

МИФЫ ПАРИЖСКОГО СОГЛАШЕНИЯ ПО КЛИМАТУ

В.Г. Цегельский*

Доказывается необоснованность Парижского соглашения 2015 года, утверждающего виновность углеродной энергетики в резком росте концентрации углекислого газа в атмосфере. Показано, что доля этого газа в атмосфере от углеродной энергетики не превышает 1 %. Сопоставлено влияние альbedo Земли и используемой человечеством энергии на рост температуры атмосферы. Показано, что тепловое «загрязнение» атмосферы от углеродной энергетики намного меньше тепловых «загрязнений» от водородной, солнечной или ветровой энергетики. Обосновывается отсутствие в настоящее время достойной альтернативы углеродной энергетике. На основании общих закономерностей эволюции неравновесных термодинамических систем анализируются процессы, влияющие на состояние атмосферы и соответствующий ей климат. Отмечается, что наблюдаемое в настоящее время хаотическое изменение климата соответствует хаотическим переходам любой неравновесной термодинамической системы из одного квазистационарного состояния в другое.

Ключевые слова: Парижское соглашение, углеродная энергетика, возобновляемая энергетика, ледниковый период, неравновесная термодинамика, производство энтропии, гистерезис.

Ссылка для цитирования: Цегельский В.Г. Мифы Парижского соглашения по климату // Жизнь Земли. 2023. Т. 45, № 4. С. 540–555. DOI: 10.29003/m3535.0514-7468.2019_45_4/540-555.

Поступила 12.10.2023 / Принята к публикации 29.11.2023

MYTHS OF THE PARIS AGREEMENT

V.G. Tsegelskiy, Dr. Sci (Technical)
Bauman Moscow State Technical University

The groundlessness of the Paris Agreement (2015) is proven, which asserts the culpability of carbon energy in the sharp increase of the carbon dioxide concentration in the atmosphere. The carbon energy's share of this gas in the atmosphere is shown not to exceed 1 %. The influence of the Earth's albedo and the energy used by mankind on the increase in atmospheric temperature is compared. The thermal "pollution" of the atmosphere from carbon energy is shown to be much less than that from hydrogen, solar or wind energy. The absence of a deserving alternative to carbon energy is proven. Processes affecting the state of the atmosphere and its corresponding climate are analyzed on the basis of general laws of the evolution of nonequilibrium thermodynamic systems. The causes of the alternation of glacial and interglacial periods with different time durations in the history of the Earth are explained. The transitions between these periods are shown to proceed through chaotically changing states and demonstrate hysteresis. It is noted that the currently observed chaotic climate change corresponds to chaotic transitions of any nonequilibrium thermodynamic system from one quasi-stationary state to another.

Keywords: Paris Agreement, carbon energy, renewable energy, ice age, nonequilibrium thermodynamics, entropy production, hysteresis.

For citation: Tsegelskiy, V.G., "Myths of the Paris agreement", *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] 45, no 4, 540–555 (2023) (in Russ., abstr. in Engl.). DOI: 10.29003/m3535.0514-7468.2019_45_4/540-555.

* Цегельский Валерий Григорьевич – д.т.н., гл.н.с., Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, user46@ro.ru.

Введение. Парижское соглашение по климату поставило задачу сократить выбросы парниковых газов в атмосферу и, в первую очередь, углекислого газа (CO_2) как главного виновника глобального потепления на Земле. Началась борьба с углеродной энергетикой, использующей органические топлива, породившая такие термины, как «декарбонизация» и «углеродный след». Достижение «углеродной нейтральности» стало одной из приоритетных целей для стран, подписавших Парижское соглашение.

С середины XIX века средняя глобальная температура приземного слоя воздуха повысилась на $0,75\text{--}1,0\text{ }^\circ\text{C}$ (см., например, [8, 14]). Основное повышение температуры произошло в последние 50 лет. Международная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) предполагает, что причиной потепления на Земле является рост выбросов парниковых газов в атмосферу, создающих парниковый эффект. Основными парниковыми газами, содержащимися в атмосфере, в настоящее время являются водяной пар и углекислый газ. Вклад водяного пара в парниковый эффект по некоторым данным достигает $70\text{--}78\%$, а углекислого газа – около 20% (см., например, [12, 14]). С момента индустриальной революции концентрация CO_2 в атмосфере (рис. 1) увеличилась приблизительно на 50% , и особенно сильно в последние 50 лет, коррелируясь с ростом среднеглобальной температуры приземного слоя воздуха. Эта корреляция не позволяет ответить на вопросы:

- рост концентрации CO_2 в атмосфере является причиной роста её температуры или наоборот?

- есть ли другие факторы, определяющие рост первых двух?

Необоснованность обвинения углеродной энергетики в росте концентрации CO_2 в атмосфере. Парижское соглашение однозначно утверждает, что глобальное потепление на Земле происходит из-за роста концентрации углекислого газа в атмосфере, вызванного интенсивным ростом потребляемых человечеством углеводородных источников энергии, образующих CO_2 при их сжигании. При этом не учитывается

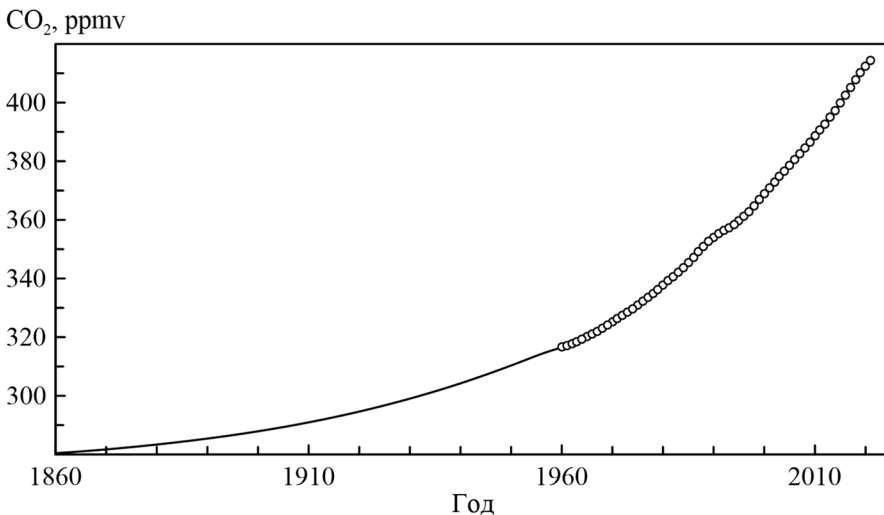


Рис. 1. Изменения усреднённой за год концентрации атмосферного CO_2 ; точками представлены данные обсерваторий Мауна Лоа (Гавайи).

Fig. 1. Changes in the annual average atmospheric CO_2 concentration; the dots represent data from the Mauna Loa observatories (Hawaii).

влияние на потепление климата роста концентрации водяного пара и влажности из-за испарения мирового океана, вызванного увеличением его поверхностной температуры, коррелирующей с температурой атмосферы [12]. Температура океана в свою очередь зависит от солнечного излучения, тепловых потоков, поступающих из глубин Земли, теплообмена с атмосферой и других процессов. Исключение водяного пара, вносящего основной вклад в парниковый эффект, вызывает большое сомнение в правильности подхода МГЭИК к рассматриваемой проблеме.

