

Г.М. Крученицкий

Глобальная температура: потенциальная точность измерения, стохастические возмущения и долговременные изменения

Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, г. Долгопрудный

Поступила в редакцию 6.08.2007 г.

В рамках анализа научных предпосылок Киотского протокола рассмотрены следующие вопросы:

– С какой точностью может быть определено среднегодовое значение глобальной температуры с помощью наблюдательных средств существующей мировой сети?

– Каким флуктуациям может быть подвержен индекс глобальной температуры (ИГТ) при заведомом отсутствии антропогенных воздействий?

– Как соотносятся изменения глобальной температуры, обусловленные наблюдаемым изменением содержания парниковых газов в атмосфере, с ее естественной стохастической изменчивостью?

Показано, что: 1) относительно невысокая обеспеченность поверхности Земли измерениями приземной температуры не дает возможности надежно обнаруживать долговременные изменения ее глобальных значений на уровне 0,4 К за столетие; 2) стохастические факторы изменчивости глобальной температуры с большой вероятностью порождают случайные тренды на уровне 0,4 К за столетие и гораздо более; 3) энергетический эквивалент стохастических факторов изменчивости глобальной температуры не менее чем на порядок превосходит энергетический эквивалент антропогенного вклада в энергетический баланс Земли, обусловленного выбросом парниковых газов; 4) рост содержания углекислого газа в атмосфере есть не причина, а следствие увеличения глобальной температуры, которое в свою очередь вызвано либо чисто флуктуационными изменениями факторов, формирующих радиационный баланс Земли, либо долгопериодными колебаниями ИГТ.

Введение

Международные природоохранные договоры, заключаемые в последние десятилетия, являются весьма обязывающими в экономическом отношении, но не всегда достаточно обоснованными в отношении научном. В качестве примера можно привести Монреальский протокол о защите озонового слоя (1989 г.) и развивающие его соглашения. Спустя относительно короткое время после подписания этих соглашений стало очевидно, что при их заключении были явно недооценены естественные факторы, определяющие изменчивость озонового слоя, и значительно (и, вероятно, умышленно) преувеличены последствия антропогенного выброса в атмосферу хлорфторуглеводородов. В результате ряд государств понесли заметные финансовые потери, а Россия, кроме того, поплатилась фактическим разгромом химического сектора своего ВПК.

В настоящее время активно муссируются слухи о необходимости ужесточения ограничений, налагаемых на экономику государств – участников Киотского протокола (КП), в том числе РФ. Уместно напомнить, что Президиум РАН, отвечая на запрос президента РФ о научной обоснованности названного соглашения, дал сугубо отрицательный ответ. Ввиду того обстоятельства, что бездумное следование ограничениям КП, а тем более ограничениям,

еще более жестко ограничивающим выбросы парниковых газов, способно нанести экономике страны ущерб, существенно превышающий тот, что нанес Монреальский протокол, уместно вновь вернуться к научным основам так называемой «проблемы глобального потепления».

1. Постановка задачи

Научное обоснование Киотского протокола базируется на трех основных положениях [1]:

1. В последние годы имеет место беспрецедентное (за последнюю тысячу лет) повышение глобальной температуры, которое составило $(0,6 \pm 0,2)$ К за период 1860–2000 гг.

2. Это повышение обусловлено антропогенными выбросами в атмосферу парниковых газов, поглощающих тепловое (инфракрасное) излучение Земли (CH_4 , N_2O и т.д.), и в основном углекислого газа (CO_2), образующегося при сжигании углеродосодержащих топлив.

3. Дальнейшие антропогенные выбросы CO_2 вызовут неуклонное повышение его содержания в атмосфере и рост глобальной температуры.

В свете этих положений естественно сформулировать следующие вопросы:

– С какой точностью может быть определено среднегодовое значение глобальной температуры

с помощью наблюдательных средств существующей мировой сети?

– Каким флуктуациям может быть подвержена глобальная температура при заведомом отсутствии антропогенных воздействий?

– Как соотносятся изменения глобальной температуры, обусловленные наблюдаемым изменением содержания парниковых газов в атмосфере, с ее естественной стохастической изменчивостью?

В настоящей статье предпринята попытка получить численные оценки для всех фигурирующих в перечисленных выше вопросах величин и соотнести их с возмущениями энергетического баланса, вытекающими из утверждения о наличии и антропогенном происхождении глобального потепления.

2. Можно ли обнаружить повышение глобальной температуры на 0,6 К?

