

УДК 550.383

КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА — ФЛИККЕР ШУМ

В. В. Кузнецов

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
684034, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: vvkuz38@mail.ru

Изменения климата в течение 700 – 800 тыс. лет хорошо известны: четко выделяются несколько периодов колебаний температуры. Длительность периода, в состав которого входят этап медленного понижения температуры – оледенения и период быстрого повышения температуры поверхности Земли и таяние ледников, равняется примерно 100 тыс. лет. На этом фоне можно выделить ещё несколько более короткопериодных колебаний температуры. Такие вариации обычно объясняются т.н. астрономической гипотезой (теорией) Миланковича [1]. Однако более тщательный анализ данных показывает, что колебания климата - это хорошо известный в природе фликкер шум. Этот подход позволяет по-новому подойти к пониманию природы климата и прогнозу его колебаний.

Ключевые слова: климат, фликкер шум, накопление заряженных частиц в стратосфере, похолодание

© Кузнецов В. В., 2017

MSC 86A17

CLIMATE VARIATION AS FLICKER NOISE

V. V. Kuznetsov

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, 684034,
Paratunka, Mirnaya str., 7, Russia

E-mail: vvkuz38@mail.ru

Climate variation during the last 700 – 800 kyr is known to reveal some periods of the temperature fluctuation. It is during about 100 kyr when temperature is slowly lowering, glaciation, and then it quickly raises resulting in ice melting. Some short period temperature fluctuations usually interpreted by Milancovich theory [1] are argued here to be a well known flicker noise. This approach allows a new insight into climate mechanism and prognosis of its variation.

Key words: climate, flicker noise, accumulation of charged particles in stratosphere, climate cooling

© Kuznetsov V. V., 2017

Введение

Фликкер шум был обнаружен экспериментально как некоторый избыточный шум, который по своему характеру существенно отличается от настоящего белого шума. Его спектр мощности представляет собой не прямую, параллельную оси частот, а более или менее крутую гиперболу, вертикальная ветвь которой загибается вверх по мере уменьшения частоты. В переводе с языка спектров это означает, что интенсивность шума растет с уменьшением частоты. Поэтому, его часто называют $1/f$ шумом, в котором частота f находится в степени $1 \leq n \leq 2$. Суть фликкер шума (ФШ) очевидна: чем сильнее событие, тем реже оно встречается. Считается, что впервые ФШ был обнаружен в древнем Египте, когда жрецы определили, что чем сильнее разливы Нила, тем реже они повторяются. Большинство природных явлений, происходящих на Земле как в «открытой системе», подвержены фликкер шуму, например, землетрясения (закон Гуттенберга-Рихтера) [2], вспышки на Солнце, энергия космических лучей и т.п. ФШ обнаружен и в tropical convective variability [3]. Надо сказать, что, несмотря на то, что это обычное явление в природе, физика его до сих пор так и не ясна.

