

## О МАССОВЫХ ВЫМИРАНИЯХ БИОТЫ

**Аннотация.** Проведено сопоставление наиболее известных причин массовых вымираний биоты (вулканы, импактные воздействия, аэрозоли). Показано, что климатическая система и Биосфера являются динамически устойчивыми системами и могут реагировать только локально на экстремальные воздействия. Утверждается, что общепризнанные причины массовых вымираний не являются доказательными. Требуются иные подходы с позиций взаимодействия сложных систем.

**Ключевые слова:** массовые вымирания, импактное воздействие, трапповый вулканизм, аэрозоли.

### Введение

1 Массовые вымирания организмов (МВ) являются наиболее четким признаком происшедшей глобальной катастрофы на Земле. Массовое вымирание – это одновременное в глобальном масштабе исчезновение многих таксонов высокого ранга, принадлежащих различным группам организмов, и резкое сокращение разнообразия тех, которые полностью не исчезают. Ведущая роль МВ подчеркивается еще и тем, что только через их структуру и динамику можно реконструировать причины и характер вызывающих их событий.

Палеонтологи выделяют пять великих массовых вымираний и около 15 мелких вымираний. Около 443 млн. лет назад завершилось великое ордовикское вымирание. За 3,3–1,9 млн. лет исчезло 57% родов, 86% видов организмов. Великое девонское вымирание (359 млн. лет назад) длилось не более 2 млн. лет, вымерло 35% родов и 75% видов. Во время великого пермского вымирания (258,3 млн. лет назад), которое продолжалось не более нескольких десятков тысяч лет, погибло 56% родов и 96% видов. Это вымирание считается крупнейшим в истории Земли. Великое триасовое вымирание проходило в несколько этапов, длилось около 16 млн. лет и завершилось около 200 млн. лет назад исчезновением 47% родов и 80% видов. И, наконец, великое меловое вымирание, случившееся 65 млн. лет назад, лишило нас не только динозавров. В этот период погибло 40% родов и 76% видов. Учёные по-разному оценивают его продолжительность – от года до 2,5 млн. лет [1].

Причины глобальных катастроф в Биосфере являются предметом острых дискуссий и в настоящее время интенсивно изучаются и обсуждаются в научной литературе. До

недавнего времени в качестве основных причин этих событий рассматривались либо взрывные воздействия крупных метеоритов или даже астероидов на поверхности Земли, либо сильные вулканические извержения, либо массовые излияния базальтов (трапповый магматизм). Основанием для таких утверждений служили предполагаемые и немного утрированные корреляции между этими событиями.

Предполагалось, что эти явления служили поставщиками больших объемов аэрозолей в стратосферу, экранировавших солнечную инсоляцию, и тем самым являлись механизмом для запуска длительных похолоданий климата, сопровождавшихся вымираниями биоты. Причинно-следственная связь была привлекательна и стимулировала распространение этих идей. Схема вариаций численности биоты приведена ниже на рис.1.

2

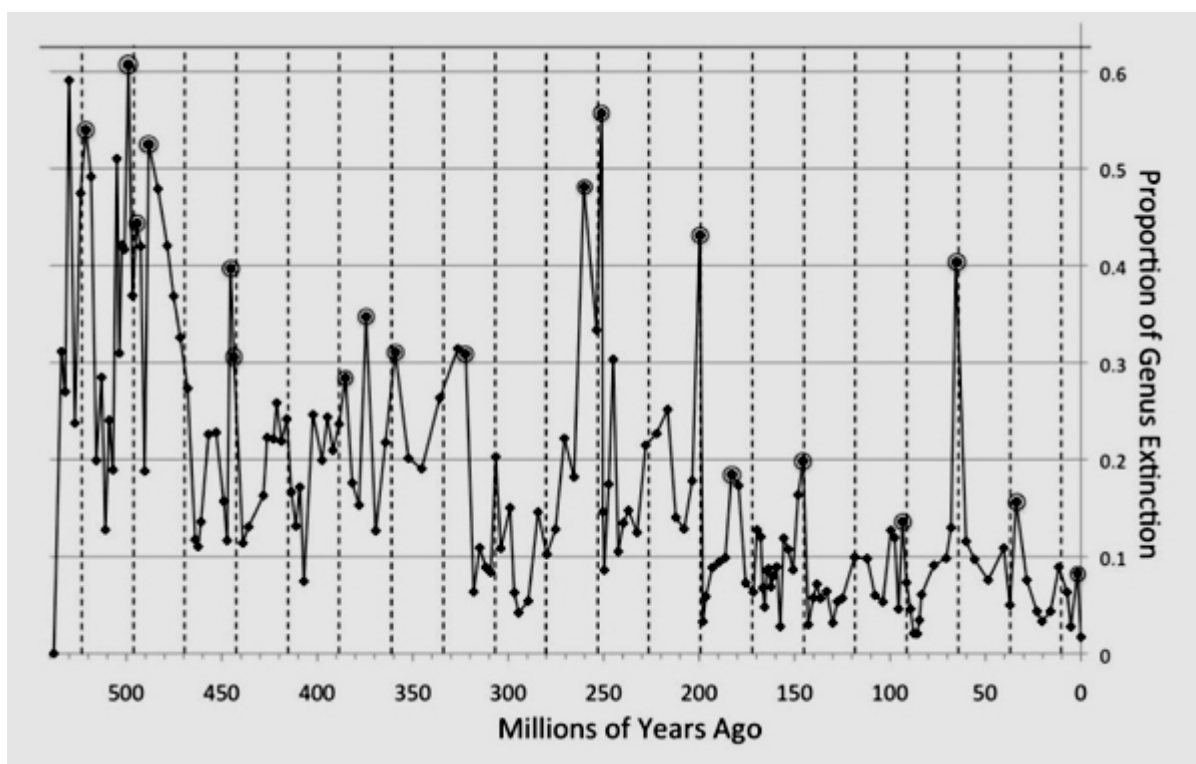


Рис.1. Схема массовых вымираний в фанерозое [2]

### 1. Импактные воздействия крупных астероидов (за и против)

Первыми, кто попытался объяснить, что вызвало мел-палеогеновое катастрофическое развитие событий на Земле, были нобелевский лауреат по физике Луи Альварес и его сын Уолтер (Alvarez et al., 1980). Они предположили, что в это время на Землю упал очень крупный метеорит. В стратосферу были выброшены огромные объемы частиц пород и пыли. Возник аналог ядерной зимы, дестабилизировавший биосферу и приведший к массовому вымиранию видов в этот период и динозавров. Доказательством послужили измерения концентраций иридия, которого на Земле мало, но много в

метеоритах. Оказалось, что в земных слоях возрастом 65 млн. лет иридия примерно на 4 порядка больше, чем в обычных земных породах.

В большинстве изученных разрезов основной иридиевый пик приходится на, так называемые, пограничные глины [3]. Обычно это резко выделяющиеся в карбонатных толщах прослойки пелитов с микросферическими конкрециями, обогащенными иридием. Аномалия впервые установлена в «пограничных глинах» итальянского разреза Губбио, где они представлены сантиметровым прослоем известкового монтмориллонитового пелита, вероятно туфогенного происхождения, расположенного 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*. Иридий, сидерофильный элемент из группы платиноидов, имеет крайне низкую концентрацию в земной коре – около 0,03 нг/г, но весьма распространен в космическом веществе, где его содержание колеблется в пределах 500-5000 нг/г. В пограничной глине концентрация иридия чаще всего составляет от 2 до 80 нг/г, т.е. на два-три порядка выше, чем в выше- и нижележащих слоях. "Иридиевая аномалия" ныне установлена примерно в 150 разрезах, рассеянных по всему земному шару в океанах и на континентах.