В настоящее время наблюдательная сеть ВМО, где измеряется температура на поверхности Земли, состоит из 10 951 станции. Расположение этих станций (весьма неравномерное) иллюстрирует рис. 1.

Если на территории размером 5° широты на 10° долготы имеется хотя бы одна станция (размер территории примерно соответствует синоптическому масштабу), то мы будем считать эту территорию охваченной наблюдениями и раскрашивать на рис. 1 серым цветом. В противном случае территория окрашена темным цветом. Площадь, охваченная наблюдениями (в соответствии с описанным выше очень либеральным критерием), на сегодня составляет 47% поверхности Земли. Этот показатель далее будем называть обеспеченностью наблюдений. Оценим теперь, с какой точностью можно

в таких условиях определить среднегодовую глобальную температуру.

Подчеркнем, что речь идет не о расчете, а именно об оценке погрешности снизу. Будем считать, что все имеющиеся станции измеряют температуру абсолютно точно или, по крайней мере, обеспечено абсолютное единство измерений температуры на всей поверхности Земли на протяжении последних полутора веков. Тогда единственным источником погрешности в определении среднегодовой глобальной температуры станет ошибка в вычислении выборочного среднего δ , которая определяется по формуле [2]:

$$\delta = \sigma / \sqrt{n}, \quad (1)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение (СКО) температуры; n – объем выборки.

На рис. 2 приведены среднеквадратические отклонения годового хода температуры по распространенной эмпирической модели CIRA-86 для различных широтных поясов и процент охвата этих поясов наблюдениями (обеспеченность p).

Отметим, что приведенные данные по СКО – это *СКО среднемесячных значений модели годового хода*. Реальные СКО в течение конкретного года по меньшей мере на 15–25% выше, однако мы будем игнорировать это обстоятельство. Полагая для каждого широтного пояса с центром на широте φ , что среднемесячная температура для обеспеченной наблюдениями части пояса вычисляется абсолютно точно, а дисперсия температуры для необеспеченной части составляет $\sigma^2(\varphi)[1 - p(\varphi)]$, имеем

$$\delta(\varphi) = \sigma(\varphi) \sqrt{\frac{1 - p(\varphi)}{12}}, \quad (1a)$$

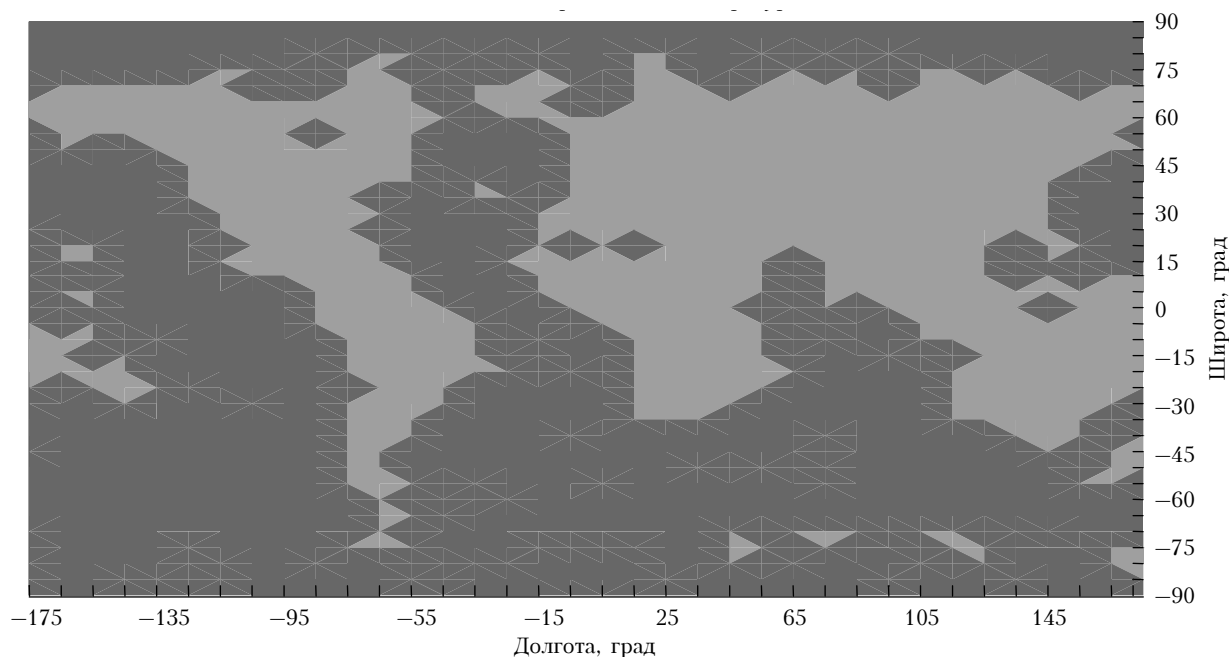


Рис. 1. Охват земной поверхности измерениями приземной температуры (2004 г.)