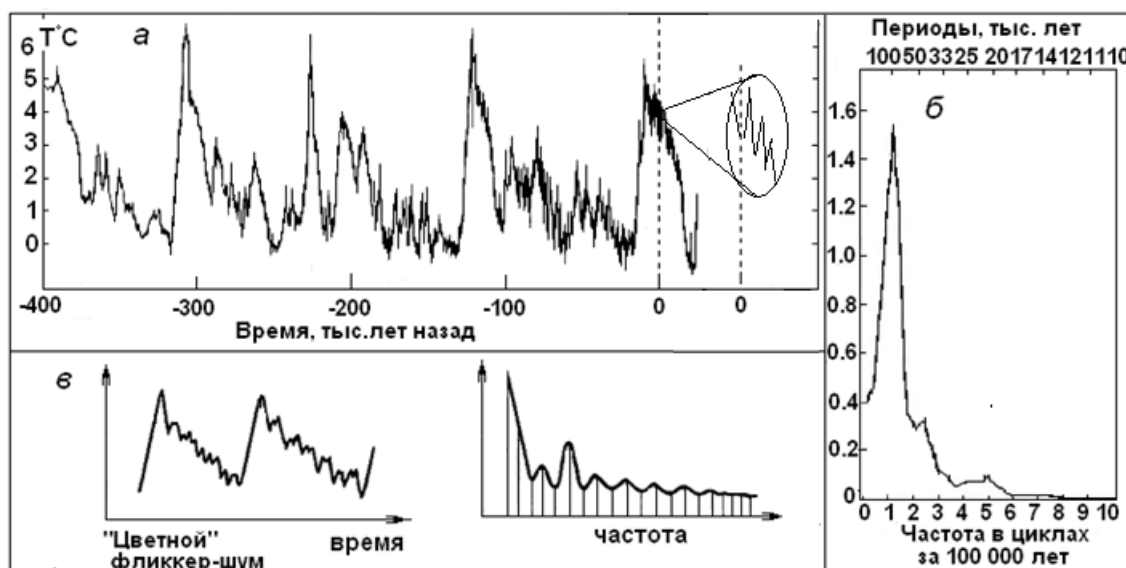


Рис. 1. Изменения температуры в «нормальной» (слева-направо) шкале времени – а; спектр колебаний климата в плейстоцене по [4] – б; «цветной» ФШ и его спектр [5] - в

Сравнение температурной кривой поверхности Земли (рис. 1-а) и спектра колебаний климата в плейстоцене (рис. 1-б) с графиком и спектром «цветного» ФШ (рис. 1-в) показывает, что климат Земли - это «цветной» фликкер шум. Основной период (частота) «цвета» равен приблизительно 100 тыс. лет. В течение примерно такого (100 ± 20 тыс. лет) периода времени на Земле происходило похолодание, которое затем сменялось резким потеплением [4]. По-видимому, проблема климата как ФШ в течение периода наблюдения порядка 1 млн. лет не может быть решена, если не будет обнаружен физически непротиворечивый механизм, согласно которому в атмосфере Земли могут происходить явления, приводящие к **экранированию солнечного излучения от поверхности Земли с периодом повторения равным, примерно, 100**

тыс. лет. Настоящая работа посвящена поиску возможного механизма концентрации и накопления в стратосфере слоя аэрозоля (СА).

Механизм ослабления солнечного излучения

Ослабление солнечного излучения при рассеянии его на слое СА оценивается по порядку величины множителя ослабления (дБ/км), который определялся при помощи закона Бугера:

$$\beta \sim \int r^2 N f(r) K(x, \varepsilon) dr,$$

N — концентрация аэрозолей (см^{-3}); r — радиус капель (мкм); $f(r)$ — закон распределения частиц по размерам; $K(x, \varepsilon)$ — коэффициент рассеяния электромагнитных волн на частицах аэрозоля, определяемый по уравнениям Ми. Коэффициент β используется при оценке коэффициента прозрачности атмосферы $W(\%)$.

Результаты расчетов коэффициента прозрачности W для отражающего слоя аэрозоля толщиной 1 км с концентрацией водных аэрозольных частиц 10^2 см^{-3} (кривая 2) и 10^3 см^{-3} (кривая 3), выполненные авторами [6], представлены на рис. 2.

