

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2023-18-18-41>

## СОПОСТАВЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ УГЛЕРОДНОЙ И «ЗЕЛЕННОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ НА КЛИМАТ ЗЕМЛИ С ПОЗИЦИЙ НЕРАВНОВЕСНОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

*Цегельский В.Г.*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Москва, Российская Федерация*

**Ключевые слова:** углеродная энергетика, «зеленая» энергетика, климат, производство энтропии, неравновесная термодинамика, гистерезис, эволюция Земли.

**Аннотация.** Приведено сопоставление влияния углеродной, водородной, солнечной и ветряной энергетики на климат Земли. Показано, что не углеродная энергетика увеличивает концентрацию CO<sub>2</sub> в атмосфере, а нагрев океана, содержащего намного большее количество CO<sub>2</sub> по сравнению с атмосферой. Отмечается, что углеродная энергетика при правильной ее организации обеспечивает меньшее «тепловое загрязнение» атмосферы, а соответственно прирост ее температуры и производства энтропии, по сравнению с остальными рассмотренными видами энергетики. С позиции неравновесной термодинамики объясняется природа чередования ледниковых и межледниковых периодов на Земле, кардинально меняющих состояние атмосферы и климат. Отмечается, что переходы между периодами реализуются через гистерезис. На изменение состояния атмосферы влияет скорость изменения ее теплового баланса, от которой зависит величина термодинамического параметра – производство энтропии. Переходы между состояниями атмосферы реализуются при достижении в ней определенного значения производства энтропии. При переходах резко изменяется как структура атмосферы, так и климат. Рассмотрен характер зависимостей изменения производства энтропии в атмосфере от ее средней температуры для ряда циклов потепления и похолодания. Показано, что характер этих зависимостей аналогичен характеру зависимостей, построенных для конвекции Рэля-Бенара. Показано влияние на величину производства энтропии в атмосфере потребления человечеством ископаемых энергоресурсов, взрыва ядерных зарядов и извержения мощных вулканов.

## COMPARISON OF THE IMPACTS OF CARBON AND «GREEN» ENERGY ON THE EARTH'S CLIMATE FROM THE PERSPECTIVE OF NON-EQUILIBRIUM THERMODYNAMICS

*Tsegelskiy V.G.*

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation*

**Keywords:** carbon energy, «green» energy, climate, entropy production, non-equilibrium thermodynamics, hysteresis, Earth evolution.

**Abstract.** A comparison is made of the influence of carbon, hydrogen, solar and wind energy on the Earth's climate. It is shown that it is not carbon energy that increases the concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere, but the heating of the ocean, which contains a much larger amount of CO<sub>2</sub> compared to the atmosphere. It is noted that carbon energy, if properly organized, provides less «thermal pollution» of the atmosphere, and accordingly an increase in its temperature and entropy production, in comparison with other types of energy considered. From the perspective of non-equilibrium thermodynamics, the nature of the alternation of glacial and interglacial periods on Earth, which radically changes the state of the atmosphere and climate, is explained. It is noted that transitions are realized through hysteresis. The change in the state of the atmosphere is affected by the rate of change in its heat balance, on which the value of the thermodynamic parameter entropy production

depends. Transitions between states are realized when the production of entropy in the atmosphere reaches a certain value. During transitions, both the structure of the atmosphere and the climate change dramatically. The nature of the dependences of the change in the production of entropy in the atmosphere on its average temperature for a number of cycles of warming and cooling is considered. It is shown that the nature of these dependences is similar to the nature of the dependences constructed for the Rayleigh-Benard convection. The impact on the amount of entropy production in the atmosphere of human consumption of fossil energy resources, the explosion of nuclear charges and the eruption of powerful volcanoes is shown.

Климатологи предполагают, что основной причиной потепления на Земле (рис. 1) является парниковый эффект, а именно рост выбросов парниковых газов в атмосферу, связанный с начавшейся в середине 19-ого века индустриализацией. Парниковые газы – это газы с высокой прозрачностью в видимом диапазоне солнечного света и с высоким поглощением в среднем и дальнем инфракрасных диапазонах. Парниковыми газами, содержащимися в атмосфере, являются водяной пар, диоксид углерода, метан и озон.

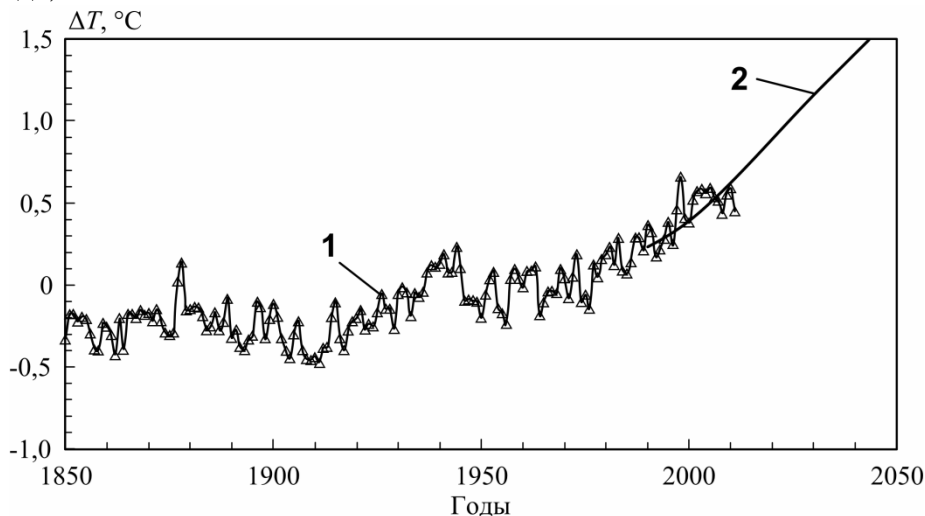


Рис. 1. Изменения среднелобальной температуры приземного слоя воздуха; 1 – данные инструментальных измерений (CRU2012); 2 – сценарий B2 (IPCC 2001)

Водяной пар является основным парниковым газом, вклад которого в парниковый эффект достигает 70-75%. Увеличение температуры атмосферы, вызванное разными причинами, увеличивает испарение мирового океана и общую концентрацию водяного пара в атмосфере, что, в свою очередь, повышает парниковый эффект. С другой стороны, повышение влажности способствует повышению облачности, а облака в атмосфере не только задерживают инфракрасное излучение Земли, что повышает парниковый эффект, но и отражают прямой солнечный свет, тем самым увеличивая альбедо Земли.

Вторым по значимости парниковым газом в атмосфере является диоксид углерода, концентрация которого в атмосфере по некоторым данным увеличилась примерно на 50% с момента индустриальной революции (рис. 2).

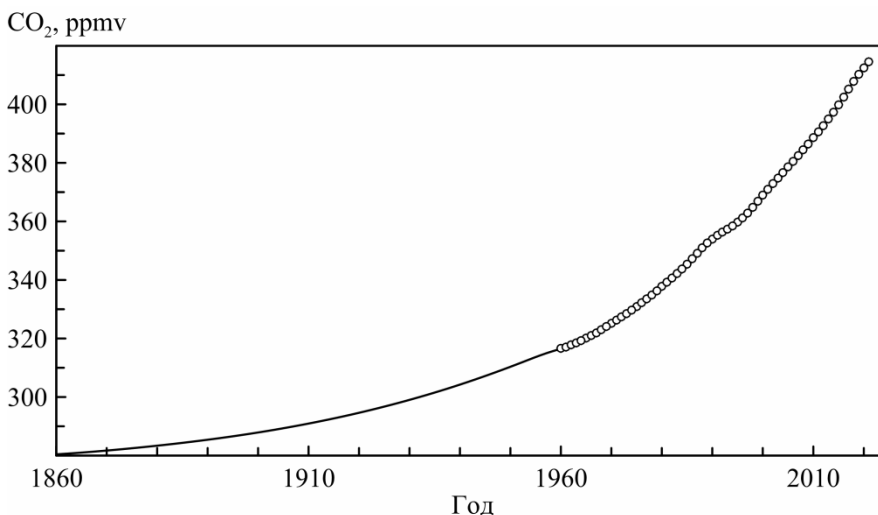


Рис. 2. Изменения усредненной за год концентрации атмосферного  $\text{CO}_2$ ; точками представлены данные обсерваторий Мауна Лоа (Гавайи)

Сравнивая графики на рисунках 1 и 2, видна их идентичность. На основании этого можно предположить, что  $\text{CO}_2$  является виновником потепления на Земле. Но так ли это? Говоря об увеличении содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере на 50%, ничего не говорится о многократном увеличении за этот период потребляемой человечеством энергии.

Существует ряд организаций, ведущих регулярный статистический учет потребляемой человечеством первичной энергии, например, Международное энергетическое агентство (МЭА). Для измерения первичной энергии часто используют тонну нефтяного эквивалента (т.н.э.) равную 41,868 ГДж. Такое количество тепловой энергии выделяется при сгорании одной среднестатистической тонны нефти. Так, например, мировое потребление первичной энергии с 1860 года по 2015 год увеличилось приблизительно в 40 раз (рис. 3).

