

**Красилов В.А.**

## **Модель биосферных кризисов**

**Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. Вып. 4. М.: Издание Палеонтологического института, 2001. С. 9-16.**

**Кризис** интерпретируется как обращение тенденций характеризующих нормальный эволюционный процесс. Сопоставление последовательности событий на геосторических рубежах, признанных кризисными (пермь - триас, мел - палеоген), позволяет выявить общие закономерности которые проявляются в смене стабильного геомагнитного поля, знакопеременными обширными регрессиями, трапшом магматизме, климатических изменениях, геохимических аномалиях, смене доминирующих форм биотических сообществ. Предложена модель, связывающая эти процессы на основе ротационной геодинамики.

В первой половине XIX в. периодизация геологической истории была произведена на основе кризисных событий (катастроф). Границы палеозойской, мезозойской и кайнозойской эр были определены по наиболее отчетливо выраженным сокращениям [биологического разнообразия](#). Однако в эпоху безраздельного господства классического дарвинизма сама возможность планетарных кризисов была поставлена под сомнение. Сейчас ситуация изменилась, поскольку мы являемся свидетелями событий сопоставимых с глобальными кризисами геологического прошлого. В то же время традиционное представление о кризисах как массовых вымираниях биологических видов, по-видимому не исчерпывает существа дела. Количественные оценки вымирания сильно зависят от методических подходов и расходятся в широких пределах. Ряд исследователей полагает, что по числу вышедших видов рубежи геологических эр несущественно отличаются от других ярусных границ. К тому же сокращение разнообразия может быть в отдельных случаях связано не только и не столько с вымиранием, сколько с «непоявлением» новых таксонов (McGhee, 1988). Тем более трудно ожидать, что вымирание одновременно проявится во всех крупных группах органического мира. Например, граница перми и триаса, признанный рубеж массового вымирания морских и наземных животных, характеризуется в то же время массовым распространением вспышкой формирования сапрофитных грибов (так называемый «грибной эпизод»: Visscher et al., 1996). Если говорить о разнообразии биоты в целом, то нельзя не учитывать и подобные кризисные увеличения разнообразия, также требующие объяснения.

Чтобы разобраться в ситуации необходимо в первую очередь прояснить само понятие кризиса. Этимологически по смыслу кризис - это поворотный пункт, изменение направленности процесса, смена тенденций на противоположные. Если нормальный эволюционный процесс характеризуется ростом биомассы и разнообразия, сокращением доминирования и производства мортмассы ([Красилов, 1997](#)), то обращение этих тенденций или одной из них свидетельствует о развитии кризиса.

Кризисные явления весьма разнообразны по своим пространственно-временным параметрам и последствиям для биосферы. Можно говорить о кризисе отдельной экосистемы, современным примером которой может быть усыхание еловых лесов. Региональный кризис охватывает различные экосистемы. Так, в Северной Европе наряду с усыханием лесов наблюдается резкое падение продуктивности озерных экосистем, которые становятся безрыбными. И, наконец, биосферный кризис охватывает основные экосистемы моря и суши в глобальном масштабе.

Во всех случаях наиболее явным показателем кризиса служит выпадение или угнетение экологически доминирующих форм, которое нередко сопровождается массовым распространением пионерных и раннесукцессионных форм. Поскольку основная тенденция [эволюции сообществ](#) проявляется в смене пионерных форм сукцессионными и климаксными, то противоположная тенденция должна быть признана кризисной. Региональные кризисы обычно удается связать с воздействием какого-то конкретного фактора (в приведенном выше примере - с кислотными дождями). В случае биосферных кризисов ситуация сложнее, хотя и здесь трудно представить себе одновременное развитие кризисных тенденций в столь различных системах, как сообщества динозавров и морских планктонных организмов под влиянием внутренних факторов. Попытки же вычлнить какой-то один вид внешних воздействий до сих пор не приводили к удовлетворительным результатам. Можно предположить, что мы имеем дело со сложной системой взаимодействий общей схемы которой до сих пор не существует. Для разработки такой схемы следует, по-видимому, сопоставить развитие событий, сопутствующих изменению биоты на геосторических рубежах, которые широко признаются как кризисные. Это, в первую очередь, границы геологических эр. Изменения органического мира на границе перми и триаса, около 250 млн. лет, мела и палеогена, около 65 млн. лет, сопровождаются широко распространенными стратиграфическими перерывами, что позволяло связывать их с неполнотой геологической летописи. Сейчас, однако, геохронология этих рубежей изучена достаточно детально. К тому же пробелы в летописи возникают вследствие неустойчивости седиментационных систем, сами по себе могут свидетельствовать о прерывистом характере развития геологических и биологических процессов, определяющих функционирование этих систем.