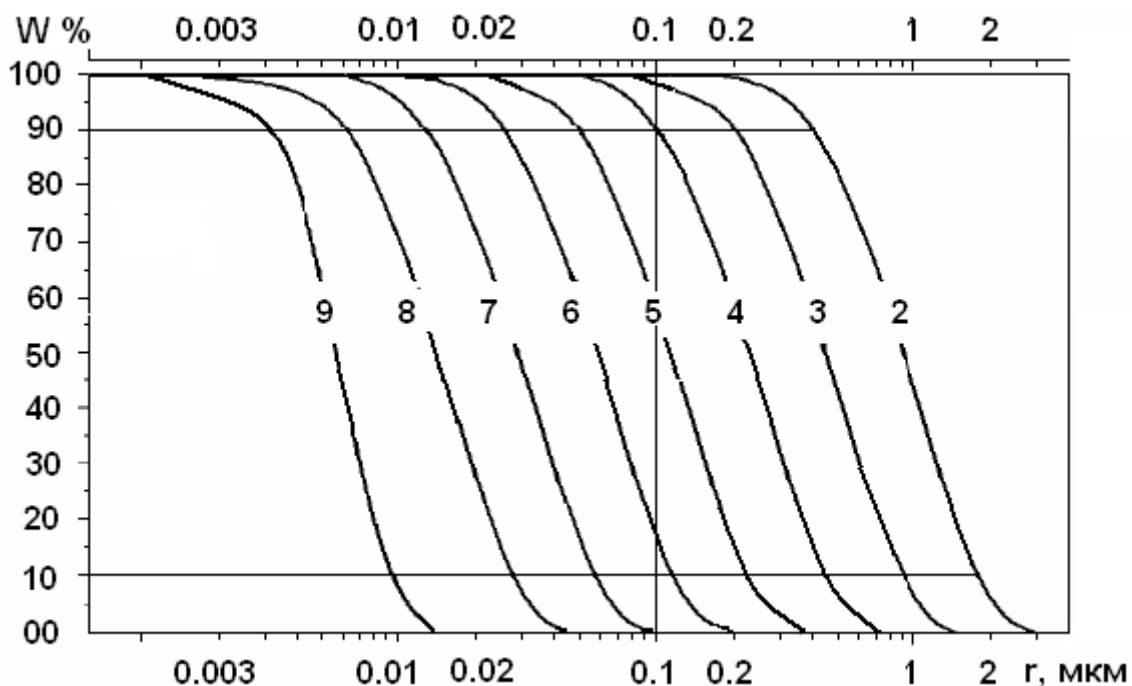


Рис. 2. Коэффициент прозрачности стратосферы W в зависимости от размера СА для слоев различной концентрации (кривая 2 соответствует $N = 100 \text{ см}^{-3}$ и т.д. [6])

Здесь же приведены аналогичные кривые для большей концентрации частиц, в зависимости от их размера (номер кривой соответствует порядку числа N , см^{-3}). Этот рисунок показывает, что для аэрозоля радиусом 0.1 мкм $W = 90\%$ соответствует концентрации $N = 10^4 \text{ см}^{-3}$, $W \approx 50\%$ при концентрации $N = 10^5 \text{ см}^{-3}$, и для концентрации $N = 10^6 \text{ см}^{-3}$ $W \approx 20\%$, полное поглощение света $W = 0$ происходит при $N = 10^7 \text{ см}^{-3}$.

Радиус $r = 0.1$ мкм водного аэрозоля выбран нами не случайно. Аэрозоль таких размеров наиболее устойчив. Критический размер, при котором аэрозоли начинают испаряться, был оценен в [7], где показано, что наиболее оптимальный размер водного аэрозоля составляет 0.13 мкм. Меньшие частицы – испаряются, частицы крупнее критического размера – растут. Эта идея подтверждается данными, приведенными в книге Ивлева и Довгалюк [9], где показано, что в стратосфере максимальная концентрация аэрозолей порядка 10^4 см^{-3} соответствует размеру: $r \geq 0.1$ мкм.

Сравним полученные нами оценки с результатом Рампино и др. [8], полученным ими по охлаждению поверхности Земли во время «вулканической зимы». Масса одной капли воды радиусом $r = 0.1$ мкм равна, примерно, 10^{-15} г. Масса одного см^3 воздуха, в котором имеется аэрозоль с $N = 10^5 \text{ см}^{-3}$, будет составлять 10^{-10} г. Плотность воздуха на высоте стратосферы равна, примерно, 10^{-4} г/см^3 , и, следовательно, концентрация аэрозоля в нем составляет ≈ 1 р.р.т. При этом слой аэрозолей толщиной 1 км будет экранировать примерно половину солнечного излучения. (Пересечение перпендикуляра $r = 0.1$ мкм с кривой 5). Для концентрации ≈ 10 р.р.т. слой аэрозоля с радиусом частиц $r = 0.1$ мкм будет экранировать уже 90 % солнечной энергии. При этом, как следует из [8], поверхность Земли будет освещена как в пасмурный день. Если экранирование достигнет 99 % ($W = 1\%$), то на Земле может прекратиться фотосинтез. При этом концентрация аэрозолей радиусом $r = 0.1$ мкм должна быть $N \approx 10^7 \text{ см}^{-3}$.

Уравнение эволюции температуры поверхности Земли описывает два процесса, один из которых приводит к похолоданию – за счет увеличения альбедо Земли α и уменьшения солнечного тепла, попадающего на Землю, и второй, приводящий к увеличению прозрачности атмосферы, увеличению потока тепла и нагрева земной поверхности. Это уравнение можно записать следующим образом:

$$\partial T / \partial t = dT_o / dt + \partial / \partial h [F \partial / \partial h - KT],$$

