

## КОНЦЕПЦИЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ПЛАНЕТЫ И ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

А. П. Николаенко

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины*  
 12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина  
 E-mail: [sasha@ire.kharkov.ua](mailto:sasha@ire.kharkov.ua)

Рассмотрен тепловой баланс Земли в предположении, что мощность лучистой энергии Солнца, поглощаемой планетой, равна ее собственному тепловому излучению. Такой подход позволяет не рассматривать всю цепочку преобразований энергии из одного вида в другой или из диапазона в диапазон. Интенсивность нагрева Солнцем затем сравнивается с антропогенным теплом, выделяемым за счет сжигания топлива. Показано, что тепла, производимого человечеством, вполне достаточно, чтобы привести к росту средней температуры планеты примерно на 1 °С за сто лет. Тем самым предлагается возможная причина наблюдаемых изменений климата. Библиогр.: 13 назв.

**Ключевые слова:** планетарный тепловой баланс, глобальное потепление.

Глобальное потепление является одной из наиболее популярных тем в современной научной литературе. В еженедельнике американского геофизического союза *Earth Observing System Transactions* такие работы публикуются практически в каждом номере (см. работы [1-4]). Итоги наблюдений и моделирования публикуются в Интернете [5]. Рассматриваются самые разнообразные детали, включая отличия процессов в Северном и Южном полушариях [2], схемы регионального и глобального переноса тепла и льда [5], океан как термостат [6], долгосрочные изменения климата и их проявления [7-9], влияние потепления на количество осадков [4, 10] и электрическую активность атмосферы планеты [11], преобразование лучистой энергии, поступающей к Земле от Солнца в количестве  $1,2 \cdot 10^{17}$  Дж/с в другие виды энергии [12] и т. д.

Мы подойдем к обсуждаемой проблеме с позиций теплового баланса планеты в целом, т. е. с «макроскопической» точки зрения. Нас не интересует, как именно излучение Солнца преобразуется и поглощается на Земле. Рассмотрим тепловой баланс в целом, как бы с большого расстояния из космоса.

**1. Постановка задачи.** Основное допущение вполне естественно и не вызывает возражений: планета, включая ее атмосферу, находится в тепловом равновесии с падающим от Солнца излучением. Это действительно так, поскольку до самого последнего времени климат Земли в целом оставался неизменным, о чем свидетельствуют многие данные. Периоды потепления сменялись глобальными ледниковыми периодами при изменениях нынешней средней температуры всего лишь на несколько градусов. Об этом говорят разнообразные наблюдательные данные и результаты моделирования. Современная средняя температура планеты равна 288 К [5, 13] или 15 °С.

Оценим долю солнечной энергии, поглощаемой Землей и идущую на поддержание сред-

ней температуры планеты. Плотность потока лучистой энергии Солнца у Земли хорошо известна, это так называемая солнечная постоянная, равная  $S_C = 1369 \pm 14$  Вт м<sup>-2</sup>. Спектр излучения Солнца охватывает очень большую область частот и по форме близок к спектру абсолютно черного тела с температурой поверхности около 6000 К.

Взаимодействие лучистой энергии Солнца с атмосферой Земли и с самой планетой необычайно многообразно и сложно. По этому поводу имеется обширная литература, обилие которой скорее свидетельствует о том, что до сих пор не удается полностью и адекватно описать этот процесс как для планеты целиком, так и для ее отдельных областей. Мы не станем заниматься сложной задачей, а обойдем трудность, рассмотрим макроскопический, общий для всей планеты обмен тепла в условиях равновесия. При этом важно следующее:

- большая часть лучистой энергии Солнца отражается от планеты и уходит в космос. Это естественно, поскольку приэкваториальная область Земли укрыта облаками, тогда как приполярные области и высокие горы находятся подо льдом и снегом. Они хорошо отражают солнечную радиацию. К тому же солнечные лучи на высоких широтах падают под скользящими углами и поэтому испытывают почти полное отражение;

- незначительная часть потока энергии Солнца поглощается планетой. Эта энергия, в свою очередь, состоит из двух долей. Первая из них «связывается» благодаря, например, фотосинтезу. Вторая же часть после многократных преобразований в конечном счете расходуется на нагрев планеты и поддерживает тем самым тепловой баланс.