Ниже будет показано, что рубежи геологических эр действительно имеют много общего в отношении последовательности палеомагнитных эвстатических и магматических событий, литологических, геохимических и изотопных показателей а также характера изменения биоты

## КРИЗИСНЫЕ СОБЫТИЯ

**Магнитное поле.** Большая часть пермского периода характеризуется стабильным состоянием магнитного поля в пределах чрезвычайно длительного интервала обратной остаточной намагниченности пород от сакмарского яруса до нижнетатарского подъяруса включительно относимого к гиперзоне Киама. Лишь верхние горизонты перми, от середины татарского яруса, характеризуются чередованием зон прямой и обратной намагниченности которых насчитывается в различной полноте разрезах, от восьми до десяти (Стратотипы., 1996; Burov et al., 1996; Jin et al., 1997). Вблизи границы перми и триаса обратная полярность меняется на прямую

Аналогично в меловом периоде существовал длительный период геомагнитной устойчивости (зона 34N) от раннего апта, около 114 млн. лет до раннего кампана около 177 млн. лет. Далее следует чередование зон прямой и обратной полярности (33N - 30N, нумерация относится к зонам прямой полярности), которых в сводном разрезе восемь. Граница мела и палеогена приходится на интервал обратной полярности между зонами 30N и 29N (LaBrecque et al., 1977). Мы видим, что в обоих случаях периоды неустойчивого состояния поля, следовавшие за чрезвычайно длительными периодами его стабильности, приходятся на заключительную фазу около 10 млн. лет, включающую в перми и мелу примерно одинаковое число чередующихся зон прямой и обратной полярности. Эти совпадения едва ли можно считать случайными. Скорее, они указывают на общие закономерности эволюции геомагнитного поля, общий ритм его колебаний, выраженный в однотипной структуре палеомагнитных зон. Отметим, что кризисный рубеж эоцена и олигоцена также совпадает с знаком перемены геомагнитного поля.

**Регрессии.** Как пермский так и меловые периоды представляют собой эвстатические циклы первого порядка, начинающиеся и завершающиеся глобальными регрессиями. Каждый из них состоит из двух эвстатических циклов второго порядка, соответствующих эпохам (Красилов 1985; Zhou et al., 1996; Zhorig Fu, 1998). На фоне многочисленных разномасштабных колебаний уровня моря максимальные трансгрессии (в казанском и туронском веках соответственно) приходятся на периоды длительной устойчивости геомагнитного поля. Заключительные периоды неустойчивого геомагнитного поля характеризуются преобладанием регрессивной тенденции на фоне частых колебаний с относительно крупным трансгрессивным пиком, приходящимся на северодвинский стратиграфический уровень в перми и позднекампанский раннемаастрихтский в мелу. Подобие эвстатических последовательностей обнаруживает несомненную связь с эволюцией геомагнитного поля.

**Магматизм.** На пермо-триасовом и мел-палеогеновом рубежах происходило формирование крупнейших трапповых формаций - тунгусской и деканской. В обоих случаях мощнейшие толщи пластовых экзструзий базальтовых покровов и туфов приурочены к рифтовым зонам, рассекающим толстую континентальную кору (Васильев Прусская 1997). На Сибирской платформе основная часть траппов сформировалась в интервале от тутончанского до путоранского горизонтов (Садовников 1997). К тутончанскому времени приурочены начальные фазы траппового вулканизма в основном выбросы пеплов. Выше по разрезу появляются лавы базальтов, основные излияния которых приходятся на путоранский уровень, который относят к самым верхам перми или, как полагает Г.Н. Садовников, низам триаса.

Деканские траппы обычно датируют началом палеоцена, хотя основная вспышка магматизма, возможно, была кратковременной и приходилась на границу мела и палеогена. В Южной Индии траппы залегают на морских слоях с датской формой *Hercoglossadonica*. Большинство радиометрических датировок нижних траппов укладывается в пределы 60-65 млн. лет (Sabbarwal, Sukheswala 1981).

По мнению ряда исследователей трапповый магматизм характеризуется огромной мощностью излияний, происходящих в относительно короткие промежутки времени. Не приходится сомневаться в том, что магматические события такого масштаба имели глобальные последствия для климата и биоты и привели к возникновению изотопных геохимических аномалий, широко распространенных на соответствующих стратиграфических уровнях.

Обширные базальтовые провинции формировались на других кризисных рубежах, в частности в позднем эоцене, а также в поздней юре - начале мела (бассейн Параны в Бразилии, азиатская базальтовая провинция, охватывающая Забайкалье, Монголию, Северный Китай).

**Пограничные глины.** Одной из главных геологических сенсаций последних десятилетий было обнаружение крупной иридиевой аномалии на рубеже мела и палеогена (Alvarez et al., 1980). Большинство исследователей приписывает ей космическое происхождение, считая падение крупного небесного тела не только источником дополнительного иридия, но и причиной вымирания крупных групп морских и наземных организмов. В большинстве изученных разрезов основной иридиевый пик приходится на так называемые пограничные глины. Обычно это резко выделяющиеся из карбонатных толщ прослойки пелитов с микросферическими конкрециями обогащенными иридием. Аномалия впервые установлена в «пограничных глинах» итальянского разреза Губбио, где они представлены сантиметровым прослоем известкового монтмориллонитового гелита, вероятно туфогенного происхождения, в основании нижней палеоценовой зоны *Globigerina eugubina*. В других европейских разрезах слои с повышенным содержанием иридия имеют большую мощность и в ряде случаев залегают ниже первого появления маркерного вида *G. eugubina*.

