

Чрезвычайные ситуации, экологическая оценка их последствий

УДК 551.52

DOI: 10.52190/2073-2589_2024_2_58

EDN: EJYNWU

Расчетное подтверждение недостижимости климатических целей Парижского соглашения

В. В. ТЕТЕЛЬМИН, д-р техн. наук

Институт экологии Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы,
Москва, Россия

Общественный совет при Минэнерго РФ, Москва, Россия

Приведены графики изменения основных показателей глобального потепления, согласованный рост которых свидетельствует об антропогенном происхождении изменения климата. Показано, что намеченная Парижским соглашением цель быстрого сокращения к 2050 г. выбросов CO₂ за счет снижения использования угля и нефти не может быть реализована по причине невозможности обеспечения баланса между выпадающим производством "топливной энергии" и вводом в эксплуатацию замещающих мощностей ВИЭ и АЭС. Приводятся расчетные графики большой продолжительности достижения предельной температуры глобального потепления для трех гипотетических сценариев достижения углеродной нейтральности.

Ключевые слова: Парижское соглашение, парниковые газы, ископаемое топливо, глобальное потепление, углеродная нейтральность, декарбонизация.

В Климатической Доктрине РФ (КД), утвержденной Указом Президента В. В. Путина в октябре 2023 г., отмечается (п. 7), что изменение климата — один из самых серьезных вызовов XXI в., представляющий собой комплексную проблему, охватывающую все аспекты устойчивого развития России и человеческой цивилизации. В настоящее время взаимосвязанные вопросы климатической и энергетической безопасности человечества являются наиболее обсуждаемыми, потому что жизнь на Земле, как антиэнтропийный процесс, существует за счёт "захвата" энергии из окружающей среды. В XX в. человечество по мере развития технологий в 10 раз увеличило энергопотребление, в 100 раз — скорость передвижения и в 1000 раз — мощность оружия. Пропорционально росту энергопотребления увеличивалась численность населения Земли, в результате челове-

чество подошло к использованию энергии в быту, промышленности и на транспорте в объеме более $170 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год. Эффективная энергетическая мощность современной цивилизации превысила 20 млрд кВт, в среднем один житель планеты потребляет энергию в количестве около 2 т/год нефтяного эквивалента.

Человек в погоне за производством все большего количества энергии опасно нагревает все земное пространство. В мире работают более 85000 угольных ТЭС. Тысячи дымовых труб и выхлопы миллиарда автомобилей расшатывают климатическую систему (КС) Земли. Гипертрофированная зависимость мировой энергетики от ископаемого топлива привела к кумулятивному выбросу в атмосферу более 2 трлн т основного парникового газа (ПГ) CO₂, из которых около половины усваивается мировой растительностью и Мировым океаном, а вторая половина аккумулируется атмосферой.

В структуре мировой энергетики около 82 % ($138 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год) приходится на ископаемое топливо, от сжигания которого в атмосферу выбрасывается более 35 млрд т/год основного парникового газа

Тетельмин Владимир Владимирович, главный специалист, член Общественного совета при Минэнерго РФ.
E-mail: v-tetelmin@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 5 февраля 2024 г.

© Тетельмин В. В., 2024

CO₂. Современные годовые выбросы двух других ПГ — метана и закиси азота следующие: CH₄ — 332 млн т.; N₂O — 8,2 млн т [1]. В дальнейшем изложении содержание ПГ в атмосфере приводится в объемных единицах (млн⁻¹), эквивалентных потенциалу глобального потепления диоксида углерода GWP на горизонте 100 лет (ppm-eq).

Земной климат формируется под влиянием солнечной активности, орбитальных циклов и взаимодействий между составляющими КС Земли. С эпохи неолита (около 9 тыс. лет до н. э.) до начала Промышленной революции средняя температура земной поверхности изменялась незначительно: ±0,5 °С. В начале XX в. и особенно после 1970 г., когда человечество увеличило производство энергии с широким использованием ископаемого топлива, началось активная фаза накопления тепловой энергии планетой Земля, сопутствующего роста средней глобальной температуры атмосферы и частоты природных стихийных бедствий. Главным аккумулятором парниковой тепловой энергии является Мировой океан — около 91 %, на сушу приходится около 5 %, на льды — около 3 %; на атмосферу — около 1,0 % накопленной тепловой энергии [2].