и, усредняя (1а) по широте с весом, пропорциональным площади пояса $-\cos\phi$, получаем для погрешности определения среднегодового значения глобальной температуры $\delta = 0,28$ К.

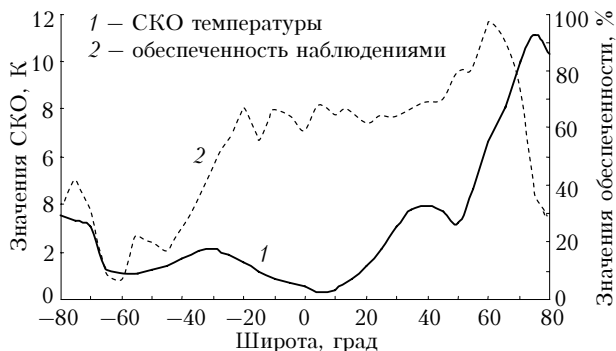


Рис. 2. Зональный ход СКО температуры и обеспеченности измерений

В докладе [1], где утверждается, что среднегодовое значение глобальной температуры выросло на $(0,6 \pm 0,2)$ К за период 1860–2000 гг., приводятся значения δ от 0,05 К для последних лет до $\sim 0,1$ К для середины XIX в. (стр. 56). При этом в качестве источников погрешности указываются случайные погрешности приборов; неопределенности, связанные с субъективными поправками на поверхностную температуру океана; неточность корректировки, учитывающей фактор урбанизации на суше.

Видно, что вклад только второго из названных источников несколько (в 5,5 раза) занижен по отношению к довольно мягким оценкам минимальной погрешности. Из этих оценок следует, что 95%-й доверительный интервал в конце анализируемого периода составит 0,7 К, и даже если (вопреки факту существенного расширения мировой сети станций за 140 лет) положить его таким же и в начале этого периода, то любой график глобальной температуры в полосе полушириной 0,7 К вокруг оси абсцисс следует интерпретировать как свидетельство отсутствия долговременных изменений. *В таких условиях есть основания предполагать, что первое из трех основных положений, на которых базируется Киотский протокол, не выглядит совершенно бесспорным, так как не вполне ясно, как его обосновать по данным существующей сети наблюдений за приземной температурой.*

Теперь обсудим вопрос, каким образом уважаемым экспертам ВМО удалось получить неоправданно оптимистичную оценку погрешности вычисления индекса глобальной температуры (ИГТ). Ответ на него дает рис. 3.

Оценивая погрешность вычисления ежегодного значения ИГТ, поименованные эксперты подставляли в числитель формулы (1) эмпирическое СКО по всем узлам регулярной сетки, где имеются данные за этот год, и получили временной ход погрешности вычисления ежегодных значений ИГТ (кривая 1 на рис. 3). Очевидно, что такой подход полностью игнорирует то обстоятельство, что отсчеты в различных узлах регулярной сетки освещают

различные по площади участки земной поверхности и поэтому должны учитываться с различными весами при вычислении не только среднего значения, но и СКО.



Рис. 3. Различные оценки погрешности вычисления ИГТ

Корректная оценка погрешности выборочного осреднения предполагает поширотное вычисление соответствующей погрешности и последующее осреднение с весами, пропорциональными площадям широтных зон, т.е. косинусу широты. Этот подход дает временной ход погрешности вычисления ежегодных значений ИГТ (кривая 2 на рис. 3). Легко убедиться, что оценки погрешности вычисления ИГТ, основанные на модели CIRA-86 (0,28 К) и на корректном вычислении эмпирического СКО (0,26 К) близки друг к другу и очень далеки от фантастической с физической точки зрения оценки экспертов ВМО (0,05 К). Последняя оценка названа фантастической, так как для любого физика очевидно без всяких расчетов, что вычислить среднюю температуру термодинамически неравновесной системы объемом 5 млн км³ с погрешностью 0,05 К с помощью 10 тыс. датчиков невозможно, независимо от качества датчиков, режима их опроса и расположения внутри системы. (Строго говоря, к термодинамически неравновесной системе понятие температуры вообще неприменимо, но, так как постоянная времени применяемых на сети датчиков температуры гораздо меньше характерных времен неравновесных процессов, под температурой можно понимать показания этих датчиков — термометров).