где dT_o / dt – вариация температуры Земли за счет изменения потока Солнечного излучения. Сюда могут входить как астрономические причины, так и вековые изменения светимости Солнца, h – высота атмосферы, F – коэффициент диффузии солнечного излучения ($F \approx \lambda c^*$ – длина пробега фотона в «мутной» среде, c^* – скорость света), K – **параметр дрейфа аэрозоля, который в нашем случае имеет смысл скорости переноса аэрозоля в стратосфере Земли**. Если рассматривать механизм убывания концентрации аэрозоля только за счет гравитационного оседания его частиц на поверхность Земли, то параметр K будет соответствовать скорости Стокса v : $K \approx v$. Легко показать, что если размер аэрозоля $r \leq 0.1$ мкм, то аэрозоль (пылинка) в стратосфере (при выполнении условия: $mg \approx eE$, где e – заряд частицы, а E – атмосферное электрическое поле) может находиться тысячи лет. Фактически параметр дрейфа значительно сложнее. Сюда входит нерегулярный источник аэрозоля, механизм его переноса по стратосфере, взаимодействие с космическим излучением и т.п. Увеличение приводит к «просветлению» атмосферы, описываемой параметром $F \partial / \partial h$ а перенос аэрозоля (пыли) в атмосфере с параметром K . Заметим, что эта формула дает только качественное описание сложных процессов, происходящих в атмосфере даже в том упрощенном виде, когда рассматривается только заполнение стратосферы аэрозолем и последующее ее очищение.

Основная частота

Оценим «время жизни» аэрозоля в стратосфере. Примем его размер равным 0.1 мкм, массу $m = 10^{-15}$ г. Концентрацию аэрозоля n примем исходя из того, что его слой принятого размера полностью экранирует Землю от Солнца ($W = 0$): равной $n = 10^6 - 10^7 \text{ см}^{-3}$ (рис. 2). Расстояние между частицами l (100 мкм, концентрация зарядов в стратосфере $n_e = 10^4 \text{ см}^{-3}$, дебаевский радиус $d = (kT/4\pi n_e e^2)^{1/2} = 10$ см. **На расстояниях, больших d , электрическое поле заряда частицы аэрозоля экранируется зарядами противоположного знака и становится пренебрежительно малым.** В нашем случае $l \ll d$, и это говорит о том, что экранирования поля частицы аэрозоля не происходит, и, следовательно, она будет взаимодействовать с внешним атмосферным электрическим полем E .

Взаимодействие заряженной частицы eZ массой m в поле силы тяжести в электрическом поле E , притягивающем частицу, может привести её в состояние левитации. Выполнение очевидного условия $mg = eZE$, где вертикальное атмосферное электрическое поле (АЭП) в стратосфере $E \approx 1 \text{ В/м}$, eZ – заряд частицы аэрозоля, **позволяет оценить количество единичных зарядов на частице как $Z = 1000$.** Заметим, что $Z = 1000$ единичных зарядов не является огромным. Например, в лабораторных экспериментах такие величины зарядов были обнаружены на искусственных частицах, введенных в плазму газового разряда [11]. В принципе, в природе возможна ситуация, когда заряженные частицы аэрозоля могут находиться в стратосфере бесконечно долго и способны накапливаться, образуя слои с фиксированными расстояниями между частицами. Такие структуры получили название «плазма-кристалл». Рано или поздно аэрозоли притянутся друг к другу, слипнутся и осядут на Землю. Авторы [10] полагают, что силы притяжения между частицами возникают, когда дебаевский радиус равен расстоянию между частицами, а также, если **заряды одного знака сосредоточены преимущественно на аэрозолях.** Если частицы аэрозоля несут **малую долю зарядов одного знака**, то они отталкиваются. В рассматриваемом нами случае возможны оба варианта в зависимости от того, насколько изменились внешние условия: увеличилась концентрация зарядов, например, за счет дополнительной ионизации космическими лучами, или уменьшилось количество зарядов на частицах за счет рекомбинации их с положительными ионами и т.п.

Оценим время накопления t аэрозолей в слое стратосферы толщиной 1 км. По нашей модели время t должно быть порядка 100 тыс. лет. Потенциал положительно заряженной электросферы (ионосферы) относительно отрицательно заряженной Земли $V = 300$ кВ, плотность ионного тока Земля-ионосфера $j \approx 10^{-12} \text{ А/м}^2$, полный ток $I = jS \approx 1$ кА или 10^3 кулон в сек (S – площадь поверхности Земли). **Предположим, что на каждую частицу аэрозоля размером 0.1 мкм приходится заряд $Z = 1000 e$.**