Согласно прогнозам МЭА с 2015 по 2040 гг. оно увеличится еще в 1,24 раза. Эта энергия переходит в виде теплоты в атмосферу и разогревает ее. Однако эти тепловые выбросы в атмосферу не учитывают, а всю борьбу с потеплением, в соответствии с принятым Международным Парижским соглашением 2015 года, сосредоточили только на диоксиде углерода и, в первую очередь, на углеродной энергетике как основном источнике увеличения  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Следует отметить, что такое обоснование антикарбонизации энергетики критикуется многими учеными мира (см., например, [1-3]).

Чтобы определить влияние используемого углеводородного топлива на увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере необходимо знать зависимость изменения по годам количества выделяемого в атмосферу диоксида углерода из-за сжигания топлива. При сжигании 1 тонны мазута или других топливных фракций нефти образуется около 3 тонн диоксида углерода. Меньшее его

количество (приблизительно на 50%) образуется только при сжигании природного газа. Так как по данным МЭА в структуре энергетики 2015 года более 80% потребляемой первичной энергии приходилось на углеводородные топлива, то можно считать, что график зависимости выделенного в атмосферу диоксида углерода будет аналогичен графику зависимости мирового потребления первичной энергии, представленному на рисунке 3.

Потребление, млн. т.н.э.

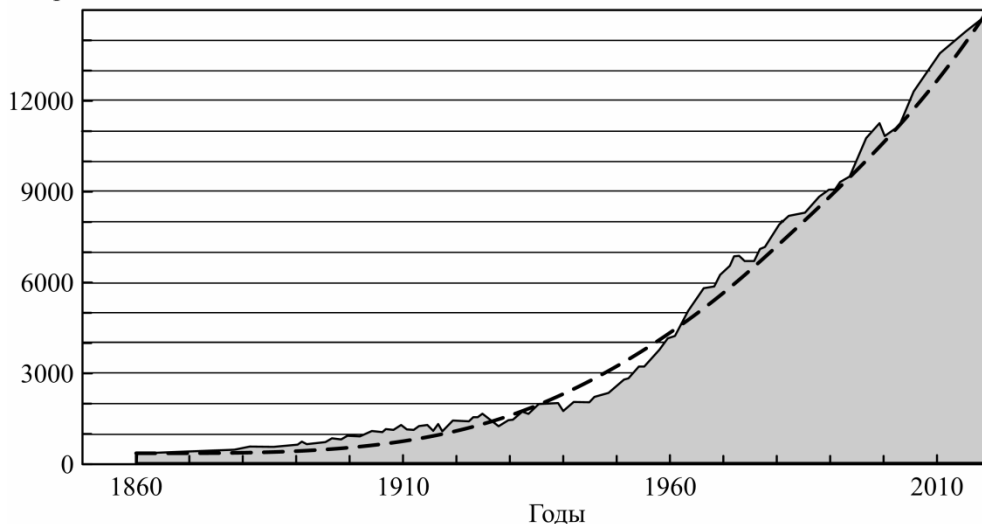


Рис. 3. Диаграмма мирового потребления первичной энергии

$\text{CO}_2$ , ppmv / млн. т.н.э.

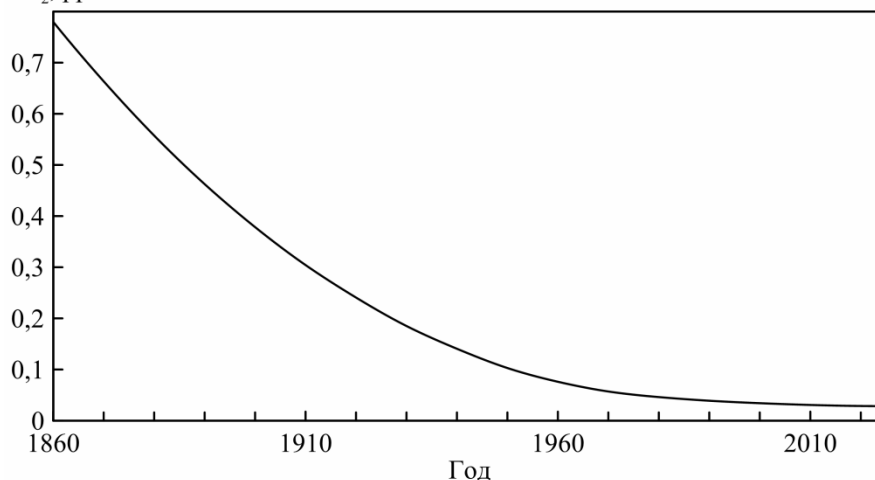


Рис. 4. Зависимость по годам отношения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере к количеству потребляемой первичной энергии

На рисунке 4 представлена зависимость отношения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере к количеству потребляемой первичной энергии по годам. Видно, что эта зависимость падает по экспоненте и стремится к нулю. График указывает на то, что концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере с годами практически перестает реагировать на сжигание каждого очередного миллиона т.н.э. Из

этого следует, что не углеродная энергетика является причиной резкого увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Нет ни одного достоверного доказательства, подтверждающего примитивную гипотезу о зависимости климата на Земле только от концентрации в атмосфере диоксида углерода. В соответствии с этой гипотезой температура атмосферы изменяется вследствие изменения в ней концентрации  $\text{CO}_2$ . На самом деле все наоборот. Существуют прямые свидетельства того, что изменение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере является следствием изменения температуры, а не причиной [4, 5].

Так, например, согласно исследованиям, представленным на рисунке 5, сначала происходит изменение температуры океана, содержащего намного большее количество  $\text{CO}_2$  по сравнению с атмосферой, а затем, через некоторый промежуток времени (~11 месяцев), начинает изменяться концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере [5]. Из вышеизложенного следует, что не углеродная энергетика приводит к изменению концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, а рост температуры поверхности моря.

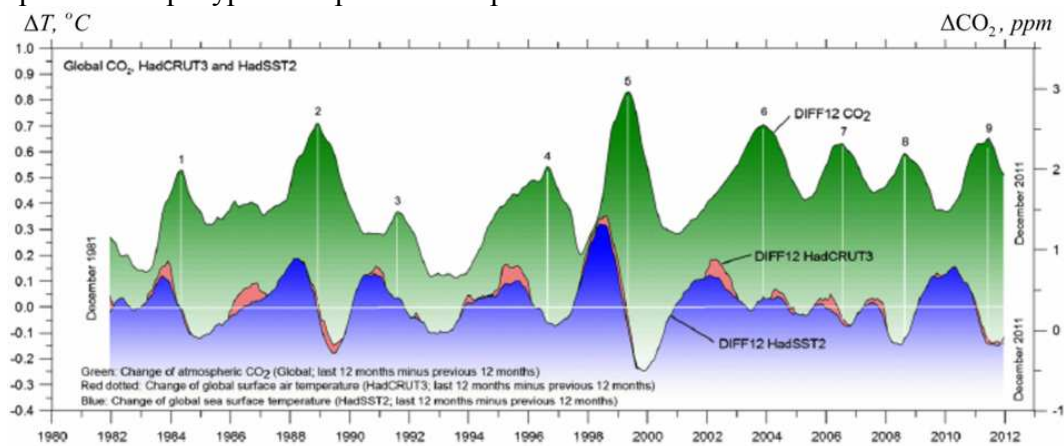


Рис. 5. Изменения глобальной концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере ( $\text{DIFF12 CO}_2$ ), глобальной температуры поверхности моря ( $\text{DIFF12 HadSST2}$ ) и температуры приземного воздуха ( $\text{DIFF12 HadCRUT3}$ ); разницу между средней концентрацией  $\text{CO}_2$  за последние 12 месяцев и средним значением за предыдущие 12 месяцев, так же как и температуры, на графике обозначили как  $\text{DIFF12}$

Важно отметить роль  $\text{CO}_2$  в фотосинтезе. Увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере ведет к озеленению Земли.

Оценить влияние углеродной и других видов энергетике на потепление климата можно по величине общего мирового потребления человечеством первичной энергии. Согласно статистическим данным МЭА мировое потребление первичной энергии в 2020 году составило 15130 млн. т.н.э., или в пересчете  $0,63346 \cdot 10^{21}$  Дж/год. Эта энергия после использования человечеством переходит в теплоту, которая могла бы подогреть всю массу воздуха атмосферы на ~0,12 градуса в год. Мировой океан аккумулирует часть этой энергии, в том числе из-за таяния ледников, и не позволяет атмосфере быстро нагреваться. Так, например, если бы вся эта тепловая

энергия пошла только на таяние ледников, то можно было бы растопить около  $1,9 \cdot 10^{12}$  т льда, что соответствует  $2100 \text{ км}^3$  льда. Более ярко этот объем можно представить в форме ледяного покрова толщиной 3 м, занимающего квадратное поле со стороной  $\sim 840$  км. Чтобы оценить влияние этой тепловой энергии («теплового загрязнения» атмосферы) на состояние атмосферы, сопоставим ее с годовым изменением баланса лучистой энергии из-за изменения альбедо Земли.