3. Может ли наблюдаться рост глобальной температуры при заведомом отсутствии каких бы то ни было причин для него?

При взгляде на график эволюции глобальной температуры (рис. 4) по данным авторитетного сайта <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/> (эти данные практически совпадают с приведенными в [1], но начинаются несколько раньше (с 1856 г.) и оперативно пополняются каждый месяц) возникает вопрос: «Как должен выглядеть график глобальной температуры, чтобы не возникало подозрение о наличии долговременных изменений (трендов) этого параметра (безотносительно к тому, являются ли названные тренды антропогенными)?»

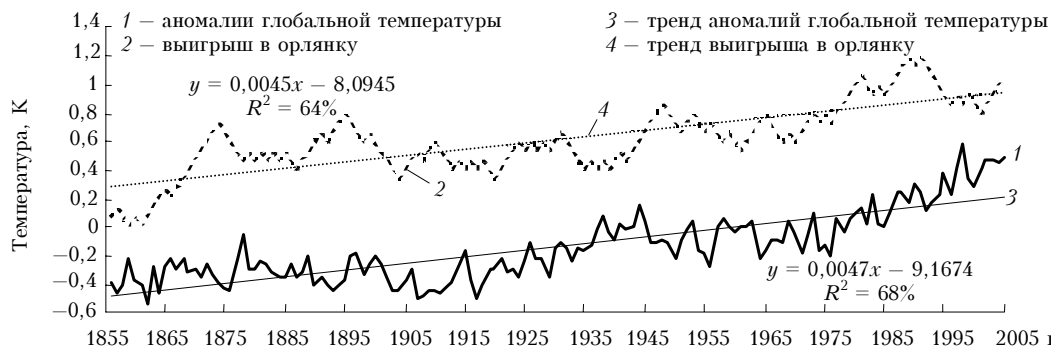


Рис. 4. Значения среднегодовых аномалий глобальной температуры (сплошные линии) и результаты случайного варьирования глобальной температуры с ежегодным шагом 0,066 К

Тривиальный ответ: «Этот график должен совпадать с осью абсцисс», — следует сразу отвергнуть как заведомо нереалистичный, так как в климатической системе Земли развивается значительное число стохастических процессов, с неизбежностью вызывающих наличие флуктуаций в среднегодовых значениях глобальной температуры.

Подчеркнем, что речь идет о флуктуациях именно значений глобальной температуры, а не результатов глобального осреднения данных измерений, флуктуации которых рассматривались в предыдущем разделе. Некоторые из причин флуктуаций глобальной температуры рассмотрены ниже, а пока будем исходить из интуитивно очевидного предположения о существовании таких причин.

Из нижней кривой (рис. 4) следует, что рост глобальной температуры представляется несомненным.

Это подтверждают и приведенные на рис. 4 уравнения линейной регрессии ряда аномалий на время, и высокие значения коэффициента детерминации положительных линейных трендов (R^2). Однако некоторые сомнения в неслучайной обусловленности роста глобальной температуры вызывает сравнение кривых на рис. 4. Верхняя кривая представляет собой визуализацию результатов численного эксперимента с заведомо стационарным случайным процессом. Суть эксперимента состоит в следующем. Положим значение аномалии глобальной температуры в 1856 г. равной 0, а в каждый последующий год будем полагать это значение равным таковому в предыдущем с точностью до 0,066 К, которые прибавляются или отнимаются в зависимости от исхода бросания монеты (игра в орлянку). Значение межгодового отличия (0,066 К) выбрано таким образом, чтобы СКО выигрыша в орлянку было равно СКО аномалий глобальной температуры за 150 лет (0,25 К). Вместо исходов бросания монеты в численном эксперименте использовались значения функции Rnd(1) скрипта VBA электронных таблиц Excel. Так как результаты, приведенные на рис. 4, получены без привлечения оператора Randomize, они могут быть повторены любым желающим.

Для того чтобы убедиться, что практическое совпадение значений тренда и коэффициента детерминации аномалий температуры и смоделированного стационарного процесса не случайно, экс-

перимент был проведен 250 раз с использованием оператора Randomize, который обеспечивает генерацию независимых случайных последовательностей. Среднее значение абсолютной величины тренда для процесса с длиной реализации 150 отсчетов составило 0,0049 К/отсчет (т.е. почти такое же, как у аномалий глобальной температуры — 0,0047 К/отсчет (это значение тренда, как легко подсчитать, соответствует 0,7 К за 150 лет)), а СКО — 0,0037 К/отсчет.