Концентрацию таких частиц в экранирующем солнечное излучение слое примем равной $n = 10^6 \text{ см}^{-3}$. Толщина слоя h была принята равной 1 км. Подсчитаем необходимый заряд Q для образования такого слоя в стратосфере: $Q = ZnhSe$, где $S = 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^2$, $e = 1.6(10^{-19})$ кулона, элементарный заряд. Отсюда величина $Q = 10^{14}$ кулон. Оценим величину атмосферного электрического тока i , необходимого для накопления требуемого по модели электрического заряда аэрозольного слоя толщиной $h = 1$ км, полностью экранирующего солнечное излучение. Величина такого тока $i = Q/t \approx 30$ А, где принятое нами время $t = 10^5$ лет или $3 \cdot 10^{12}$ с. Величина тока i состав-

ляет примерно 3 % от полного тока атмосферы $I \approx 1$ кА. Таким образом, основной период колебаний климата в 100 тыс. лет вполне может быть связан с накоплением аэрозолей в атмосфере до полного перекрытия ими солнечного излучения.

Обсуждая проблему экранирования, вернемся к оценке дебаевской длины. Дебаевский радиус (длина) - расстояние, на которое распространяется действие электрического поля отдельного заряда в нейтральной среде, состоящей из положительно и отрицательно заряженных частиц (плазма, электролиты). Вне сферы радиуса дебаевской длины электрическое поле экранируется в результате поляризации окружающей среды. Как мы оценили выше, расстояние между пылинками $l \sim 100$ мкм, концентрация зарядов в стратосфере $n_e = 10^4 \text{ см}^{-3}$, дебаевский радиус $d = (kT/4\pi n_e e^2)^{1/2} = 10$ см. Если учесть, что заряд частицы равен 1000 e , а величина d обратно пропорциональна корню квадратному из n , то **величина d оказывается меньше нашей оценки примерно в 1000 раз.**

Итак, на каждой из частиц накапливается заряд $Z = 1000$ и более. Все частицы выстраиваются в гексагональную «кристаллическую решетку» с равными расстояниями между частицами и слоями. На такой «решетке» возникает огромный заряд, но в силу экранирования его плазмой разряда, он его не искажает. Заметим, что ранее было показано [12], что пылевые частицы приобретают в плазме отрицательные заряды, на несколько порядков превосходящие заряд иона, а температуру имеют - близкую к комнатной. Такие частицы могут формировать «кристаллы», доступные для наблюдения в лабораторных условиях.

Явления возникновения «кристаллической плазмы» исследованы не только в лаборатории, но и в природе, в частности, в облаках [13]. Про облака, кажется, известно всё, однако есть такие виды облаков, которые до сих пор остаются загадкой. Это серебристые и перламутровые облака. Перламутровые облака - очень тонкие просвечивающие облака, которые возникают в стратосфере на высотах ~ 20 км.

Серебристые облака наблюдаются более ста лет. В литературе имеется огромное количество публикаций на эту тему. Физика их, также как перламутровых, до недавнего времени оставалась недостаточно ясной. Авторами [13] предложена модель образования серебристых облаков как структуры типа пылевого плазма-кристалла возникающего на высоте 80-90 км, образующегося на водных аэрозолях размером порядка 50 нм. Аэрокосмическое агентство в CARE (Charged Aerosol Release Experiment) готовит эксперимент по выбросу заряженного аэрозоля с геофизической ракеты Black Brant-XII. Предполагается выпустить облако с микрочастицами пыли. Под воздействием космического излучения микрочастицы приобретут электрический заряд, выстроятся в кристаллическую структуру и приобретут свойства серебристых облаков.

Выделим основные моменты предлагаемой модели: Температура на поверхности Земли определяется инсоляцией. Похолодания связаны с накоплением в стратосфере заряженного водного аэрозоля, отражающего солнечные лучи. Согласно нашей модели эволюции климата [14] в моменты экскурсов и инверсий геомагнитное поле понижается, и в стратосферу попадают частицы космических лучей более низкой энергии, обычно отклоняемых магнитным полем Земли: галактические и солнечные космические лучи и частицы из разрушенного радиационного пояса. Всё это приводит к ликвидации отражающего стратосферного аэрозольного слоя за счет слипания и укрупнения аэрозольных частиц. Атмосфера становится прозрачной, что приводит к потеплению. Если экскурс или инверсия происходит в отсутствие слоя экранирующих солнечный свет аэрозолей в стратосфере, то космические лучи вызывают

образование в стратосфере дополнительного количества аэрозолей, что приводит к изменению вертикального профиля температуры в тропосфере и, в свою очередь, ведёт к увеличению низкой облачности, например, за счет увеличения пересыщения паров воды на определенной высоте. Увеличение потока заряженных частиц производит эффект именно в стратосфере, т.к. слоев, где образуется **низкая облачность, космические лучи не достигают поглощаясь в верхних слоях атмосферы.**