В Климатической Доктрине РФ (п. 4) говорится об усиливающемся влиянии хозяйственной деятельности человека на изменение климата. О справедливости этого утверждения свидетельствует рис. 1, на котором приведены три совмещенных графика роста основных климатических переменных. Согласованный рост концентрации антропогенных выбросов ПГ в атмосфере и основных показателей глобального потепления — аккумулированного КС Земли тепла и глобальной температуры — свидетельствуют об антропогенном происхождении наблюдаемого изменения климата. Внутренние естественные факторы искажают монотонность роста глобальной температуры, но в масштабе десятилетий температура растет. Следствием выбросов ПГ и формируемого ими парникового эффекта явилось накопление к 2020 г. в КС Земли тепловой энергии в количестве около 180·10¹⁵ кВт·ч [3].

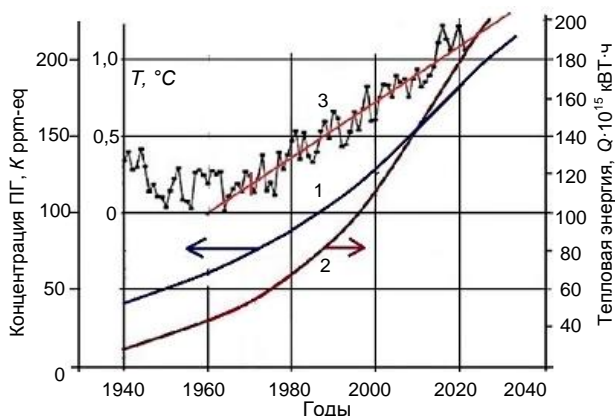


Рис. 1. Графики согласованного роста основных показателей глобального потепления:

- 1 — рост концентрации антропогенных выбросов ПГ в атмосфере;
- 2 — рост накопленной тепловой энергии в КС Земли;
- 3 — рост средней приземной температуры атмосферы

Задача современной энергетики заключается в переводе производства топливной энергии на произ-

водство возобновляемой энергии. Для решения этой задачи с использованием энергии солнца, ветра и биомассы требуются огромные свободные территории, которыми человечество не располагает. Площадь мировых земельных ресурсов ограничена и составляет 130 млн км², из которых под мировой пашней занято 10 %; под сенокосами и пастбищами — 25 %; площадь лесов — 30 %. Развиваются технологии переработки биомассы в биотопливо, которое заменяет нефть в транспортном секторе, однако биомасса является для человеческой цивилизации основным источником "энергии жизни". Сокращать площадь лесов и сельскохозяйственных угодий нельзя из соображений экологической и продовольственной безопасности цивилизации [4]. Понимая это, человечество стремится использовать для размещения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) пустыни, неудобья и акваторию шельфа, а использование пашни под энергетические культуры ограничил площадью около 30 млн га.

В Климатической Доктрине отмечается (п. 17), что принятие Парижского соглашения (ПС) к Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК) стало большим шагом по смягчению негативных последствий изменения климата. Здесь же справедливо отмечается, что первая намеченная ПС цель по удержанию роста средней глобальной температуры ниже 2 °С по сравнению с доиндустриальным периодом не достижима.

Парижское соглашение ставит перед мировым обществом ещё одну цель — достижение к 2050 г. углеродной нейтральности. Рекомендации 28-й Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP-28) конкретизируют эти цели и предлагают: ускоренно внедрять энергогенерацию с низким уровнем выбросов, газовую и ядерную генерацию, улавливание и утилизацию углерода, а также сокращать выбросы метана и активизировать усилия по отказу от угольной энергетики с достижением к 2050 г. углеродной нейтральности. Рассмотрим почему эта цель ПС также практически не достижима.

Климатическое будущее Земли в значительной степени зависит от темпов эмиссии антропогенных ПГ и темпов их накопления в атмосфере. К 2020 г. их объемная концентрация в атмосфере увеличилась до 182 ppm-eq (табл. 1).