**2. Естественный тепловой баланс.** Получая энергию от Солнца, Земля разогревается (источниками тепла внутри планеты мы пренебрегаем). Теплая планета излучает тепло в космос как абсолютно черное тело. Мы рассматриваем

именно черное тело потому, что в этом случае потери на излучение максимальны. Поскольку температура планеты  $T_{\oplus}$  близка к 300 К, ее собственное (а не отраженное) излучение приходится на инфракрасный диапазон длин волн, а его полная энергия невелика.

Зная интенсивность собственного теплового излучения Земли, мы получаем возможность «измерить» величину солнечной энергии, идущей на поддержание постоянной температуры. Плотность потока равновесного (теплового) излучения описывается формулой Планка, если проинтегрировать ее по частотам, то мы получим закон Стефана – Больцмана

$$P_R = \sigma T^4, \quad (1)$$

где  $\sigma = 5,6696 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-4}$  – постоянная Стефана – Больцмана.

После подстановки в (1) средней температуры  $T = 288 \text{ К}$  мы получаем, что Земля с каждого квадратного метра поверхности излучает в окружающее пространство 390 Вт электромагнитной энергии. Принимая во внимание средний радиус планеты  $R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$  и ее площадь  $S = 4\pi R^2 = 5,14 \cdot 10^{14} \text{ м}^2$ , получим полную мощность тепловых потерь  $P = SP_R = 5,14 \cdot 10^{14} \cdot 390 = 2 \cdot 10^{17} \text{ Вт}$ .

По условию теплового равновесия излученная энергия компенсируется за счет тепла, приобретаемого от Солнца. Так мы получаем оценку энергии, поступившей от Солнца, которая за год составит

$$E = PT_Y, \quad (2)$$

где  $T_Y$  – длина года в секундах,  $T_Y = 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 3,1536 \cdot 10^7 \text{ с}$ . Из (2) следует, что  $E = 6,32 \cdot 10^{24} \text{ Дж}$ .

**3. Доля антропогенного тепла.** Сопоставим энергию от Солнца с энергией, которую вырабатывает современная индустриальная цивилизация. В течение года добывается (и сжигается)  $N_1 = \mathcal{N}_1 = 3 \cdot 10^9$  тонн нефти. Примем ее теплотворную способность равной  $\kappa = 4 \cdot 10^7 \cdot \text{Дж/кг}$ . Тогда нефть обеспечивает производство тепловой энергии

$$Q_1 = \kappa N_1 \quad (3)$$

или  $Q_1 = 1,2 \cdot 10^{20} \text{ Дж}$ . Для простоты примем, что иное ископаемое топливо (уголь и газ), а также другие его виды (дрова, торф, горючие сланцы, попутный газ) увеличивают эту цифру до  $Q_Y = 10^{21} \text{ Дж}$  в год.

Заметим, что полученная величина совершенно не содержит «полезной» работы, поскольку результирующий термодинамический коэффициент полезного действия цивилизации близок к нулю – вся активность идет в тепловые отходы.