(Грубая оценка $k \approx \frac{0,066\sqrt{150}}{150} \approx 0,0054$ К/отсчет по

порядку величины совпадает со средним значением, полученным в численном эксперименте.) Абсолютные значения тренда превосходили 0,0047 К/отсчет (для длины реализации 150 отсчетов) в 107 случаях из 250, а тренд оказался статистически значимым на доверительном уровне 95% в 224 случаях. Гистограмма результатов численного эксперимента для серий длиной 150 отсчетов приведена на рис. 5.

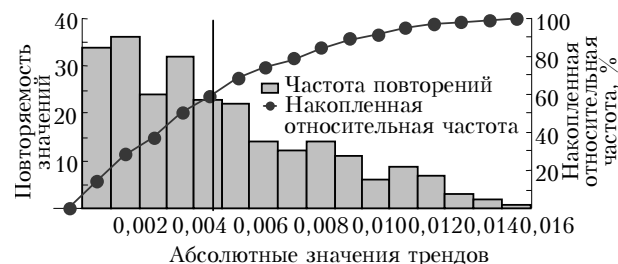


Рис. 5. Распределение трендов выигрыша при игре в орлянку в 250 сериях из 150 бросаний монеты в каждой при ставке 0,066 К (вертикальная линия соответствует тренду глобальной температуры за 150 лет)

Таким образом, интуитивное впечатление о динамической обусловленности роста глобальной температуры, которое производит нижняя кривая на рис. 4, оказывается обманчивым: никаких оснований утверждать, что возрастание глобальной температуры на протяжении последних полутора веков не носит характер флуктуации — нет. Более подробно о том, как корректный статистический расчет разрушает кажущиеся очевидными представления о характере стационарного диффузионного процесса, можно прочитать в известном учебнике [3]. Отметим, что наш выбор дискретности отсчетов (1 год) обусловлен тем, что при выборе, например,

дискретности 1 мес соседние отсчеты перестают быть независимыми, так как длительность шага отсчетов сравнима с длительностью синоптического цикла [4]. При выборе дискретности 1 мес результаты численного эксперимента принципиально не отличаются от приведенных выше. Однако адекватность эксперимента при этом становится сомнительной, так как результаты двух последовательных бросаний монеты в отличие от двух последовательных среднемесячных значений аномалий глобальной температуры заведомо независимы. Важно подчеркнуть, что, даже если считать данные об эволюции глобальной температуры абсолютно достоверными, т.е. полностью игнорировать оценки погрешности, приведенные в предыдущем разделе, то случайные межгодовые вариации, которые не больше чем декларированная в [1] погрешность измерений, могут привести к наблюдаемому стохастическому росту глобальной температуры с вероятностью, сравнимой по величине с единицей. (Напомним, что погрешность измерения среднеглобальной температуры декларирована в [1] на уровне между 0,05 и 0,1 К, а в численном эксперименте значения необнаружимых случайных вариаций выбраны на уровне 0,067 К).

4. Существуют ли причины для флуктуаций глобальной температуры?

Мы рассмотрим только две из упомянутых выше причин не потому, что их вклад во флуктуации глобальной температуры наиболее существен, а потому, что этот вклад легко поддается элементарной оценке. Речь идет о тропических циклонах (ТЦ) и глобальном альбедо.

Развиваясь в тропических акваториях Мирового океана, ТЦ производят интенсивное перемешивание океанических вод на глубинах до 200–400 м, и после их прохождения надолго остается «след» в виде океанической области с пониженной на несколько градусов температурой. Естественно, что наличие таких областей приводит к стоку тепла из атмосферы в океан. Это подтверждает рис. 6, на котором хорошо видны отрицательная корреляция числа ТЦ и значения индекса глобальной температуры (ИГТ – отклонение среднегодового значения

от среднего за период 1960–2000 гг., выраженное в сотых долях градуса).

Численное значение коэффициента корреляции составляет –50%, но надо иметь в виду, что влияние ТЦ на глобальную температуру связано не только с их количеством, но и с индивидуальными значениями параметров ТЦ.