3

Космическая природа данной геохимической аномалии аргументируется также космическими соотношениями сидерофильных элементов; присутствием на этой границе ударно-метаморфизованного кварца и полевого шпата, стишовита, стеклов ударного плавления (тектитов). Доказательством вероятности ударного события может служить также идентификация крупных импактных структур на поверхности Земли, имеющих возраст близкий к мел-палеогеновому рубежу [3]. Поэтому эта гипотеза стала доминирующей. Однако дальнейшие исследования показали, что ситуация с динозаврами значительно сложнее.

Перед тем как занять главенствующее положение на Земле, динозавры пережили два периода массового вымирания. Исследования ученых из Университета Бристоль показали, что перед тем, как гигантские ящеры стали активно размножаться, имел место период "выживания". Пресс-релиз работы, опубликованной в журнале *Biology Letters*, можно найти на сайте университета. Геологические данные свидетельствуют в пользу того, что динозавры начали расселяться по Земле спустя 30 миллионов лет после своего появления около 230 миллионов лет назад. За это время они успели образовать все привычные жизненные формы: крупные хищники, длинношеие травоядные и другие. Авторы работы считают, что ящеры смогли распространиться по планете не благодаря своему разнообразию, а по причине массового вымирания, которое произошло около 228

миллионов лет назад. По неясным причинам в этот период исчезло около 35 процентов всех существовавших семейств.

Помимо динозавров, очень сильно сократилась численность организмов, населявших Землю до них. Таким образом, ящеры просто заняли освободившиеся экологические ниши. На границе между триасовым и юрским периодами (около 200 миллионов лет назад) произошло еще одно массовое вымирание, приведшее к исчезновению примерно половины населявших Землю видов. Это событие стало ключевым в "карьере" динозавров [4]. Один из авторов работы, Майкл Бентон из Университета Бристоля, считает проведенное исследование доказательством того, что законы, управляющие эволюционными процессами, значительно сложнее, чем принято считать.

Следует отметить, что иридий находился в горных породах, которые имели вид «шариков» возникших под воздействием огромного давления ударной волны при падении астероида. Исходя из наличия шариков, а также ряд других доказательств, доктор Алан Хильдебранд из Университета Калгари делает вывод, что удар пришелся в районе полуострова Юкатан, образовав при этом кратер, известный сегодня как Чиксулуб. Химический анализ позже подтвердил, что шарики и в самом деле произошли из горных пород кратера [5].

Теория удара, казалось бы, дала полный ответ на вопрос о гибели динозавров. Так Хильдебранд и другие сторонники теории удара утверждали, что событие, произошедшее 65 миллионов лет назад (падение астероида) и последствия этого события и явилось причиной гибели динозавров.

Но группа ученых под руководством профессора Герта Келлера из Принстонского университета и профессор Вольфганг Штинисбек из Университета Карлсруэ не согласились с выводами теории Хильдебранда. Они обнаружили ряд геологических несоответствий, которые предлагают, что истина может быть гораздо сложнее.

Свои исследования они сосредоточили на ряде горных пород в Мексике, где *слой иридия был отделен от шариков многометровым слоем песчаника*. Это исследование подверглось критике сторонниками теории удара. Так профессор Ян Смит из Университета Врий (Амстердам), развеял идеи Келлера. Смит утверждал, что слой песчаника был образован массивными волнами цунами, вызванного падением астероида, и не подрывает идею одного удара [5].

Но группа Келлера нашли доказательства – такие, как древние норы червей. Он предположил, что отложения песчаника были не сплошными, а разделялись норами ископаемых червей [[http://cometasite.ru/aster\\_dinozavr/](http://cometasite.ru/aster_dinozavr/)]. Они пришли к выводу, что

*существует зазор около 300 000 лет между отложением шариков (из кратера Чиксулуб) и отложениями иридия*, как составной части астероида. Поэтому можно сделать два вывода:

1. Кратер Чиксулуб, по их словам, был слишком стар, чтобы быть причиной гибели динозавров.

2. Должно быть, был еще один удар в другом месте, который и был виновником катастрофы. Но, кратер от падения этого метеорита еще не найден.

Исследование Келлера вызвало оживленные научные споры. В 2001 году, что бы попытаться разрешить спор, международная группа ученых изучила образцы из глубины кратера Чиксулуб. Как и следовало ожидать, каждая сторона представила доказательства, поддерживающие свои теории.

В последнее время работы Келлера получили некоторую поддержку. И расширился круг ученых, которые начали подвергать сомнению другие гипотезы, связанных с падением астероида. Клэр Белчер из Royal Holloway Лондонского университета, нашла доказательства, которые показывают, что после падения астероида сопутствующие пожары не были широко распространены в Северной Америке [5].

Профессор Дэйв Арчибалд из университета в Сан-Диего убежден, что выживание в то время таких существ как лягушки, опровергает идею, что динозавры погибли из за выпадения кислотных дождей, или что «воздействие» зимы вызвало массовое и устойчивое понижение температуры.

Доктор Норман Маклеод из Музея естественной истории в Лондоне, является одним из большой группы ученых, которые убеждены, динозавры были уже на грани вымирания в результате изменения климата, задолго до катастрофы, вызванной падением астероида.

Последние исследования указывают, что падение этого астероида не вызвало столько разрушений, как считалось ранее.

Исследования проводились в лаборатории Jeroen Tromp. Профессор Блэр из Пристонского департамента геологических наук о Земле смоделировал удар астероида, который образовал кратер Чиксулуб в Мексиканском заливе. Суммарная мощность выделившейся энергии была эквивалентна взрыву 2 миллионов водородных бомб, что, по мнению многих ученых, вызвало массовое вымирание динозавров около 65 миллионов лет назад. Исследования команды ученых показало, что сейсмические волны, вызванные взрывом от метеорита, будут рассеяны, а не сфокусированы, что вызвало бы менее тяжелые смещения земли. Следовательно, цунами, сейсмическая и вулканическая активность были не столь разрушительны, чем предполагалось ранее.

По словам Тромпа, который также является директором Института вычислительных наук и техники в Принстоне, и профессора прикладной и вычислительной математики Мешедде, суть разработанной модели заключается в том, что после удара метеорита, сейсмические волны распространяются через поверхность Земли, как после камня, брошенного в воду, и встречаются на противоположной стороне. Но их суммарная энергия не столь разрушительна, так как из-за неоднородности планеты и ее эллиптической формы, часть сейсмических волн отклоняется, рассеивается, или поглощается земными породами. Поэтому и смещение земной коры будет не таким огромным (порядка 10-15 метров), а в 3-5 раз меньше [5].

Модель показывает, что противоположные фокусировки сейсмических волн от удара объекта такого размера, было чрезвычайно переоценено в предыдущих расчетах, которые использовали сферическую модель Земли. На сферической модели, все волны сходятся в одной точке, и, как результат, имеют огромную амплитуду. Исследователи обнаружили, что сейсмические волны были разрознены, а это означает, что количество энергии, сосредоточенной в антиподе взрыва, было значительно меньше. Следовательно, разрушения были не столь масштабные и значительные.

6

Итак, на доказательство импактной версии вымираний потрачено много усилий, но каков итог? Мы, в свою очередь, провели анализ наиболее важных катастрофических ситуаций для варианта импактных воздействий (табл.1).