Результаты наблюдений

Что же происходит в настоящее время на Земле: нагревается она или остывает? По данным американских спутников “Tropical Rainfall Measuring Mission” и “Earth Observing System Terra” [15], предназначенных для изучения баланса поглощаемой и излучаемой Землей энергии, показано, что за период 1985-2000 гг. тепловое излучение Земли возросло более чем на 5 Вт/м^2 , в то время как количество отраженной энергии солнечной радиации упало на 2 Вт/м^2 . (Поток солнечной энергии, падающий на Землю составляет 1360 Вт/м^2).

Данные наблюдений показывают, что Земля **скорее охлаждается, чем нагревается**. По-видимому, причиной дисбаланса потоков тепла является усиление циркуляции в тропической атмосфере. Очевидно, что в настоящее время ещё невозможно обозначить механизм климатических перемен с полной уверенностью.

Этот вывод был подкреплён исследованиями, проведенными в течение последних лет [16] (рис. 3-а).

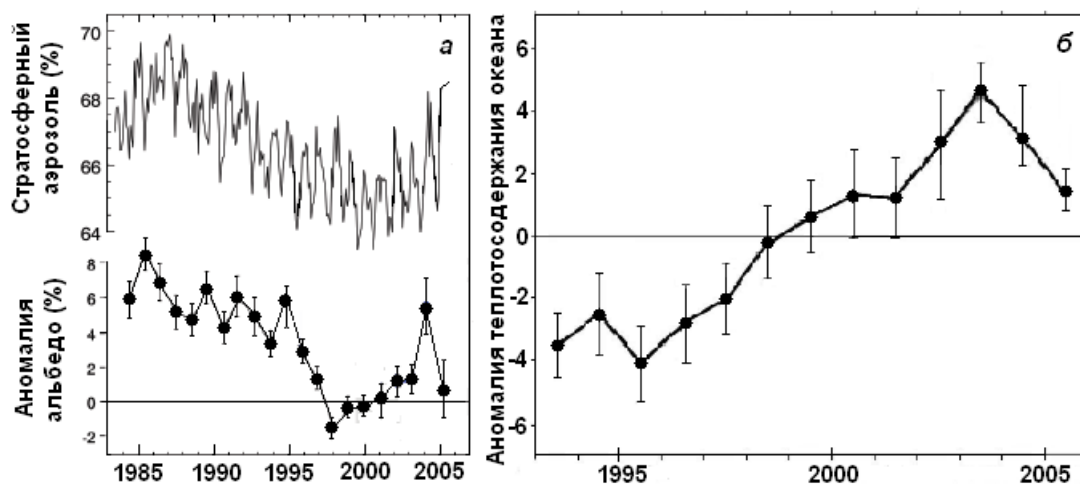


Рис. 3. Вариации концентрации стратосферного аэрозоля % и альbedo Земли (а) [16], аномалии теплосодержания океана (б) [17]

Выяснилось, что Земля все интенсивнее отражает солнечные лучи. Аналогичным образом ведет себя и теплосодержание океана, в то время как температура Земли продолжает увеличиваться. Каким образом происходит непрерывное потепление, если количество солнечного излучения, достигающего поверхности Земли, сокращается?

Головко [17] рассматривает наличие отрицательного тренда коротковолнового отраженного солнечного излучения как климатического сигнала, показывающего, что Земля не находится в тепловом равновесии с окружающим пространством. Когда

будет исчерпана аккумулирующая способность Мирового океана, может начаться резкое изменение климата, например, увеличение скорости потепления. По нашему мнению, из неустойчивого положения климата на Земле возможны два выхода. **О первом говорит автор [17], второй рассмотрен в нашей модели. Согласно первому температура на Земле будет продолжать повышаться. Как следует из нашей модели, в стратосфере Земли происходят процессы накопления аэрозоля, что, в конечном счете, примерно через каждые 100 тыс. лет вызывает глобальное похолодание.**

Заключение

Вернемся к рис. 1-а, на котором (на вставке) показано изменение температуры в наше время (вертикальные точки - ноль). Из этого рисунка можно видеть, что максимум потепления произошел примерно 10-15 тыс. лет тому назад. После глобального потепления начался период похолодания, который продолжается и в наше время. Самые низкие температуры ждут Землю примерно через 15 тыс. лет. В настоящее время наблюдаются резкие климатические перемены, когда на фоне глобального похолодания происходят локальные периоды потепления. Вероятнее всего, в настоящее время на Земле происходит именно такой период. Возможно, мы отгадали причину локального потепления, возможно, есть и другие причины. Но весь ход температурной кривой в течение последнего миллиона лет говорит о регулярности климатических перемен. Возможно, антропогенный фактор и повлиял на амплитуду очередного периода потепления, происходящего в настоящее время, но сравнение поведения во времени всех пяти кривых похолодания, позволяет сделать заключение, что роль этого фактора, по крайней мере, не очень заметна.