К сожалению, надежные данные о числе и параметрах ТЦ появились только после внедрения в оперативную практику космических средств наблюдения, т.е. начиная с 70-х гг. XX в. Для более раннего периода характерны пропуски значительного числа ТЦ. Оценим энергетический вклад вариации среднегодового числа ТЦ в глобальную температуру по данным сайта ГМЦ Росгидромета [5]. Полагая среднюю длину траектории ТЦ равной 3 тыс. км, среднюю ширину – 500 км, среднюю глубину перемешивания воды – 300 м, а среднюю температуру охлаждения – 2 К, получим, что для компенсации охлаждения воды, обусловленного средним ТЦ, из атмосферы будет изъято $\sim 3,7 \cdot 10^{21}$ Дж.

Число ТЦ варьируется год от года (за последние 30 лет XX в. оно составляло от 61 до 103). Эмпирическое среднее количество ТЦ в год составляет 82,7, эмпирическое СКО – 8,8, что хорошо согласуется с физически осмысленной гипотезой о пуассоновской природе потока ТЦ ($\sqrt{82,7} = 9,1$). Эта гипотеза успешно выдерживает и стандартное тестирование [2]: значение статистики χ^2_2 составляет 2,2 при пороге отвержения гипотезы 5,99. Из вышеизложенного следует, что естественные (т.е. на уровне СКО – σ) вариации энергии, уходящей из атмосферы на компенсацию потерь, обусловленных ТЦ, составляют примерно $9 \cdot 3,7 \cdot 10^{21} = 3,3 \cdot 10^{22}$ Дж. Это эквивалентно 2,2 Вт/м². Из закона Стефана–Больцмана следует, что возмущению δP плотности мощности на поверхности Земли P соответствует возмущение яркостной температуры T :

$$\delta T = \frac{\delta P}{4P_0(1-A)}T, \quad (2)$$

где $P_0 = 1368$ Вт/м² – внеатмосферная плотность мощности потока излучения Солнца; $A \sim 30\%$ – альбедо Земли.

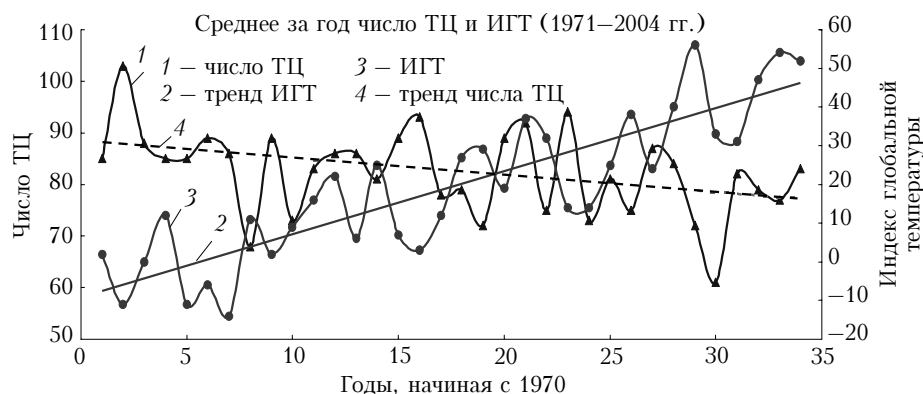


Рис. 6. Влияние потока ТЦ на ИГТ

Следовательно, пуассоновские флуктуации потока ТЦ должны вызывать вариации яркостной температуры Земли на уровне 0,14 К, т.е. в 2 раза больше, чем это было использовано в численном эксперименте. (Яркостная температура Земли соответствует температуре атмосферы на высоте ~5,6 км «посредине» атмосферы и ее вариации по порядку величины должны соответствовать вариациям приземной температуры. Во всяком случае, публикации о наблюдении трендов вертикального градиента температуры в тропосфере автору неизвестны). Из сказанного, в частности, следует, что ТЦ представляют собой один из механизмов отрицательной обратной связи, стабилизирующей глобальную температуру. В самом деле, ТЦ могут возникать лишь при значении температуры акватории ≥ 300 К. Увеличение частоты возникновения таких акваторий, неизбежное при росте глобальной температуры, приведет к росту частоты появления ТЦ, что, в свою очередь, уменьшит ИГТ.