Таблица 1

Рост выбросов и накопленной в атмосфере объемной концентрации антропогенных парниковых газов

Период, годы	CO ₂ , ppm	CH ₄ , ppm-eq	N ₂ O, ppm-eq	Суммарное значение, ppm-eq
1990—2000	14,28	1,75	1,86	17,89
2000—2010	20,0	0,7	2,07	22,77
2010—2020	24,75	1,96	2,6	29,54
1850—2020	132	33	17	182

В Шестом Оценочном Докладе МГЭИК [2] в целях смягчения последствий изменения климата рекомендуется снизить к 2050 г. выбросы ПГ не менее чем на 50 %, чтобы к тому времени в атмосфере дополнительно накопилось не более 400 млрд т CO₂. Во всех упомянутых документах декарбонизация рассматривается как самоцель, которую нужно достичь любой

ценой в отрыве от производства энергии и необходимости обеспечения энергетической безопасности населения Земли.

В обозримом будущем человечеству не удастся снизить ежегодные выбросы метана в сферах добычи ископаемого топлива, землепользования, животноводства и ЖКХ. Более того в условиях глобального потепления и прогрессирующей деградации вечной мерзлоты тундры и донных грунтов арктического шельфа к этой цифре будет добавляться высвобождаемый захороненный в виде газогидратов метан [5]. Агропромышленный комплекс не входит в число отраслей, которым назначаются показатели сокращения выбросов ПГ. При современном рационе питания не удастся снизить выбросы закиси азота, основным источником которого является производство сельскохозяйственной продукции, требующее применения 190 млн т/год азотных удобрений. Можно предположить, что до конца XXI в. суммарные выбросы CH_4 и N_2O будут держаться на уровне не ниже 0,4 ppm-eq/год (табл. 1). Следовательно, декарбонизацию мировой экономики придется осуществлять в основном за счет снижения выбросов CO_2 от использования угля и нефти.

Человечество до конца XXI в. не предполагает сокращать производство и использование энергии ниже уровня $170 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год, из которых на долю угля приходится 28 %, на долю нефти — 31 %, на долю газа — 23 % (табл. 2). По видам топлива на первом месте по выбросам CO_2 находится уголь, затем нефтепродукты и природный газ. На рис. 2 приведены два варианта снижения к 2050 г. и к 2100 г. выбросов CO_2 за счет сокращения использования угля и нефти. В обоих вариантах с учетом рекомендации Саммита-28 РККК использование природного газа, как наиболее экологичного топлива, и накопление выбросов CO_2 от его сжигания с интенсивностью 0,55 ppm-eq/год остаются на современном уровне.

Темпы быстрого и глубокого снижения выбросов ПГ должны подтверждаться возможностью замещения выводимой из эксплуатации тепловой генерации альтернативными источниками энергии. Первый интенсивный сценарий позволит обеспечить к 2050 г. снижение выбросов CO_2 на 50 % за счет сокращения использования угля на 9,7 Гт/год (график 1–1) и за счет нефти на 7,5 Гт/год (график 2–2). При таком сценарии сокращения выбросов и соответствующем снижении использования угля и нефти мировое производство энергии к 2050 г. снизится на $63 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год (на 38 %). При подобном интенсивном сценарии человечество не успеет заместить к 2050 г. выпадающее производство энергии, потому что не успеет ввести в эксплуатацию необходимые для этого мощности возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Расчеты показывают, что при этом рекомендуемом Саммитом COP-28 "быстром и глубоким" снижении выбросов CO_2 введенные к 2050 г. дополнительные мировые мощности ВИЭ и АЭС не смогут заместить около $18 \cdot 10^{12}$ кВт·ч (11 %) выпадающего производства топливной энергии.

Как видим, заявляемая Парижским соглашением цель быстрого (на 50 %) сокращения к 2050 г. выбросов не может быть реализована с точки зрения обеспечения баланса между снижением производства топливной энергии и вводом в эксплуатацию необходимых замещающих мощностей ВИЭ и АЭС. Снижение выбросов ПГ не должно осуществляться любой ценой, не должно привести к резкому снижению производства энергии, обвалу мировой экономики и ухудшению качества жизни населения. Согласится ли человечество ради создания более комфортных условий жизни будущим поколениям пойти на снижение производства энергии ради двойного сокращения выбросов? Скорее всего перспектива дефицита 11 % энергии современную цивилизацию не устроит, и она пойдет на более медленное снижение выбросов.