Действительно, практически вся вырабатываемая людьми энергия в конце концов превращается в тепло [13]. Используя приведенные выше величины, мы получаем долю тепла, производимого человечеством в течение года по отношению к теплу, приобретаемому Землей от Солнца

$$D = \frac{Q_Y}{E}. \quad (4)$$

Подставив численные значения, получим  $D = 1,58 \cdot 10^{-4}$ . Теплотворную активность человечества нельзя рассматривать как пренебрежимо малую величину, она превратилась в планетарный фактор, хотя на первый взгляд вклад величиной  $10^{-4}$  не кажется существенным. Действительно, много это или мало? Оценим тренд средней температуры Земли, обеспеченный сжиганием топлива, т. е. «отоплением» планеты современной цивилизацией. Будучи оптимистами, примем, что производство тепла человеческой цивилизацией сохранится неизменным в ближайшие сто лет. Тогда совокупное за один век тепло образует добавку в  $D_{100} = 1,58 \%$  от солнечного. Лишнее тепло неизбежно повысит температуру планеты потому, что не существует иного механизма «разгрузки», кроме лучеиспускания. Если по-прежнему считать, что Земля излучает как абсолютно черное тело и закон (1) остается в силе, то выполняется соотношение

$$\frac{T + \Delta T}{T} = \sqrt[4]{1 + D_{100}} = 1,00393, \quad (5)$$

где  $\Delta T$  – приращение температуры планеты за сто лет. Поскольку  $T = 288 \text{ К}$ , мы получаем  $\Delta T = 288 \cdot 0,0039 = 1,13 \text{ }^\circ\text{С}$ .

#### 4. Обсуждение результатов и выводы.

Прирост средней температуры планеты в  $1 \text{ }^\circ\text{С}$  за сто лет близок к типичным оценкам и прогнозу потепления в  $0,75 \text{ }^\circ\text{С}$ , опубликованным в литературе [5]. Все они были получены иными способами или из обработки трендов наблюдений [3, 5, 7-9]. Таким образом, рассмотрев тепловой баланс как целое, мы пришли к правдоподобной оценке темпов глобального потепления.

Такое совпадение, по нашему мнению, указывает на главную и замалчиваемую причину изменений климата – неумеренное потребление горючего цивилизованными странами и связанное с этим производство тепла. Оказывается, что потепление климата должно происходить и без учета влияния «грязных» индустриальных технологий и отраслей производства, на что так любят ссылаться в прессе или телепередачах. Конечно, такие производства вносят свою лепту в уничтожение природной среды, однако в том, что касается глобального потепления, они играют «вспомогательную» роль. Очевидно также, что дело не в выбросах в атмосферу Земли «парниковых» аген-

тов, таких как пары воды или углекислый газ, которые безуспешно пытаются ограничить с помощью киотского протокола. Впрочем, эти факторы также не улучшают условия жизни на планете.

Проанализировав тепловой баланс, мы обнаружили, что причина потепления кроется в банальном потреблении энергии человеческой цивилизацией и связанным с ним производством тепла. Основную роль здесь играет не промышленность, а двигатели внутреннего сгорания (ДВС) и прежде всего автомобильный транспорт, поскольку совокупная мощность ДВС уже превзошла промышленный потенциал всей планеты в 60-е гг. XX в. Если человечество не собирается в конце концов «оказаться на Венере», где температура поверхности составляет 400 °С, а давление достигает 100 атмосфер, то ему следует ограничить, а в дальнейшем снизить количество производимого тепла. В этом контексте понятно, что переход на «альтернативные» источники энергии, такие как атомные электростанции, ветер или океанские волны, ситуацию нисколько не улучшит. Эти источники в конечном итоге тоже произведут тепло и следовательно дополнительно разогреют планету. Только ограничение энергопотребления способно остановить глобальное потепление. Конечно, оно скажется на жизненных стандартах развитых стран, но ограничения неизбежны.

Отметим, что использованный подход указывает на главную причину изменения глобальной температуры и тем самым затрудняет любого рода манипулирование информацией или искажение происходящих процессов. Мы видим, что с точки зрения глобального потепления, бесполезно заниматься внедрением «чистых» производств, если они не снижают энергопотребление. Нет смысла также «уменьшать потери при транспортировке тепла», потому что произведенное тепло все равно никуда не денется, оно останется на планете. Действительно, все произведенное человеческой цивилизацией тепло, начиная с индустриальной революции (даже до нее), никуда не ушло, поскольку планета может от него избавиться только путем лучеиспускания, а значит, благодаря увеличению глобальной температуры. Раньше темпы производства тепла были не столь велики, и потепление было почти незаметно. Впрочем, в XVII и вплоть до середины XIX в. (так называемый малый ледниковый период 1600-1850 гг.) любимым зимним развлечением голландцев было катание на коньках по замерзшим каналам...