Таблица 1. Сопоставление периодов ближайших вымирания биоты с датами образования крупнейших кратеров Земли.

| Периоды вымираний биоты (млн. лет)                          | Возраст кратера (млн. лет) | Название кратера                 | Диаметр кратера (км) | Причинно-следственные связи |
|---|----------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Нет   | 2 023                      | Вредефорт (Южная Африка)         | 300                  | нет                         |
| Нет   | 1 850                      | Сёдбери (Канада, Онтарио)        | 250                  | нет                         |
| Норийское (211±8)   | 214                        | Маникуаган (Канада, Квебек)      | 100                  | не совпадает время          |
| нет   | 129±2                      | Дуолин (Китай, провинция Хей)    | 190                  | нет                         |
| Мел-палеогеновое маастрихт (65±1)                           | 64,98                      | Чиксулуб (Мексика, Юкатан)       | 170                  | проблемность                |
| Палеогеновое Pg <sub>2</sub> -Pg <sub>3</sub> (36,6 – 43,6) | 35                         | Попигай (Россия, Якутия, Таймыр) | 100                  | не совпадает время          |

Простой анализ приведенных нами в таблице данных показывает следующее. Причинно-следственные связи практически отсутствуют. Обширные изыскания в окрестности кратера Чиксулуб также не подтверждают эту идею. И самое важное

заключается в том, что *кратеры значительно больших размеров чем Чиксулуб, такие как Вредефорт (300 км), Сёдбери (250 км) и Доулин (190 км) не сопровождаются никакими вымираниями, хотя по мощности воздействия они значительно превосходят Чиксулуб. Это означает, что импактный механизм не является причиной массовых вымираний.*

## 2. Вулканогенное воздействие на массовые вымирания (за и против)

Параллельно с теорией удара утвердилась идея о существенном влиянии крупных извержений в истории Земли на климат за счет массовых выбросов аэрозолей в стратосферу Земли (рис.2).

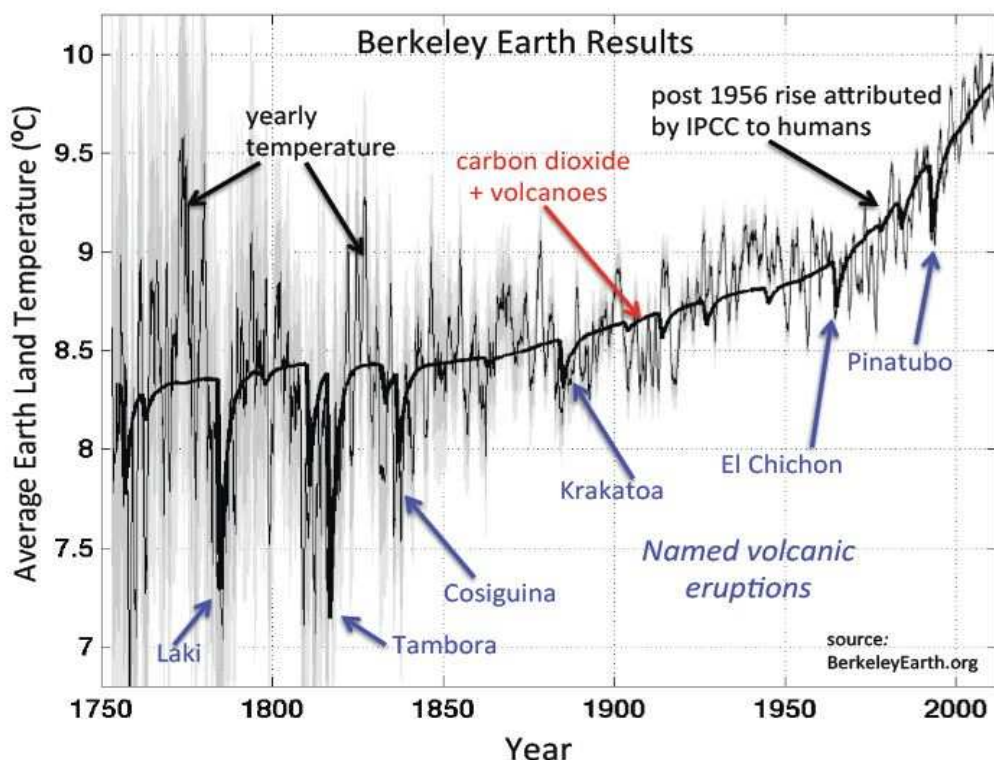


Рис.2. Схема влияния извержений вулканов на состояние температуры на Земле [6].

Роль стратосферного аэрозоля вулканического происхождения (вулканической пыли) в изменении климата, в частности похолодании, хорошо изучена; это явление получило название «вулканическая зима». Величина понижения температуры поверхности Земли после сильных эксплозивных извержений современных вулканов оценена. Так, например, извержение вулкана Тамбора (Индонезия, 1815) самое сильное (VEI = 7) из произошедших за последние 200 – 300 лет, привело к тому, что в течение 2-3 лет концентрация пыли во льду Гренландии достигала 94 p.p.b. (1 p.p.b. = 10<sup>-9</sup>) [6].

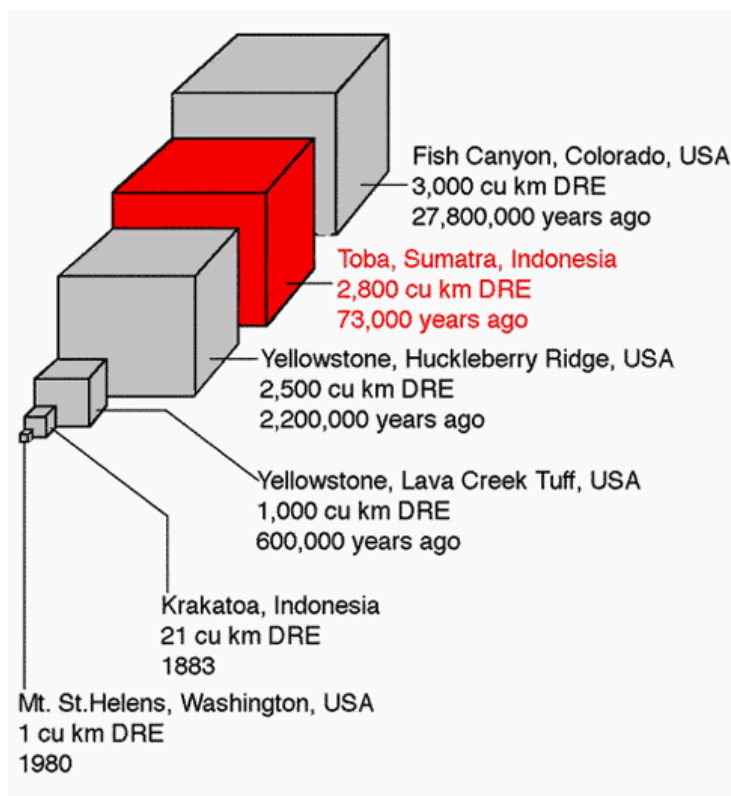
Анализ графика на рис.2 четко показывает, что аэрозоли от извержения вулканов

создают лишь кратковременную аномальность температуры, но общий тренд её повышения сохраняется и притом весьма устойчиво.

Однако, извержения, которые произошли на памяти человека, на порядки уступают извержениям супервулканов.

### 3. Роль супервулканов в массовых вымираниях

Палеонтологические данные по извержениям таких общепризнанных супервулканов, показывают, что их объемы пыле-газовых извержений значительно превосходят мощности обычных вулканов (рис.3).