Таблица 2

Тепловые и производственные показатели использования ископаемого топлива в 2020 г.

Топливо	Эмиссия, т CO_2 /т	Теплосодержание, $\times 10^3$ кВт·ч/т	Коэффициент эмиссии, кг CO_2 / (кВт·ч)	Выбросы CO_2 , Гт/г.	Производство энергии, $\times 10^{12}$ кВт·ч/г.
Уголь	3,66	5,83	0,353	15,1	47,6 (28 %)
Нефть	3,00	12,5	0,280	12,1	52,7 (31 %)
Газ	2,73	13,9	0,199	7,9	39,1 (23 %)

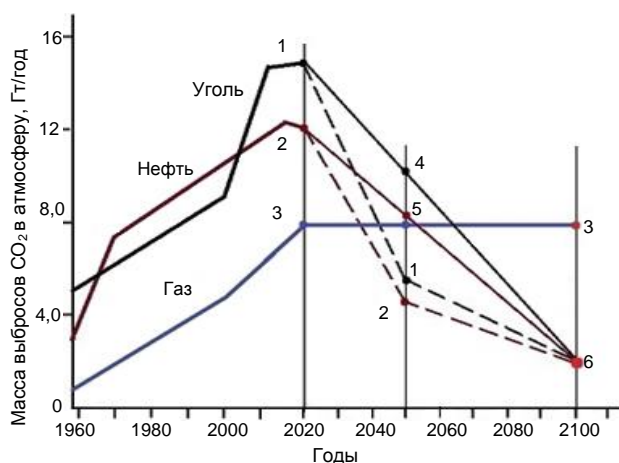


Рис. 2. Графики реального до 2020 г. роста выбросов CO_2 от сжигания угля, нефти и газа и графики двух сценариев снижения выбросов за счет сокращения сжигания угля и нефти:

графики 1-1 и 2-2 отвечают цели снижения выбросов на 50 % к 2050 г.; графики 1-4-6 и 2-5-6 отвечают цели снижения выбросов на 25 % к 2050 г. и на 65 % к 2100 г.; график 3-3 отвечает условию использования природного газа в энергетических целях на постоянном уровне

Приемлемым вариантом в борьбе с глобальным потеплением является более медленное снижение к 2050 г. на 25 % и в последующем к 2100 г. — на 63 % угольных и нефтяных выбросов в соответствии с траекториями 1-4-6 и 2-5-6 (рис. 2), в результате чего суммарные выбросы от сжигания этих видов ископаемого топлива снизятся к 2100 г. с 27,2 Гт/год до 4 Гт/год (табл. 3). При медленном сценарии выпадающее глобальное производство энергии к 2050 г. составит примерно $32 \cdot 10^{12}$ кВт·ч, которое сумеют заместить новые дополнительно введенные в эксплуатацию мощности ВИЭ и АЭС.

При интенсивном сценарии декарбонизации с учетом неснижающегося использования природного газа и неснижающихся выбросов метана и закиси азота интенсивность накопления антропогенных ПГ в атмосфере составит 1,64 ppm-eq/год, и к 2050 г. их концентрация в атмосфере достигнет 250 ppm-eq (график 2–3, рис. 3). При медленном темпе борьбы с потеплением общие выбросы ПГ будут накапливаться в атмосфере с интенсивностью 1,2 ppm-eq/г., и к концу XXI в. их концентрация в атмосфере увеличится до 347 ppm-eq (график 2–4 рис. 3).

В случае реализации быстрого сценария борьбы с глобальным потеплением остающиеся кумулятивные выбросы ПГ в 2050 г. составят 38 Гт/год в CO_2 -экв., а в случае медленного сценария 46 Гт/год в 2050 г. и 32 Гт/г. в 2100 г. (рис. 2). При таких больших объемах остающихся в атмосфере выбросов ПГ намеченная Парижским соглашением цель по обеспечению углеродной нейтральности в XXI в. практически недостижима. Не существует приемлемых технологий, позволяющих ежегодно нейтрализовать десятки миллиардов тонн выбросов диоксида углерода.