Очевидно, что успешная борьба с глобальным потеплением может состоять только в уменьшении производства энергии, а значит, и тепла.

**Выводы.** Мы предполагали, что температура планеты равна 288 К, и Земля теряет тепло как абсолютно черное тело. Последнее допущение не точно. Коэффициент радиационных потерь Земли составляет 0,61, а не единицу. Однако при более точном расчете ситуация только ухудшится. Действительно, если спектр излучения «серый», то радиационные потери уменьшатся, и при прочих равных условиях температура Земли из-за сжигания топлива человеком вырастет еще сильнее. Поэтому приведенные выше величины следует рассматривать как «оптимистическую» оценку эффектов снизу.

Есть еще одна важная причина, по которой наш результат действительно есть оценка снизу. При анализе изменений климата большая роль отводится, как правило, парниковым составляющим атмосферы (в первую очередь – парам воды и углекислому газу), поскольку эти агенты способны уменьшить тепловые радиационные потери планеты. Именно за счет этого уменьшения в моделях и получают прирост температуры поверхности. В использованном нами подходе влияние увеличения концентрации парниковых газов не учитывалось вовсе, а если бы оно было включено в рассмотрение, то прирост средней глобальной температуры только бы возрос. Поэтому полученные величины оказываются оценкой снизу.

В XX в. химические реакции считались чистыми, если в их результате, кроме необходимого продукта, получались только «безвредные» вода и углекислый газ. Теперь эти агенты рассматриваются как важные и отнюдь не безопасные факторы глобального потепления. Пришло время обратиться непосредственно к потреблению энергии. Можно предсказать, что вслед за киотским протоколом появится новое соглашение, ограничивающее «удельное» энергопотребление, например, ограничение числа и мощности автомобилей в семье, минимальный порог числа пассажиров в транспортном средстве и т. д.

В заключение объясним, почему средняя температура Земли оставалась стабильной. Это обусловлено уникальными свойствами воды, у которой удельная теплота замерзания (плавления льда) очень высока  $\lambda = 3,34 \cdot 10^5$  Дж/кг. В результате фазовый переход воды из твердого состояния в жидкое требует огромных энергозатрат. Именно поэтому точка замерзания воды была когда-то выбрана за начало отсчета на шкале температур. Вспомним опыт из школьной физики, когда калибруют «немую» шкалу термометра. Для этого его опускают в чашку со снегом или льдом, ждут, пока столбик перестанет сокращаться, и наносят на шкалу риску нулевой температуры. До тех пор, пока в чашке остается тающий снег или лед, температура в ней будет нулевой независимо от тем-

пературы помещения, в котором проводится опыт. Стабильность температуры обеспечивается большой удельной теплотой таяния, а устройство называют термостатом. Оказывается, что Земля – природный термостат. При этом таяние происходит не только на поверхности, но и в атмосфере, в облаках, а ветры выравнивают температуру.

Вторая точка калибровки шкалы температур Цельсия связана с кипением воды (снова термостат). Фазовый переход воды в газообразное состояние требует еще больших удельных затрат  $\rho = 2,26 \cdot 10^6$  Дж/кг, поэтому температура кипящего чайника на уровне моря всегда будет 100 °С, пока из него не выкипит вся вода.