Из истории биосферы известна цикличность повышения и понижения температуры и концентрации CO_2 в атмосфере. Например, в работе [15] приведены зависимости изменения температуры и концентрации CO_2 за период в 420 000 лет. При этом антропогенные процессы в предыдущие тысячелетия отсутствовали, а рост концентрации CO_2 в атмосфере коррелировался с ростом температуры. На основании этого и физико-химического анализа в той же работе предполагается, что рост концентрации углекислого газа в атмосфере происходит из-за уменьшения его растворимости в водах океана при увеличении его поверхностной температуры, коррелирующей с температурой атмосферы. Такую же причину увеличения концентрации CO_2 в атмосфере высказывают и другие авторы, например [11, 14, 16, 19].

Докажем расчётно-исследовательским путём необоснованность принятого Парижским соглашением заключения о виновности углеродной энергетики, выделяющей CO_2 при сжигании углеводородных источников энергии, в потеплении климата на Земле. Международное энергетическое агентство (МЭА) и ряд других организаций ведут статистический учёт мирового потребления человечеством первичной энергии. Часто за единицу измерения первичной энергии используют тонну нефтяного эквивалента (т.н.э.), равную 41,868 ГДж. Такое количество тепловой энергии выделяется при сгорании одной среднестатистической тонны нефти. На **рис. 2** представлена диаграмма мирового потребления первичной энергии по годам. Согласно статистическим данным с 1860 по

Потребление, млн т.н.э.

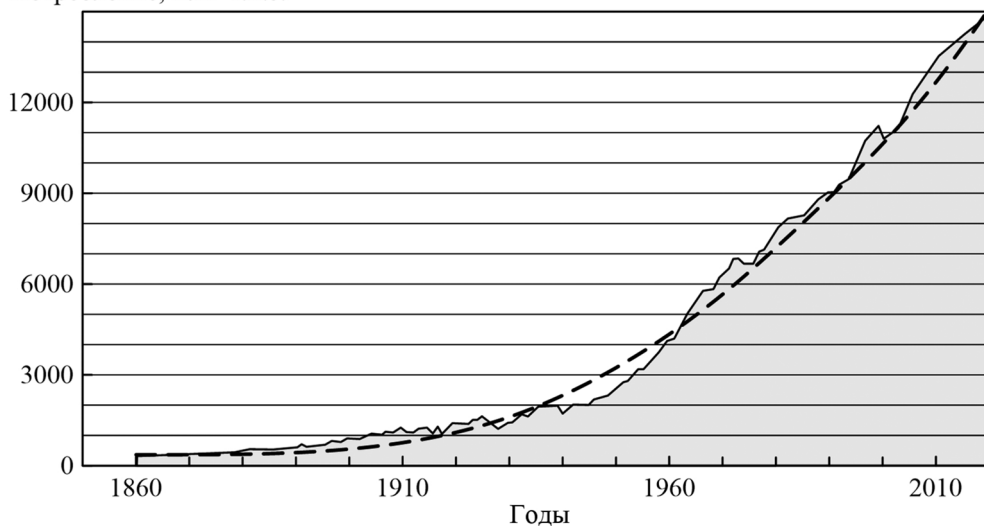


Рис. 2. Диаграмма мирового потребления первичной энергии.

Fig. 2. Diagram of the world consumption of primary energy.

2015 г. потребление энергии увеличилось приблизительно в 40 раз и по прогнозам к 2040 г. должно увеличиться ещё в 1,24 раза. Вся эта энергия после совершения полезной работы переходит в виде теплоты в атмосферу и разогревает её. Парижское соглашение эти тепловые выбросы в атмосферу не учитывает, а всю борьбу с потеплением климата сосредоточило на декарбонизации углеродной энергетики.

Известно, что при сжигании 1 т углеводородного топлива может образоваться от 1,8 до 3,2 т CO_2 , в зависимости от вида топлива (мазут, уголь, газ и др.) [5]. В структуре энергетики 2015 г. по данным МЭА более 80 % потребляемой первичной энергии приходилось на углеводородные топлива. Поэтому график зависимости изменения по годам количества выделяемого в атмосферу CO_2 будет аналогичен графику потребления первичной энергии, представленному на рис. 2. Разделив значения концентрации CO_2 в атмосфере в данном году (см. рис. 1) на количество потреблённых в этом же году миллионов тонн нефтяного эквивалента (см. рис. 2), получим зависимость, представленную на рис. 3. Из рис. 3 видно, что отношение концентрации CO_2 в атмосфере к количеству потребляемой первичной энергии падает с годами по экспоненте и стремится к нулю. Из этого следует, что с годами концентрация углекислого газа в атмосфере перестаёт реагировать на сжигание каждого очередного миллиона тонн нефтяного эквивалента. Это указывает на то, что углеродная энергетика не является причиной резкого увеличения концентрации CO_2 в атмосфере.

Найдём расчётным путем увеличения концентрации CO_2 в атмосфере за счёт сжигания углеводородного топлива. Масса воздуха в атмосфере равна $M_B = 5,2 \times 10^{18}$ кг. Запишем эту массу в молях: $M_B = \mu_B \times n_B$, где μ_B – молярная масса воздуха; $n_B = M_B / \mu_B$ – количество кмоль воздуха в атмосфере. Отсюда $n_B = 5,2 \times 10^{18} / 29 = 0,179 \times 10^{18}$ кмоль. Количество углеводородного топлива M_T , потребляемого человечеством в 2015 г., используя рис. 2 и учитывая, что на него приходилось ≈ 80 % потребляемой первичной энергии, запишем

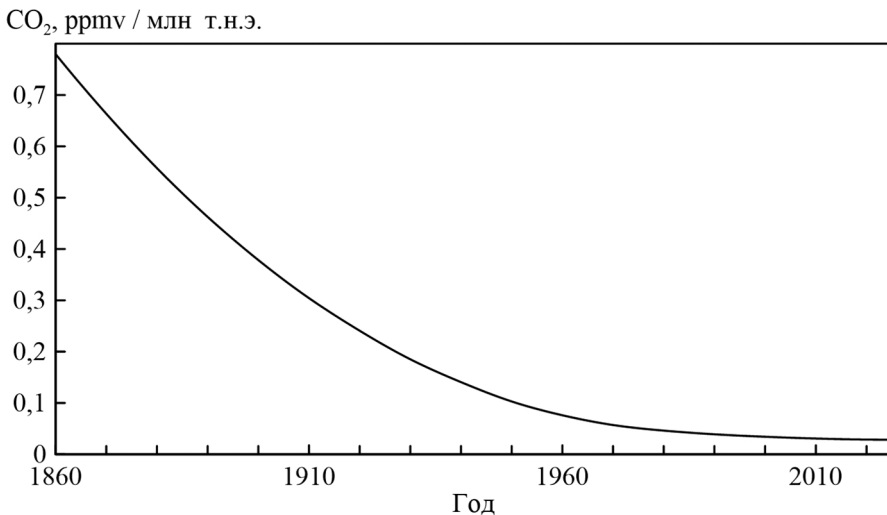


Рис. 3. Зависимость отношения концентрации CO_2 в атмосфере к количеству потребляемой первичной энергии по годам.

Fig. 3. Temporal dependence of the ratio of the atmospheric CO_2 concentration to the amount of primary energy consumed.

