамика возрождения биоты свидетельствует о постепенном потеплении. Правда, довольно ранняя вспышка евро-синийских таксонов в СПК и изобилие Classopollis позволяет предполагать, что потепление на суше было довольно быстрым. С этим согласуется и расцвет фитопланктона на фоне все еще крайней бедности бентосных беспозвоночных. Таксономическую бедность двустворок-фильтраторов можно связать как раз с существенными новациями в пищевой цепи: взрывной расцвет в планктоне динофлагеллят привел к качественному обновлению пищи. Ведь до начала тоара динофлагелляты практически отсутствовали в рационе фильтраторов. Возможно, именно длительной адаптацией к новой пище объясняется тот факт, что послекризисный период колонизации двустворчатых моллюсками северосибирских раннетоарских морей растянулся на несколько миллионов лет. Однако ведущим фактором все же следует считать температурный: субтетические и низкобореальные двустворки, населявшие в конце плинсбаха эпиконтинентальные моря на севере Сибири выше 68° северной широты опустились в начале тоара (фазы Antiquum и Falciferum) до 55° (до местоположения бореально-тетического экотона в Северном Приморье) и только в позднем тоаре возвратились на север Сибири (рис. 8). В какой-то мере этот вывод подтверждается и данными по микрофауне: фораминиферам и остракодам. В течение большей части позднего плинсбаха ассоциации микрофауны обитали на 73° северной широты. В конце фазы Viligaensis и фораминиферы и остракоды откочевали почти до 55° северной широты. Затем, уже в начале тоара, эти группы микрофауны довольно быстро возвратились из

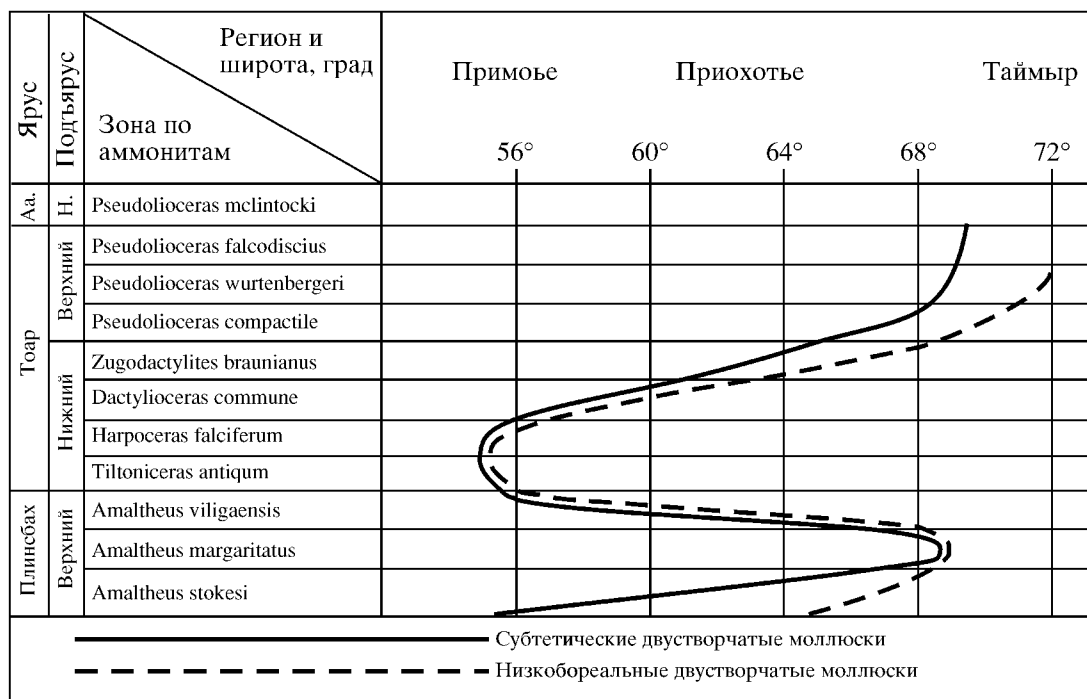


Рис. 8. Перемещение морских субтетических и низкобореальных родов двустворок в Арктической палеобиогеографической области в позднем плинсбахе и раннем тоаре из высоких широт в низкие и обратно (принципиальная схема): 1 – субтетические; 2 – нижнебореальные; Аа. – ааленский ярус; Н. – нижний подъярус.