В метеовестях от Фобос за 20.10.2021 г. указывается, что согласно данным обсерватории США и спутниковым измерениям за 20 последних лет земное сияние (свет, отражающийся от планеты) стало менее ярким. Земля тускнеет, сегодня она отражает меньше света на квадратный метр площади земного шара, чем 20 лет назад. На рисунке 6 кружками представлены результаты исследований отражательной способности Земли, проводимые с 1998 года астрофизиками из обсерватории Big Bear в Калифорнии [6]. Результаты исследований указывают на уменьшение отражательной способности Земли (альбедо), выраженной в уменьшении мощности отраженного потока, приходящегося на единицу площади земного шара ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ). Также на рисунке 6 треугольниками представлены аналогичные результаты исследований по данным спутниковой системы CERES за 2001-2019 гг. Исследователи предполагают, что уменьшение альбедо связано с изменением облачности и уменьшением площади морского льда (особенно в Арктике) и льда на суше. С уменьшением ледяного покрова Земля поглощает больше радиации. Дополнительная поглощенная радиация идет на нагревание океанов и таяние большего количества льда, что может способствовать еще большему потеплению через порочную петлю обратной связи.

Если аппроксимировать линейной зависимостью (штриховые линии на рисунке 6) данные, полученные в обсерватории Big Bear за 20 последних лет, то альбедо Земли за этот период времени уменьшилось на  $0,6 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . В среднем за год оно уменьшалось на  $0,6 / 20 = 0,03 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . При использовании данных спутниковой системы CERES среднее ежегодное увеличение лучистой энергии солнца, поглощаемой Землей из-за уменьшения альбедо, составило  $0,065 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Из-за потребленной в 2020 г. человечеством первичной энергии количество теплоты, выделенной в атмосферу за единицу времени (с) и отнесенной к единице площади Земного шара ( $\text{м}^2$ ), составило  $0,04 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Это количество теплоты сопоставимо с годовым приростом лучистой энергии солнца, поглощенной поверхностью Земли из-за уменьшения альбедо. Суммарный годовой прирост этих двух видов энергии увеличивает производство энтропии в атмосфере, ее температуру и приводит к изменению климата на Земле.

На основании вышеизложенного следует:

- 1) не выделяемый в атмосферу диоксид углерода при использовании углеродной энергетики является причиной потепления климата;
- 2) мировое потребление энергии человечеством приводит к «тепловому загрязнению» атмосферы, сопоставимому в настоящее время с энергией, поглощаемой землей из-за уменьшения альбедо.

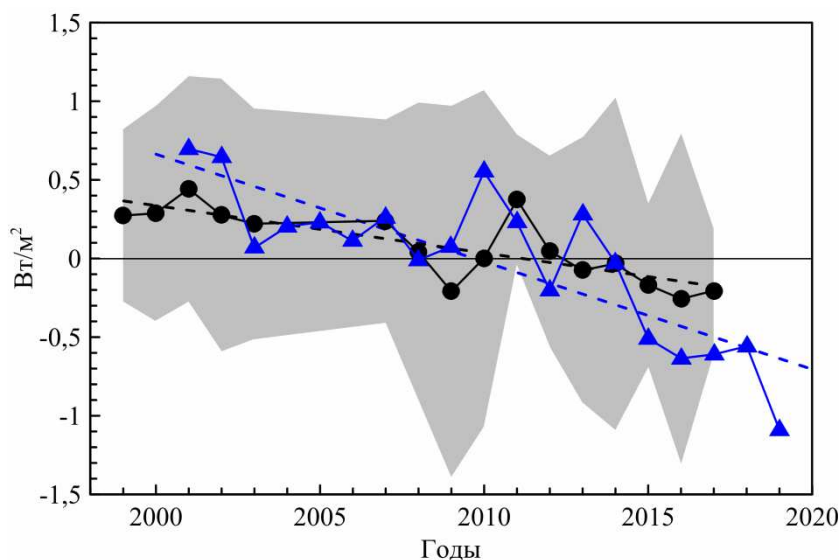


Рис. 6. Среднегодовые аномалии альbedo земного сияния за 1998-2017 гг., выраженные как отраженный поток в Вт/м<sup>2</sup> (погрешность выделена серой областью)

**Водородная энергетика.** В последние годы в связи с изменением климата на Земле заговорили о «зеленой» энергетике и, в частности, о водородной энергетике, использующей водород как топливо. При этом в качестве основных преимуществ такой энергетике отмечают, что при сжигании водорода в кислороде образуется водяной пар, выделяется большое количество теплоты и отсутствует диоксид углерода, который образуется в случае сжигания углеводородного топлива. Но умалчиваются следующие существенные недостатки. Водород – самый распространенный элемент во Вселенной. Однако на Земле он присутствует в основном в связанном состоянии. Поэтому для получения водорода необходимо подводить энергию, чтобы разорвать его химическую связь с другим элементом, например, атомом кислорода в процессе электролиза водных растворов. Для протекания такого процесса необходимо подводить электрическую энергию от электростанций.

Рассмотрим какие затраты энергии потребуются для производства «чистого» водорода и дальнейшего его использования для получения полезной внешней работы [2, 7]. Естественно, что данный процесс будет многостадийным. Рассмотрим в общем виде преобразование подводимой (первичной) энергии в заданную полезную внешнюю работу за единицу времени ( $N_{пол}$ ) посредством 3-х последовательно установленных преобразователей энергии (рис. 7). В первом преобразователе подводимая энергия (тепловая от сгорания углеводородного топлива, солнечная, ветряная или любая другая) преобразуется в электрическую, которая подводится к преобразователю 2. В преобразователе 2 получают чистый водород путем электролитического метода разложения воды. Полученный водород поступает в преобразователь 3, в качестве которого используется топливный элемент,

вырабатывающий электрическую энергию, например, для движения автомобиля. Каждый преобразователь имеет свой КПД. Под КПД преобразователя энергии  $\eta$  понимают отношение полученного полезного эффекта (выходящей энергии) к первичной входящей энергии:  $\eta = J_L / J_E$ , где  $J_L$  – выходящая (полезная) энергия за единицу времени;  $J_E$  – энергия, поступающая в преобразователь за единицу времени. Согласно первому закону термодинамики полезная (выходящая) из преобразователя энергия равна разности между подводимой энергией в преобразователь  $J_E$  и теплотой, которую преобразователь отдает внешней среде  $J_Q$ :  $J_L = J_E - J_Q$ .

Каждый преобразователь имеет свой КПД:

$$\eta_1 = \frac{J_{L1}}{J_{E1}} = \frac{J_{E1} - J_{Q1}}{J_{E1}} = 1 - \frac{J_{Q1}}{J_{E1}}; \tag{1}$$

$$\eta_2 = \frac{J_{L2}}{J_{E2}} = \frac{J_{E2} - J_{Q2}}{J_{E2}} = 1 - \frac{J_{Q2}}{J_{E2}}; \tag{2}$$

$$\eta_3 = \frac{J_{L3}}{J_{E3}} = \frac{J_{E3} - J_{Q3}}{J_{E3}} = 1 - \frac{J_{Q3}}{J_{E3}}; \tag{3}$$

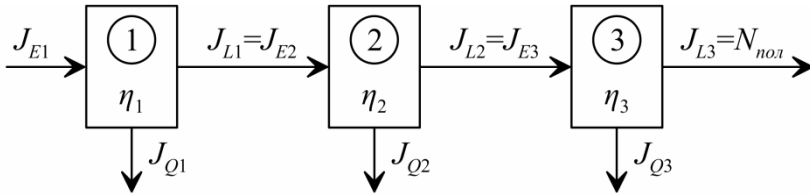


Рис. 7. Блок преобразователей энергии

Используя (1)-(3), находим зависимость между подводимой энергией  $J_{E1}$  к блоку преобразователей 1-3 и полезной внешней работой за единицу времени  $N_{пол} = J_{L3}$  на выходе из блока

$$J_{E1} = \frac{N_{пол}}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3}. \tag{4}$$

Количество теплоты  $J_{Q\Sigma}$ , сбрасываемой в окружающую среду за единицу времени тремя преобразователями энергии, запишем

$$J_{Q\Sigma} = J_{Q3} + J_{Q2} + J_{Q1} = N_{пол} \left[ \left( \frac{1}{\eta_3} - 1 \right) + \frac{1}{\eta_3} \left( \frac{1}{\eta_2} - 1 \right) + \frac{1}{\eta_2 \cdot \eta_3} \left( \frac{1}{\eta_1} - 1 \right) \right]. \tag{5}$$

Чем выше КПД у преобразователя, тем меньше тепловой энергии отводится от него в окружающую среду (меньше тепловые потери). КПД всех трех преобразователей равен произведению их КПД (см. формулу (4)). Он всегда меньше самого меньшего из них.