В связи с гипотезой космического происхождения иридиевые слои рассматриваются как глобально изохронный уровень. Однако стратиграфические соотношения могут указывать на не вполне одновременное образование подобных слоев в пределах узкого интервала времени, возможно совпадающего с основной вспышкой деканского траппового вулканизма. В неморских разрезах палинологическая граница, проведенная по вымиранию доминирующих меловых форм, в частности *Proteacidites*, в ряде случаев совпадает с иридиевой аномалией, которая на западе Северной Америки обнаружена в тонштейне-гидролизованном гуде с микросферами.

Иридиевая аномалия на рубеже перми и триаса имеет более локальное распространение и выражена гораздо менее отчетливо, в связи с чем многие исследователи приписывают ей иное (некосмическое) происхождение. Тем не менее сходство содержащих иридий слоев не вызывает сомнений. Вблизи пермо-триасовой границы также имеется характерный прослой «пограничных глин» с микросферами, обогащенными халькофильными и сидерофильными элементами. По данным китайских геологов, этот слой представляет собой бентонит-гидролизированный гуд (Yang et al., 1995). Он прослеживается на большой площади в пределах нескольких китайских провинций и его стратиграфические аналоги найдены в опорных разрезах Эльбурса Кавказа, Канадского Арктического архипелага и др.

Иридиевые аномалии обнаружены на нескольких стратиграфически близких уровнях вблизи границы эоцена и олигоцена (Montanari et al., 1993).

**Изотопные аномалии.** Кризисные геологические рубежи постоянно сопровождаются заметными изотопными аномалиями кислорода и углерода в карбонатных образованиях - сокращением  $\delta^{13}\text{C}$  в связи с прогрессирующим поступлением «облегченного» углерода из биосферного источника. Изотопные аномалии углерода связывают также с черносланцевыми эпизодами прекращения углеобразования и/или изменением типа фотосинтеза - переходом от С3 типа к С4 в кризисные периоды (Cerling et al., 1993; Faure et al., 1995; Dolenc, Ramovs, 1996; Holser, Magaritz, 1997). Следует отметить, что пики углекислоты черносланцевая седиментация приходится на смежные стратиграфические уровни. Так, на границе перми и триаса углекислоты почти повсеместно прекращается, тогда как широко распространенные черносланцевые толщи залегают непосредственно выше «пограничных глин». Однако более общая причина этих событий, по-видимому, заключается в характерном для кризисных периодов увеличении производства мортмассы и выноса органического вещества из наземных экосистем в морские бассейны. В комплексе микрофауны, характеризующем пограничный «грибной эпизод», нами обнаружены обильные остатки нитчатых зеленых водорослей, подтверждающие эвтрофикацию (Krassilov et al., 1999b).

**Климатические изменения.** В Волжском бассейне флора верхних горизонтов перми - начала триаса характеризуется измельчением широко распространенных пермских пельтаспермовых *Tatarina* и *Phylladoderma*. Пограничным флорам типа пуротанской свойственны монодоминантность, обедненный видовой состав, что может указывать на похолодание, хотя в целом климатическая ситуация недостаточно изучена. На этом рубеже происходит массовое проникновение ангарских форм в Северную Казанскую провинцию, тогда как типичная казанская флора сохраняется лишь в Южном Китае (Li, 1997). Такого рода смещение основного фито-географического рубежа связано не только с аридизацией (ксероморфизм растений, прекращение углеобразования, распространение красноцветов), но и с похолоданием. С уверенностью можно утверждать, однако, основываясь на повсеместном распространении плевромейевой флоры, что уже в оленекском веке раннего триаса произошло потепление и значительное выравнивание климатических условий.

Избирательно вымирают термофильные формы беспозвоночных (Keller et al., 1994) и наземных растений на рубеже мела и палеогена, что указывает на значительное похолодание, начавшееся еще в позднем Маастрихте и сменившееся резким изменением климатических тенденций в сторону глобального потепления уже в позднем палеоцене (Красилов, 1985).

**Биотические события на уровне пограничных глин.** Органические остатки в «пограничных глинах» встречаются крайне редко и представлены конодонтами пермского («чансинского») облика. Выше пограничных глин обычно залегают черносланцевые толщи (нижняя часть зоны *Otoceras woodwardi*), также обогащенные сидерофильными элементами, в частности иридием. Комплексы беспозвоночных здесь смешанные, из пермских и триасовых компонентов, тогда как верхняя часть отоцерасовой зоны содержит остатки характерного вида конодонтов *Hindeodus parvus* и другие триасовые формы, хотя здесь встречаются и еще довольно многочисленные пермские реликты. Вымирание макробентоса происходит в нескольких метрах ниже «пограничных глин» (Fedorowski, 1997).

Вопрос о положении границы перми и триаса в пределах интервала смешанной фауны пока остается дискуссионным (Граница..., 1998). Традиционно ее проводят в основании отоцерасовой зоны, хотя в последние годы ряд исследователей склоняется в пользу более высокого положения границы под конодонтовой зоной *Hindeodus parvus*, т.е. между нижней и верхней отоцерасовыми подзонами (Jin et al., 1997). Первый вариант границы совпадает с началом обширной трансгрессии, таким образом, кажется более естественным, хотя, по некоторым данным, трансгрессия началась уже в конце пермского периода.