низких широт в высокие и адаптировались к новым условиям в течение сравнительно короткого времени, возможно, в течение менее одного миллиона лет (рис. 9). Весьма сходный климатический режим на севере Сибири реконструирован и по данным палинологии. Кривая тепла достигает максимума за весь юрский период в раннем тоаре (рис. 10). По мнению В.И. Ильиной (Ильина и др., 1994) максимум потепления падет на фазу *Falciferum*. В конце плинсбаха намечается похолодание, которое, возможно, переходит в начало тоара, хотя из-за некоторой неопределенности в датировках возраста пограничных отложений, точно (на подзональном уровне) определить время похолодания не представляется возможным. Не исключено, что похолодание в конце плинсбаха и (?)самом начале тоара связано с гумидизацией климата на севере Сибири. Геохимические показатели (Левчук, 1985) и специфический набор микрофоссилий свидетельствуют об опреснении вод на юго-востоке Северосибирского моря. На тоар приходится аридизация климата, что объясняет отсутствие в разрезах тоарского яруса в Северной и Западной Сибири грубозернистых осадков даже в прибрежно-мелководных отложениях (Палеогеография севера..., 1983).

ДИНАМИКА БИОТИЧЕСКИХ ПЕРЕСТРОЕК

Когда Д. Рауп и Д. Сепкоски (Raup, Sepkoski, 1982, 1984; Sepkoski, Raup, 1986) впервые показали

динамику вымираний морских беспозвоночных по векам фанерозоя на количественной кривой семейств, то при первом впечатлении казалось, что пики падения таксономического разнообразия приходятся на границы ярусов и подъярусов. Однако последовавшие за первыми публикациями более детальные исследования показали, что критические рубежи биотических перестроек далеко не всегда падают на границы геостратонов. Так, по мнению Д. Сепкоски, в плинсбахе и тоаре в мире вымерло соответственно 22 и 11 семейств аммонитов. По данным К. Литтла и М. Бентона (Little, Benton, 1995) в интервале наиболее интенсивного вымирания аммонитов в ранней юре от начала фазы *Margaritatus* позднего плинсбаха до конца фазы *Bifrons* раннего тоара (от 191.51–184 млн. лет) в Северном и Южном полушариях вымерло 28 семейств по фазам: *Margaritatus*-8, *Spinatum*-7, *Tenuicostatum*-4, *Falciferum*-8, *Bifrons*-6. Притом, на конец плинсбаха (*Spinatum*) и начало тоара (*Tenuicostatum*) приходится не самое большое число вымерших семейств.

На конкретном разрезе Северного Йоркшира (Англия) пограничных слоев плинсбаха – тоара по 8 изученным группам фауны: двустворкам, гастроподам, скафоподам, аммонитам, белемнитам, брахиоподам, серпулидам и морским лилиям – наиболее интенсивное вымирание на видовом уровне установлено в самой верхней из 4-х подзон зоны *Dactyloceras tenuicostatum* – подзоне *Semi-*

celatum (Little, Benton, 1995). Ранее А. Хэллем (Hallam, 1987) показал, что в раннеюрских морях на северо-западе Европы таксономическое разнообразие среди аммонитов (родовое, у остальных групп – видовое), двустворок, брахиопод, фораминифер и остракод, в целом, возрастало в течение геттанга, синемюра и плинсбаха, но на границе плинсбаха – тоара падало (кроме фораминифер на северо-западе Франции), и в особенности резко у двустворок. Судя по тому, что практически у каждой из этих группы, кроме фораминифер и остракод в Англии, максимальные пики первого появления таксонов в разрезе приходится на верхнюю зону плинсбаха, большинство именно этих “новых” для северозападноевропейского моря таксонов исчезли из разрезов в период биотической перестройки. Постепенный рост таксономического разнообразия наблюдается практически во всех группах беспозвоночных, но не достигает уровня конца плинсбаха даже вблизи границы с ааленом.

Динамика биотических перестроек не совпадает в разных палеобиохоремах ни по интенсивности, ни по последовательности событий, ни по времени, если исходить из позонных (подзонных) корреляций разрезов. Так, в тетической и бореальной супербиохоремах выявлены два уровня вымирания аммонитид в основании и верхней части зоны *Tenuicostatum* (Macchioni, Сесса, 2002). Однако, как показали К. Литтл и М. Бентон (Little, Benton, 1995), на эту зону приходится минимальное число вымерших семейств на севере Западной Европы. Стало быть, “пики вымираний” получены за счет средиземноморских аммонитид.

Максимальное падение таксономического разнообразия среди макробентоса (двустворок и брахиопод) в Западно-Европейской бореальной провинции приурочено к зоне *Falciferum* (подзона *Exaratum*). Для Андского бассейна позонные датировки не приводятся, но, судя по графикам, интервал вымирания охватывает конец плинсбаха и ранний тоар (Aberhan, Fursich, 1997, 2000). А. Хэллем (Hallam, 1987), исходя из предположения об аноксии, как главном факторе вымирания, считал, что это явление подавляло нектон и бентос, но не планктон. Однако, как следует из анализа позонных вымираний, разнообразие среди аммонитов в северозападноевропейском бассейне упало значительно раньше, чем среди бентоса (Hallam, 1987, fig. 1). Оно совпало с началом распространения высокоуглеродистых черных сланцев вблизи зоны *Falciferum*. Именно в течение начального времени зоны *Falciferum* отмечен максимум кислородного истощения и экстремальный негативный сдвиг значения $\delta^{13}C_{org}$ (–34‰) в Южногерманском бассейне (Rohl et al., 2001). Т. Бейли с соавторами (Bailey et al., 2003) подтвердили это заключение, используя данные по Йоркширскому бассейну. “След” ОАЕ они зафиксиро-