Приступим теперь к рассмотрению другого возможного механизма рандомизации ИГТ. Как известно из простейших энергобалансовых моделей климата, изменение глобальной яркостной температуры T связано с изменениями полного альбедо Земли A соотношением

$$\frac{dT}{dA} = -\frac{T}{4(1-A)}. \quad (3)$$

Отсюда следует, что при современном значении $A \sim 30\%$ и $T \sim 259$ К изменение глобальной температуры (разумеется, формула (3) относится к глобальной радиационной температуре, однако для оценок различие между изменениями глобальной приземной и радиационной температур несущественно) при изменении альбедо на 1% составит $\sim 0,9$ К (при уменьшении альбедо температура растет). Традиционным способом измерения альбедо является измерение светового потока от затемненной части лунного диска. Эти измерения дают современное значение $A = 29,75\%$. Они хорошо согласуются с измерениями отражаемости, проводимыми озонометрической аппаратурой TOMS (рис. 7), функционирующей с 1978 г. (с небольшим перерывом) на бортах ИСЗ Nimbus-7, Meteor-3 и Earth Probe [6].



Рис. 7. Глобальное альбедо — модель сезонного хода и случайная составляющая

Среднее значение отражаемости за эти годы составило 30,1%, СКО сезонного хода $\sim 1,8\%$, СКО стохастической составляющей (с учетом расхождений

VII и VIII версий TOMS) не менее 0,3%. Отметим, что СКО межгодовых вариаций 0,3% эквивалентно СКО межгодовых вариаций радиационного внешнего воздействия $\sim 1,4 \text{ кВт/м}^2 \cdot 0,3\% \approx 4,2 \text{ Вт/м}^2$. Из (2) следует, что это должно приводить к стохастическим вариациям глобальной температуры $\sim 0,25$ К (именно таким оказалось СКО глобальной температуры в ряду [1]).

Естественно, возникает вопрос: почему полное СКО глобальной температуры относительно невелико (на уровне вклада лишь одной из многих причин)? Дело, по-видимому, в том, что вариации ИГТ сильно демпфируются отрицательными обратными связями в климатической системе Земли, которые, разумеется, далеко не исчерпываются той, на которую было указано выше.

В заключение сравним вклад в энергетический баланс естественных вариаций параметров климатической системы Земли (на уровне 2,5 СКО) и обусловленного антропогенными выбросами парникового эффекта [1]. Эти вклады изображены на рис. 8, из которого следует, что обнаружение антропогенного воздействия на ИГТ по самым оптимистичным оценкам приходится вести в условиях соотношения сигнал-шум на уровне -19 дБ. По-видимому, эта задача превосходит возможности существующей наблюдательной системы.

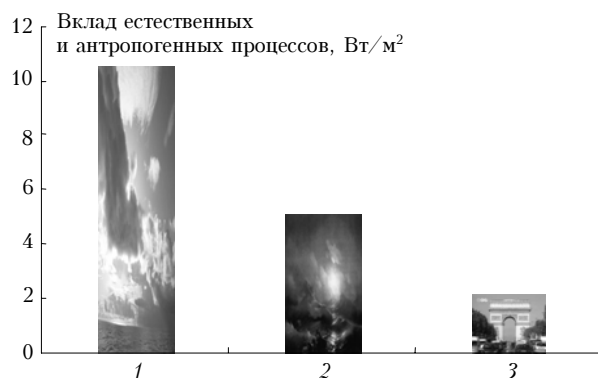


Рис. 8. Радиационное воздействие естественных и антропогенных процессов: 1 — вариации альбедо; 2 — вариации потока ТЦ; 3 — антропогенный парниковый эффект

Сам по себе уровень -19 дБ не является непреодолимым препятствием для обнаружения (как свидетельствует, например, опыт радиоастрономических наблюдений), но предъявляет достаточно высокие требования как к аппаратным, так и к методическим средствам обнаружения.

И, наконец, несколько слов об антропогенной обусловленности роста содержания CO_2 в атмосфере. Самые элементарные оценки порождают серьезные сомнения в такой обусловленности. А именно:

- всего CO_2 в атмосфере — $3 \cdot 10^{12}$ т;
- изменение растворимости CO_2 в океане с ростом температуры — $41,5 \text{ л/(т} \cdot \text{К)}$;
- реакция на изменение температуры чувствительного слоя океана (минимальная оценка 30 м) — $9 \cdot 10^{11} \text{ т/К}$;

- антропогенный выброс – $2 \cdot 10^{10}$ т/год $\sim 2,4$ млн⁻¹;
- реакция океана на флуктуации 0,06 К – 7,5 млн⁻¹;
- накопленная реакция за 140 лет – 7,5 млн⁻¹ $\sqrt{140} \approx 90$ млн⁻¹.