8

Рис.3. Схема сопоставления мощностей вулканов и супервулканов по объемам извержений. Здесь (DRE) - эквивалентная плотность пород для вулканического объема извержения между 2,000 km<sup>3</sup> и 3,000 km<sup>3</sup>. Наиболее распространенная оценка DRE - 2,800 km<sup>3</sup> (о 7×10<sup>15</sup> кг) извергнутой магмы, для которой 800 km<sup>3</sup> было отложено как выпадение пепла [7]

Извержение супервулкана Тоба (о. Суматра, Индонезия). произошло примерно 74 тыс. лет тому назад и является сильнейшим за этот период. Индекс извержения VEI=8. (VEI — англ. Volcanic Explosivity Index) — показатель силы извержения вулкана, основанный на объеме извергнутых продуктов (тефра) и высоте столба пепла. Предложен К. Ньюхоллом и С. Селфом в 1982 году для оценки воздействия извержений на



земную атмосферу. В результате на Земле в течение 6–10 лет шли сернистые дожди, была вулканическая зима. Считается, что это послужило причиной последующего 1000-летнего похолодания. Предполагается, что из-за этого 70 000 лет назад полное народонаселение сократилось до 15 000 человек. Теория основана на геологических доказательствах внезапного изменения климата тогда и соединении некоторых генов (включая митохондриальную ДНК, Y-хромосому и некоторые ядерные гены). Имеются некоторые доказательства снижения численности высших животных вслед за извержением Тоба, например, восточного африканского шимпанзе, орангутана Bornean, центральной индийской макаки, гепардов, тигров, и разделение ядерных генофондов восточных и западных горилл. Но это все регионально и не может быть отнесено к великим вымираниям [8].

При этом в стратосферу было выброшено, по разным оценкам, от 500 до 5000 млн. тонн аэрозолей или  $2\,800\text{ км}^3$  DRE (рис.3). Концентрация пыли, вмороженной в лед, достигала в этот период времени 1 р.р.м.

Первое извержение Йеллоустонского вулкана произошло 2,2 млн. лет назад. Было извергнуто  $2,5\text{ км}^3$  DRE. Последнее извержение около 600 тыс. лет назад имело силу 8 баллов, около  $1\,000\text{ км}^3$  DRE (рис.3).

Важно отметить, что мощности извержений супервулканов тысячекратно превосходят извержение даже самого сильного вулкана Тамбора и, тем не менее, они не сопровождаются великими вымираниями. Поэтому вулканическая гипотеза в таком виде не состоятельна. Хотя на региональном уровне такие вымирания возможны, как например в случае супервулкана Тобо.

#### 4. Влияние мощных базальтовых излияний на массовые вымирания.

Поэтому Герхард Ролен, Поль Рендли и Инсер Коктие предположили, что массовые вымирания связаны с объемными базальтовыми извержениями, которые не только имеют большую длительность извержений, но обеспечивают намного превосходящие даже супервулканы объемы выброса аэрозолей в стратосферу (рис.4).

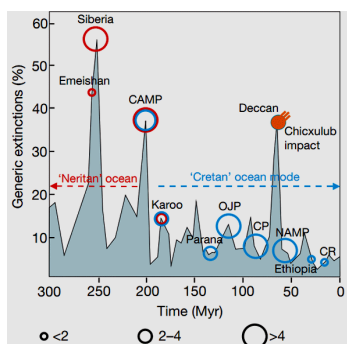


Рис.4. Скорость вымирания родов животных и растений (голубая область) и

формирование крупных трапповых провинций (круги). Размер кругов отражает объем трапповых провинций (в млн. куб. км). По горизонтальной оси – время в млн. лет назад. Самое крупное вымирание совпадает с образованием сибирских траппов (Siberia, большой красный круг). Массовое вымирание на рубеже триаса и юры (около 200 млн. лет назад) совпадает с образованием Центрально-Атлантической магматической провинции (СAMP)[9].

Из пяти известных массовых вымираний Великое пермское (251 млн. лет назад) остается крупнейшей катастрофой биосферы в истории Земли. Оно разделило пермский и триасовый геологические эпохи, а также палеозой и мезозой. Итогом стало исчезновение 95% всех морских видов и 70% наземных позвоночных. С лица Земли исчезли не только виды, ушли в прошлое целые отряды и даже классы живых существ (например, знаменитые трилобиты). Тогда же произошло и единственное известное массовое вымирание насекомых (исчезло до 80% классов). Катастрофа ударила даже по такому стойкому к невзгодам царству как микроорганизмы [10].

Великое Пермское вымирание хронологически совпало с образованием Сибирской трапповой провинции – огромного по площади (до 4 млн. кв. км) и толщине (до 4 км) выплеска базальтовой магмы в районе Восточно-Сибирской платформы. Сибирские траппы изливались на границе палеозоя и мезозоя, а именно пермского и триасовых периодов, около 250–251 млн. лет назад. Заметим, что сибирские траппы – самая крупная из известных трапповых провинций.

Предположение о связи сибирских траппов с вымиранием не подтверждалось имеющимися моделями, из которых следовало, что объем вулканических газов, выделившихся из магмы, был недостаточен для глобальной экологической катастрофы. Однако российские геологи показали, что мантийный «плюм» (восходящий поток), ответственный за образование сибирских траппов, содержал в себе значительную примесь переработанных плотных пород океанической коры. Из расчетов, проведенных с учетом этого факта, следует, что выброс  $\text{CO}_2$  и  $\text{HCl}$  в самом начале формирования сибирской трапповой провинции был в несколько раз масштабнее, чем считалось до сих пор, и вполне мог вызвать массовое вымирание [10]. Так, масса выделившегося углекислого газа по мере поднятия суперплюма, обогащенного расплавом вещества древней океанической коры, составила  $170 \cdot 10^{12}$  тонн, что в несколько раз превышает предыдущие оценки выхода углекислоты при формировании Сибирских траппов.

Развил эту гипотезу геохимик Алексей Иванов, который предложил свой вариант катастрофических событий. «250 миллионов лет назад объем излияния базальтов был

сопоставим с размерами сегодняшнего материка Австралия, - говорит Иванов. Именно на такой территории практически одновременно на многих частях происходил вулканизм». Ученый считает, что при таких масштабных извержениях вулканическая лава не просто изливалась на поверхность Земли, а взаимодействовала с нефтью или газом, образуя разнообразные токсичные газы. По трещинам в земной коре они попадали в атмосферу и буквально отравляли все живое [11].

Правда вряд ли можно согласиться с утверждением об одновременности излияния на такой площади, если это трещинные излияния, и с тем, что там к моменту излияний сохранились залежи нефти и газа.

Канадским ученым удалось обнаружить в геологических слоях соответствующего возраста ценосферу – отложения пепла, являющиеся микроскопическими полыми частицами зольной пыли, образующимися при сжигании угля. Подобные частицы являются следствием деятельности угольных электростанций. Формирование этих частиц 250 млн. лет назад могло произойти вследствие активности траппов в Сибири, в ходе чего расплавленное вещество вырывалось наружу и проходило сквозь залежи угля.

Ученые четко выделили три слоя ценосфер на отрезке времени продолжительностью в 500-750 тысяч лет, образование последнего слоя предшествовало непосредственно массовому пермскому вымиранию. Геолог Грегори Реталлек из Университета в штате Орегон такие доказательства считает достаточно убедительными. С ним согласен Норман Слип, геофизик из Стэнфордского университета, назвавший результаты канадской группы ученых необычайно крупным открытием.

Результатом стало появление в атмосфере Земли большого количества ядовитых веществ, таких как хром, мышьяк. Это стало следствием парникового эффекта и уменьшения кислорода в атмосфере. В Мировой океан попал пепел, что повлекло за собой изменение химического состава морской воды.