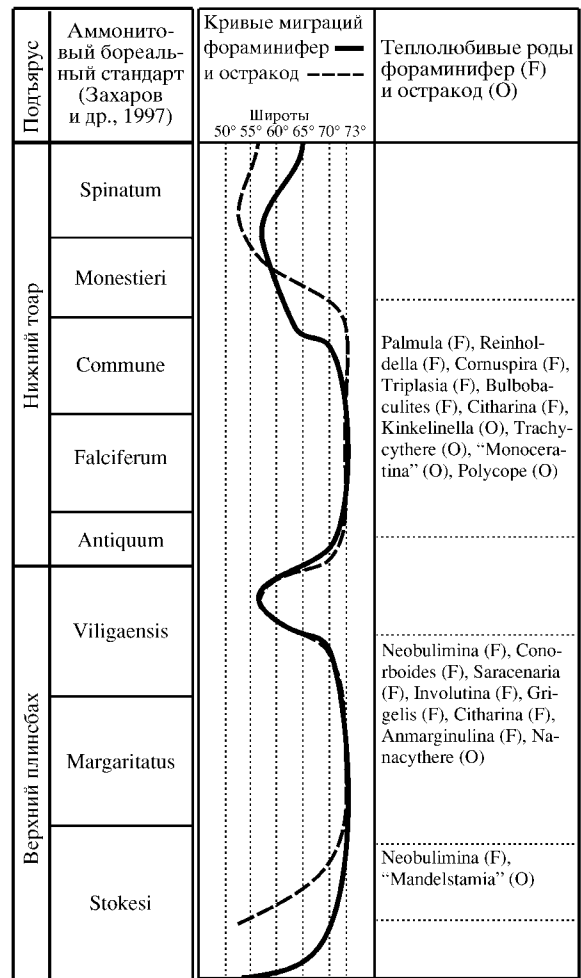


Рис. 9. Перемещение субтетических и низкорореальных родов фораминифер и остракод в Арктической палеобиогеографической области в позднем плинсбахе и тоаре (принципиальная схема).

вали в основании зоны *Falciferum* (подзона *Exaratum*).

Особый интерес представляют темпы вымирания таксонов разных организмов. Хорошо известно, что темпы таксоногенеза у аммоноидей в мезозое превышали таковые всех остальных групп морских беспозвоночных. Однако относительная биохронологическая шкала, основанная на смене таксонов аммонитов, не позволяет точно оценить временные темпы их морфогенеза. С другой стороны, датировки продолжительности даже веков мезозоя, не говоря уже о зональных фазах, в цифрах абсолютного летоисчисления все еще далеки от совершенства (Grandstein et al., 1994). Тем не менее, представляется оправданным привлечение внимания к оценкам абсолютного возраста пограничных подзон верхнего плинсбаха и нижнего тоара, полученным методом интерполяции значений $^{87}Sr/^{86}Sr$ (McArthur et al., 2000). Авторы подсчитали продолжительность раннетоарских ам-