Богатые нефтью страны Ближнего Востока убеждают мировое сообщество в том, что углеродная

нейтральность может быть достигнута и без полного отказа от ископаемого топлива. При этом они возлагают надежды на использование улавливания и захоронения диоксида углерода, экономическая и экологическая эффективность которого остается недоказанной. Существующие технологии улавливания CO_2 являются чрезвычайно энергоемкими, поэтому все опытные проекты по улавливанию этого газа, осуществленные во многих странах на угольных электростанциях, себя не оправдали и закрываются. Проблема углеродной нейтральности может быть частично решена в случае, если в будущем человечеству удастся поставить на службу энергию термоядерного синтеза.

России с её долей участия в глобальных выбросах 4 % можно, например, следовать медленному сценарию борьбы с глобальным потеплением, снижая ежегодно использование угля на 1,75 млн т/год, а нефти на 1,65 млн т/год. В таком случае снижение выбросов CO_2 в России составит 11,5 млн т/год, а выпадающее производство энергии составит 31,5 млрд кВт·ч/год. Такое количество выпадающего производства энергии способны в равных долях заместить, ежегодно вводимые в эксплуатацию следующие генерирующие мощности: 5 ГВт СЭС; 3 ГВт ВЭС; 1,9 ГВт ГЭС; 0,9 ГВт АЭС. При таком темпе одновременного ввода в эксплуатацию каждый из этих четырех видов генерации будет производить по 7,5 млрд кВт·ч/год энергии. Оставшиеся незамещенными 1,5 млрд кВт·ч/год можно производить с использованием биомассы, для чего понадобится вводить 0,2 ГВт/год мощности биоэнергетики. Вопрос заключается в том, способна ли Россия на протяжении многих лет ежегодно завершать строительство и ритмично запускать в эксплуатацию названные мощности ВИЭ и АЭС.

Таблица 3

Параметры наиболее приемлемого сценария сокращения глобальных выбросов CO_2 в период 2020—2100 гг. и соответствующего темпа сокращения использования ископаемого топлива

Вид топлива	Выбросы в 2020 г., Гт/год	Выбросы в 2100 г., Гт/год	Сокращение выбросов, Мт/год	Сокращение сжигания топлива, Мт/год	Сокращение выработки энергии, ТВт·ч/год
Уголь	15,1	2,0	163	44,6	260
Нефть	12,1	2,0	126	42	525
Газ	7,9	7,9	0	0	0

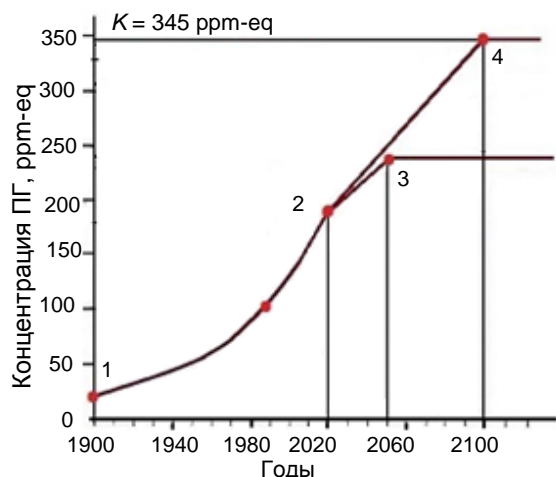


Рис. 3. Графики роста концентрации ПГ в атмосфере:

1-2 — реальный рост до 2020 г.; 2-3 — при двойном снижении выбросов CO_2 с 35 Гт/год в 2020 г. до 17 Гт/год в 2050 г.; 2-4 — при более медленном снижении выбросов CO_2 с 35 Гт/год в 2020 г. до 4 Гт/год в 2100 г. с интенсивностью 290 Мт/год

Каждому значению концентрации ПГ в атмосфере соответствует своя предельная температура глобального потепления T_{pp} , соответствующая радиационно-равновесному состоянию системы "Земля–Космос" [6]. При современных параметрах орбиты Земли, когда планета находится в комфортном для жизни состоянии межледникового периода, зависимость радиационно-равновесной температуры атмосферы T_{pp} от концентрации антропогенных ПГ определяется следующей известной функцией [7]:

$$T_{pp} = (20,9 \cdot 10^{-3} \cdot K - 12,3 \cdot 10^{-6} \cdot K^2) \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где K (ppm-eq) — объемное содержание в атмосфере антропогенных ПГ.