Проанализируем КПД каждого из преобразователей. КПД 1-ого преобразователя  $\eta_1$  в зависимости от вида энергии, подводимого к нему, находится в диапазоне 13-60%. Максимальный КПД в настоящее время имеют теплоэлектростанции (ТЭС), использующие циклы парогазовых установок (ПГУ). Минимальный КПД имеют солнечные электростанции, использующие кремниевые элементы.

Во 2-ом преобразователе электрический ток проходит через раствор электролита. В зависимости от типа электролита (щелочной, с твердым оксидным электролитом и др.) КПД этого метода получения водорода может достигать значений (50-90%). Далее при анализе принимаем  $\eta_2 = 0,7$ . КПД 3-его преобразователя, водородного топливного элемента, достигает значений 60-70%. Принимаем  $\eta_3 = 0,65$ .

Рассмотрим два варианта создания водородной энергетики. В первом варианте для производства водорода используется углеводородное топливо, поступающее в преобразователь 1, которым является ПГУ с  $\eta_1 = 0,6$ . В этом случае КПД всего блока преобразователей  $\eta_{1-3}$  ( $\eta_{1-3} = 0,6 \cdot 0,7 \cdot 0,65 = 0,273$ ) будет в 2,2 раза меньше КПД парогазовой установки, вырабатывающей электрический ток для получения водорода. А это значит, что водородная энергетика будет потреблять в 2,2 раза больше углеводородного топлива, чем потребляла бы одна ПГУ, вырабатывающая такое же количество электроэнергии, как и водородная энергетика. При этом количество теплоты, отдаваемой окружающей среде («тепловое загрязнение» атмосферы), при использовании водородной энергетики по первому варианту увеличится в ~4 раза.

Во втором варианте электрическая энергия для получения водорода вырабатывается за счет солнечной энергии, поступающей в преобразователь 1, представляющий электростанцию на кремниевых элементах с  $\eta_1 = 0,13$ . В этом случае КПД всего блока преобразователей (см. рис. 7) составит  $\eta_{1-3} = 0,13 \cdot 0,7 \cdot 0,65 = 0,0592$ . Такое малое значение КПД указывает на большие тепловые потери. При одном и том же количестве вырабатываемой электрической энергии тепловые потери водородной энергетики, организованной в соответствии с рисунком 7, для рассматриваемого варианта превысят тепловые потери углеводородной энергетики, использующей парогазовые установки ( $\eta = 0,6$ ) в 24 раза.

Из вышеизложенного следует, что получение водорода за счет электрического тока и последующее преобразование его энергии с помощью топливных элементов обратно в электрический ток приводит к существенному увеличению выбросов тепловой энергии в атмосферу при выработке одной и той же заданной полезной мощности. Если при переходе на водородную энергетику использовать для получения водорода ископаемые энергоресурсы, то их понадобится в разы больше, чем потребляется в настоящее время. Если использовать солнечные электростанции для

получения чистого («зеленого») водорода для водородной энергетики, то тепловые выбросы в атмосферу увеличатся более чем на порядок. Все это будет способствовать значительно большему нагреву атмосферы по сравнению с используемой углеродной энергетикой. Другими недостатками использования водорода в качестве топлива являются сложность его хранения и транспортировки, высокая пожаро- и взрывоопасность, а также стоимость его получения.

**Солнечная энергетика.** В последние годы для выработки электроэнергии достаточно стремительно внедряют солнечные и ветряные электростанции, которыми планируют заменить ТЭС, использующие углеводородное топливо. Но такие ли они экологически чистые, чтобы называть их «зеленой» энергетикой. Большинство солнечных электростанций используют кремний для преобразователя солнечного света в электричество. В настоящее время эти электростанции на кремниевых элементах преобразуют в электричество 13-20% попадающей в них лучистой солнечной энергии в видимом и инфракрасном диапазоне длин волн. Большая часть остальной энергии превращается в теплоту, которая может нагревать кремниевые панели до 40-70°C. Причем с каждым градусом температуры выше 25°C эффективность панели падает примерно на 0,5%, а соответственно и КПД солнечной электростанции. Теплота от панелей отводится путем конвекции в атмосферу и нагревает ее. В этом случае солнечная батарея, как и парниковые газы, поглощает часть лучистой энергии и разогревает атмосферу. При этом, если парниковые газы поглощают лучистую энергию только в инфракрасном диапазоне длин волн, то солнечные батареи поглощают ее и в видимом диапазоне, не давая этому излучению достигнуть земной поверхности и отразиться от нее в космос, что приводит к уменьшению альбедо Земли.

Действующие ТЭС имеют, по сравнению с солнечными электростанциями, более высокий КПД. Поэтому, если солнечными электростанциями заменить все ТЭС, то «тепловое загрязнение» атмосферы увеличится в разы, и это без учета уменьшения альбедо.

Солнечные электростанции обладают и многими другими недостатками, среди которых отметим: в пасмурные дни и ночью солнечная энергия недоступна; зависимость их КПД от сторонних факторов (осадков, температуры, направления на солнце и др.); высокая стоимость как изготовления, так и утилизации кремниевых фотоэлементов; необходимость использования больших площадей под солнечные источники; потребность в аккумуляторных батареях.

**Ветряная энергетика.** Ветряные электростанции используют энергию ветра для выработки электроэнергии. На сегодняшний день коэффициент использования энергии ветра, равный отношению мощности, полученной на валу ветрогенератора, к мощности потока, воздействующего на ветровую поверхность рабочего колеса, достигает  $\eta_{вет} = 40\%$ , остальные 60% мощности потока переходят в теплоту в процессе диссипации энергии вихрей,

образующихся за лопастями колеса. Данный КПД сопоставим с КПД устаревших ТЭС. Однако, по сравнению с ними, ветряные имеют ряд недостатков: для эффективной их работы важна не только сила ветра, но и его постоянное направление; лопасти станции создают низкочастотные шумы, которые оказывают негативное влияние на человека и отпугивают животных, а также создают опасность для жизни птиц; размещаются на огромных площадях открытых ветрам, изменяя ландшафт местности; стоимость вырабатываемой ими электроэнергии выше стоимости доступного сетевого электричества.

Кроме того, следует отметить, что атмосфера является физической системой и как таковая удовлетворяет уравнениям баланса энергии, массы и импульса. Энергетический баланс описывает радиационные, тепловые и другие энергетические потоки, проходящие через границу атмосферы и производящиеся внутри нее. Баланс импульса определяет атмосферную циркуляцию, которая в конечном счете устанавливает локальную температуру и картину распределения ветров, облаков и осадков. Все эти виды баланса тесно увязаны между собой. Поэтому, в случае выработки ветряными электростанциями большей части мирового потребления электроэнергии, может быть ощутимо нарушен импульсный баланс, что должно привести к изменению как циркуляционных потоков в атмосфере, так и ее теплового баланса. В настоящее время это воздействие ветряных электростанций на атмосферу Земли не изучено и не рассматривается.

Автору известна только одна публикация на эту тему [8]. В ней сотрудники Гарвардского университета отмечают, что выработка всей производимой электроэнергии США с помощью ветряных энергоустановок приведет к увеличению поверхностной температуры континентальной части США на  $0,24^{\circ}\text{C}$ .

Повысить эффективность ветряной электростанции выше 40%, чтобы уменьшить количество отводимой в атмосферу тепловой энергии, очень сложно. А от количества теплоты, выделяемой в атмосферу за единицу времени зависит, как было указано выше, изменение климата.

**Углеродная энергетика, использующая ПГУ.** Меньшее количество теплоты, выбрасываемой в атмосферу при производстве одного и того же количества электроэнергии, можно получить в настоящее время путем использования тепловых парогазовых электростанций (ПГУ), имеющих КПД 60% и более. Еще большую эффективность этих станций (80-90%) можно достигнуть путем использования отводимых от них тепловых потоков для обогрева домов и снабжения их горячей водой или для охлаждения воздуха в жаркую погоду с помощью бромлитиевых холодильных машин. В этом случае будет обеспечено наименьшее «тепловое загрязнение» атмосферы. От солнечных и ветряных электростанций отвести тепловые потоки на обогрев домов не представляется возможным.

На основании вышеизложенного следует, что при производстве одного и того же количества электроэнергии, теплоэлектростанции с высоким КПД

(ПГУ) сбрасывают в атмосферу существенно меньше теплоты, чем рассмотренные выше солнечные и ветряные электростанции, или водородная энергетика. Переход на так называемую «зеленую» энергетiku, особенно водородную, приведет к более значительному «тепловому загрязнению» и росту температуры на земле.