Однако с нашей точки зрения эти выводы слишком постулированы, так как ядовитые газы не являются парниковыми и их содержания слишком малы для изменения химического состава всего океана.

Более того, не ясно, почему же до середины мезозоя трапповый магматизм приводил к крупным экологическим катастрофам, а в последующие эпохи реакция биосферы на такие события стала менее драматичной?

Причиной могут быть произошедшие как раз в середине мезозоя изменения биогеохимического цикла карбоната кальция в Мировом океане (Ridgwell, 2005). Это событие иногда называют «мезозойской морской революцией». В это время добились эволюционного успеха и необычайно размножились планктонные одноклеточные

организмы с известковым скелетом (фораминиферы, кокколитофориды). Для построения скелета они берут  $\text{CO}_2$  из воды. Потом эти скелеты тонут, унося обезвреженный парниковый газ на дно океана. В результате океан превратился в эффективный буфер, способный сглаживать (в определенных пределах, разумеется) колебания уровня  $\text{CO}_2$  в атмосфере и гидросфере. И вполне возможно, что планктонные фораминиферы и кокколитофориды уже несколько раз спасали Землю от глобальных катастроф, подобных пермо-триасовому вымиранию [12].

Благодаря спутниковым измерениям установлено, что аэрозоли вулканов расположенных вблизи экваториальной части перемещаются как в тропосфере, так и в стратосфере от экватора к полюсам, т.е. по всем широтам, широко распределяясь в пространстве и снижая таким путем концентрацию. Аэрозоли вулканов приполярных широт засоряют только эти широты и создают там более высокие концентрации, так как площадь распределения меньше. Следовательно, последние могут влиять сильнее, но только на вариации регионального климата. С позиций палеорекоstructions сибирская зона траппов находилась в высоких широтах, т.е. вблизи границ северной ячейки общей циркуляции атмосферы и внутри её (рис.5). Это означает, что она вряд ли могла повлиять на климат в целом и вызвать массовое вымирание. Скорее всего, аэрозоли траппов помогли усилить температурный контраст севера и юга и увеличить мощность воздушных потоков. Кроме того, сильное влияние аэрозолей всегда сопоставляют с эффектом похолодания. Так ли это в рассматриваемом случае?

12

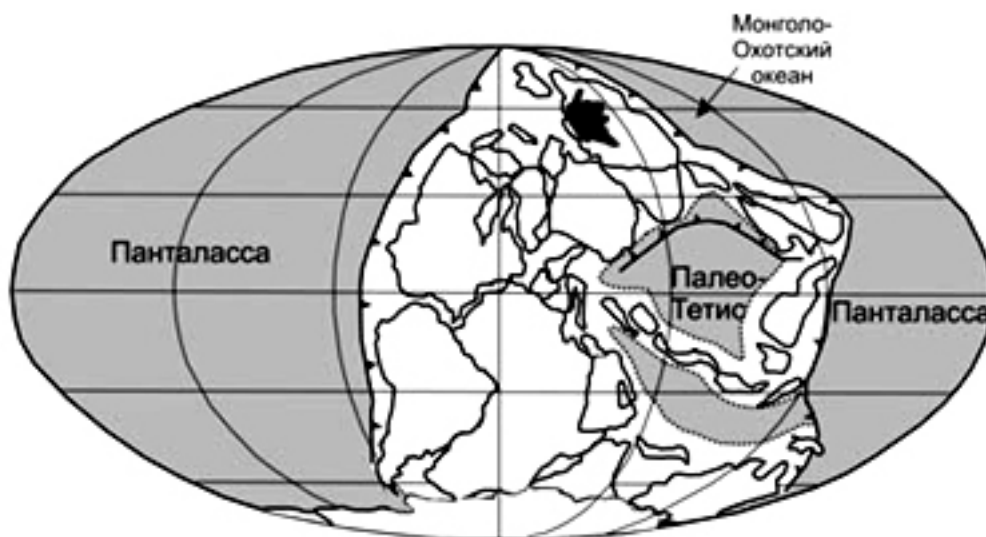


Рис.5. Положение Сибири по палеорекоstructions [13]

Нам больше импонирует другая точка зрения. Китайские палеонтологи вместе со своими немецкими коллегами пришли к выводу, что *массовое вымирание, произошедшее*

*на рубеже триаса и перми, сопровождалось экстремально высокими температурами в экваториальных широтах.* А это уже чисто климатическая причина. Чтобы оценить, как менялась температура в период вымирания и в первые пять миллионов лет после него, авторы работы проанализировали содержание изотопа кислорода-18 в конодонтах, микроскопических зубовидных остатках, принадлежавших вымершим животным, систематический ранг которых неизвестен [14].

Всего исследователи изучили более 15 тысяч конодонтов, извлеченных из двух тонн осадочных пород нижнего триаса, отложения которых находятся в Южном Китае. Ученые установили, что *самая низкая концентрация кислорода-18 в них наблюдалась 252,1 и 250,7 миллионов лет назад, что говорит о резком потеплении воды в океане.*

По расчетам китайских исследователей, в это время океан в районе экватора, где в тот период располагались территории современного Южного Китая, нагрелся до 36-40 градусов Цельсия, а суша раскалилась до 50-60 градусов, причем экстремально высокие температуры в экваториальных широтах стояли несколько миллионов лет.

Этот вывод подтверждается палеонтологическими данными, поскольку в мире известно множество местонахождений раннего триаса, богатых останками рыб и других позвоночных. *Но все они происходят из высоких широт, в то время как южнее 30 градуса северной широты и севернее 40 градуса южной их практически нет.* Дело в том, что температура выше 40 градусов смертельна для большинства водорослей и высших растений, а также для позвоночных животных. Жара, стоявшая на экваторе несколько миллионов лет в начале триаса, «выжгла» хвойные леса на суше, о чем свидетельствует отсутствие отложений угля, и практически уничтожила жизнь в океане.

Попробуем усилить такую климатологическую позицию.

Согласно недавним исследованиям в 1956 году климатологи обнаружили циркуляцию, которую потом назвали в честь ученых, впервые ее описавших, – циркуляцию Бревера--Добсона. У нее есть восходящие ветви, они находятся в основном над океанами в тропиках. Эти потоки поднимаются над поверхностью океана и достигают верхней стратосферы. Огромное количество промышленных выбросов Китая, Индии и Индонезии захватывает и несет вверх индо-азиатская муссонная циркуляция. Это доказано по измерениям концентраций синильной кислоты – продукта антропогенного загрязнения этих стран [15].

Чтобы выяснить, как загрязняющие вещества достигают таких высот, ученые в течение шести лет (с 2004 по 2009 год) ежедневно следили при помощи спутников за концентрацией синильной кислоты в разных слоях атмосферы и на разных широтах. Это вещество образуется при сжигании биомассы – деревьев и любой другой растительности и

движется от экватора к полюсам.

Синильную кислоту для своих целей ученые выбрали не случайно. Это вещество служило таким маркером, который указывал на направление воздушных потоков. Дело в том, что над океаном (как раз там, где работает циркуляция Бревера-Добсона) синильной кислоты практически нет – она вся осаждается в океан. Поэтому и в верхней тропосфере и стратосфере над океаном ее быть не может. А вот над сушей она должна быть. И единственным источником ее поступления могла стать индо-азиатская муссонная циркуляция. Когда ученые проследили за активностью антициклона внутри этой циркуляции, то оказалось, что часть вихрей направлялась прямо в стратосферу. Особенно большие концентрации синильной кислоты спутник зафиксировал весной (март – май), когда в Азии начинают жечь растительность, чтобы расчистить места для новых сельскохозяйственных угодий. В это же время начинается и муссонная циркуляция, которая длится все лето (до конца августа) [15].