$M_T = 14000 \times 10^6 \times 0,8 = 1,12 \times 10^{10}$ тонн. Принимая, что при сжигании 1 т углеводородного топлива в среднем образуется 2,5 т CO_2 , находим количество CO_2 , выделенное в атмосферу в 2015 г. $M_{\text{CO}_2} = 1,12 \times 10^{10} \times 2,5 \times 10^3 = 2,8 \times 10^{13}$ кг. Запишем эту массу в молях: $M_{\text{CO}_2} = \mu_{\text{CO}_2} \times n_{\text{CO}_2}$, где $\mu_{\text{CO}_2} = 44$ кг/кмоль – молярная масса CO_2 ; n_{CO_2} – количество кмоль CO_2 . Отсюда $n_{\text{CO}_2} = M_{\text{CO}_2} / \mu_{\text{CO}_2} = 0,064 \times 10^{13}$ кмоль. Определим мольную долю (концентрацию) CO_2 в атмосфере N_{CO_2} из-за сжигания углеводородного топлива в 2015 г.:

$$N_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2} / (n_{\text{B}} + n_{\text{CO}_2}) = 0,064 \times 10^{13} / (0,179 \times 10^{18} + 0,064 \times 10^{13}) = 3,575 \times 10^{-6}.$$

Для идеальных газов мольная доля CO_2 равна объёмной доле (концентрации) [7]. Аналогично изложенному построен на **рис. 4** график изменения объёмной концентрации CO_2 в атмосфере из-за сжигания углеводородных топлив по годам. Сопоставление рис. 4 с рис. 1 показывает, что увеличение концентрации CO_2 в атмосфере из-за сжигания углеводородного топлива в 2015 г. не превышало 1 %. Во все предыдущие годы этот прирост был ещё ниже. Из вышеизложенного следует, что углеродная энергетика не виновата в потеплении климата. Борьба за декарбонизацию – это ложный путь развития энергетики, расходующий ресурсы и отвлекающий от установления истинных причин потепления климата.

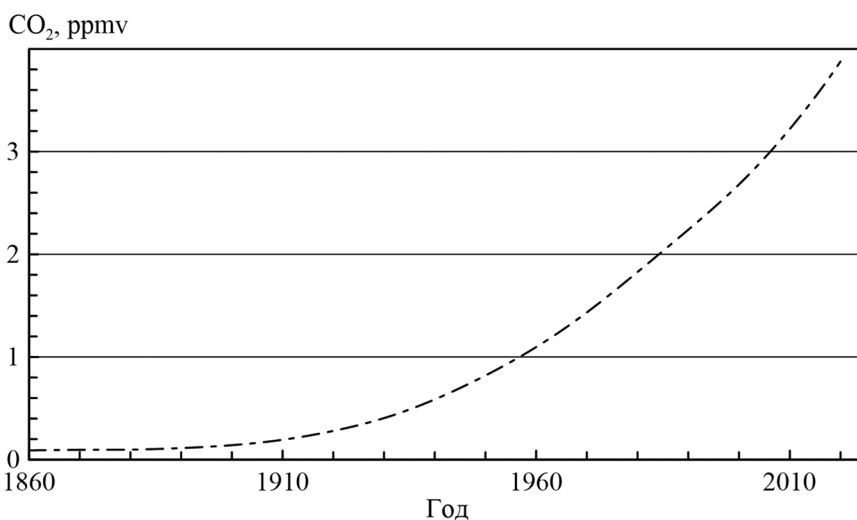


Рис. 4. Увеличение концентрации CO_2 в атмосфере из-за сжигания углеводородных топлив.

Fig. 4. Increase in the atmospheric CO_2 concentration due to hydrocarbon fuel combustion.

В соответствии с Парижским соглашением температура атмосферы изменяется вследствие изменения в ней концентрации CO_2 . В работах [4, 21] представлены прямые свидетельства того, что изменение содержания CO_2 в атмосфере является следствием изменения температуры, а не причиной. На **рис. 5** представлены результаты исследований, взятые из работы [21]. Согласно им, сначала изменяется поверхностная температура океана, содержащего намного большее количество CO_2 по сравнению с атмосферой. Изменение концентрации CO_2 в атмосфере начинает происходить только через ~ 11 месяцев после изменения температуры океана. Из этого следует, что в подходе МГЭИК нарушена причинно-следственная связь: не увеличение концентрации CO_2 приводит к повышению температуры атмосферы, а повышение температуры, происходящее по многим причинам, приводит к росту концентрации CO_2 .

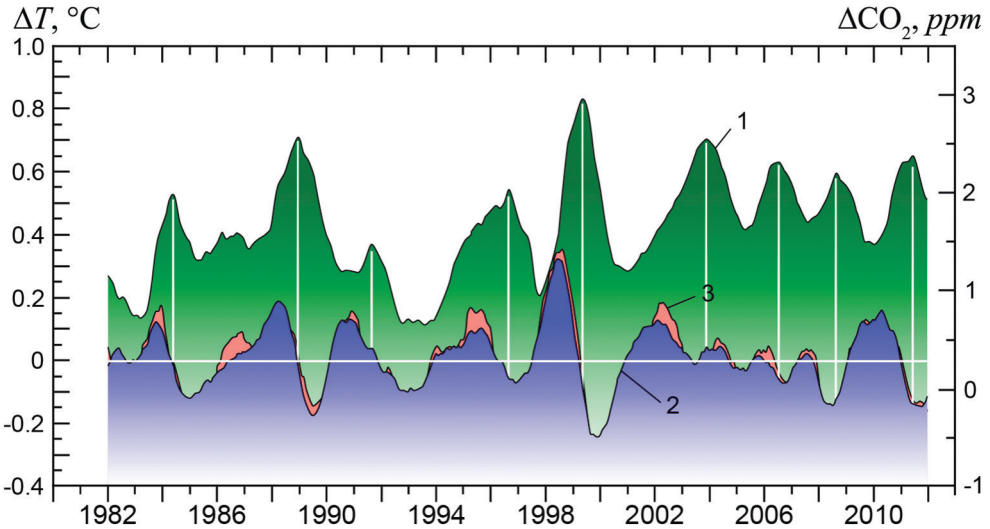


Рис. 5. Изменение глобальной концентрации CO_2 в атмосфере (график 1), глобальной температуры поверхности океана (график 2) и температуры приземного воздуха (график 3). Разницу между средней концентрацией CO_2 за последние 12 месяцев и средним её значением за предыдущие 12 месяцев, так же как и температуры, на графике обозначили как ΔCO_2 и ΔT соответственно.

Fig. 5. Changes in the global atmospheric CO_2 concentration (plot 1), global ocean surface temperature (graph 2) and surface air temperature (graph 3). The difference between the average CO_2 concentration for the last 12 months and its average value for the previous 12 months, as well as that for temperatures, are designated as ΔCO_2 and ΔT , respectively.

Основными источниками поступления углекислого газа в атмосферу являются извержения вулканов и лесные пожары. Мировой океан регулирует его содержание. Он как поглощает CO_2 при его избытке в атмосфере, так и выделяет его с повышением поверхностной температуры океана. Следует отметить важную роль CO_2 в жизнедеятельности биосферы, состоящую прежде всего в поддержании фотосинтеза растений, потребляющих углекислый газ, солнечную энергию, воду и производящих углеводы и кислород. Увеличение концентрации CO_2 в атмосфере ведёт к озеленению Земли и росту продуктивности растений, потребляемых человеком. Сама природа участвует в регулировании CO_2 в атмосфере. Поэтому борьба с CO_2 может привести к падению производства сельхозпродуктов.