Международное Парижское соглашение 2015 года обвиняет углеродную энергетiku, выделяющую в атмосферу диоксид углерода, причиной потепления климата. Это, как показано выше, ничем не подтвержденное обоснование потепления. Климат на Земле зависит от многих протекающих процессов, изменяющих состояние атмосферы.

Чтобы определить, как различные антропогенные и природные процессы влияют на климат Земли и сопоставить их влияние, надо прежде всего понять природу ледниковых периодов, кардинально изменяющих климат. В начале XIX в. ученые впервые узнали о существовании ледниковых периодов, обнаружили парниковый эффект и начали исследования изменений климата. Было установлено, что чередование ледниковых и межледниковых периодов в истории Земли сопровождается изменением состояния атмосферы. Климат на Земле отображает ее состояние.

Было выдвинуто много разных гипотез, объясняющих причину наступления ледникового периода, изменяющего климат. Среди наиболее распространенных следует выделить гипотезы, согласно которым глобальные изменения состояния атмосферы происходят вследствие активной вулканической деятельности, изменения интенсивности солнечного излучения, падения крупных метеоритов, процессов, протекающих в океане, а также антропогенных изменений природного мира, особенно сильно происходящих в последние десятилетия. Одну из гипотез опубликовал в 1896 г. С. Аррениус [9], будущий лауреат Нобелевской премии. Его гипотеза предполагала смену ледниковых и теплых эпох как следствие изменения концентрации диоксида углерода в атмосфере.

Приведенные гипотезы о причинах наступления ледникового периода вполне возможны, но ни одна из них не может подтвердить серьезными научными обоснованиями чередование ледниковых и межледниковых периодов. Установлено, что процессы оледенения, начавшись, далее развиваются по своим закономерностям, игнорируя многие природные воздействия, что ни одна из гипотез не предполагает. Следует отметить, что все приведенные выше гипотезы наступления ледникового периода объединяет то, что оледенение начинается при значительном изменении в атмосфере баланса потоков энергии.

В ледниковый и межледниковый периоды атмосфера Земли находится в разных состояниях. Обоснуем переходы между этими состояниями с позиций термодинамики необратимых процессов. При этом будем учитывать, что атмосфера со всеми сложными причинно-следственными связями является неравновесной термодинамической системой далекой от равновесия, которая может находиться в значительно различающихся квазистационарных

состояниях. Термодинамика неравновесных систем далеких от равновесия находится в настоящее время на этапе становления. В работах [10-13] впервые сформулированы общие закономерности эволюции таких неравновесных термодинамических систем и экспериментально-расчетным путем доказана их применимость для процессов, протекающих как в неживой, так и живой природе. Согласно этим закономерностям:

1. *Переход неравновесной термодинамической системы из стационарного состояния с меньшим производством энтропии в стационарное состояние с большим производством энтропии осуществляется только в случае нарушения в процессе ее эволюции физически обоснованного условия, при невыполнении которого исходное состояние не может существовать. При этом из всех возможных состояний с большим производством энтропии переход осуществляется в состояние, имеющее минимальное производство энтропии из возможных, при условии, что такой переход допускается физически обоснованными условиями.*

2. *Переход неравновесной термодинамической системы из стационарного состояния с большим производством энтропии в стационарное состояние с меньшим производством энтропии осуществляется тогда, когда в процессе эволюции системы разность между производствами энтропии этих двух состояний достигает определенного положительного значения.*

3. *Прямой и обратный переходы между двумя стационарными состояниями неравновесной термодинамической системы демонстрируют гистерезис. При этих переходах резко, скачкообразно изменяются как структуры, соответствующие состояниям, так и термодинамические параметры.*

4. *Процесс перехода неравновесной термодинамической системы из одного стационарного состояния в другое происходит посредством нестационарных состояний, которые могут сглаживать скачкообразный характер перехода. В основе этих закономерностей лежит общий принцип, сформулированный в виде аксиомы о стремлении к совершенству процессов в природе: из всех возможных стационарных состояний системы, допускаемых действующими в природе законами, термодинамикой необратимых процессов, граничными и другими физически обоснованными условиями, наиболее вероятно состояние с минимально возможным производством энтропии. Под производством энтропии  $P_S$  в термодинамике понимают количество энтропии, производящейся (возникающей) внутри термодинамической системы за единицу времени  $P_S = d_i S / dt$ , где изменение энтропии  $d_i S$  равно значению элементарной приведенной теплоты  $\delta Q / T$ , поглощенной системой;  $T$  – температура;  $t$  – время.*

Рассмотрим применимость этих закономерностей на примере конвекции Рэлея-Бенара, представленной на рисунке 8, так как протекающие при конвекции процессы с позиций неравновесной термодинамики более близки к

процессам, протекающим в атмосфере. Конвекция Рэлея-Бенара возникает в горизонтальном слое жидкости малой толщины с вертикальным градиентом температуры, создаваемым нагревом слоя снизу. Атмосфера тоже является слоем газа малой толщины по сравнению с диаметром Земли, которая также получает тепловую энергию от различных энергетических потоков со стороны Земли и космоса.

Конвекцию Рэлея-Бенара можно наблюдать, например, на сковородке, налив в нее слой глицерина определенной высоты. В зависимости от температуры нагрева, а точнее числа Рэлея, в слое появляются различные стационарные (устойчивые) состояния движения жидкости в виде: шестиугольных ячеек Бенара (см. рис. 8,а,б); двумерных ячеек, напоминающих вращение валов в противоположные стороны (рис. 8,в); трехмерных ячеек и других организованных структур [14]. Число Рэлея  $Ra = A(T_G - T_X)$ , где  $A$  – функция теплофизических свойств нагреваемой жидкости, высоты ее слоя и ускорения свободного падения;  $T_G$ ,  $T_X$  – температуры нижней (горячей) и верхней (холодной) границы слоя (см. рис. 8). Каждому стационарному состоянию соответствует свое значение производства энтропии, а переходы из состояний с меньшим производством энтропии в состояние с большим производством происходят при достижении некоторых критических значений  $Ra_1$ ,  $Ra_2$ ,  $Ra_3$  и т.д. На рисунке 9 представлен характер изменения зависимостей производств энтропии от значения числа  $Ra$  для четырех стационарных состояний (см. [10]).

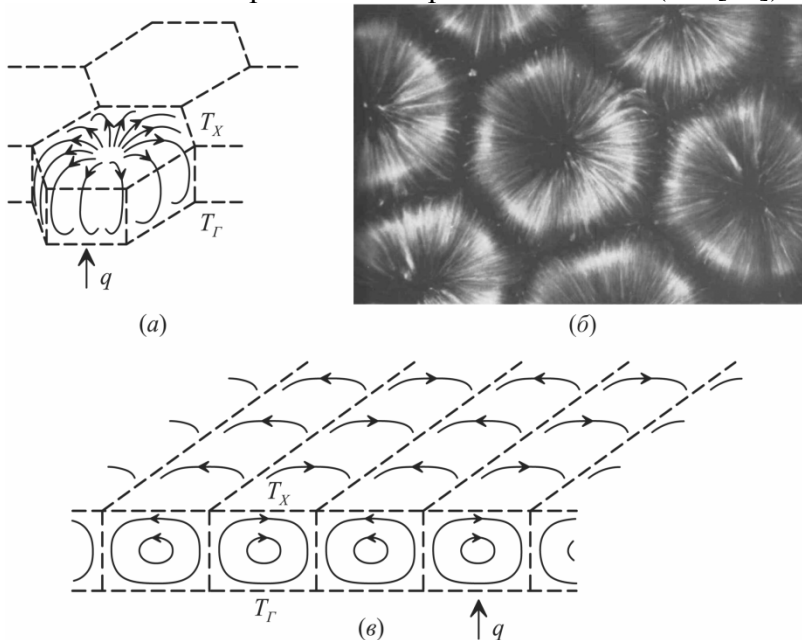


Рис. 8. Схематическое изображение конвективных ячеек:

а – шестиугольные ячейки Бенара; б – фотография ячеек Бенара; в – двумерные валы

При слабом нагреве неподвижного слоя снизу, когда перепад температуры по слою невелик, подводимое тепло полностью отводится

посредством теплопроводности, и конвективные потоки отсутствуют. Этому состоянию соответствует кривая 0 на рисунке 9. С повышением температуры нагрева появляются конвективные потоки, и при достижении значения  $Ra_1$  образуется новое стационарное состояние неравновесной системы со структурой движения жидкости сходной с пчелиными сотами и названной ячейками Бенара. Такому случаю соответствует кривая 1 на рисунке 9. Переход, отмеченный стрелкой вверх, из состояния 0 в состояние 1 протекает достаточно быстро в узком диапазоне чисел  $Ra$  вблизи  $Ra_1$ . При дальнейшем увеличении теплового потока образовавшаяся структура течения сначала сохраняется, а затем ячейки Бенара начинают разрушаться с образованием нестационарных состояний, через которые термодинамическая система при числе Рэлея  $Ra_2$  переходит в новое стационарное состояние, например, с валиковой структурой течения жидкости. Этому течению соответствует кривая 2 на рисунке 9. При дальнейшем увеличении теплового потока ячейки с валиковой структурой течения жидкости, как и в предыдущих переходах, сначала сохраняются, а затем начинают распадаться с образованием нестационарных структур, посредством которых термодинамическая система переходит в новое стационарное состояние при достижении числа Рэлея значения  $Ra_3$  и т.д. Из рисунка 9 видно, что с увеличением значения числа Рэлея термодинамическая система переходит из состояния с меньшим производством энтропии в состояние с большим производством энтропии. При этом переход, согласно приведенным выше общим закономерностям эволюции, осуществляется вследствие невыполнения какого-либо физически обоснованного условия. Так переход из неподвижного состояния в состояние конвекции, соответствующей ячейкам Бенара, происходит из-за термокапиллярной неустойчивости слоя жидкости [14].