Это доказывает наличие двух ячеистой конвекции в стратосфере и, следовательно, указывает на реальную возможность влиять на общий климат планеты. Роль стратосферы в этом случае исключительна. Ее воздушные потоки стремятся унести аэрозоли, экранирующие поверхность Земли от солнечной энергии, и расчистить экваториальное пространство для инсоляции. Именно экваториальная инсоляция является определяющей для климата. И роль стратосферной конвекции резко возрастает в условиях контраста между экватором и полюсами.

Применительно к теме наших исследований это подчеркивает климатическую природу рассматриваемого вымирания и противоречит общей идее о причинности трапповых излияний на вымирания.

Вторая самая крупная трапповая провинция – Деканское плато на Индостане – уступает сибирской по площади и толщине базальтового слоя в два с лишним раза и тем более не может претендовать на роль такой причины.

## **5. Воздействие циклических накоплений аэрозолей в стратосфере**

В самые последние годы стали обсуждаться варианты воздействий аэрозолей вулканического и иного происхождения с пролонгированным и асимметричным накоплением во времени в стратосфере Земли. Такие ситуации могли служить причиной резких похолоданий. Данные процессы коррелированы с циклами М. Миланковича длительностью в  $100\ 000 \pm 10\ 000$  лет (рис.6).

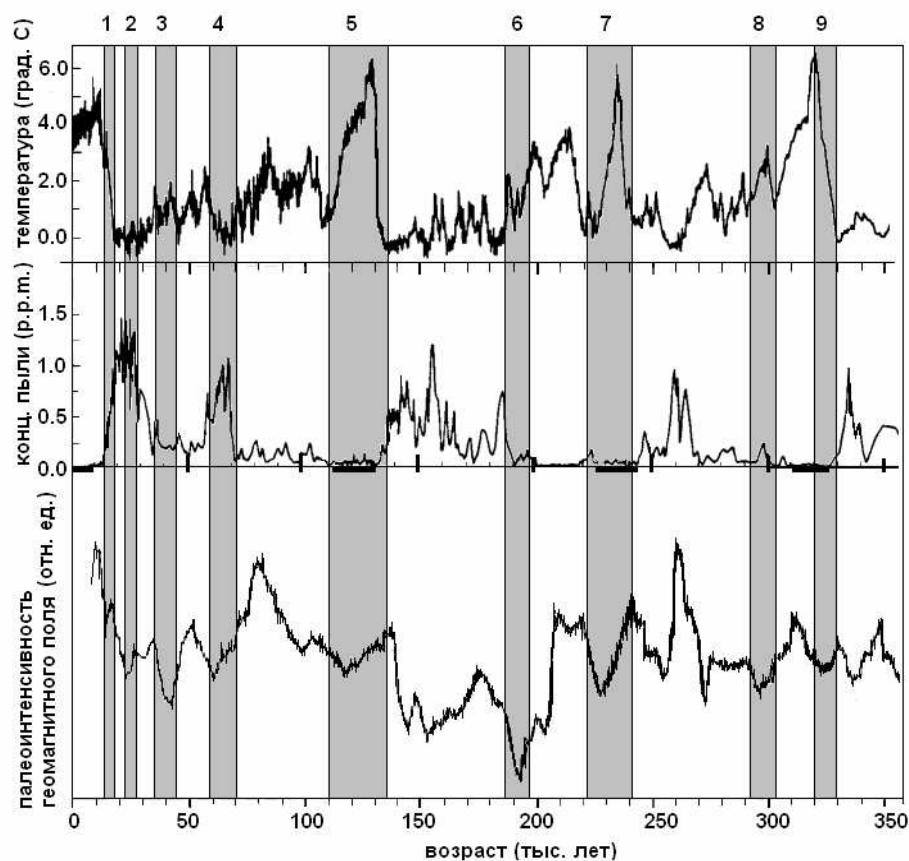


Рис. 6. Изменение температуры поверхности Земли и относительной концентрации пыли во льду [1]. Нижняя часть – палеоинтенсивность геомагнитного поля. Вертикальные полосы – понижение геомагнитного поля в периоды экскурсов (слева направо): Gothenburg (1); Mono Lake (2); Laschamp (3); Kargopolovo (4); Blake (5); Biwa – I (6); Jamaica (7); Biwa – II (8); Biwa – III (9).. Понижение поля 300 тыс. лет (8) с экскурсом не идентифицировано. Экскурс Kargopolovo (Event Gaotai) [16].

При анализе кернов льда, полученных при бурении ледника Антарктиды в районе станции Восток, было обнаружено, что в течение последних 420 тыс. лет резкое уменьшение концентрации пылевых частиц во льду наблюдалось, соответственно, 20, 120, 250 и 330 тыс. лет тому назад, совпадая по времени и с потеплениями, и с экскурсами магнитного поля. Возможно, именно в эти периоды, когда происходили обсуждаемые совсем не случайные совпадения, на Земле происходили глобальные климатические катастрофы [16].

Принято считать, что пыль, вмороженная в лед, это осевший стратосферный аэрозоль (СА), образующихся в результате взрывных извержений вулканов. На рис. 6 черными полосками под кривой временного изменения содержания пыли в слоях льда выделены периоды времени, предшествующие началу появления пыли, что, по-видимому, связано с началом активного вулканизма. Продолжительность выделенных интервалов

времени составляет около 10 тыс. лет. Как видно из рисунка 6, в течение последних, примерно, 10 тыс. лет, в стратосфере Земли пыли практически нет, тогда как, в течение предшествующих 60 тыс. лет, в период оледенения концентрация пыли во льду достигала одного и более р.р.т.

Обнаруженные корреляции вынуждают рассматривать два варианта:

1) похолодание на Земле вызвало пылевые бури, но тогда геомагнитное поле и концентрация  $^{10}\text{Be}$  в эту модель «не вписываются»;

2) периодические мощные извержения вулканов и супервулканов привели к заселению стратосферы пылью, которая экранировала солнечное излучение, что привело к похолоданию.

Во время экскурса, когда интенсивность геомагнитного поля понижалась, проникающие космические лучи разрушали пылевой слой в стратосфере, что привело к осаждению пыли и быстрому потеплению. Соответственно, если экскурс начинался в условиях прозрачной стратосферы, то развивался сценарий формирования облаков, роста альбедо и похолодания. В настоящее время достаточно сложно оценить, насколько правдоподобны 1-ый и 2-ой варианты. Первый следует из теории Миланковича и в настоящее время считается предпочтительным. Однако теория Миланковича не находит объяснения многим известным фактам, в частности, *очень быстрым изменениям климата, как потеплениям, так и похолоданиям*. Поэтому рассмотрим альтернативный, второй вариант. Однако, для того, чтобы этот вариант имел необходимые основания, следует доказать, что в периоды экскурсов и инверсий значительно возрастал уровень радиации.

### 6. Температура и пыль – в чем причина и где следствие?

Видимое совпадение кривых температуры  $T$  и концентрации пыли  $D$  (рис. 7) уже отмечалось: чем выше концентрация пыли, тем ниже температура. Таких данных опубликовано довольно много, но ни в тексте статей, ни на рисунках, невозможно определить, какой процесс происходит раньше: увеличение концентрации пыли предшествует похолоданию, или наоборот? Не встречались так же работы, в которых оценивался бы коэффициент корреляции этих зависимостей. Поэтому, данные по вариациям  $T$  и  $D$  были оцифрованы, интервалы между отсчетами были выбраны равными 1 тыс. лет и оценена степень корреляции между кривыми  $T$  и  $D$  [16].