Оценим влияние потребляемой человечеством первичной энергии на потепление климата. Мировое потребление первичной энергии в 2015 г., по данным МЭА, составляло $0,634 \cdot 10^{21}$ Дж/год. Эта энергия, переходя в теплоту после её использования, могла бы подогреть всю массу воздуха атмосферы на $0,12^\circ$ в год или растопить ледяной покров толщиной 3 м, занимающий квадратное поле со сторонами 840 км. Мировой океан аккумулирует часть этой энергии, в т. ч. из-за таяния ледников [1], и не позволяет атмосфере быстро нагреваться.

Чтобы оценить влияние этой тепловой энергии (теплового «загрязнения» атмосферы) на состояние атмосферы, сопоставим её с годовым изменением баланса лучистой энергии из-за изменения альбедо Земли. На **рис. 6** представлены результаты исследований изменения отражательной способности Земли, проводимые с 1998 г. астрофизиками из Калифорнийской обсерватории (кружки), и результаты аналогичных исследований по данным спутниковой системы (треугольники) [20].

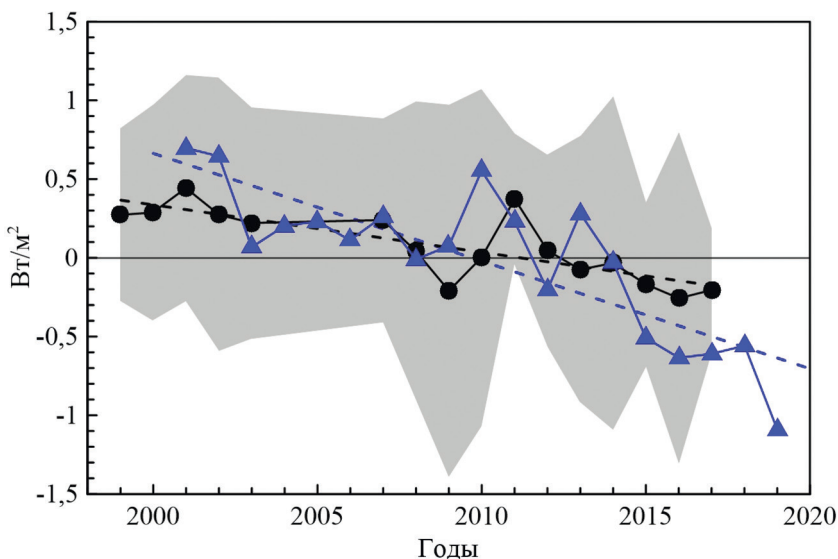


Рис. 6. Среднегодовые аномалии альbedo земного сияния, выраженные как отражённый поток в Вт/м² (погрешность выделена серой областью).

Fig. 6. Average annual anomalies of terrestrial aurora albedo, expressed as reflected flux in W/m² (the error is highlighted in gray).

По данным обсерватории за 20-летний период, из-за снижения альbedo Земли отражённый поток уменьшался в среднем за год на 0,03 Вт/м². Исследователи предполагают, что уменьшение альbedo связано в основном с уменьшением площади морского льда (особенно в Арктике) и льда на суше. Из-за потреблённой в 2015 г. человечеством первичной энергии количество теплоты, выделенной в атмосферу за единицу времени (с) и отнесённой к единице площади земного шара (м²), составило 0,04 Вт/м². Это количество теплоты сопоставимо с годовым приростом лучистой энергии Солнца, поглощённой поверхностью Земли из-за уменьшения альbedo. Суммарный годовой прирост этих двух видов энергии способствует ускорению процесса таяния ледников. Чем больше тает ледников, тем меньше становится альbedo, и процесс таяния ледников ускоряется из-за обратной связи. Всё это приводит к увеличению температуры на Земле.

На основании вышеизложенного следует:

1. Не углеродная энергетика приводит к интенсивному росту концентрации CO₂ в атмосфере, а рост температуры поверхности Мирового океана.
2. Мировое потребление энергии человечеством, приводящее к тепловому «загрязнению» атмосферы, сопоставимо с энергией, поглощаемой Землёй из-за уменьшения альbedo.

Сопоставление влияния различных видов энергетике на потепление климата.

Перед странами, подписавшими Парижское соглашение, поставлена цель достижения углеродной нейтральности к 2050 г. Декарбонизация должна заменить широко используемую углеродную энергетике на безуглеродную, в качестве которой рассматриваются солнечная, ветровая, водородная и другие виды энергетике. Но могут ли они быть достойной альтернативой углеродной энергетике? В работе [19] представлено сравнение по величине теплового «загрязнения» атмосферы водородной, солнечной и ветровой

энергетики с традиционной углеродной. Показано, что они приводят к большему тепловому «загрязнению» атмосферы по сравнению с углеродной энергетикой и имеют ряд других существенных недостатков, не позволяющих считать их «зелёной» энергетикой.

Для реализации, например, *водородной энергетики* необходим водород, который на Земле присутствует в основном в связанном состоянии. Поэтому для его получения необходимо подводить первичную энергию от какого-нибудь источника, чтобы разорвать его химическую связь с другим элементом, например, атомом кислорода в процессе электролиза водных растворов. В работе [19] рассматривается преобразование подводимой (первичной) энергии в электрическую для получения путём электролиза воды «чистого» водорода и дальнейшее его использование для выработки полезной работы. На основании анализа КПД преобразователей, с использованием первого закона термодинамики, находится зависимость между подводимой энергией к блоку преобразователей и полезной внешней работой за единицу времени на выходе из него. Анализируются два варианта создания водородной энергетики. В первом варианте углеводородное топливо поступает в парогазовую установку (ПГУ) с КПД 60 %, вырабатывающую электрический ток для получения «чистого» водорода. В этом случае водородная энергетика будет потреблять в 2,2 раза больше углеводородного топлива, чем потребляла бы одна ПГУ, вырабатывающая такое же количество электроэнергии. При этом тепловое «загрязнение» от водородной энергетики по первому варианту увеличится в ~ 4 раза по сравнению с углеродной. Во втором варианте для получения водорода используется солнечная электростанция на кремниевых панелях с КПД 13 %. В этом случае тепловое «загрязнение» атмосферы от водородной энергетики превысит тепловое «загрязнение» от углеродной энергетики в 24 раза.

Таким образом, переход на водородную энергетику приведёт к значительно большему нагреву атмосферы по сравнению с традиционной углеродной энергетикой. Кроме того, существенными недостатками применения водорода в энергетике являются проблемы, связанные с взрывобезопасностью при его хранении и транспортировке, с водородным охрупчиванием металлов, с его повышенной текучестью, со стоимостью его получения, а также с рядом других технических и экономических факторов [3, 10]. Это позволило автору работы [10] назвать свою статью «Крах водородной мечты?»