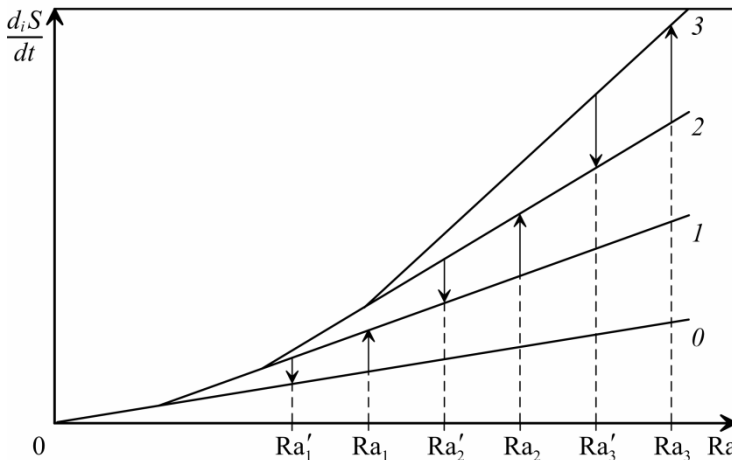


Рис. 9. Характер изменения производства энтропии от числа Рэлея

В экспериментах [14] отмечается, что при уменьшении потока теплоты в рассматриваемую термодинамическую систему, а следовательно и числа Рэлея, ее обратный переход из стационарного состояния с большим производством энтропии в стационарное состояние с меньшим производством

энтропии происходит при меньших числах Рэлея, чем прямой переход. На рисунке 9 обратным переходам соответствуют отмеченные штрихом числа Рэлея  $Ra'_1$ ,  $Ra'_2$ ,  $Ra'_3$ . Таким образом, переходы между двумя стационарными состояниями неравновесной термодинамической системы демонстрируют гистерезис.

Все переходы из одного стационарного состояния в другое происходят посредством нестационарных, хаотически изменяющихся состояний в узком диапазоне чисел  $Ra$ . Описание некоторых нестационарных структур течения приведено, например, в [14]. Отсюда следует, что представленные выше общие закономерности эволюции неравновесных термодинамических систем полностью распространяются на конвекцию Рэлея-Бенара. Даже при переходе из состояния с меньшим производством энтропии в состояние с большим производством, в случае существования нескольких таких стационарных состояний, термодинамическая система сначала перейдет в состояние, имеющее наименьшее значение производства энтропии из всех возможных состояний перехода, если позволят физически обоснованные условия. Если условия этого не позволят, то система перейдет в следующее состояние, имеющее минимальное производство энтропии из всех оставшихся состояний, в которые может перейти неравновесная термодинамическая система. Так, если течение жидкости в виде ячеек Бенара не может образоваться из-за невыполнения хотя бы одного из многих условий осуществления этого течения, то при нагреве жидкости неподвижное состояние перейдет в валиковое течение, являющееся более распространенной формой стационарной конвекции.

В работе [10] на основании проведенных исследований показано, что неравновесные процессы, протекающие в гидрогазодинамике, теплообмене, аэродинамике, магнетизме, оптике, гетерогенных каталитических и гомогенных периодических химических реакциях, в биологических системах и ряде других, подчиняются одним и тем же, приведенным выше общим закономерностям изменения состояния неравновесных термодинамических систем в процессе их эволюции.

Так, например, при движении газа в трубе переход из ламинарного состояния течения газа, имеющего меньшее производство энтропии, в турбулентное состояние с большим производством энтропии происходит при верхнем критическом значении числа Рейнольдса из-за потери устойчивости ламинарного движения. Этот переход происходит через нестационарные состояния. При переходе наблюдается непрерывная хаотическая смена как по времени, так и в пространстве областей течения с турбулизованным и ламинарно движущимся газом. Это явление называется перемежаемостью. Обратный переход из турбулентного в ламинарное течение происходит при достижении определенного положительного значения разности между производствами энтропии этих двух состояний. При этом обратный переход происходит при меньшем значении числа Рейнольдса по сравнению с прямым, демонстрируя гистерезис.



Применим эти закономерности к атмосфере Земли, представляющей массу воздуха в газообразной оболочке, окружающей Землю и вращающейся вместе с ней. Внутренняя энергия атмосферы несопоставимо мала по сравнению с энергией недр Земли и Мирового океана, но благодаря ей существует жизнь на Земле.

Через верхнюю границу в атмосферу поступает поток энергии в большей части в виде лучистой солнечной энергии. Периодически может поступать поток энергии, вызванный другими космическими или планетарными явлениями, приводящими к образованию мощного электромагнитного излучения или потока метеоритов. Из атмосферы в космос отводится лучистая энергия поверхности Земли и отраженная солнечная энергия.

Через нижнюю границу атмосфера обменивается с Землей лучистой энергией и тепломассовыми потоками, обусловленными теплопроводностью и конвекцией. Особенно сильное влияние на тепломассовые потоки оказывают течения в Мировом океане – гигантском аккумуляторе тепловой энергии. Периодически в атмосферу вбрасывается энергия недр Земли, выделяемая при тектонических сдвигах и вулканических извержениях, сопровождающихся большими выбросами. В последнее столетие все интенсивнее извлекаются из недр Земли такие полезные ископаемые как нефть, газ, уголь, урановая руда и др., энергия которых в результате жизнедеятельности человека переходит в виде теплоты в атмосферу.

Происходящие массообменные процессы с Землей изменяют состав атмосферы и вызывают ее загрязнение аэрозольными образованиями (пеплом, сажей, пылью, частичками воды и т.п.). Это снижает прозрачность атмосферы и, следовательно, ослабляет солнечную радиацию и другие лучистые потоки. Изменения состава атмосферы, а именно концентраций паров воды,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и ряда других газов, изменяют поглощательную способность атмосферы к инфракрасному излучению, что влияет на парниковый эффект. Увеличивающаяся масса живых организмов и разлагающихся органических веществ также воздействует, как на газовый состав атмосферы, так и на тепловые потоки. Большое влияние на состав атмосферы оказывает фотосинтез.

Все приведенные выше процессы, а также ряд других, в совокупности прямо или косвенно влияют на производство энтропии в рассматриваемой неравновесной термодинамической системе, а некоторые из них очень значительно. Например, в процессе активной вулканической деятельности за относительно короткий промежуток времени в атмосферу может поступить большое количество энергии, водяного пара, диоксида углерода, пепла и других выбросов, что приведет к значительному росту производства энтропии, определяемого количеством энтропии, возникающей в атмосфере за единицу времени. Более короткими по времени могут быть только процессы, происходящие при падении метеоритов или взрыве бомб в атмосфере. Многие другие процессы протекают медленней и, несмотря на

большую энергию, вносимую ими в атмосферу, производство энтропии из-за этих процессов может оказаться менее значимым.

Следует отметить, что существенное влияние на плавное изменение баланса энергии атмосферы может оказывать: 1) лучистая энергия Солнца, зависящая от его циклической активности, изменяющегося расстояния до Солнца и угла наклона оси вращения Земли; 2) альbedo Земли, зависящее от многих факторов, в том числе от облачности атмосферы, увеличивающейся с ростом количества водяного пара; 3) изменение содержания в атмосфере парниковых газов, поглощающих инфракрасное излучение; 4) изменение направлений течения в Мировом океане.

Следует отметить, что Мировой океан за ледниковый период сбросил в космос посредством инфракрасного излучения такое количество энергии, что его температура в самых глубоких местах составляет от  $+2^{\circ}\text{C}$  до  $+4^{\circ}\text{C}$ . И это несмотря на периодические извержения многочисленных подводных вулканов и потоков воды из геотермальных жерл на морском дне с температурой, достигающей  $400^{\circ}\text{C}$ . Мировой океан поглощает практически весь дисбаланс тепловой энергии атмосферы, переносимой конвекцией воздушных масс. Если бы не было такого гигантского аккумулятора тепловой энергии, то все тепловые процессы, протекающие как в живой, так и неживой природе, а также в теплоэнергетических, транспортных и других жизненно важных для человечества объектах, остановились бы из-за перегрева поверхности Земли. Поэтому даже незначительные изменения температуры воды в Мировом океане и направлений существующих течений в нем будут оказывать существенное влияние на состояние атмосферы, а значит и на климат.