Таким образом, современный антропогенный выброс CO₂ на полпорядка меньше минимальной реакции Мирового океана на необнаружимые вариации глобальной температуры, а наблюдаемое увеличение отношения смеси CO₂ в атмосфере может быть практически исчерпывающим образом объяснено этой реакцией.

Исходя из вышеизложенного, имеет смысл вернуться к вопросу о прогнозе индекса глобальной температуры, который сторонники Киотского протокола решают, главным образом, на основе линейного тренда. На рис. 9 приведены результаты сравнения эффективности линейного тренда и нелинейной регрессии ряда ИГТ на гармоники низкой частоты, величина которой определяется методом наименьших квадратов. Эта частота соответствует периоду 178 лет, число статистически значимых гармоник оказывается равным пяти и эффективность регрессии в 1,5 раза выше, чем у линейного тренда.

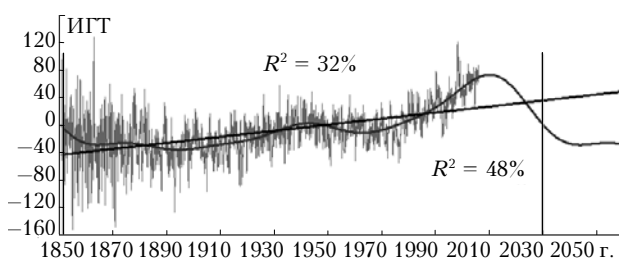


Рис. 9. Сравнительная эффективность экстраполяции индекса глобальной температуры линейным трендом и гармониками низкой частоты (светлыми вертикальными линиями обозначен период первой гармоники)

Отметим, что для практического подбора частоты удобно использовать встроенный метод электронных таблиц Excel – Solver (в русском интер-

фейсе – «Поиск решения»). Нелинейная регрессионная модель, в частности, предсказывает наступление максимума ИГТ в начале следующего десятилетия и относительно быстрый спад значений среднеглобальной температуры после достижения максимума. Интересным является и то обстоятельство, что предыдущий минимум ИГТ модель располагает в районе 1890 г., что подтверждается данными наблюдений.

Выводы

1. Относительно невысокая обеспеченность поверхности Земли измерениями приземной температуры не дает возможности надежно обнаруживать долговременные изменения ее глобальных значений на уровне 0,4 К за столетие.
2. Стохастические факторы изменчивости глобальной температуры с большой вероятностью порождают случайные тренды на уровне 0,4 К за столетие и гораздо более.
3. Наблюдаемое возрастание содержания углекислого газа в атмосфере – не причина, а следствие стохастических флуктуаций температуры.
4. Энергетический эквивалент стохастических факторов изменчивости глобальной температуры не менее чем на порядок превосходит энергетический эквивалент антропогенного вклада в энергетический баланс Земли, обусловленного выбросом парниковых газов.

1. *Third Assessment Report. Climate Change. 2001* (<http://www.ipcc.ch/>).
2. *Hudson D.J. Lectures on elementary statistics and probability. Geneva, 1964. 242 p.*
3. *Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т. 1. М.: Мир, 1964. С. 80–102.*
4. *Кадыгорова Т.В., Крученицкий Г.М. Выделение трендов в парциальном давлении озона на различных высотах в атмосфере // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 1995. Т. 31. № 1. С. 62–68.*
5. <http://hmc.hydromet.ru/>.
6. <http://www.giss.nasa.gov/update/gistemp/>

G.M. Kruchenitskii. Global temperature: Potential measurement accuracy, stochastic disturbances, and long-term variations.

Within the framework of scientific background of Kyoto Protocol the following issues are considered: what is the possible accuracy of determining the mean annual global temperature using the means currently available on the world network; what kind of fluctuations can global temperature undergo if not subjected to any anthropogenic factors; what is the relationship between global temperature changes caused by observable changes in atmospheric greenhouse gases content and its natural stochastic variability; how will the climatic system feedback affect long-term changes in global temperature.

It is demonstrated that the low coverage of the globe by surface temperature measurements prevents reliable detection of the long-term changes of its global values at a 0.4 K per century or higher level. Stochastic factors of global temperature variability are quite likely to result in random trends at a 0.4 K per century or higher level. An energy equivalent of the stochastic factors of global temperature variability by not less than an order of magnitude exceeds that of the anthropogenic contribution, caused by greenhouse gases emission, to the Earth's energy balance. Carbon dioxide increase in the atmosphere is not the cause, but rather the effect of the global temperature growth, which, in turn, results either from purely random variations in the factors governing the Earth's radiation balance, or from long-term variation of the global temperature index.