Солнечная энергетика использует в большинстве случаев кремниевые панели. Эти панели преобразуют в электричество до 20 % падающей на них солнечной энергии, а остальная часть энергии превращается в теплоту и может разогреть панели до 70 °С. При этом её КПД уменьшается на 0,5 % с каждым градусом нагрева выше 25 °С. Кроме того, накапливаемые на панелях грязь, снег, вода и метеосостояния также уменьшают КПД панелей, как и их старение, ограничивающее срок эксплуатации приблизительно до 20 лет.

Теплота от панелей передаётся атмосфере. В этом случае солнечная электростанция, как и парниковые газы, поглощает часть чистой энергии и разогревает атмосферу. При этом, если парниковые газы поглощают лучистую энергию только в инфракрасном диапазоне длины волн, то кремниевые панели поглощают её и в видимом диапазоне, не давая этому излучению достигнуть земной поверхности и отразиться от неё в космос, что приводит к уменьшению альбедо Земли. Поэтому замена углеродной энергетики, использующей ПГУ, на солнечную энергетикой приведёт к увеличению теплового «загрязнения» атмосферы приблизительно в 10–15 раз, и это без учёта уменьшения альбедо. Недостатком солнечной энергетики является ещё и то, что вырабатываемая ею энергия имеет колебания, зависящие от времени суток, года и погоды. Кроме того, как производство, так и утилизация кремниевых элементов приводят к образованию большого количества высо-

котоксичных соединений, влияющих на экологическую обстановку. В работе [3] показано, что для производства солнечными электростанциями всей потребляемой человечеством первичной энергии потребуется площадь земной поверхности, превышающая 1 млн км². Изъятие такой значительной площади нанесёт ущерб экосистеме.

Из вышеизложенного следует, что солнечные электростанции не являются такими экологически чистыми, чтобы называть их «зелёной» энергетикой. А тепловое «загрязнение» атмосферы от солнечной энергетики больше, чем от углеродной практически на порядок. Кроме того, солнечная энергетика является неэффективной. В мире эффективность различных видов энергоресурсов оценивают по показателю EROEI (Energy Return On Energy Invested) [2, 13], представляющему собой отношение полученной энергии от данного вида энергоресурса к затраченной на всей цепочке его получения. Это, в общем случае, затраты на добычу, производство оборудования, обслуживание в течение всего времени эксплуатации, утилизацию оборудования и др. Этот коэффициент можно назвать энергетической рентабельностью. Для водородной энергетики, согласно работе [13], EROEI < 1, то есть данная энергетика нерентабельна. Она потребляет больше энергии, чем воспроизводит. Для солнечной энергетики, согласно работам [2, 13], коэффициент EROEI находится в диапазоне 1,1–2,5. Для развития человечества этот коэффициент должен быть, согласно работе [13], не меньше 9. Чем меньше коэффициент EROEI используемых энергоресурсов, тем больше надо за год производить потребляемой первичной энергии, чтобы её хватило на воспроизводство используемых энергоресурсов и энергетические потребности человечества. Дополнительно произведённая первичная энергия приведёт к дополнительному тепловому «загрязнению» атмосферы и росту её температуры.

Ветровая энергетика превращает энергию ветра в электрическую энергию с КПД ~ 40 %. Остальные 60 % этой энергии переходят в теплоту в процессе диссипации энергии вихрей, образующихся за лопастями колеса, и нагревают атмосферу. Так как КПД ветряка меньше КПД парогазовой установки, то тепловое «загрязнение» атмосферы от ветровой энергетики будет выше, чем от углеродной. В силу того, что удельная электрическая энергия, вырабатываемая на единицу земной поверхности ветровой энергетикой, сопоставима с солнечной энергетикой, то и площади земной поверхности для расположения ветряков будут сопоставимы с площадью, занимаемой солнечными батареями. Это приведёт к деградации экосистемы на большой поверхности земли под ветряками, генерирующими акустические колебания. Ещё одним существенным недостатком является непредсказуемость энергии ветра. Полный штиль может смениться сильным ураганом. В эти периоды ветряки не работают, и требуется подключение резервного источника электроэнергии. Возникают проблемы и с утилизацией лопастей колеса, изготовленных из неразлагающихся композиционных материалов и требующих регулярной замены. Существуют и другие недостатки, такие как высокая стоимость вырабатываемой ими электроэнергии, негативное влияние на человека, животных, птиц, но самый главный недостаток – неисследованность влияния ветровой энергетики на климат Земли.

Для атмосферы как физической системы применимы взаимосвязанные уравнения энергии, импульса и массы. В случае производства ветряками всей электроэнергии, потребляемой человечеством, будет нарушен импульсный баланс. Это приведёт к изменению потоков ветра в атмосфере и её теплового баланса. А как это повлияет на климат, не изменится ли направление переносимых осадков и их объём, пополнит ли солнечная радиация забранную ветряками энергию ветра? На эти и многие другие вопросы ответа нет.

Ещё академик П.Л. Капица в своей работе [6], рассматривая различные виды энергии, предупреждал о «существовании в природе ограничений для плотности потока энергии». Неучитывание этих ограничений ведёт к затратам на проекты, заведомо бесперспективные. Согласно его работе, использование энергии ветра, так же как и солнца, из-за недостаточной плотности энергетического потока оказывается экономически неоправданным для энергетики больших мощностей.

Из изложенного выше следует, что водородная, солнечная и ветровая энергетика не являются альтернативой углеродной энергетике. Переход на эти виды энергетики приведёт к стагнации мировой экономики и ускорит процесс потепления климата на Земле.

Процессы, влияющие на климат Земли. Углеродная энергетика не является основной причиной потепления климата. Климат на Земле определяется состоянием атмосферы и зависит от многих протекающих процессов. Атмосфера представляет собой воздушную оболочку Земли, вращающуюся с ней вокруг оси. В такой термодинамической системе, ограниченной с одной стороны космосом, а с другой поверхностью планеты, протекают далёкие от равновесия процессы. Термодинамика неравновесных систем, далёких от равновесия, находится в настоящее время на этапе становления. В работах [17, 18, 22] впервые сформулированы общие закономерности эволюции таких неравновесных систем и экспериментально-расчётным путём доказана их применимость для процессов, протекающих как в неживой, так и живой природе. В работе [19] на основании общих закономерностей эволюции приведено обоснование чередования ледниковых и межледниковых периодов жизни Земли, отличающихся состояниями атмосферы и соответствующим им климатом. Показано, что переходы между ледниковыми и межледниковыми периодами демонстрируют гистерезис. Эти переходы протекают через хаотически изменяющиеся состояния при достижении определённого (критического) значения производства 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 произведённой теплоты $\delta Q/T$, поглощённой системой; T – температура (°K); t – время.

Производство энтропии в атмосфере зависит от скорости изменения её теплового баланса. Поэтому как производство энтропии, так и климат на Земле будут зависеть от большого количества факторов, изменяющих тепловой баланс атмосферы. В частности, от изменения потоков энергии, проходящих через верхнюю и нижнюю границы атмосферы, и тепловых потоков, возникающих внутри неё. Поступающее через верхнюю границу солнечное излучение частично отражается самой атмосферой, облаками и поверхностью Земли обратно в космос. Остальное количество расходуется на нагрев атмосферы и поверхности Земли (океана и суши), на образование воздушных и океанических течений, на фотосинтез и другие процессы.