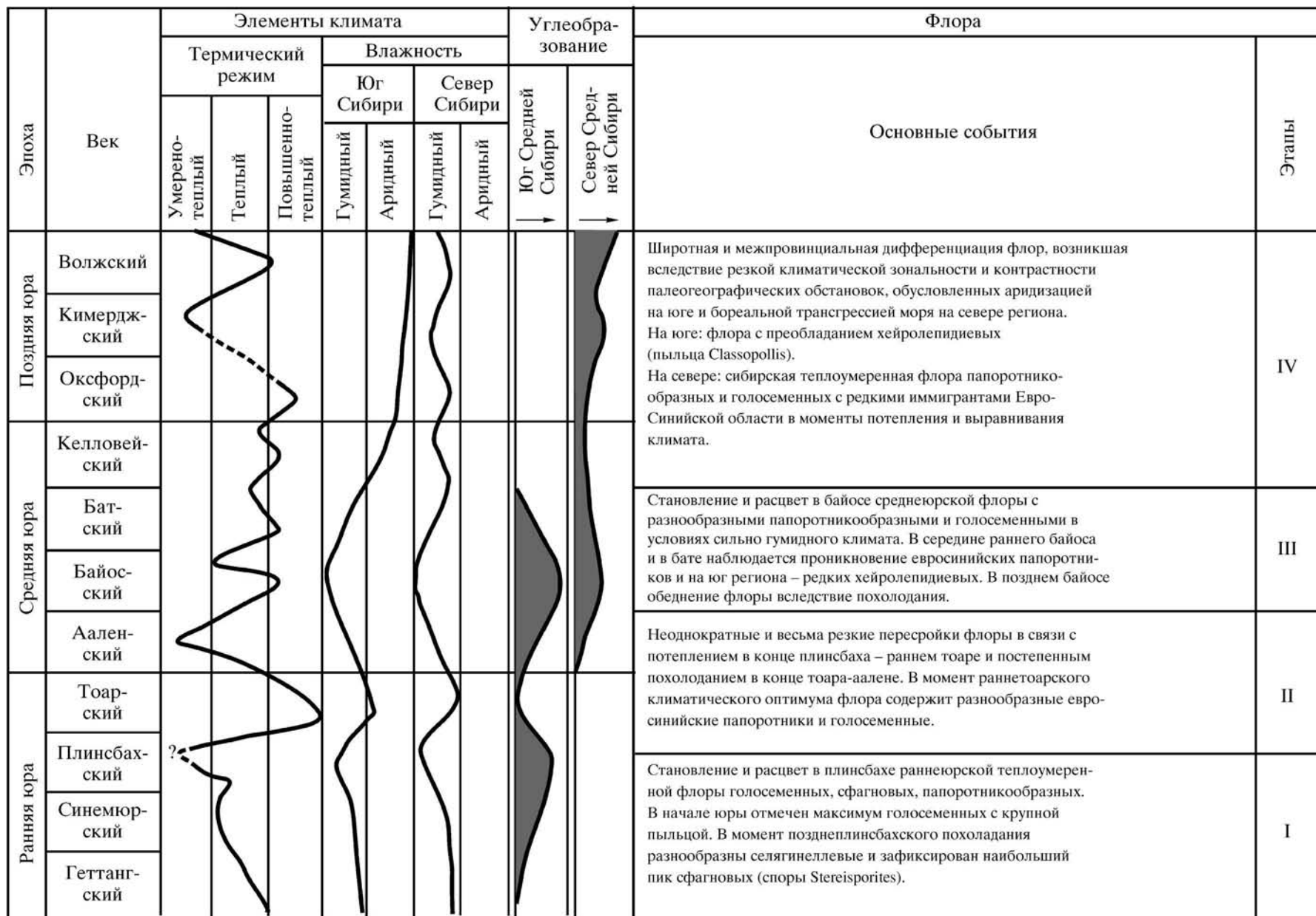


Рис. 10. Флуктуации климата – тепла и влажности, эпохи углеобразования и основные события на суше в юрском периоде на территории Сибири.

монитовых подзон и показали, что она различается до 30 раз; а именно, от 0.036 млн. лет для подзоны *Clevelandicum* до 1.08 млн. лет для подзоны *Exaratum*. Ранне-тоарское ОАЕ продолжалось 0.52 млн. лет. Если не доверять этим абсолютным значениям, но принимать одинаковое относительное отклонение (систематическую ошибку расчетов), то окажется, что темпы преобразования аммонитовых ассоциаций, по крайней мере, на порядок выше, чем темпы перестроек бентосных сообществ, поскольку суммарная продолжительность 4-х подзон зоны *Tenuicostatum* = 0.302 млн. лет (интервал перестроек ассоциаций аммонитов), а продолжительность подзоны *Exaratum* (интервал перестроек сообществ бентоса) составляет 1.080 млн. лет. Следует еще раз отметить, что перестройки в ассоциациях аммонитов как в бореальных, так и тетических бассейнах начались до аноксидного события.

Описанный выше сценарий плинсбах-тоарской биотической перестройки донных сообществ в Арктике во многом напоминает таковой в Западно-Североевропейском и даже Андском бассейнах. Однако имеются существенные отличия в динамике вымираний таксонов. Во-первых, в позднем плинсбахе Арктики нектон был представлен только родом *Amaltheus*. Этот род – единственный представитель одноименного семейства аммонитов повсюду, как и в Арктике, исчезнувшего на границе с тоаром. Подавляющее большинство тоарских аммонитов Арктики – это выходцы из Северной Атлантики. Их эволюционная история в арктических морях полностью повторяла таковую исходных мест, т.е. морей Западной Европы. Во-вторых, среди бентосных групп, в отличие от Англо-Парижского и Андского бассейнов, процент вымерших таксонов ничтожен. Динамика таксономического разнообразия определялась не вымираниями и таксоногенезом, а в значительной мере изменениями границ ареалов (рис. 7–8). В конце плинсбаха в Арктике среди двустворок вымирает лишь один род *Награх*. Большинство же бореально-арктических родов в начале тоара лишь “откочевывают” на юг, а затем возвращаются на прежние места обитания (рис. 8). Более теплолюбивые роды покидают арктические моря, но не вымирают. Микрофауна, в общем, следует тому же сценарию, что двустворки (рис. 9). Таким образом, на рубеже плинсбаха – тоара в Арктическом бассейне не установлено “массового” вымирания среди морских беспозвоночных. Биотический кризис среди морских беспозвоночных Арктики был связан, главным образом, с быстрым смещением ареалов таксонов к югу при резком похолодании, а затем постепенном возвращении беспозвоночных на прежние места обитания при потеплении климата (эффект Лазарус).