В континентальных отложениях Волго-Уральского региона пермский разрез завершается красноцветами вятского горизонта татарского яруса, на которых с конгломератами в основании залегает ветлужская серия. В нижних слоях последней найдены остатки *Lystrosaurus* характерных для раннего триаса. Считается, что верхние горизонты перми в этих разрезах выпадают, однако в некоторых районах (в частности по р. Ветлуге) вятский горизонт завершается молосской пачкой со смешанной фауной позвоночных, содержащей такие переходные по морфологическим признакам пермо-триасовые формы как *Archosaurus rossicus* (Стратотипы..., 1996). В последние годы в базальных слоях ветлужской

серии Московской синеклизы обнаружен переходный комплекс макрофлоры спор и пыльцы, показывающий что граница перми и триаса в этом регионе проходила несколько выше несогласной границы татарского яруса и ветлужской серии (Krassilov et al., 1999a).

На п-ове Таймыр где известна по-видимому наиболее полная последовательность пограничных слоев основной части пермского горизонта может соответствовать тутончанский в основании того и другого вымирают характерные для пермской флоры кордаитоподобные формы Папоротниковая флора тутончанского горизонта по данным Г.Н. Садовникова (1997), еще пермского облика, хотя и с участием впервые появляющихся мезозойских форм. В путоранской флоре, наряду с пермскими видами *Quadrocladus* заметную роль играют мезозойские пельтаспермовые *Lepidopteris* к которым переходит доминирующая роль на следующем марининско-устьельтерском этапе. Наиболее вероятным аналогом морских слоев со смешанной фауной в таймырском разрезе можно считать лавовый путоранский горизонт, что согласуется с предположением о генетической связи пограничных бентонитовых глин с основной вспышкой траппового вулканизма

Следует отметить, что доминирующие формы пермских растений в частности кордаитовые исчезают из геологической летописи существенно ниже границы перми и триаса. Аналогично в морских разрезах массовое вымирание пермских беспозвоночных отмечено на нескольких метрах ниже пограничных глин, в которых остаются лишь пермские конодонты. В то же время реликтовые пермские формы как фауны, так и флоры проходят в основании триаса и еще играют существенную роль на уровне отоцерасовых слоев.

Обращаясь к событиям на рубеже мела и палеогена отметим что в разрезе Губбио массовое вымирание меловых фораминифер и кокколитов происходит в 0,5 м ниже иридиевой аномалии, а доминирующих форм макрофауны - еще ниже по разрезу. Однако в других разрезах (Карвака Испания) меловые *Hedbergella* и *Globigerinelloides* еще встречаются выше пограничных глин с иридиевым пиком, а в стратотипе датского яруса отмечено появление *Globigerina eugubbinia* ниже темноцветных «рыбных глин» с иридием (см. обзор в работе Красилова 1985).

В неморских разрезах непосредственно выше иридиевого слоя резко возрастает содержание спор папоротников, иногда сохраняются также и листья этих растений. В дальневосточных разрезах флористическая смена носит далеко не столь резкий характер, хотя и здесь (например в пограничном разрезе по р. Августовке Западный Сахалин Красилова 1979) выделяется характерный пограничный слой туфитов с последними мезозойскими цикадофитами. На этом уровне палеогеновые доминанты *Metasequoia* и *Glyptostrobus* сменяют меловых секвой. В нижних слоях палеоценовой туфогенной толщи возрастает содержание папоротников и еще встречаются реликтовые *Nilssonia*.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, мы можем выделить следующие события, характерные для пермо-триасового и мел-палеогенового рубежей:

1. Смена стабильного течения длительного (около 40 млн. лет) времени геомагнитного поля на переменное в том и другом случае примерно за 8-10 млн. лет до пограничных событий.
2. Проявление начиная с тех же уровней тенденции к регрессии эпиконтинентальных морей, кульминирующей на границах эр.
3. Трапповый магматизм на границах эр и, возможно связанное с ним отложение «пограничных глин» (бентонитов тонштейнов) с тяжелыми металлами.
4. Резкое сокращение карбонатных накоплений в связи с поднятием уровня карбонатной компенсации.
5. Широкое распространение черносланцевых фаций, образующихся в условиях кислородного дефицита на уровне или выше «пограничных глин».
6. Тенденция уменьшения  $\delta^{13}\text{C}$ , с резким спадом на границах эр.
7. Похолодание отчетливо выражено на границе мела и палеогена и, предположительно также вблизи пермо-триасовой границы, сменяющееся в обоих случаях быстро прогрессирующим потеплением.
8. Замещение доминирующих форм морских и наземных экосистем пионерными формами - относительно низким уровнем альфа-, бета- и гамма-разнообразия.
9. Аналогичная последовательность фаунистических и флористических изменений, в которых основные события совершаются в относительно узких границах переходных слоев со смешанными комплексами, причем в обоих случаях крупные организмы вымирают раньше мелких (макрофауна беспозвоночных раньше микропланктона), с сохранением прежних доминантов в качестве реликтовых видов в раннем триасе и раннем палеоцене.