К вопросу о физике фликкер шума, можно добавить, что согласно последним тенденциям в физике, это явление, скорее всего, имеет квантовый характер.

Список литературы

- [1] Миланкович М., *Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата*, ГОНТИ, М.-Л., 1939. [Milankovich M., *Matematicheskaya klimatologiya i astronomicheskaya teoriya kolebaniy klimata*, GONTI, M.-L., 1939].
- [2] Ramirez-Rojas A., Munoz-Diosdado A., Pavia-Miller C.G., Angulo-Brown F., “Spectral and multifractal study of electroseismic time series associated to the Mw = 6.5 earthquake of 24 October 1993 in Mexico”, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **4** (2004), 703-709.
- [3] Yano J-I, Fraedrich K., Blender R., “Tropical convective variability as 1/f noise”, *Journal of climate*, **14** (2001), 3608–3616.
- [4] Imbre J., Berger A., Boyle E et al., “On the structure and origin of major glaciation cycles. The 100.000-year cycle”, *Paleoceanography*, **8** (1993), 699–735.
- [5] Жвирблис В. Е. Загадка фликкер шума, *Журнал «Знание – сила»*, 1983, № 9, 36–39. [Zhvirblis V. E. Zagadka flikker shuma, *Zhurnal «Znanie – sila»*, 1983, № 9, 36–39].
- [6] Гончаренко Ю. В., Кивва Ф. В., “О размерах частиц атмосферного аэрозоля в отражающих слоях, появляющихся после сильных солнечных вспышек”, *Радиофизика и электроника*, **7:3** (2002), 509–512. [Goncharenko Yu. V., Kivva F. V., “O razmerakh chastits atmosfernogo aerizolya v otrazhayushchikh sloyakh, poyavlyayushchikhsya posle sil'nykh solnechnykh vspyshek”, *Radiofizika i elektronika*, **7:3** (2002), 509–512].
- [7] Harrison R.G., *Atmospheric electricity and cloud microphysics*, CERN, Geneva, 2001.

- [8] Rampino M.R., Self S., Stothers R.B., "Volcanic winters", *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, **16** (1988), 73–99.
- [9] Ивлев Л. С., Довгалюк Ю. А., *Физика атмосферных аэрозольных систем*, СПбГУ, Санкт-Петербург, 2000, 258 с. [Ivlev L. S., Dovgalyuk Yu. A., *Fizika atmosferynykh aerazol'nykh sistem*, SPbGU, Sankt-Peterburg, 2000, 258 pp.]
- [10] Гундиенков В. А., Яковленко С. И., "Взаимодействие заряженных пылинок в плазме", *ЖТФ*, **28**:21 (2002), 81-90. [Gundienkov V. A., Yakovlenko S. I., "Vzaimodeystvie zaryazhennykh pylinok v plazme", *ZhTF*, **28**:21 (2002), 81-90].
- [11] Thomas H., Morfill G.E., Demmel V. et al., "Plasma crystal: coulomb crystallization in dusty plasma", *Phys. Rev. Lett.*, **73**:5 (1994), 652–655.
- [12] Ikezi H., "Coulomb Solid of Small Particles in Plasmas", *Phys. Fluids*, **29** (1986), 1764–1766.
- [13] Scales W. A., Ganguli G., "Electrodynamic structure of charged dust clouds in Earth's middle atmosphere", *NJP*, **6**:12 (2004), 1–15 <http://www.njp.org/>.
- [14] Кузнецов В. В., Кузнецова Н. Д., *Влияние космического излучения и вековых вариаций геомагнитного поля на климат и эволюцию жизни на Земле* <http://kcs.dvo.ru/ikir/Russian/Science/2004/3-11.pdf>. [Kuznetsov V. V., Kuznetsova N. D., *Vliyanie kosmicheskogo izlucheniya i vekovykh variatsiy geomagnitnogo polya na klimat i evolyutsiyu zhizni na Zemle*. <http://kcs.dvo.ru/ikir/Russian/Science/2004/3-11.pdf>].
- [15] Chen J., Carlson B.E., Del Genio A.D., "Evidence for strengthening of the tropical general circulation in the 1990s", *Science*, **295** (2002), 838–841.
- [16] Palle E., Goode P.R., Montanes-Rodriguez P., Koonin S.E., "Can Earth's albedo and surface temperature increase together?", *EOS*, **87**:4 (2006), 37–43.
- [17] Головкин В. А., *Современный энергетический дисбаланс Земли: доказательства существования и возможные последствия*, Конференция ИКИ, Москва, 2006. [Golovko V. A., *Sovremennyy energeticheskiy disbalans Zemli: dokazatel'stva sushchestvovaniya i vozmozhnye posledstviya*, Konferentsiya IKI, Moskva, 2006].