К счастью для всего живого, наш планетарный термостат находится вблизи низкотемпературного фазового перехода воды из твердого состояния в жидкое. Чтобы расплавить снежно-ледовый покров планеты, требуется колоссальное количество энергии. Но похоже, что человечество с этой задачей уже успешно справляется. В ледниковые периоды и межледниковые эпохи при уменьшении количества воды в твердой фазе климатические условия на Земле не терпели катастроф (в человеческом понимании этого слова) благодаря большой удельной теплоте плавления льда. Мы беремся даже утверждать, что само существование жизни на Земле свидетельствует о том, что полного таяния льда не случилось. Если бы оно произошло, а поступление тепла продолжалось в том же темпе, что и во время таяния, то вода планеты весьма быстро нагрелась бы до температуры коагуляции белка потому, что удельная теплоемкость воды  $C_p = 4160$  Дж/кг примерно в 80 раз ниже, чем удельная теплота плавления. При продолжающемся нагреве следующей «точкой стабильности термостата» очень быстро окажется кипение воды. А это – условия, близкие к тем, что мы сейчас наблюдаем на Венере: температура поверхности 400 °С, а давление равно 100 атмосферам. Кстати, геометрические размеры Венеры близки к земным, радиусы планет равны 6050 и 6400 км соответственно. Радиусы орбит относятся, как 3 к 4, и Земля получает примерно 60 % потока солнечной радиации, получаемого Венерой. При «нечеловеческих» условиях на поверхности, температура на внешней кромке облаков Венеры близка к «нормальной» земной. Это и не удивительно, поскольку каждая планета должна находиться в тепловом равновесии с падающим излучением Солнца. Здесь баланс обеспечивается хорошо отражающим облачным покровом (на Венере – сплошным), а сами облака образуются при температурах, близких к 0 °С и давлении около одной атмосферы. Что же касает-

ся поверхности планеты, то у Венеры отсутствует такой хладагент, как лед. Поэтому «термостат» перешел к равновесию вблизи точки кипения воды. Впрочем, при таком давлении температура кипения много выше 100 °С и плотность пара приближается к 1 г/см<sup>3</sup>. На Земле такой пар называется «рабочим телом» и используется в турбинах.

При оценке нагрева планеты выбирать элементарный интервал в 100 лет, наверное, не очень хорошо, поскольку тепло вырабатывается человечеством непрерывно и так же непрерывно под него подстраивается глобальная температура. Элементарный временной шаг  $dt = 1$  год представляется физически более оправданным. Но тогда вместо (1) следует использовать «дифференциальную» форму, связывающую приращение накопленного тепла с приростом температуры абсолютно черного тела

$$dP_R = 4\sigma T^3 dT_A = 4 \frac{dT_A}{T} P_R. \quad (6)$$

Легко видеть, что относительное приращение средней глобальной температуры определяется приращением тепла (4)

$$\frac{dT_A}{T} = \frac{D}{4}. \quad (7)$$

Следовательно,  $dT_A = 0,0114$  °С/год. Интегрируя  $dT_A$  за сто лет, получим, что вековые изменения средней глобальной температуры, обусловленные антропогенным теплом, составят 1,14 °С. Более строгий учет динамики ежегодных тепловых потерь земли несколько снижает оценку прироста температуры, но снова приводит к величине около 1 °С за столетие.

«Вялая» реакция Земли на антропогенный разогрев обусловлена значительным количеством воды, накопленной в твердом состоянии. Именно поэтому климатологи имели возможность много лет вести дискуссии о том, действительно ли теплеет климат Земли или нет. По окончании таяния льдов все выяснится очень быстро, и мест для сомнений не останется. Но тогда уже будет поздно заниматься ограничениями в производстве тепла, а реализовать планетарный холодильник вряд ли будет человечеству по силам. Действительно, трудно себе представить индустриальную технологию восстановления снежно-ледового покрова у планеты, однажды его потерявшей.

Результаты проведенного нами анализа говорят о том, что антропогенное тепло способно обеспечить прирост средней планетарной температуры в 1 °С за сто лет. Это важное обстоятельство до сих пор не отмечалось. Автор надеется, что возможное воздействие техногенного тепла привлечет внимание, которого оно заслуживает.