Столь близкое соответствие едва ли случайно. Скорее можно предположить общие закономерности развития геологических и биологических процессов, для которых в принципе может быть разработана объяснительная модель. Построение таковой лучше начать с объяснения палеомагнитных закономерностей, поскольку динамика геомагнитного

поля обусловлена наиболее глубинными процессами на границе внешнего ядра и мантии. По ротационной модели (Красилов 1985, 1991), изменение угловой скорости вращения приводит к сдвигам на всех плотностных разделах (поскольку тела различной плотности получают различное ускорение). В частности смещение мантии относительно ядра сопровождается плавлением мантийного вещества и образованием мощной переходной зоны, экранирующей распространение магнитных волн. Динамика этой зоны отражается в инверсиях знака переменного магнитного поля (Gubbins Sarson, 1994; Laget al., 1998).

И пермский и меловой периоды примечательны длительным сохранением поля постоянной полярности совпадающим развитием обширных трансгрессий. Это последнее совпадение не случайно, поскольку колебания уровня Мирового океана также связаны с ротационным ускорением - его центробежным компонентом. Как угловое, так и центробежное ускорение зависят от плотностной дифференциации геологических тел. При этом изостатическое уравнивание континентальными океаническими блоками разной плотности (Летников 1998) происходит на различных уровнях, которые сближаются при замедлении вращения и расходятся при ускорении. Соответственно континенты воздымаются (регрессия) или опускаются (трансгрессия) относительно океанических впадин (рис. 1). С этих позиций представляется вполне закономерным совпадение знака переменного поля с общей тенденцией к сокращению площади эпиконтинентальных морей как в пермском так и в меловом периоде. В обоих случаях эти процессы развиваются в пульсирующем темпе, свойственном системам с отрицательной обратной связью. Границы перми и триаса, мела и палеогена представляют собой наиболее ярко выраженные регрессивные эпизоды в истории Земли - кульминацию процессов развивавшихся в течение 10 млн. лет и завершившихся максимальным поднятием континентов.