СВЯЗЬ СОБЫТИЙ В РАЗНЫХ РЕГИОНАХ

Видовое разнообразие двустворок резко сокращается на границе плинсбаха – тоара и в двух других регионах планеты: разрезах на юге Англии (Йоркшир) и в Южной Германии (эпиконтинентальные моря Северо-Западной Европы) и на юге Латинской Америки (Андский бассейн). А. Хэллем (Hallam, 1986, 1987) рассматривал это явление, как региональный феномен, но после открытия следов перестройки среди двустворок в Андском бассейне М. Аберхан и Ф. Фюрзих (Aberhan, Fursich, 1997, 2000) это событие отнесено к глобальным. Заключение о глобальности биотического события на границе плинсбаха – тоара имеет все основания, если к имеющимся свидетельствам присовокупить данные по Северной Сибири и Арктике в целом (Шурыгин, Никитенко, 1996; Nikitenko, Mickey, 2004). Динамика таксономического разнообразия во всех трех регионах (Северо-Западная Европа, Андский бассейн и Арктика) очень сходная: в синемюре и плинсбахе со временем интенсивно растет разнообразие, вблизи границы, но в особенности в начале тоара разнообразие резко сокращается, затем постепенно растет и достигает прежнего (докритического уровня) в конце тоара или в аалене. В Северосибирском бассейне, как в эпиконтинентальных морях Северо-Западной Европы и в Андском бассейне период “разрушения” был в несколько раз короче периода возрождения. Однако в Арктике донные сообщества полностью или почти полностью восстановились в позднем тоаре, а в Западной Европе и на юге Южной Америки ассоциации двустворок достигли докризисного состояния лишь в аалене. Причины вымирания и позднего возрождения в Андском бассейне пытались объяснить миграциями личинок двустворок через Испанский коридор. Сокращение разнообразия в период кризиса увязывали с миграцией из Андского бассейна в западноевропейские моря в конце плинсбаха и начале тоара, а возрождения – перемещением в обратном направлении: из западноевропейских в восточнотихоокеанские, исходя из того, что в западноевропейских морях двустворки восстановили разнообразие уже в тоаре. Однако, как показали расчеты М. Аберхана (Aberhan, 2002), в обоих регионах от раннего плинсбаха до аалена скорости иммиграции оставались на низких уровнях, так что обе гипотезы опровергаются. Наоборот, образование новых видов в целом играло гораздо более важную роль, чем иммиграция, полностью контролируя дивергенцию в обоих регионах. Как полагает этот автор, глобальный плинсбах-тоарский кризис диверсификации биоты мог бы быть лучше объяснен комбинацией физико-химических факторов, вызванных интенсивным вулканизмом, высоким стоянием уровня моря и широким распространением аноксии также, как и биологическими факторами.

Возрождение после массового вымирания началось, когда скорости новообразования (таксонов) снова возросли в бассейнах Анд в аалене, а в Северо-Западноевропейских – в позднем тоаре.

Важные выводы получила группа западноевропейских исследователей на основе изучения элементного и изотопного состава кальцитовых ростров белемнитов из упоминавшихся ранее плинсбахских и тоарских разрезов Йоркширского побережья Соединенного Королевства и Южной Германии (Bailey et al., 2003). Благодаря надежной био- и хеостратиграфической корреляции обоих разрезов показано, что геохимические тренды, измеренные по кальциту ростров белемнитов, согласуются между двумя разрезами. Отношения Mg/Ca, Sr/Ca и Na/Ca у белемнитов увеличиваются от 1.7 до 2 и совпадают с 3‰ отрицательным трендом $\delta^{18}\text{O}$ от середины зоны *Tenuicostatum* до нижней части *Falciferum* английской аммонитовой зонации (интервал около 0.6–0.7 млн. лет). Эти данные поддерживают предположение, что драматические изменения среды совпали с тоарским ОАЕ. На основе Mg/Ca и $\delta^{18}\text{O}$ сделан вывод о резком потеплении на 6–7°C и существенном опреснении вод в этом временном интервале. Глобальное потепление, сопровождаемое возрастанием гидрологических циклов и увеличением стока предлагается для объяснения этих изменений. Данные по нижней части Йоркширского разреза позволяют предполагать, что предшественником этих событий было, возможно, похолодание, сопровождавшееся увеличением солености вод в течение зоны *Margaritatus* верхнего плинсбаха до нижней части зоны *Tenuicostatum* нижнего тоара.