1. Vecchi G. A., Clement A., Soden B. J. Examining the tropical Pacific's response to global warming // EOS Trans. AGU. – 2008. – 89, No. 9. – P. 81-83.
2. Overland J., Turner J., Francis J. at al. The Arctic and Antarctic: two faces of climate change // EOS Trans. AGU. – 2008. – 89, No. 19. – P. 177-178.
3. Trenberth K. E., Koike T., Onogi K. Progress and prospects for reanalysis for weather and climate // EOS Trans. AGU. – 2008. – 89, No.26. – P. 234-235.
4. Lambert F. H., Stine A. R., Krakauer N. Y., Chiang J. C. H. How much will precipitation increase with global warming? // EOS Trans. AGU. – 2008. – 89, No. 29. – P. 193-194.
5. International Panel on Climate Change, Climate Change 2007: Synthesis Report, <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm>
6. Clement A. C., Seager R., Cane M. A., Zebiak S. E. An ocean dynamical thermostat // J. Clim. – 1996. – 9. – P. 2190-2196.
7. Steele M., Ermold W. and Zhang J. Arctic Ocean surface warming trends over the past 100 years // Geophys. Res. Lett. – 2008. – 35. L02614, doi:10.1029/2007GL031651.
8. Wang M., Overland J. E., Kattsov V. at al. Intrinsic versus forced variation in coupled climate model simulations over the Arctic during 20<sup>th</sup> century // J. Clim. – 2007. – 20. – P. 1093-1107.
9. Urban F. E., Cole J. E., Overpeck J. T. Influence of mean climate change on climate variability from 155-year tropical Pacific coral record // Nature. – 2000. – 407. – P. 989-993.
10. Wentz F. J., Ricciardulli L., Hillburn K., Mears C. How much more rain will global warming bring? // Science. – 2007. – 317 (5835). – P. 233-235, 10.1126/science.1140746.
11. Rycroft M. J., Israelsson S., Price C. The global atmospheric electric circuit, solar activity and climate change // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. – 2000. – 62. – P. 1563-1576.
12. Crabtree G. W., Lewis N. S. Solar energy conversion // Physics today. – 2007. – P. 37-42.
13. Chaiisson E. J. Long-term global heating from energy Usage // EOS Trans. AGU. – 2008. – 89, No. 28. – P. 253-254.

## CONCEPT OF PLANETARY THERMAL BALANCE AND GLOBAL WARMING

A. P. Nickolaenko

The concept of Earth's thermal balance is used suggesting that the solar irradiance absorbed by the planet is equal to the thermal radiation from the Earth. Such an approach allows for evading the energy transform from one type to another and from one frequency band to another one. Intensity of solar heating is then compared with the antropogenic heat production from different kinds of fuel. It is shown that heat produced by the mankind is quite sufficient for raising the median planetary temperature by approximately 1 centigrade per century. Thus, a new possible cause is named that might be responsible for the global warming.

**Key words:** planetary heat balance, global warming.

## КОНЦЕПЦІЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ ПЛАНЕТИ ТА ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ

О. П. Ніколаєнко

Розглядається тепловий баланс Землі у припущенні, що потужність променистої енергії Сонця, яка поглинається планетою, є рівною її особистому тепловому випромінюванню. Такий підхід дозволяє не розглядати весь ланцюжок перетворень енергії з одного виду в інший чи з діапазону в діапазон. Інтенсивність сонячного нагріву потім порівнюється з антропогенним теплом, яке виділяється при горінні пального. Показано, що тепла, яке вироблено людством, цілком вистачає, щоб призвести до зростання середньої температури планети приблизно на 1 °C за сто років. Таким чином, висувається можлива причина змін клімату, що спостерігаються.

**Ключові слова:** планетарний тепловий баланс, глобальне потепління.

*Рукопись поступила 12 августа 2008 г.*