Из представленных на рисунке 9 зависимостей видно, что переходы из одного стационарного состояния термодинамической системы в другое стационарное реализуются при некоторых экспериментально определенных числах Рэля (критических параметрах). В других термодинамических системах, приведенных в [10], такими критическими параметрами являются критические тепловые потоки, числа Рейнольдса, концентрации компонентов, температура и др., которым соответствуют вполне определенные значения всего одного критического параметра – производства энтропии. По значениям и направлениям изменения производства энтропии для разных возможных состояний термодинамической системы можно судить о направлениях ее эволюции и реализуемых состояниях.

В квазистационарном состоянии соблюдается баланс между количеством энтропии, произведенной в атмосфере, в том числе за счет жизнедеятельности человека, и отводимой через ее границы за один и тот же промежуток времени. При поступлении в атмосферу через границу потока энергии, превышающего балансовое значение, происходит рост производства энтропии внутри атмосферы и ее средней температуры. Если в атмосферу поступит такой поток энергии, при котором производство энтропии достигнет критических значений (например, за счет только одной вулканической

деятельности или совместно с другими источниками энергии), неравновесная термодинамическая система перейдет из одного стационарного состояния (в нашем случае соответствующего межледниковому периоду) в другое, резко отличающееся от первоначального состояния как структурой, так термодинамическими и другими параметрами.

При прекращении действий основных причин, которые привели к переходу термодинамической системы в новое квазистационарное состояние, процессы, протекающие в атмосфере и на Земле, будут стремиться уменьшить производство энтропии, чтобы вернуть термодинамическую систему в первоначальное стационарное состояние. Уменьшение производства энтропии в атмосфере возможно благодаря оттоку лучистой энергии в космос и теплообмену с океаном. При этом средняя температура атмосферы начнет понижаться. Однако, в соответствии с вышеизложенным, прямой переход термодинамической системы из квазистационарного состояния с меньшим производством энтропии в состояние с большим производством энтропии (этому переходу соответствует верхнее критическое значение температуры атмосферы) и обратный переход возможны только через гистерезис. Поэтому обратный переход должен произойти при температуре атмосферы ниже верхнего критического значения. Обратному переходу соответствует ледниковый период жизни Земли.

Геологическими исследованиями доказано, что на Земле происходит периодическое изменение климата. Ледниковые периоды (эры, эпохи) разной относительной длительности сменялись относительными потеплениями климата, в течение которых площади материковых оледенений уменьшались. Современное состояние климата Земли характеризуется принадлежностью к одному из межледниковых периодов, начавшихся около 35 млн. лет назад кайнозойской ледниковой эры, насчитывающей несколько более коротких промежутков отступления и наступления ледников (эпох). Один из таких промежутков оледенение начался около 12 тысяч лет назад и сопровождался вымиранием мамонтов, овцебыков и других животных. Около 10 тысяч лет назад наступил период потепления, сопровождающийся холодными зимами и дождливым летом. Наступившее межледниковье длится до настоящего времени. Несмотря на продолжающийся период межледниковья, периодически отмечались случаи относительного похолодания климата в недавней истории человечества. Речь идет о малом ледниковом периоде XIV-XIX веков, который сменил самый теплый период X-XIII веков в недавней истории человечества. В это время Гренландия заселялась викингами, поскольку большая ее часть не была покрыта льдом, а климат характеризовался относительно теплыми зимами.

В настоящее время условно выделяются четыре группы циклов, включающих периодичность ледниковых периодов и межледниковья [1].

1. Сверхдлинные циклы по 150-300 миллионов лет. Они связаны с самыми значительными изменениями состояния атмосферы и климата на Земле. С этими циклами коррелируются ритмы вулканической и

тектонической активности. 2. Длинные циклы, охватывающие промежутки в десятки миллионов лет, также коррелируются с вулканической активностью. 3. Короткие циклы в сотни и тысячи лет связываются с изменением параметров земной орбиты. 4. Ультракороткие циклы в десятки и сотни лет связываются с ритмами солнечной активности.

На рисунке 10 представлен предполагаемый характер изменения производства энтропии в атмосфере от изменения средней температуры для всех четырех циклов.

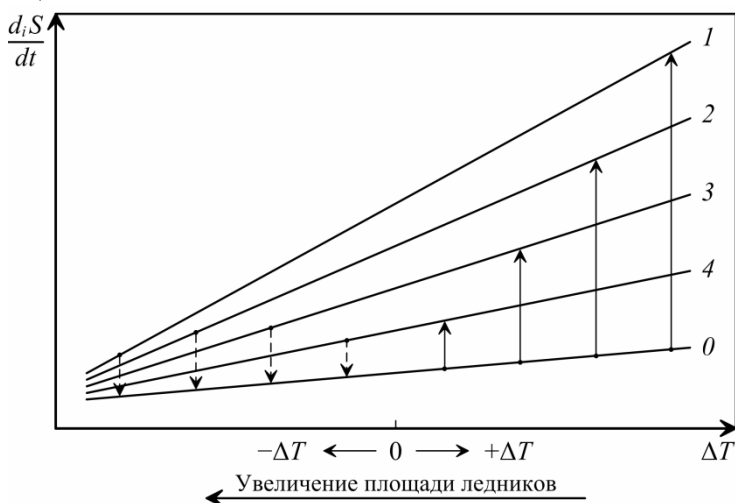


Рис. 10. Предполагаемый характер зависимости производства энтропии от изменения температуры для четырех возможных циклов потепления и похолодания атмосферы

В сверхдлинном цикле, при реализации ледникового периода, представленного кривой 1 на рисунке 5, в атмосферу из недр земли вбрасывается такое количество энергии, аэрозолей, парниковых газов, что ее структура, определяемая тепломассовыми конвективными потоками, концентрацией газов, влажностью атмосферы и другими параметрами, значительно изменяется, а производство энтропии резко возрастает. Переход атмосферы из состояния межледниковья (кривая 0) в состояние 1, как и во всех неравновесных термодинамических системах происходит достаточно резко, скачкообразно и во время перехода образуются нестационарные, хаотически изменяющиеся по времени и в пространстве структуры. Скачкообразное изменение состояния атмосферы приводит к такому же быстрому изменению и климата на Земле. В [1] отмечается, что причина скачкообразного изменения климата до сих пор не ясна. Из вышеизложенного следует, что скачкообразное изменение определено общими закономерностями эволюции для всех далеких от равновесия термодинамических систем [10, 13]. При переходе атмосферы в состояние 1 начинается процесс похолодания, сопровождающийся обледенением. В рассматриваемом случае начало процесса похолодания может быть связано с образующейся в процессе извержения вулканов большой облачностью, содержащей пепел и другие аэрозольные включения, отражающей солнечное

излучение. Далее по завершению вулканической активности могут образоваться в атмосфере мощные циркуляционные потоки (циклоны, вихри), которые центробежными силами отсепарируют на периферию циклона аэрозольные включения и более тяжелые парниковые газы. При этом через внутреннюю часть циклона, как по трубе, инфракрасное излучение Земли будет уходить в космос, охлаждая атмосферу и океан. Возможны и другие процессы, приводящие к охлаждению атмосферы. При понижении производства энтропии в атмосфере до некоторой величины (рис. 10) атмосфера скачкообразно переходит в состояние, соответствующее межледниковью (0), и начинается процесс потепления.

При реализации длинного цикла 2 в атмосферу посредством вулканической активности вбрасывается меньшее количество энергии по сравнению с циклом 1. Поэтому атмосфера перейдет в состояние 2 на рисунке 10, имеющее меньшее значение производства энтропии по сравнению с состоянием 1. Следует отметить, что при переходе атмосферы в состояние 1 или 2 не реализуются промежуточные состояния 3 и 4, что не противоречит изложенным выше общим закономерностям эволюции неравновесных термодинамических систем. Это обусловлено тем, что при вулканической активности за относительно небольшой промежуток времени вбрасывается в атмосферу такое количество энергии, что состояния 3 и 4 не успевают реализоваться, так как перекрываются вышестоящим состоянием (см. [10, 13]). Короткие 3 и ультракороткие 4 циклы реализуются как из-за изменения количества солнечного излучения, попадающего на Землю, так и ряда других факторов. Им соответствуют состояния атмосферы 3 и 4 на рисунке 10, имеющие меньшее значение производства энтропии по сравнению с состояниями 1 и 2. Состояний атмосферы, соответствующих малым ледниковым периодам, может быть значительно больше. Начавшееся в последние годы резкое, хаотичное изменение климата на Земле предвещает начало перехода к одному из таких состояний. Следует отметить, что характер зависимостей, представленных на рисунке 10, аналогичен характеру зависимостей на рисунке 9 для конвекции Рэля-Бенара со структурами некоторых состояний, изображенных на рисунке 8.