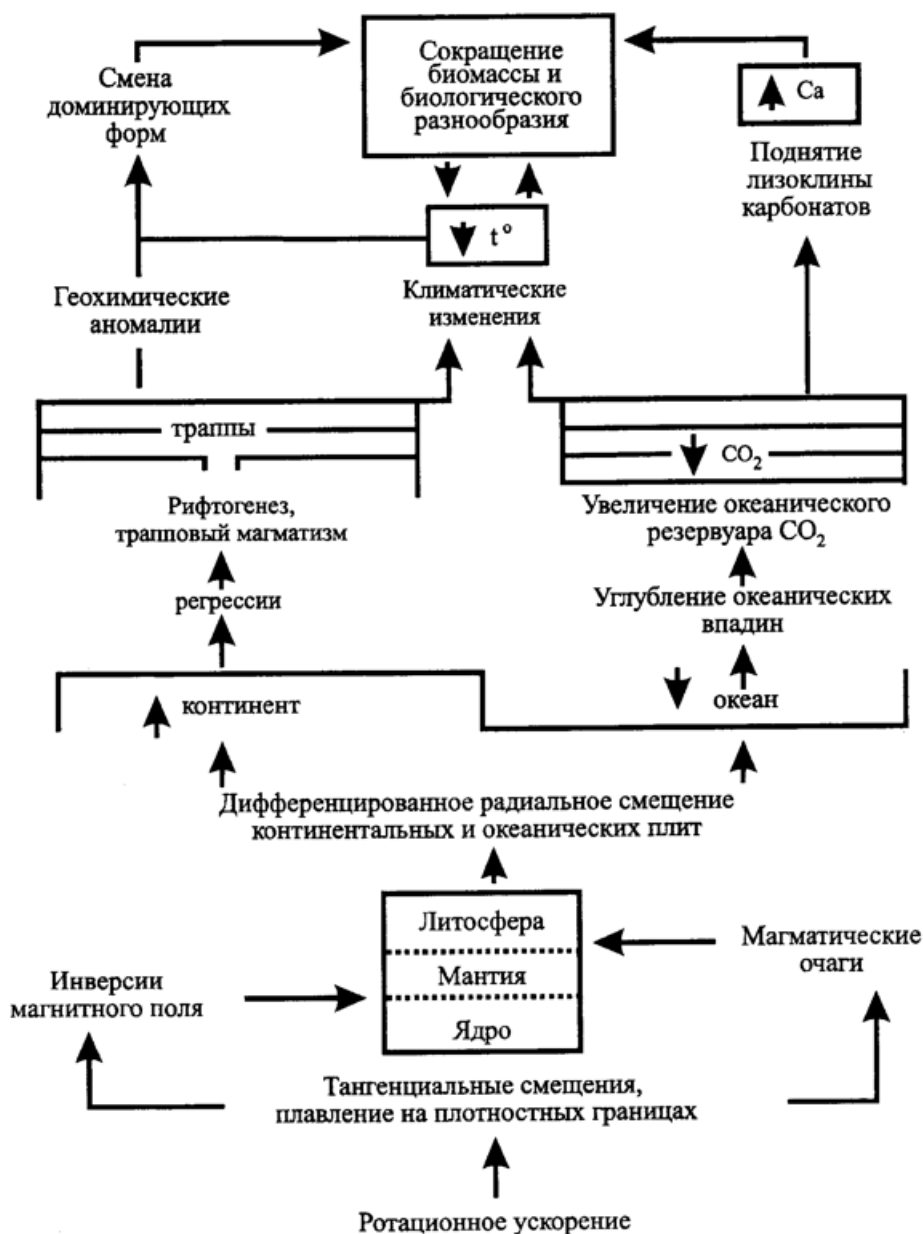


Рис. 1. Схема развития кризисных событий (объяснение в тексте).

Поскольку поднятие - центробежное смещение - означает расширение то именно в этот момент следует ожидать раскалывания континентов - их мощных платформенных блоков - по планетарным разломам. Траповый магматизм как раз и связан с образованием таких расколов. Тунгусские траппы конца перми - начала триаса и деканские у берегов мела и

палеоцена связаны с одной и той же меридиональной системой разломов протягивающихся от Таймыра до грабена Камбей на юге Индии. Поднятие мантийного вещества по глубинным разломам и проплавлению континентальной коры трапповыми интрузиями приводило к увеличению плотности последней и ее опусканию относительно массивов океанической коры (сближению соответствующей уровня изостатического равновесия). Трапповый магматизм таким образом, также играл роль обратной связи в планетарной геодинамической системе. Вслед за траппами в обоих случаях развивались обширные трансгрессии.

Мощнейший трапповый вулканизм сопровождался массивными выбросами пепла и аэрозолей. Соответствующие атмосферные явления, кислотные дожди, поступление в почву тяжелых металлов и других поллютантов безусловно оказывали ощутимое воздействие на биосферу и могли привести к возникновению геохимических аномалий. Наши построения вполне согласуются со стратиграфическими данными, указывающими на хронологическую связь траппового вулканизма с наиболее радикальной перестройкой морских и наземных экосистем приуроченной к небольшой мощности «пограничных глин» (Renne et al., 1995). Однако траппы - лишь кульминация взаимосвязанных процессов, каждый из которых вносил свой вклад в биосферный кризис. При этом первостепенное значение имели сопутствующие климатические события: перестройка океанической циркуляции и соответствующие гидрохимические изменения, отразившиеся на среде обитания морских организмов в условиях осадконакопления.

Наиболее очевидным следствием регрессии была радикальная перестройка циркуляционных процессов в океане, связанная с распадом существовавшей в талассократические эпохи системы водообмена между океаном и эпиконтинентальными морями. Большая часть котлов имела «лагунный» режим с оттоком плотных придонных вод и притоком менее соленых поверхностных. Эта система поддерживала регулярную стратификацию водной толщи и способствовала развитию придонной аноксии. С ее распадом начала развиваться новая система высокоширотных даунвеллингов - низкоширотных апвеллингов, в которой циркулировали большие массы растворенной  $CO_2$ . Скорость продвижения водных масс и соответственно продолжительность циркуляционного цикла  $CO_2$  зависели от климатических параметров - в первую очередь от широтного температурного градиента и относительного притока пресных вод в высокие и низкие широты.

Эти климатические параметры в свою очередь связаны с тепловым эффектом  $CO_2$  и других парниковых газов, образуя систему с обратной связью. В океане увеличение содержания растворенной  $CO_2$  приводило к поднятию уровней компенсации карбонатов. При этом кальцитовое карбонатное накопление мешалось на небольшие глубины и приобретало локальный характер, тогда как лизоклина арагонита поднималась вплоть до поверхности моря.

Общая тенденция изменения климата в сторону похолодания причинно связана как с нарастанием вулканической активности, так и с увеличением стока  $CO_2$  в Мировой океан и наземную биоту (расширение площади суши сопровождалось ростом наземной биомассы и соответствующим увеличением наземного биотического резервуара  $CO_2$ ). Охлаждение поверхности океана увеличивает растворимость  $CO_2$ , обеспечивая позитивную обратную связь, которая всегда способствует быстрому развитию процесса.

Еще один немаловажный эффект охлаждения поверхности океана апвеллингами в низких широтах заключается в усилении тропического муссона и развитии влажной тропической лесной растительности.

После трапповой кульминации происходит инверсия всех этих процессов. Высокие темпы развития трансгрессии в индском веке и позднем палеоцене сопровождаются потеплением и распространением гемносланцевых (угленосных на суше) фаций. Последовательности причинно-следственной связи этих событий схематически показаны на рис. 1.