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М., Л.: ГОНТИ, 1939.
- [2] Ramirez-Rojas A., Munoz-Diosdado A., Pavia-Miller C.G., Angulo-Brown F. Spectral and multifractal study of electroseismic time series associated to the Mw = 6.5 earthquake of 24 October 1993 in Mexico // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2004. vol. 4. pp. 703-709.
- [3] Yano J-I, Fraedrich K., Blender R. Tropical convective variability as 1/f noise // *Journal of climate*. 2001. vol. 14. pp. 3608-3616.
- [4] Imbre J., Berger A., Boyle E et al. On the structure and origin of major glaciation cycles. The 100.000-year cycle // *Paleoceanography*. 1993. vol. 8. P. 699-735.
- [5] Жвирблис В.Е. Загадка фликкер шума // *Журнал «Знание – сила»*. 1983. №9. С. 36-39.
- [6] Гончаренко Ю.В., Кивва Ф.В. О размерах частиц атмосферного аэрозоля в отражающих слоях, появляющихся после сильных солнечных вспышек. // *Радиофизика и электроника*. 2002. Т. 7. № 3. С. 509–512.
- [7] Harrison R.G. Atmospheric electricity and cloud microphysics. CERN. Geneva. 2001.
- [8] Rampino M.R., Self S., Stothers R.B. Volcanic winters // *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 1988. vol. 16. pp. 73-99.
- [9] Ивлев Л.С., Довгалюк Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем. Санкт-Петербург: СПбГУ. 2000. 258 с.
- [10] Гундиенков В.А., Яковленко С.И. Взаимодействие заряженных пылинок в плазме // *ЖТФ* 2002. Т. 28. вып. 21. С. 81-90.

- [11] Thomas H., Morfill G.E., Demmel V. et al., Plasma crystal: coulomb crystallization in dusty plasma // *Phys. Rev. Lett.* 1994. vol. 73. no. 5. pp. 652-655.
- [12] Ikezi H. Coulomb Solid of Small Particles in Plasmas // *Phys. Fluids.* 1986. vol. 29. pp. 1764–1766
- [13] Scales W.A., Ganguli G. Electrodynamic structure of charged dust clouds in Earth's middle atmosphere // *NJP.* 2004. vol. 6. no. 12. pp. 1–15. <http://www.njp.org/>
- [14] Кузнецов В.В., Кузнецова Н.Д. Влияние космического излучения и вековых вариаций геомагнитного поля на климат и эволюцию жизни на Земле. URL:<http://kcs.dvo.ru/ikir/Russian/Science/2004/3-11.pdf>
- [15] Chen J., Carlson B.E., Del Genio A.D. Evidence for strengthening of the tropical general circulation in the 1990s. // *Science.* 2002. vol. 295. pp. 838-841
- [16] Palle E., Goode P.R., Montanes-Rodriguez P., Koonin S.E. Can Earth's albedo and surface temperature increase together? // *Eos*, 2006. vol. 87. no 4. pp. 37–43.
- [17] Головкин В.А. Современный энергетический дисбаланс Земли: доказательства существования и возможные последствия // Конференция ИКИ. Москва. 2006.

Для цитирования: Кузнецов В. В. Колебания климата — фликкер шум // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2017. № 3(19). С. 90-99. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-19-3-90-99

For citation: Kuznetsov V. V. Climate variation as flicker noise, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2017, **19**: 3, 90-99. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-19-3-90-99

Поступила в редакцию / Original article submitted: 22.06.2017