Поверхность Земли аккумулирует тепловую энергию от Солнца и часть её расходует, в зависимости от времени года и суток, на нагрев воздуха и испарение влаги, а другую часть, согласно закону Стефана–Больцмана, превращает в инфракрасное излучение. Часть инфракрасного излучения Земли попадает в космос, а другая часть, поглощаясь парниковыми газами и облаками, нагревает атмосферу и переизлучается обратно к поверхности Земли.

Образовавшиеся воздушные и океанические течения в процессе диссипации превращают свою кинетическую энергию в тепловую, подогревающую атмосферу и океан. Накопленная в процессе фотосинтеза солнечная энергия частично также возвращается

в виде тепловой энергии в атмосферу при разложении органических веществ, полученных при фотосинтезе.

Кроме того, внутри атмосферы тепловые потоки возникают из-за потребления человечеством энергоресурсов, лесных пожаров, извержений вулканов, потоков метеоритов, астероидов и многих других факторов. Например, увеличение количества людей и животных на Земле повышает выброс в атмосферу парниковых газов и тепловых потоков. Сильное влияние на теплообменные потоки с атмосферой оказывает Мировой океан – гигантский аккумулятор тепловой энергии, имеющий в своих глубинах температуру воды от +2 °С до +4 °С. Оценить воздействие каждого из факторов на климат Земли можно на основании сравнения величин производства энтропии в атмосфере от каждого из них.

В квазистационарном состоянии соблюдается баланс между изменением за единицу времени тепловой энергии внутри атмосферы и потоками энергии через её границы. Причём если через нижнюю границу обмен тепловой энергии происходит как путём теплопроводности и конвекции, так и путём инфракрасного излучения, то через верхнюю границу только путём излучения. При излучении тепла передается путём электромагнитных колебаний. При этом часть внутренней энергии вещества преобразуется в лучистую энергию, которая, попадая на другое вещество, вновь преобразуется в тепловую энергию. Природа стремится поддерживать тепловой баланс атмосферы. Например, путём интенсификации конвективного теплообмена с океаном за счёт увеличения количества дождей, ураганов, торнадо, штормов. В квазистационарном состоянии скорость изменения теплового баланса, как и производства энтропии в атмосфере, изменяется незначительно. При поступлении в атмосферу большого теплового потока, при котором производство энтропии достигает критических значений, атмосфера, согласно общим закономерностям эволюции неравновесных термодинамических систем, переходит из одного квазистационарного состояния в другое, отличающееся от первоначального как структурой, так и другими параметрами.

Некоторые геофизики условно выделяют ультракороткие, короткие, длинные и сверхдлинные ледниковые периоды в истории Земли, в течение которых значительно менялся её климат [9]. Ультракороткие циклы продолжительностью от десятков до сотни лет (цикл 1-1' на рис. 7) и короткие в сотни и тысячи лет (цикл 2-2') объясняются ритмами солнечной активности и изменением параметров земной орбиты. Длинные (цикл 3-3' на рис. 7) в десятки миллионов лет и сверхдлинные (цикл 4-4') продолжительностью от 150 до 300 млн лет коррелируются с ритмами сильной вулканической и тектонической активности. На рис. 7 представлен предполагаемый характер изменения производства энтропии в атмосфере от изменения её средней температуры для всех четырёх циклов. Он построен на основании аналогичных зависимостей для конвекции Рэлея–Бенара, реализующейся в тонком горизонтальном слое жидкости с вертикальным градиентом температуры, возникающим из-за поступления теплового потока снизу [17, 18]. Атмосфера также представляет собой тонкий, по сравнению с диаметром Земли, слой газа, обогреваемый тепловыми потоками.

С ростом производства энтропии в атмосфере увеличивается и её температура, приводящая к уменьшению площади ледников на Земле. Ультракороткие циклы реализуются при достижении производством энтропии в атмосфере 1-го критического значения. При этом атмосфера переходит из квазистационарного межледникового состояния, соответствующего кривой 0 на рис. 7, в квазистационарное состояние 1. Переход из состояния с меньшим значением производства энтропии в состояние с

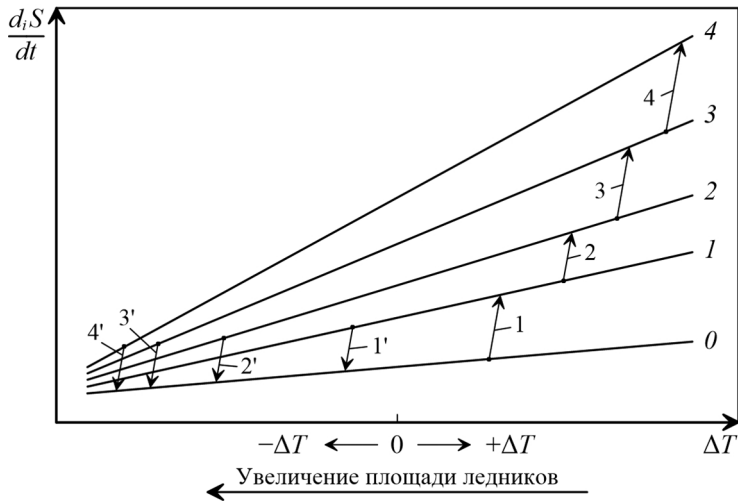


Рис. 7. Предполагаемый характер зависимости производства энтропии от изменения температуры для четырёх возможных циклов потепления и похолодания атмосферы.

Fig. 7. Assumed nature of the dependence of entropy production on temperature changes for four possible cycles of warming and cooling of the atmosphere.

большим значением реализуется через нестационарные состояния. В диапазоне перехода хаотически изменяется структура атмосферы, определяемая конвективными тепломассовыми потоками, концентрацией газов, влажностью, температурой и другими параметрами. Хаотическое изменение состояния атмосферы приводит к хаотическому изменению и климата на Земле.

Если при переходе атмосферы в квазистационарное состояние 1, соответствующее ультракороткому ледниковому периоду, прекратят действовать основные причины, приведшие к переходу, то процессы, протекающие в атмосфере и на Земле, будут стремиться уменьшить производство энтропии, чтобы вернуть термодинамическую систему в первоначальное состояние. Уменьшение производства энтропии в атмосфере возможно за счёт оттока лучистой энергии в космос и теплообмена с океаном – аккумулятором тепла. Однако, в соответствии с основными положениями неравновесной термодинамики, прямой переход термодинамической системы из квазистационарного состояния с меньшим значением производства энтропии в состояние с большим значением и обратный переход возможен только через гистерезис. Поэтому обратный переход должен произойти при температуре атмосферы ниже 1-го критического значения. Обратному переходу соответствует ультракороткий ледниковый период 1-1' жизни Земли (участок графика между стрелкой 1 вверх и стрелкой 1' вниз на рис. 7).

Если при переходе атмосферы в состояние 1 сохранится положительный приток тепловой энергии в атмосферу, то рост производства энтропии и температуры атмосферы продолжится. При достижении производством энтропии 2-го критического значения возможна реализация короткого ледникового периода 2-2' жизни Земли. Следует отметить, что ультракоротких и коротких циклов чередования ледниковых и межледниковых периодов, так же как и причин их образования, может быть значительно больше. Начавшееся в последние годы резкое, хаотическое изменение климата на Земле предвещает начало перехода к одному из таких состояний.