Как можно видеть, ход событий, предложенный для Северо-Западноевропейского эпиконтинентального моря и Андского бассейна конца плинсбаха и начала тоара неплохо согласуется с приведенным нами сценарием биотических перестроек этого же интервала времени в северосибирских морях и арктическом бассейне в целом, хотя динамика БП имеет свои особенности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На севере Сибири и в Арктике в целом фиксируется БП на границе плинсбаха и тоара. Среди морских беспозвоночных: двустворок, остракод и фораминифер она выражена резким падением таксономического разнообразия на родовом уровне в конце плинсбаха (?) и основании тоара – зоне *Tiltoniceras antiquum*. Из споро-пыльцевых комплексов исчезает или количественно существенно сокращается большая часть видовых таксонов Сибирской палеофлористической области. Возрождение биоты происходило постепенно и одновременно в разных группах морских и наземных организмов. Раньше других (в зоне *Naugoceras*

falciferum) в донных сообществах появились бореально-арктические двустворки и бореальные фораминиферы, лишь в позднем тоаре в северосибирских морях появились нижебореальные и субтетические двустворки и бореальные остракоды. Единичные в конце плинсбаха планктонные бореально-атлантические динофлагеллаты, представленные единственным родом *Nannoceratopsis*, дают вспышку в самом начале тоара и процветают в течение всего раннего тоара. Лишь в позднем тоаре появляются многочисленные (10 видов из 6 родов) бореально-арктические динофлагеллаты. СПК в самом начале тоара (зоне *Tiltoniceras antiquum*) обогащаются за счет преимущественно евросинийских таксонов (14 видов из 12 родов). Сибирские таксоны в массовом количестве появляются в зоне *Dactyloceras commune* на том стратиграфическом уровне, где резко сокращаются Евро-Синийские формы.

Если судить по двустворкам, микробиоте и палинологии, то биотическую перестройку логичнее всего объяснить климатическими причинами: теплые условия в конце плинсбаха сменились резким похолоданием на границе плинсбаха и тоара, а затем на севере Сибири вновь потеплело. Потепление можно увязать с подъемом уровня моря, что объясняет широчайшее распространение на севере Западной и Восточной Сибири и в Арктике в целом глинистых, местами высокоуглеродистых толщ. Подъемом уровня моря с одновременным повышением температуры вод можно объяснить массовую вспышку теплолюбивого фитопланктона в самом начале тоара. Она могла вызвать снижение концентрации кислорода в толще воды (явление “красного прилива”) и, местами, в придонных водах или под поверхностью осадок–вода. Это же событие разрушило прежние пищевые цепи, что и привело к резкому сокращению разнообразия двустворок – фильтраторов.

Постепенный рост разнообразия среди макрофауны: двустворок, аммонитов, белемнитов и, отчасти, среди микрофауны позволяет считать, что потепление на севере Сибири было постепенным. Однако взрывной расцвет в самом начале тоара теплолюбивой наземной флоры и морских теплолюбивых же микроводорослей свидетельствует о быстром потеплении. Временной интервал потепления ограничен, по существу, двумя полными аммонитовыми фазами (конец фазы *Antiquum* – фаза *Falciferum* – начало фазы *Commune*). Точно оценить продолжительность фаз не представляется возможным. Грубая оценка дает около 2 млн. лет. Следуя данным по флоре, приходится допускать начало нового похолодания на севере Сибири уже на границе раннего и позднего тоара. Оно совпало с появлением в северосибирских морях многочисленных и разнообразных бореально-арктических динофлагеллат, а на суше доминирующих таксонов преимущественно Сибирской па-

леофлористической области. Такой климатический сценарий плохо увязывается с данными по двустворкам и остракодам, в сообществах которых к концу тоара – началу аалена появляются относительно теплолюбивые роды. Можно ли допустить, что реакция на изменения температуры морских вод была разной у моллюсков и микроводорослей? Вопрос остается открытым.

Следует заметить, что климатическая причина, по-видимому, была определяющей при сокращении ареалов некоторых обреченных на вымирание животных в мезозое в целом. Так, последние конодонты в Тетисе исчезли в рэте, а в Арктике самые поздние их остатки обнаружены только в нории. Самые поздние остатки морских ящеров (позвонки) обнаружены на севере Сибири в средней части маастрихта. В тропической зоне последние на Земле крупные ящеры обитали до конца маастрихта и, возможно, даже в дании. Головоногие моллюски в морях Тетис исчезли с лица Земли в конце мела – самом начале палеогена, а в Арктической палеобиогеографической области это событие фиксируется несколько раньше – в середине маастрихта. Еще более яркую картину демонстрируют двустворки семейства *Inosegamidae*. Последние их представители в Арктике известны из самого нижнего кампана, в то время, как в Западном Тетисе их раковины встречаются в слоях пограничных между маастрихтом и данием (палеоген). Таким образом, получены дополнительные доказательства климатических причин массовых вымираний на основе анализа ареалов “обреченных” на вымирание таксонов: предшественником вымирания группы на критических рубежах в мезозое было сокращение ее ареала, а затем полное исчезновение в бореальной области.