Реакция биотических сообществ была аналогичной, но разновременной в пределах относительно узких переходных интервалов. При этом необходимо учесть, что воздействия средовых факторов могли носить как прямой, так и косвенный характер. В последнем случае реализуясь посредством структурных изменений в экосистемах. В частности, понижение среднеглобальной температуры приводило к практически одновременному выпадению наиболее термофильных групп как в морских, так и наземных сообществах. Вымирание термофильных групп - общий феномен пермо-триасового и мел-палеогенового рубежей. В том и другом случае наблюдается относительно раннее вымирание доминирующих форм макробентоса арагонитовой раковинной, очевидно связанная с поднятием - вплоть до морской поверхности - лизоклины арагонита. Далеко идущие последствия имела кардинальная перестройка экосистем, связанная с нарушением их базового трофического уровня. Так, вымирание пермских парейазавровых и меловых гадрозавровых фаун находится в прямой связи с сокращением высокопродуктивных сообществ открытой кустарниковой растительности и папоротниково-хвощовых маршей, которые замещались древесными сообществами, неспособными в силу относительно низкой продуктивности и скорости восстановления поддерживать крупные популяции растительной и животной.

Более общей причиной изменения биоты следует, по-видимому, считать нарушение сукцессионных процессов в широком спектре экосистем в связи с дестабилизирующим воздействием. Постоянно происходящие в экосистемах процессы нарушения восстановления задерживались на пионерных или ранних сукцессионных стадиях, что в конечном счете приводило к выпадению («снятию») климаксовой стадии и вымиранию соответствующих видов. Таким образом, смена доминирующих форм, направленная в нормальных условиях от неспециализированных пионерных форм к высокоспециализированным климаксовым, в условиях биосферного кризиса приобретала противоположную направленность: доминирующие климаксовые формы сменялись выходящими на передний план по численности и распространению пионерными. Характерны для кризисов тенденции сокращения биомассы, увеличения производства



мортмассы и сокращения биологического разнообразия можно считать производными от смены доминирующих форм, поскольку пионерным видам, в сравнении с климаксными свойственны высокий уровень смертности и низкая эффективность использования трофических ресурсов (соответственно высокие «отходы» в виде мортмассы). Биологическое разнообразие складывается из трех компонентов альфа - разнообразие внутри биотических сообществ бета - разнообразие самих сообществ гамма - эколого-географическое (провинциальное) разнообразие (Serpukovskij 1988). Пионерные виды уступают климаксным по всем трем компонентам в связи с их «тонкозернистой стратегией», приводящей к менее дробной дифференциации биотических сообществ стиранию эколого-географических рубежей

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По изложенной выше схеме, кризис имеет скрытую фазу, начинающуюся за миллионы лет до проявления на уровне биосферы. При этом предвестники кризисных тенденций такие как увеличение частоты геомагнитных инверсий связаны с глубинными процессами на рубеже ядра и мантии Земли. Следующая фаза проявляется в дифференцированных движениях литосферных плит и связанным с ними магматизмом. Наконец кризис «всплывает» на уровне биосферы вызывая прерывание нормальных сукцессионных рядов и замещение климаксных доминирующих форм пионерными с вытекающими последствиями для биологического разнообразия других экосистемных параметров

В течение длительного времени развитие кризисных процессов носит колебательный характер. Это указывает на действие стабилизирующих механизмов негативной обратной связи. Например увеличение содержания  $CO_2$  в атмосфере вызывает рост продуктивности наземных растительных сообществ (на 10 % при удвоении количества  $CO_2$  относительно современного уровня). Таким образом, возрастает сток  $CO_2$  в биоту, сдерживающий ее накопление в атмосфере. Однако дальнейшее повышение уровня  $CO_2$  не приводит к адекватному увеличению продуктивности, механизм негативной обратной связи перестает работать, происходит быстрая эскалация процесса, а это и есть кульминация кризиса. Эти соображения открывают принципиальный подход к регуляции и сдерживанию кризисных тенденций принимающих необратимый характер лишь в результате сбоя стабилизирующих механизмов негативной обратной связи.

## ЛИТЕРАТУРА

Васильев Ю.Р., Прусская С.И. Новые данные о крупно-объемных проявлениях пермо-триасовых интрузивных траппов в чехле Сибирской платформы // Доклады РАН 1997. Т.354. № 2. С.216-219.

Граница перми и триаса в континентальных сериях Восточной Европы // Материалы к Междунар. симп. «Верхнепермские стратотипы Поволжья». М.: ГЕОС. 1998. 245с.

Красилов В.А. Меловая флора Сахалина. М.: Наука. 1979. С.83.

Красилов В.А. Меловой период. Эволюция земной коры и биосферы // М.: Наука. 1985. 240с.

Красилов В.А. Очерк ротационной геодинамики // Тихоокеанская геология. 1991. № 1. С. 89-95.

[Красилов В.А. Метаэкология](#) М.: ПИНРАН 1997. 208 с.

Летников Ф.А. К оценке тектонических режимов на границах океанических и континентальных плит // Доклады РАН 1997. Т.354. № 2. С.224-226.

Садовников Г.Н. Переход от палеофитак мезофитов Северной и Центральной Азии // Автореф. докт. дисс. 1997. 25с.

Стратотипы опорных разрезов верхней перми Поволжья и Прикамья. Казань: Казанский госуниверситет. 1996. 539с.

Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F. et al. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction // Science. 1980. V.208. P.1095-1108.