Для реализации длинных и сверхдлинных циклов производство энтропии в атмосфере должно достигнуть больших критических значений. Это может произойти из-за вулканической и тектонической активности, падения астероидов и метеоритов с большой энергией на Землю, из-за взрыва в атмосфере определённого количества ядерных зарядов или из-за одновременного действия всех этих факторов и ряда других. Следует отметить, что при переходе атмосферы в состояние 3 или 4 на рис. 7 промежуточные состояния могут не реализоваться, что не противоречит общим закономерностям эволюции неравновесных термодинамических систем. Это обусловлено тем, что при поступлении в атмосферу большого количества тепловой энергии за относительно небольшой промежуток времени промежуточные состояния не успевают реализоваться, т. к. перекрываются вышестоящим состоянием [18].

При ультракоротких и коротких циклах уменьшение производства энтропии в атмосфере и её температуры может осуществляться за счёт реализации таких состояний атмосферы, при которых увеличивается интенсификация теплообмена с океаном, имеющим более низкую температуру. При реализации длинных и сверхдлинных циклов для уменьшения температуры атмосферы потребуется отводить от неё большое количество тепловой энергии. В этом случае в атмосфере могут образоваться мощные циркуляционные потоки, которые отсепарируют на периферию парниковые газы. Это создаст возможность большому количеству инфракрасного излучения уходить в космос, охлаждая атмосферу и океан. Возможна реализация и других процессов, приводящих к глубокому охлаждению океана. За такие ледниковые периоды океан покрывается льдом, а его температура понижается до значения, близкого к 0 °С. Даже в настоящее время океан сохранил на больших глубинах температуру +2 °С, достигнутую в предыдущий длинный ледниковый период, и это несмотря на большой поток геотермальных вод с температурой 400 °С, поступающих из жерл на морском дне, и многочисленные извержения подводных вулканов.

Заключение. В последнее время катастрофически увеличивается количество аномальных климатических явлений. В разных регионах Земли обновляются температурные рекорды. Всё чаще ливни и потопа сменяются засухой и пожарами. Всё больше возникает циклонов, ураганов и торнадо, энергия которых наносит рекордные разрушения. Во многих регионах в летний период выпадает аномально крупный град, нанося ущерб людям и их имуществу. Всё сложнее метеорологам предсказывать погоду, т. к. она начинает хаотически изменяться. Это напоминает процесс перехода из одного квазистационарного состояния неравновесной термодинамической системы (в данном случае атмосферы) в другое. Согласно основным закономерностям эволюции [18] такие переходы реализуются через нестационарные, хаотически изменяющиеся состояния. Начало хаотического изменения климата вызвано началом изменения состояния атмосферы. Причём процесс перехода атмосферы в другое квазистационарное состояние в настоящее время происходит не из-за изменения солнечной активности. Согласно прямым (с помощью спутников) измерениям солнечной активности среднее её значение оставалось стабильным с 1978 г. [23].

На изменение тепловых потоков атмосферы, а значит и производства энтропии в ней, в настоящее время влияет как увеличение вулканической и сейсмической активности, так и растущее воздействие разных антропогенных факторов, среди которых следует выделить уменьшение альбедо Земли и увеличение поступающей в атмосферу тепловой энергии из-за потребляемой человечеством первичной энергии. Эти два фактора вызывают ускоренное таяние ледников. Сильное влияние на климат оказывают

пожары, количество которых увеличивается с каждым годом. Горят леса по всей планете, а в последние годы уже и города. При этом напрямую вбрасывается большой тепловой поток в атмосферу, разогревая её. Кроме того, выделяемые при сгорании парниковые газы и аэрозольные частицы также влияют на увеличение температуры атмосферы. Влияние этого антропогенного фактора на изменение климата никто не учитывает. Увеличиваются тепловые выбросы в атмосферу и из-за перехода на возобновляемые источники энергии. А кто-нибудь считал, как повлияют на потепление климата выбросы в атмосферу большого количества метана из-за подрыва трубопроводов «Северный поток»? Накопление в атмосфере метана, обладающего намного большей способностью создавать парниковый эффект по сравнению с CO_2 , может привести в дальнейшем к быстрому потеплению климата.

В работе [17] приведено сравнение влияния некоторых антропогенных и природных факторов на рост производства энтропии в атмосфере. Так, например, производство энтропии в атмосфере в 2015 г. из-за потребления человечеством энергоресурсов имело порядок $\approx 10^{10}$ Дж/(с·К). При этом выделенная в течение года тепловая энергия составила $0,634 \cdot 10^{21}$ Дж. А производство энтропии в атмосфере при извержении одного из самых мощных за последние столетия вулкана Тамбора (Индонезия), активная фаза которого длилась 10 дней и, по некоторым оценочным данным, выделилось $\approx 8,5 \cdot 10^{19}$ Дж энергии, увеличилось на $\approx 10^{11}$ Дж/(с·К). Несмотря на то, что тепловой энергии при извержении вулкана выделено на порядок меньше, чем при использовании человечеством энергоресурсов в течение года, производство энтропии в атмосфере из-за извержения вулкана больше, чем из-за использования энергоресурсов в силу короткого времени извержения. Большой рост производства энтропии происходит при взрыве ядерного заряда, т. к. большое количество тепловой энергии выделяется в атмосферу за очень короткий срок. Например, при взрыве в течение одной секунды ядерных зарядов общей массой 100 мегатонн в тротиловом эквиваленте производство энтропии увеличится на $\approx 10^{15}$ Дж/(с·К).

В настоящее время не подсчитать количество энергии, выделяемой в атмосферу при взрывах боевых частей ракет, снарядов, мин, гранат в процессе проводимых военных действий. А что будет, если начнётся война с применением ядерных зарядов? Хочется пожелать политикам всех стран одуматься. Человечеству грозит большая опасность!

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. Т. 1. С. 11–26.
2. Арутюнов В.С., Лисичкин Г.В. Энергетические ресурсы XXI столетия: проблемы и прогнозы. Могут ли возобновляемые источники энергии заменить ископаемое топливо? // Успехи химии. 2017. Т. 86, № 8. С. 777–804.
3. Арутюнов В.С. О прогнозах глобального энергоперехода // ЭКО. 2022, № 7. С. 51–66. DOI: 10.30680/ЕСО0131-7652-2022-7-51-66.
4. Дергачёв В.А. Солнечная активность, космические лучи и реконструкции температуры Земли за последние два тысячелетия. Ч. 2. Анализ связи изменений глобальных температур с естественными процессами // Геомагнетизм и аэрономия. 2015. Т. 55, № 2, С. 147–160.
5. Завалеев И.С., Курциянова М.Н. Выбросы парниковых газов и их взаимосвязь с выработкой энергии // СОК. 2019. № 9. С. 82–89.
6. Капица П.Л. Энергия и физика // УФН, 1976. Т. 118, № 2. С. 307–314.
7. Кириллин В.А., Сычёв В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. М.: Энергоатмиздат, 1983. 416 с.
8. Клименко В.В., Клименко А.В., Микушина А.Г., Терёшин А.Г. Избежать потепления на 2°C – миссия невыполнима // Теплоэнергетика. 2016. № 9. С. 3–8.