Авторы благодарят М.А. Ахметьева и О.А. Корчагина за замечания, способствовавшие улучшению статьи. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №№ 03-05-64391, 03-05-64780 и 05-05-6494; программы № 25 Президиума РАН, программы ОНЗ № 14 и проекта 27.2.2 программы 27.2 СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Захаров В.А. Палеобиогеография, палеогеография и палеогеодинамика // Ред. Гладенков Ю.Б., Кузнецова К.И. Биосфера, экосистемы, биоты в прошлом Земли (палеобиогеографические аспекты) М.: ГЕОС, 2005. С. 46–72.

Захаров В.А., Бейзель А.Л., Богомолов Ю.И. и др. Основные биотические события в фанерозое Сибири // Ред. Розанов А.Ю. Проблемы доантропогенной эволюции биосферы М.: Наука, 1993. С. 25–54.

Захаров В.А., Бейзель А.Л., Богомолов Ю.И. и др. Этапность и периодичность в эволюции морских экосистем бореального мезозоя // Ред. Розанов А.Ю., Се-

михатов М.А. Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. Вып. 1. М.: Недра, 1994. С. 139–151.

Захаров В.А., Богомолов Ю.И., Ильина В.И. и др. Бореальный зональный стандарт и биостратиграфия мезозоя Сибири // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 5. С. 927–956.

Ильина В.И., Кулькова И.А., Лебедева Н.К. Микрофитофоссилии и детальная стратиграфия морского мезозоя и кайнозоя Сибири. Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1994. 192 с.

Князев В.Г., Девятов В.П., Шурыгин Б.Н. Стратиграфия и палеогеография ранней юры востока Сибирской платформы. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1991. 100 с.

Левчук М.А. Литология и перспективы нефтегазоносности юрских отложений Енисей-Хатангского прогиба. Новосибирск: Наука, 1985. 164 с.

Палеогеография севера СССР в юрском периоде / Ред. Боголепов К.В. Новосибирск: Наука, 1983. 190 с.

Сакс В.Н., Басов В.А., Дагис А.А. и др. Палеозоогеография морей Бореального пояса в юре и неоме // Ред. Боголепов К.В. Проблемы общей и региональной геологии. Новосибирск: Наука, 1971. С. 179–211.

Шурыгин Б.Н., Никитенко Б.Л. Циркумбореальные реперные уровни нижней и средней юры (по последовательности биособытий в бентосе) // Геодинамика и эволюция Земли. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1996. С. 187–192.

Шурыгин Б.Н., Девятов В.П., Никитенко Б.Л. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система. Новосибирск: “Гео” – филиал изд-ва СО РАН, 2000. 400 с.

Aberhan M. Opening of the Hispanic Corridor and Early Jurassic bivalve biodiversity // Eds. Crame J.A., Owen A.W. Palaeobiogeography and Biodiversity Change: Ordovician and Mesozoic – Cenozoic radiations. J. Geol. Soc. London. Special publ. 2002. V. 194. P. 127–139.

Aberhan M., Baumiller T. Selective extinction among Early Jurassic bivalves: a consequence of anoxia // Geology. 2003. V. 31. № 12. P. 1077–1080.

Aberhan M., Fürsich F.T. Diversity analysis of Lower Jurassic bivalves of the Andian Basin and the Pliensbachian-Toarcian mass extinction // Lethaia. 1997. V. 29. P. 181–195.

Aberhan M., Fürsich F.T. Mass origination versus mass extinction: the biological contribution to the Pliensbachian-Toarcian extinction event // J. Geol. Soc. London. 2000. V. 157. P. 65–60.

Bailey T.R., Rosenthal Y., McArthur J.M. et al. Paleogeographic changes of the Late Pliensbachian–Early Toarcian interval: a possible link to the genesis of an Oceanic Anoxic Event // Earth and Planet. Sci. Letters. 2003. V. 212. P. 307–320.

Bellanca A., Masetti D., Neri R., Venezia F. Geochemical and sedimentological evidence of productivity cycles recorded in Toarcian black shales from the Belluno basin, Southern Alps, Northern Italy // J. Sediment. research. 1999. V. 69. № 2. P. 466–476.

Damborenea S.E. Jurassic evolution of Southern Hemisphere marine palaeobiogeographic units based on benthonic bivalves // Geobios. 2002. Mem. Spec. № 24. P. 51–71.