Величина  $R$  – корреляционная матрица, диагональные элементы которой = 1 (автокорреляция), элементы вне главной диагонали – коэффициенты корреляции.  $P$  – матрица коэффициентов значимости корреляции (вероятность получить такие же



коэффициенты  $R$  при случайном выборе). Чем меньше величина  $P$ , тем корреляция более значимая. Доверительный интервал для  $R = 95\%$ . Величина  $R = -0.56$ ,  $P=0.0000$ , доверительный интервал  $(-0.62 -0.49)$ . Полученные цифры говорят о высокой и значимой корреляции между двумя рядами. Временная задержка между кривыми (с точностью до 1 – 2 отсчетов) - не обнаружена. Это говорит о том, что  $T$  и  $D$  менялись практически одновременно и в противофазе друг к другу. Этот факт вынуждает рассматривать две возможных причины: 1) сначала на Земле похолодало, что вызвало появление пылевых бурь и 2) периодические извержения вулканов и супервулканов привели к заселению стратосферы пылью, которая экранировала солнечное излучение, что привело к похолоданию. Рассмотрим, насколько правдоподобны оба варианта развития событий (рис.7).

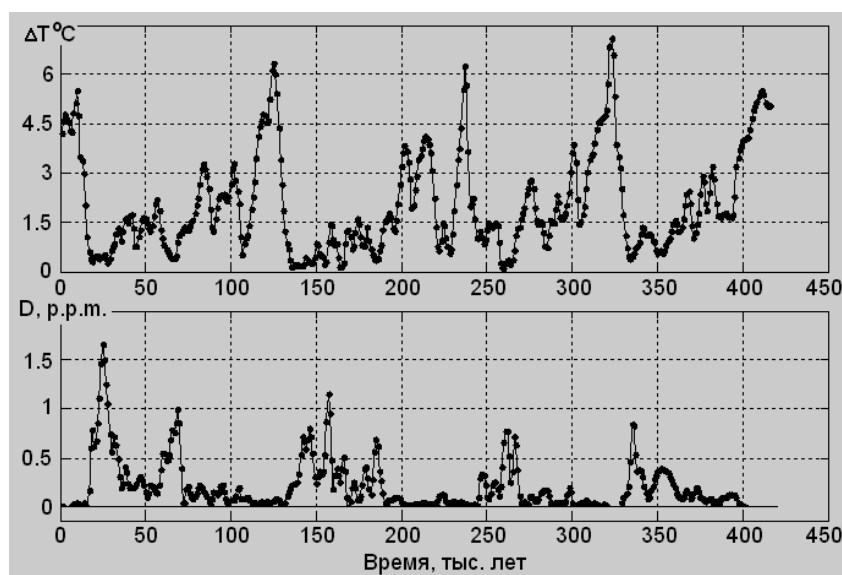


Рис.7. Изменение температуры поверхности Земли  $\Delta T$  и относительной концентрации пыли во льду  $D$  [16].

***Сначала похолодание за счет инсоляции, затем пыль из пустынь***

Этот вариант следует из теории Миланковича и в настоящее время считается предпочтительным. Так как реальная кривая изменения температуры значительно отличается от кривой, построенной по суммированию синусоид, соответствующих спектру Миланковича, был предложен подход, получивший название СПЕСМАР (отображение изменения спектров в климате). Суть его состоит в том, что кривая изменения температуры, оцененная по изотопу кислорода, фильтруется спектрами Миланковича, «избавляется от ненужного шума» таким образом, и настраивается на известные циклы астрономических параметров. В принципе, с таким подходом можно согласиться. Все было бы хорошо, если бы кривая СПЕСМАР соответствовала не только

первому циклу, но и всем предыдущим. Этого, как следует из рис. 8, - не происходит.

Многие авторы решают аналогичную задачу для второго и третьего цикла, каждый раз подбирая свои частоты, фазы и амплитуды спектральных компонент, а это принципиально противоречит астрономической гипотезе Миланковича, т.к. в этой теории не предусматривается изменение частот, фаз и амплитуд на временных границах циклов. Такая подгонка противоречит теории Миланковича.

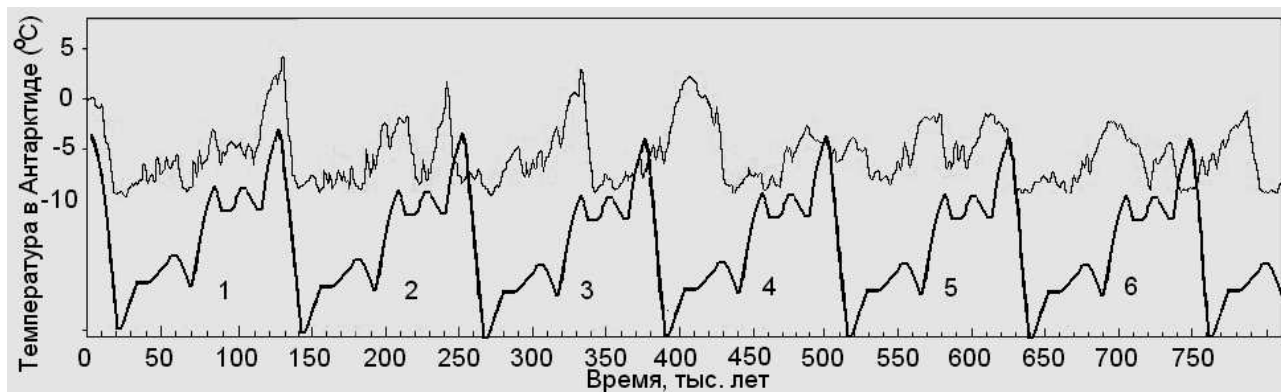


Рис. 8. Верхняя кривая – температура (по данным льда в Антарктиде), нижняя – шесть циклов СПЕСМАР [16].

## 18

На самом деле с точки зрения авторов данной статьи поведение сложных динамических взаимодействующих систем допускает существование нескольких аттракторов и возможности перехода системы с варьированием длительности ритмов.

Элементарный анализ графиков ритмов на рисунках 6,7 предоставляет нам информацию о том, что длительность ритмов варьирует в интервале около 90-110 тыс. лет. Совершенно очевидно, что такие вариации возможны лишь в том случае, когда взаимодействие Земли и Солнца, оцениваемое по вариабельности эксцентриситета, должно описываться в рамках нелинейной хаотической динамики.

Эллипс обращения имеет два фокуса и можно предположить, что причинами таких вариаций ритма являются перескоки из одного фокуса в другой. Такая возможность возникает тогда, когда орбита Земли становится слабоэллиптической т.е. почти круговой. В этом случае происходит смена аттрактора и ритм отклоняется по длительности. Такое объяснение заманчиво, но оно не объясняет наличие промежуточных значений. Остается предположить, что существует еще один аттрактор, который вносит дополнительный вклад в нелинейность отклика. Возможно, это наложение ритма по наклону оси вращения длительностью около 41 000 лет. Сочетание трех аттракторов может создавать картину таких плавающих ритмов.

Принято считать, что похолодание климата и связанное с похолоданием иссушением почвы приведет к возникновению пылевых бурь, причем бури возникшие в

Сахаре и Сибири будут снабжать пылью Гренландию, а пылевые бури Патагонии – Антарктиду.

Кроме того, теория Миланковича базируется на учете эффектов вариабельности эксцентриситета, прецессии земной оси и изменения угла её наклона - нутации. Это должно приводить к тому, что изменение температуры в северном и южном полушариях должно происходить в противофазе, чего не наблюдается [16].