С появлением на Земле человека все более сильное влияние на атмосферу оказывает процесс его жизнедеятельности, особенно в последнее столетие. Он становится той силой, которая способна нарушить сложившуюся на Земле упорядоченность и привести к катастрофе, сопоставимой по воздействию с происходящими периодически на Земле. Потребляемое человечеством количество энергии растет с каждым годом. Это приводит к увеличению производства энтропии в атмосфере и делает ее менее устойчивой к возможным природным катастрофам, способным довести количество производства энтропии до значения перехода атмосферы в другое квазистационарное неравновесное термодинамическое состояние, при котором современный человек еще не жил. Причем этот переход, в соответствии с приведенными выше выводами, должен происходить

посредством нестационарных (непредсказуемых, хаотичных) состояний. Из нового состояния с бóльшим производством энтропии термодинамическая система сможет вернуться в первоначальное состояние, как уже было отмечено, только через ледниковый период.

Следует особо отметить, что к настоящему времени человечество накопило такое количество энергии, скрытой в ядерных боеголовках, что единовременное высвобождение только ее части приведет к росту производства энтропии в атмосфере, превышающей многие природные катастрофы. Например, производство энтропии, обусловленное потреблением человечеством энергоресурсов, имеет в настоящее время порядок  $\approx 10^{10}$  Дж/(с·К), причем без учета увеличения производства энтропии из-за парникового эффекта, а в результате одновременного (в течение 1 с) взрыва только части ядерных зарядов в количестве эквивалентном 100 Мт, производство энтропии увеличится примерно на  $10^{15}$  Дж/(с·К) без учета изменения баланса лучистой энергии между космосом и Землей из-за образования при взрыве большого количества аэрозольных частиц, значительно уменьшающих прозрачность атмосферы. Например, при извержении одного из самых мощных за последние столетия вулкана Тамбора (Индонезия), активная фаза которого длилась около 10 дней, и, по некоторым оценочным данным, выделилось  $\approx 8,5 \cdot 10^{19}$  Дж, производство энтропии увеличилось примерно на  $10^{11}$  Дж/(с·К) (без учета парникового эффекта и уменьшения прозрачности атмосферы из-за большого количества аэрозольных частиц).

Из вышеизложенного следует, что Парижское соглашение 2015 года – это соглашение не о климате, а об изъятии средств у стран богатых залежами углеводородов.

Реализация этого соглашения значительно увеличит производство энтропии в атмосфере из-за ее «теплового загрязнения», а, следовательно, ускорит процесс потепления климата.

### Список литературы

1. Кокин А.В., Кокин А.А. Современные экологические мифы и утопии. – СПб., 2008. – 251 с.
2. Tsegelskiy V.G. The influence of natural and anthropogenic processes on Earth's climate from the perspective of non-equilibrium thermodynamics // *Journal of Advanced Research in Natural Science*. – 2022. – №15. – С. 8-28. – doi.org/10.26160/2572-4347-2022-15-8-28.
3. Berkhout G. Climate Thinking. Broadening the Horizons [Электронный ресурс] // The Global Warming Policy Foundation. – June 2018. – Essay 7. – Access mode: <https://www.thegwpcf.org/content/uploads/2018/06/Berkhout.pdf>.
4. Caillon N., Severinghaus J., Jouzel J., Barnola J., Kang J., Lipenkov, V. Timing of Atmospheric CO<sub>2</sub> and Antarctic Temperature Changes Across Termination III // *Science*. 2003, vol. 299, pp. 1728-1731. doi.org/10.1126/science.1078758.
5. Humlum O., Solheim J.-E., Stordahl K. The Phase Relation between Atmospheric Carbon Dioxide and Global Temperature // *Global and Planetary Change*. 2013, vol. 100, pp. 51-69. doi.org/10.1016/j.gloplacha.

6. Goode P.R., Pmko A., Shoumko S. Montañes-Rodriguez, & S.E. Koonin. Earth's Albedo 1998–2017 as Measured From. Earthshine // *Geophysical Research Letters*. 2021, pp. 1-8. doi.org/10.1029/2021GL094888.
7. Глебов Г.А., Цегельский В.Г. К вопросу о целесообразности создания водородной, солнечной и ветряной энергетики в России // Решение европейского союза о декарбонизации. Год спустя. – Меж. научно-практ. конференция. – Казань: ООО «Ихлас», 2022. – С. 22-25.
8. Miller Lee M., David W. Keith. Climatic Impacts of wind power // *Joule* 2. 2018, no. 12, pp. 2618-2632. doi.org/10.1016/ /j.joule.2018.09.009.
9. Шрайбер В.М. Из истории исследований парникового эффекта земной атмосферы // *Биосфера*. – 2013. – Т. 5, №1. – С. 37-46.
10. Цегельский В.Г. Эволюция далеких от равновесия термодинамических систем в примерах. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – 164 с.
11. Цегельский В.Г. О применении неравновесной термодинамики в решении гидродинамических задач и в определении воздействия жизнедеятельности человека на климат Земли // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. – 2017. – №6. – С. 23-47.
12. Tsegelskiy V.G. Thermodynamic analysis of the impact of world energy and other aspects of human activity on the approach of the ice age on Earth // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. – 2018. – №9-1. – С. 5-20.
13. Tsegelskiy V.G. The evolution process of non-equilibrium thermodynamic systems // *Journal of Advanced Research in Natural Science*. – 2020. – №11. – С. 4-25. – doi.org/10.26160/2572-4347-2020-11-4-25.
14. Гетлинг А.В. Конвекция Рэлея-Бенара. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 248 с.

### References

1. Kokin A.V., Kokin A.A. Modern ecological myths and utopies. – SPb., 2008. – 251 p.
2. Tsegelskiy V.G. The influence of natural and anthropogenic processes on Earth's climate from the perspective of non-equilibrium thermodynamics // *Journal of Advanced Research in Natural Science*. 2022, no. 15, pp. 8-28. doi.org/10.26160/2572-4347-2022-15-8-28.
3. Berkhout G. Climate Thinking. Broadening the Horizons [Электронный ресурс] // The Global Warming Policy Foundation. – June 2018. – Essay 7. – Access mode: <https://www.thegwpf.org/content/uploads/2018/06/Berkhout.pdf>.
4. Caillon N., Severinghaus J., Jouzel J., Barnola J., Kang J., Lipenkov, V. Timing of Atmospheric CO<sub>2</sub> and Antarctic Temperature Changes Across Termination III // *Science*. 2003, vol. 299, pp. 1728-1731. doi.org/10.1126/science.1078758.
5. Humlum O., Solheim J.-E., Stordahl K. The Phase Relation between Atmospheric Carbon Dioxide and Global Temperature // *Global and Planetary Change*. 2013, vol. 100, pp. 51-69. doi.org/10.1016/ /j.gloplacha.
6. Goode P.R., Pmko A., Shoumko S. Montañes-Rodriguez, & S.E. Koonin. Earth's Albedo 1998–2017 as Measured From. Earthshine // *Geophysical Research Letters*. 2021, pp. 1-8. doi.org/10.1029/2021GL094888.
7. Glebov G.A., Tsegelskiy V.G. On the question of the creating hydrogen, solar and wind energy in Russia // The decision of the European Union on decarbinization. One year later. – International scientific and practical conference. – Kazan: «Ichlas» Ltd., 2022. – P. 22-25.

8. Miller Lee M., David W. Keith. Climatic Impacts of wind power // Joule 2. 2018, no. 12, pp. 2618-2632. doi.org/10.1016/ /j.joule.2018.09.009.
9. Schreiber V.M. From the history of research on the greenhouse effect of the earth's atmosphere // Biosphere. 2013, vol. 5, no. 1, pp. 37-46.
10. Tsegelskiy V.G. Evolution of thermodynamic systems far from equilibrium in examples. – М.: MSTU n.a. N.E. Bauman, 2021. – 164 p.
11. Tsegelskiy V.G. On application of non-equilibrium thermodynamics for solving of hydrodynamic problems and definition of human activity influence on Earth climate // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2017, iss. 6, pp. 23-47.
12. Tsegelskiy V.G. Thermodynamic analysis of the impact of world energy and other aspects of human activity on the approach of the ice age on Earth // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2018, iss. 9-1, pp. 5-20.
13. Tsegelskiy V.G. The evolution process of non-equilibrium thermodynamic systems // Journal of Advanced Research in Natural Science. 2020, iss. 11, pp. 4-25. doi.org/10.26160/2572-4347-2020-11-4-25.
14. Getling A.V. Rayleigh-Benard convection. – М.: Editorial URSS, 1999. – 248 p.

<b>Цегельский Валерий Григорьевич</b> – доктор технических наук, главный научный сотрудник	<b>Tsegelskiy Valery Grigorievich</b> – doctor of technical sciences, chief scientist
user46@ro.ru	

*Received 02.03.2023*