- Grandstein F.M., Agterberg F.P., Ogg J.G. et al.* A Mesozoic time scale // *J. Geophys. research B*. 1994. V. 99. P. 24 051–24 074.
- Hallam A.* The Pliensbachian and Tithonian extinction events // *Nature*. 1986. V. 319. P. 765–768.
- Hallam A.* Radiations and extinctions in relation to environmental change in the marine Lower Jurassic of northwest Europe // *Paleobiology*. 1987. V. 13. № 2. P. 152–168.
- Hallam A.* Phanerozoic Sea-Level Changes. N. Y.: Columbia university press, 1992. 266 p.
- Hallam A., Wignall P.B.* Mass extinctions and sea-level changes // *Earth. Sci. Rev.* 1999. V. 48. P. 217–250.
- Jenkyns H.C.* The Early Toarcian (Jurassic) event: stratigraphy, sedimentary and geochemical evidence // *Amer. J. Sci.* 1988. V. 288. P. 101–151.
- Jenkyns H.C., Clayton C.J.* Lower Jurassic epicontinental carbonates and mudstones from England and Wales: chemostratigraphic signals and the early Toarcian anoxic event // *Sedimentology*. 1997. V. 44. P. 687–706.
- Jenkyns H.C., Sarti M., Masetti D., Howarth M.K.* Ammonites and stratigraphy of Lower Jurassic black shales and pelagic limestones from Belluno Trough, Southern Alps, Italy // *Eclogae Geol. Helvetiae*. 1985. V. 78. P. 299–311.
- Little C.T.S., Benton M.J.* Early Jurassic mass extinction: a global long-term event // *Geology*. 1995. V. 23. P. 495–498.
- McArthur J.M., Donovan D.T., Thirlwall M.F. et al.* Strontium isotope profile of the early Toarcian (Jurassic) oceanic anoxic event, the duration of ammonite biozones, and belemnite palaeotemperatures // *Earth and Planet. Sci. Letters*. 2000. V. 179. P. 269–285.
- Macchioni F., Cecca F.* Biodiversity and biogeography of middle – late Liassic ammonoids: implications for the Early Toarcian mass extinction // *Geobios*. 2002. Мém. spéc. № 24. P. 165–175.
- Nikitenko B.L., Mickey M.B.* Foraminifera and ostracodes across the Pliensbachian – Toarcian boundary in the Arctic Realm (stratigraphy, palaeobiogeography and biofacies) // *Geol. Soc. London*. 2004. Spec. Public. V. 230. P. 137–174.
- Nikitenko B.L., Shurygin B.N.* Lower Toarcian black shales and Pliensbachian – Toarcian crisis of the biota of Siberian paleoseas // *Proc. Inter. Conf. on Arctic Margins*. 1992. Eds Thurston D.K., Fujita K. Anchorage. Alaska. 1994. P. 39–44.
- Raup D.M., Sepkoski, J.J.Jr.* Mass extinctions in the marine fossil record // *Science*. 1982. V. 215. P. 1501–1503.
- Raup D.M., Sepkoski J.J.Jr.* Periodicity of extinctions in the geologic past // *Proc. Natur. Acad. Sci. USA*. 1984. V. 81. P. 801–805.
- Röhl H.-J., Schmid-Rohl A., Oschmann W. et al.* The positional shale (Lower Toarcian) of SW-Germany: an oxygen-depleted ecosystem controlled by sea level and palaeoclimate // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2001. V. 165. P. 27–52.
- Sepkoski J.J.Jr.* A compendium of fossil marine families // *Milwaukee public museum contributions in biology and geology*. 1982. V. 51. 125 p.
- Sepkoski J.J.Jr.* Periodicity in extinction and the problem of catastrophism in the history of life // *J. Geol. Soc. London*. V. 146. 1989. P. 7–19.
- Sepkoski J.J.Jr.* The taxonomic structure of periodic extinction / Eds Sharpton V.L., Ward P.D. Global catastrophies in Earth history // *Geol. Soc. America. Spec. papers*. 1990. V. 247. P. 33–44.
- Sepkoski J.J.Jr.* A compendium of fossil marine animal families (second edition). Milwaukee public museum contributions in biology and geology. 1992. V. 83. 156 p.
- Sepkoski J.J.Jr., Raup D.M.* Periodicity in marine extinction events / Ed. Elliott D.K. Dynamics of extinction. N. Y.: Wiley, 1986. P. 3–36.
- Zakharov V.A.* Climatic fluctuations and other events in the Mesozoic of the Siberian Arctic // *Proc. Inter. Conf. on Arctic Margins*. 1992 / Eds Thurston D.K., Fujita K. Anchorage. Alaska. 1994. P. 23–28.

Рецензенты М.А. Ахметьев, О.А. Корчагин