Оледенения, начавшись, не должны были бы кончаться потому, что рост ледников должен приводить к увеличению альбедо Земли и, соответственно, к уменьшению поглощения солнечного излучения. На самом деле оледенения сменяются периодами потепления климата. Массовые вымирания, как правило, приурочены к экстремальным проявлениям в ситуациях ассиметричного накопления ряда причин по различным параметрам климатической системы. Более того, палеонтологический анализ китайских исследователей по периоду пермского вымирания показал особую роль сильных потеплений климата, а не оледенений.

Но самое главное состоит в том, что все вышеперечисленные идеи базируются на связи великих вымираний с длительными похолоданиями и даже оледенениями. Рассмотрим историю климата начиная с раннего кембрия. На рис.9 представлен график температур на Земле. Совершенно очевидно, что все великие вымирания произошедшие - 443 (длительность 3,3–1,9 млн. лет), 359 (длительность 2 млн. лет), 258,3 (длительность 0,06-0,07 млн. лет), 200 (длительность 16 млн.лет), 64,98 (длительность 2,5 млн.лет) млн. лет назад попадают на периоды высоких температур на Земле, т.е. происходили они не в периоды оледенений, а в условиях теплого климата на Земле.

19

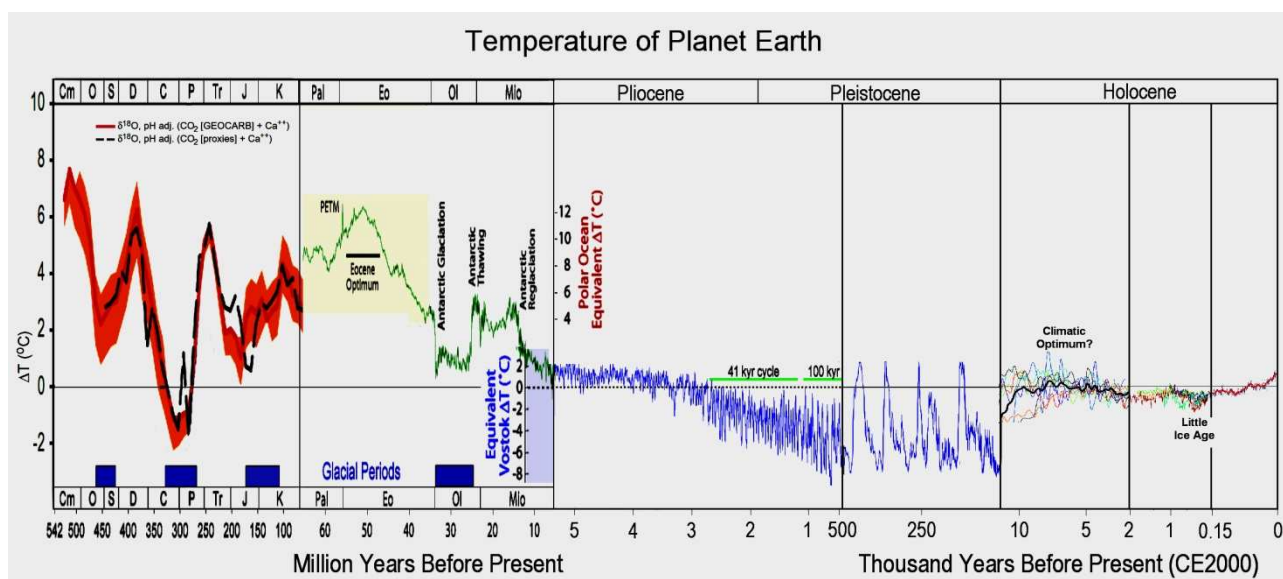


Рис.9. Температура Земли в фанерозое [17]

Нами ранее были проведены исследования причин вариаций глобального климата Земли и было показано следующее [18].

Во-первых, последовательность смены глобальных похолоданий и потеплений на Земле проходят по сценариям, где *ведущим является автоколебательное состояние сложной климатической системы Земли*. Смена вектора изменений происходит в системе *при достижении критического неравновесного состояния* ведущих и взаимосвязанных параметров температуры, концентраций углекислого газа, метана, аэрозолей. Спусковым механизмом могут быть вариации как астрофизических так и кинематических параметров.

Во-вторых, все вариации ритмов климатической системы относительно средних значений связаны с хаотической динамикой взаимодействующих систем, как внешних, так и внутренних. Известно, что даже простые 3-х мерные нелинейные системы, обладают несколькими аттракторами (притягивающими центрами) и система в неравновесных условиях способна совершать переходы между ними, что и вызывает вариабельность длительности ритмов.

В-третьих, свойство автоколебательности ряда процессов, проходит с различными степенями запаздывания, т.е. инерционность процессов (оледенения), что создает картину хаотического наложения ритмов и затрудняет интерпретацию в целом.

Если же ко всему этому добавить такие ситуации как эволюционные вариации кислорода на Земле, чисто биологические причины, то можно утверждать, что число великих вымираний станет больше с учетом докембрийской биоты и анализ причин придется вести с учетом сложности всех взаимодействий как внешних, так и внутренних.

20

### **Список источников информации**

1. [http://www.bash.ru/index.php/new-nauka/580-2012-09-13-11-24-55\\$](http://www.bash.ru/index.php/new-nauka/580-2012-09-13-11-24-55$)
2. <http://biology.garshin.ru/images/phanerozoic-extinctions.jpg>;
3. Красилов В.А. Модель биосферных кризисов. \ \ Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. Вып.4.М.: Издание Палеонтологического института,2001.С.9-16;
4. [http://panicnews.ru/news/read/212411/dinozavry\\_dvazhdy\\_pochti\\_vymerli/](http://panicnews.ru/news/read/212411/dinozavry_dvazhdy_pochti_vymerli/);
5. <http://cometasite.ru/krupniy-meteorit/>;
6. <http://www.doomsteadiner.net/forum/index.php?PHPSESSID=f237ba3d2082ca6335a95d4e22797ac7&topic=559.990>;
7. <http://gnosis9.net/img/toba003.gif>;
8. [http://en.wikipedia.org/wiki/Toba\\_catastrophe\\_theory](http://en.wikipedia.org/wiki/Toba_catastrophe_theory);

9. <http://geoclab.ru/articles/95/652/>;
10. <http://www.pollings.ru/2011/09/velikoe-permskoe-vymiranie/>;
11. <http://polit.ru/article/2012/11/27/dinosaurs/>;
12. <http://geoclab.ru/articles /95/652/>;
13. <http://dis.podelise.ru/text/index-37715.html?page=12/>;
14. [http://www.infox.ru/ science/past/2012/10/19/250\\_millionov\\_lyet\\_n\\_print.phtml](http://www.infox.ru/ science/past/2012/10/19/250_millionov_lyet_n_print.phtml);
15. [http://www.infox. ru/science/planet/2010/03/25/Kak\\_pollyutantyy\\_pos.phtml](http://www.infox. ru/science/planet/2010/03/25/Kak_pollyutantyy_pos.phtml);
16. [http://vvkuz.ru/books/lectures\\_1/19.pdf](http://vvkuz.ru/books/lectures_1/19.pdf);
17. [http://de.academic.ru/pictures/dewiki/65/All\\_palaeotemps.png](http://de.academic.ru/pictures/dewiki/65/All_palaeotemps.png);
18. Иванов О.П. О проблемах изменения климата. Ж-л «Климат и природа» 2013, №2(7), с.3-21.