9. Кокин А.В., Кокин А.А. Современные экологические мифы и утопии. СПб, 2008. 251 с.
10. Комаров С.М. Крах водородной мечты? // *Химия и жизнь*, 2023. № 6. С. 2–7.
11. Коротный Л.М., Веселова В.Н. Мифы и рифы климатической повестки // *ЭКО*, 2022. № 7. С. 8–30. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2022-7-8-30.
12. Малинин В.Н., Вайновский П.А. Тренды компонент влагообмена в системе «океан – атмосфера» в условиях глобального потепления по данным архива Reanalysis-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 3. С. 9–25.
13. Смуров А.В., Шаповалов А.Б. Энергия и биосфера В.И. Вернадского // *Жизнь Земли*. 2023. Т. 45, № 1. С. 4–14. DOI 10.29003/m3145.0514-7468.2023_45_1/4-14.
14. Снакин В.В. Глобальные изменения климата: прогнозы и реальность // *Жизнь Земли*. 2019. Т. 41, № 2. С. 148–164.
15. Снакин В.В. Динамика глобальных природных процессов и учение о биосфере В.И. Вернадского // *Жизнь Земли*. 2023. Т. 45, № 1. С. 27–38. DOI: 10.29003/m3147.0514-7468.2023_45_1/27-38.
16. Фёдоров В.М., Голубев В.Н., Фролов Д.М. Многолетняя изменчивость инсоляции Земли и содержания двуокси углерода в атмосфере // *Жизнь Земли*. 2018. Т. 40, № 1. С. 12–21.
17. Цегельский В.Г. О применении неравновесной термодинамики в решении гидродинамических задач и в определении воздействия жизнедеятельности человека на климат Земли // *J. of Advanced Research in Technical Science*, North Charleston, USA. 2017. № 6. Pp. 23–47.
18. Цегельский В.Г. Эволюция далёких от равновесия термодинамических систем в примерах. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 164 с.
19. Цегельский В.Г. Сопоставление воздействий углеродной и "зелёной" энергетики на климат Земли с позиций неравновесной термодинамики // *J. of Advanced Research in Natural Science*. Seattle, USA. 2023. № 18. С. 18-41. DOI:10.26160/2572-4347-2023-18-18-41.
20. 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. P. 1–8. DOI:10.1029/2021GL094888.
21. Humlum, O., Solheim, J.-E., Stordahl K. The Phase Relation between Atmospheric Carbon Dioxide and Global Temperature // *Global and Planetary Change*. 2013. V. 100. P. 51–69. DOI:10.1016/j.gloplacha.
22. 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 // *J. of Advanced Research in Technical Science*, North Charleston, USA. 2018. № 9–1. P. 5–20.
23. Understanding and responding to climate change: Highlights of National Academies Reports (PDF). 2008. 24 p.

REFERENCES

1. Alexeyev, G.V., "Development and amplification of global warming in the Arctic", *Fundamental and Applied Climatology* **1**, 11–26 (2015) (in Russian).
2. Arutyunov, V.S., "Energy resources of the 21st century: problems and forecasts. Can renewable energy sources replace fossil fuels?", *Russ. Chem. Rev.* **86** (8), 777–804 (2017).
3. Arutyunov, V.S., "On Forecasts of the Global Energy Transition", *ECO* **7**, 51–66 (2022). DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2022-7-51-66 (in Russian).
4. Dergachev, V.A., "Solar activity, cosmic rays and Earth's temperature reconstructions over the last two millennia. Part 2. Analysis of the relationship of global temperature changes with natural processes", *Geomagnetism and Aeronomy* **55** (2), 147–160 (2015) (in Russian).
5. Zavaleyev, I.S., Kupriyanova, M.N., "Greenhouse gas emissions and their relationship with energy production", *SOC* **9**, 82–89 (2019) (in Russian).
6. Kapitsa, P.L., "Energy and Physics", *UFN* **118** (2), 307–314 (1976) (in Russian).
7. Kirillin, V.A., Sychev, V.V., Sheindlin, A.E., *Technical thermodynamics* (Moscow: Energoatomizdat, 1983) (in Russian).
8. Klimenko, V.V., Klimenko, A.V., Mikushina, A.G., Tereshin, A.G., "Avoiding warming by 2 °C is an impossible mission", *Теплоэнергетика* **9**, 3–8 (2016) (in Russian).
9. Kokin, A.V., Kokin, A.A., *Modern ecological myths and utopias* (St. Petersburg, 2008) (in Russian).
10. Komarov, S.M., "The hydrogen dream collapsed?", *Chemistry and Life* **6**, 2–7 (in Russian).
11. Korytnyi, L.M., Veselova, V.N., "Myths and reefs of the climatic agenda", *ECO* **7**, 8–30 (2022). DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2022-7-8-30 (in Russian).

12. Malinin, V.N., Vainovsky, P.A., “Trends in moisture exchange components in the ocean-atmosphere system under global warming according to the Reanalysis-2 archive”, *Modern problems of remote sensing of the Earth from space* **18** (3), 9–25 (2021) (in Russian).
13. Smurov, A.V., Shapovalov, A.B., “Energy and biosphere of V.I. Vernadsky”, *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] **45** (1), 4–14 (2023). DOI 10.29003/m3145.0514-7468.2023_45_1/4-14 (in Russian).
14. Snakin, V.V., “Global climate changes: forecasts and reality”, *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] **41** (2), 148–164 (2019) (in Russian).
15. Snakin, V.V., “Dynamics of global natural processes and V.I. Vernadsky’s teaching of the Biosphere”, *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] **45** (1), 27–38 (2023). DOI: 10.29003/m3147.0514-7468.2023_45_1/27-38 (in Russian).
16. Fedorov, V.M., Golubev, V.N., Frolov, D.M., “Multiyear variability of Earth’s insolation and carbon dioxide content in the atmosphere”, *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] **40** (1), 12–21 (2018) (in Russian).
17. Tsegelsky, V.G., “On application of non-equilibrium thermodynamics for solving of hydrodynamic problems and definition of human activity influence on Earth climate”, *J. of Advanced Research in Technical Science, North Charleston, USA* **6**, 23–47 (2017) (in Russian).
18. Tsegelsky, V.G., *Evolution of Thermodynamic Systems being Far from Equilibrium* (Moscow: Publishing House at N.E. Bauman Moscow State Technical University, 2021) (in Russian)
19. Tsegelskiy, V.G., “Comparison of the impacts of carbon and «green» energy on the Earth’s climate from the perspective of non-equilibrium thermodynamics”, *J. of Advanced Research in Natural Science, Sydney, Australia* **18**, 18–41 (2023). DOI:10.26160/2572-4347-2023-18-18-41 (in Russian).
20. Goode, P.R., Pmko, A., Shoumko, S., Montañes-Rodriguez, & S.E. Koonin, “Earth’s Albedo 1998–2017 as Measured From. Earthshine”, *Geophysical Research Letters*, **1–8** (2021). DOI:10.1029/2021GL094888.
21. Humlum, O., Solheim, J.-E., Stordahl, K., “The Phase Relation between Atmospheric Carbon Dioxide and Global Temperature”, *Global and Planetary Change* **100**, 51–69 (2013). DOI:10.1016/j.gloplacha.
22. 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”, *J. of Advanced Research in Technical Science, North Charleston, USA* **9–1**, 5–20 (2018).
23. *Understanding and responding to climate change: Highlights of National Academies Reports* (PDF) (2008). 24 p.