Burov B.V., Gusev A.K., Esaulova N.K. et al. On the problem of international stratigraphy of the Permian System // Permophiles 1996. № 29. P.6-7.

Dolenec T. & Ramovs A. Carbon and oxygen isotope variations in the Permian-Triassic boundary carbonate sequence from the Idrija Valley (W. Slovenia) // Permophiles 1996. № 29. P.42-44.

Cerling T.E., Wang Y., Quad J. Expansion of  $C_4$  ecosystem as an indicator of global ecological change in the late Miocene // Nature. 1993. V.361. P.344-345.

Faure K., Maarten J. de Wit, Willis J.P. Late Permian global coal hiatus linked to depleted  $CCQ$  flux into the atmosphere during the final consolidation of Pangea // Geology. 1995. V.23. P.507-570.

Fedorowski J. Rugosa and Scleractinia - a commentary on some methods of phylogenetic reconstructions // Acta Palaeont. Polon. 1997. V.42. № 3. P.446-456.

- Gubbins D., Sarson G. Geomagnetic field morphologies from a kinematic dynamo model // Nature. 1994. V.318. P.51-55.
- Folser W.T., Magant M. Cretaceous/Tertiary and Permian/Triassic boundary events compared // Geochem Cos-mochem. Acta. 1997. V.56. P.3297-3309.
- Jin Yugan, Wardlow B.R., Glenister B.F. & Kotlar G.V. Permian chronostratigraphic subdivision // Episodes 1997. V.20. № 1. P.10-14.
- Keller G., Stinnsbeck W., Eopez-Oliva J.G. Age, deposition and biotic effects of the Cretaceous/Tertiary boundary event at Mimbres, NE Mexico. Palaios 1994 V.9. P.144-157.
- Krassilov V.A., Afonin S.A., Lozovsky V.R. Floristic Evidence of Transitional Permian-Triassic Deposits of the Volga - Dvina Region // Permophiles 1999a. V.34. P. 12-14.
- Krassilov V.A., Afonin S.A., Barinova S.S. Tympanicysta and the Terminal Permian Events // Permophiles 1999b. V.35. P.16-17.
- LaBrecque J.L., Kent D.V., Cande S.C. Revised magnetic polarity time scale for Late Cretaceous and Cenozoic time // Geology. 1977. V.5. P.330-335.
- Lag T., Williams Q., Garnero E.S. The core-mantle boundary layer and deep Earth dynamics // Nature. 1998. V.392. P.461-468.
- Li Xing-xue. The origin, evolution and distribution of the Cathaysian flora in East Asia // Acta Palaeontologica Sinica 1997. V.36. № 4. P.416-422.
- McGhee G.R., Jr. Late Devonian extinction: evidence for abrupt ecosystem collapse // Paleobiology 1988. V.14. №3. P.250-257.
- Montanari A., Asaro F., Michel H.V., Kennett J.P. Iridium anomalies of Late Eocene age at Massignano (Italy) and ODP Site 689B (Maud Rise, Antarctic) // Palaios 1993. V.8. №5. P.420-438.
- Ramstein G., Fluteau F., Besse J. & Joussaume S. Effect of orogeny, plate motion and land-sea distribution on Eurasian climate change over the past 30 million years // Nature. 1997. V.386. P.788-795.
- Renne P.R., Zhang Zichao, Richard M.A. et al. Synchronous causal relations between Permian-Triassic boundary crises and Siberian flood volcanism // Science. 1995. V.269. P.1413-1416.
- Sabbarao K.V., Sukheswala R.N. Deccan volcanism and related basalt provinces in other parts of the world. Bangalore 1981. 471 p.
- Sepkoski J.A., Jr. Alpha, beta, or gamma: where does all the diversity go? // Paleobiology 1988. V.14. № 3. P.221-234.
- Shi G.R., Shen Shu Zhong. A Late Permian brachiopod fauna from Selung, southern Xizang (Tibet) China // Proc. Roy. Soc. Vict. 1997. V.30. P.37-56.
- Visscher H., Brinkhuis H., Dilcher D.L. et al. The terminal Paleozoic fungal event: Evidence of terrestrial ecosystem destabilization and collapse // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1996. V.93. P.2155-2158.
- Yang Zunyi, Sheng Jinzhang, Yin Hengfu. The Permian-Triassic boundary: the global stratotype section and point (GSSP) // Episodes 1995. V.18. № 1,2. P.49-53.
- Zhong Rong, Fu Zeming. The relationship between the distribution of thick coal belts and the Late Carboniferous-early Early Permian marine transgression/regression in the North China Platform // Acta Geol. Sin. 1998. V.72. №1. P.114-120.
- Zhou Z., Glenister B.F., Furnish W.M., Spinosa C. Multi-episodic extinction and ecological differentiation of Permian ammonoids // Permophiles 1996. №29. P.52-54.

Ремонт трубопроводной арматуры. Предлагаем [ремонт трубопроводной арматуры](#) цены. Phoenix Ufa - [погрузчик вилочный комацу](#). Недорогие цены. Открыли новый офис? Купите [кресло руководителя Италия](#) в компании Адвант.