Из (1) следует, что при $K = 850$ ppm-eq наступит "парниковое насыщение" КС Земли, при котором температура глобального потепления достигнет максимального значения $T_{pp} = 8,9$ °C, после чего атмосфера перестанет откликаться повышением температуры на дальнейшие выбросы ПГ.

Из (1) также следует, что ожидаемую температуру глобального потепления +2 °C, названную в Парижском соглашении одной из главных целей климатического регулирования, можно было бы удержать в долговременном плане при условии, если бы человечество обеспечило углеродную нейтральность намного раньше — в 1990 г., когда концентрация антропогенных ПГ в атмосфере составляла около 100 ppm-eq (рис. 3). В современных условиях, когда концентрация антропогенных ПГ в атмосфере намного превысила эту цифру, поздно намечать цель по удержанию температуры глобального потепления в пределах +2 °C. Накопленные в атмосфере антропогенные ПГ разогнали глобальное потепление и обеспечили настолько мощный парниковый эффект, что потенциал глобального потепления давно перешагнул намечаемые Парижским соглашением температурные пределы +1,5 °C и +2 °C.

Последствия сокращения выбросов ПГ можно будет увидеть только через много лет из-за инертности климатической системы Земли. На рис. 4 приводятся расчетные графики продолжительности достижения предельной температуры глобального потепления T_{pp} для трех гипотетических сценариев достижения углеродной нейтральности, отмеченных точками на графиках рис. 3. Результаты получены с использованием алгоритма расчета глобального потепления, полученного на основании натуральных данных с использованием в качестве независимой переменной концентрации ПГ в атмосфере [3]. Например, если бы современное человечество в 2020 г. при концентрации ПГ в атмосфере $K = 182$ ppm-eq чудесным образом добилось бы углеродной нейтральности хозяйственной деятельности, то после этого глобальное потепление на Земле продолжалось бы примерно 170 лет до достижения радиационно-равновесной температуры 3,4 °C (кривая 1–1 рис. 4).

Если человечеству после реализации сценария быстрого снижения выбросов CO_2 (рис. 2) удастся добиться в 2050 г. углеродной нейтральности при $K = 250$ ppm-eq, то после этого глобальное потепление будет продолжаться ещё 190 лет до достижения радиационно-равновесной температуры $T_{pp} = 4,4$ °C

(кривая 2–2 рис. 4). Если будущему человечеству после реализации сценария медленного снижения выбросов (рис. 2) удастся к 2100 г. обеспечить углеродную нейтральность при накопленной концентрации ПГ в атмосфере $K = 347$ ppm-eq, то после этого глобальное потепление будет продолжаться до 2300 г. до достижения радиационно-равновесной температуры 5,7 °C (кривая 3–3 рис. 4).

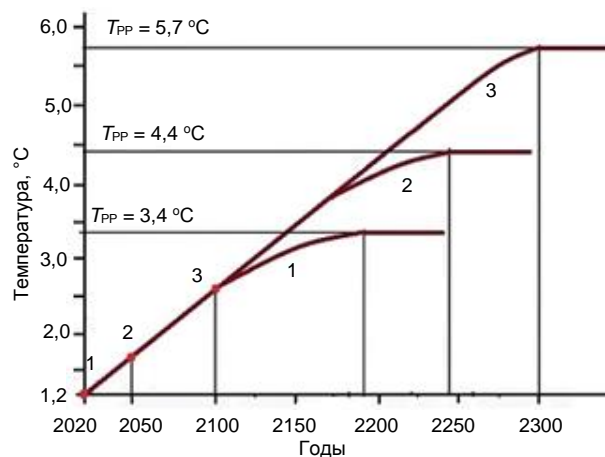


Рис. 4. Графики продолжительности роста температуры глобального потепления до достижения климатической системы Земли состояния радиационного равновесия для трех гипотетических сценариев обеспечения углеродной нейтральности:

1–1 — углеродная нейтральность обеспечена в 2020 г. при $K = 182$ ppm-eq; 2–2 — обеспечена в 2050 г. при $K = 245$ ppm-eq; 3–3 — обеспечена при $K = 347$ ppm-eq

При накопленном большом содержании в атмосфере выбросов антропогенных ПГ запущенное человеком глобальное потепление, идущее со скоростью 0,175 °C/10 лет, остановить не удастся в течение ближайших 100 лет, а намеченная Парижским соглашением и поддержанная Саммитом-28 РКИК ограничительная температурная отметка +2 °C будет преодолена процессом потепления в 2070 г.

Таким образом, рассмотренные две основные цели Парижского соглашения: удержать к 2050 г. глобальное потепление в пределах +2 °C и обеспечить углеродную нейтральность мировой экономики — являются нереальными и недостижимыми. В сложившейся ситуации первоочередным способом борьбы за комфортное существование человечества на нагревающейся планете должны стать меры по адаптации жизненного пространства современной цивилизации и биосферы к глобальному изменению климата [8]. Именно такие необходимые действия предусматривает Климатическая Доктрина РФ (п. 22), чтобы минимизировать катастрофические последствия глобального изменения климата на территории России.

Выводы

Развитие климатических событий, технические возможности цивилизации и расчетные данные свидетельствуют о недостижимости намеченных долгосрочных целей Парижского соглашения и Саммита-28 в Дубае по обеспечению к 2050 г. углеродной

нейтральности мировой экономики и по ограничению глобального потепления температурой +2 °С.

Чрезвычайно высокая энергоёмкость улавливания и экологическая опасность захоронения CO₂ в Мировом океане и геологических горизонтах не позволяют в обозримом будущем достичь углеродной нейтральности хозяйственной деятельности при самых быстрых темпах снижения выбросов парниковых газов.

При современных технологиях и мировой потребности в энергии и продовольствии самые срочные действия по декарбонизации не помогут в течение ближайших 100 лет остановить запущенный человеком рост глобальной температуры с темпом 0,175 °С/10 лет, а также не помешают преодолеть в 2070 г. намеченную Парижским соглашением ограничительную температурную отметку +2 °С.

В случае гипотетической реализации рекомендуемого Парижским соглашением сокращения к 2050 г. выбросов CO₂ на 50 % и обеспечения углеродной нейтральности глобальное потепление будет продолжаться до 2240 г. до достижения атмосферой радиационно-равновесной температуры 4,4 °С.

При назначении целей по снижению глобальных антропогенных выбросов, а также по снижению выбросов отдельными странами, в первую очередь, следует исходить из реальных возможностей по вводу в эксплуатацию замещающих энергетических мощностей ВИЭ и АЭС, а также из условий обеспечения энергетической и продовольственной безопасности населения.

Первоочередным способом борьбы за комфортное существование человечества на нагревающейся

планете должны стать меры по адаптации жизненного пространства цивилизации к глобальному изменению климата. Особенно следует учитывать высокую степень уязвимости территории России к глобальному потеплению и его последствиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. МГЭИК: Изменение климата, Обобщенный доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в пятый оценочный доклад МГЭИК [основная группа авторов Р. Пачаури и Л. Мейер]. — Женева: МГЭИК, 2014. С. 44.
2. Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, P. 33—144.
3. Тетельмин В. В. Энергетический анализ особенностей глобального потепления и его последствий // Вестник Российской академии естественных наук. 2023. Т. 23. № 3. С. 91—99.
4. Тетельмин В. В., Язев В. А. Физические основы традиционной и альтернативной энергетики. — М.: Интеллект, 2016. — 176 с.
5. Осипов В. И. Природные катастрофы: анализ развития и пути минимизации последствий / Проблемы анализа риска. — М.: Деловой экспресс. 2015. Т. 12. С. 84—93.
6. Семенов С. М., Попов И. О. Сравнительная оценка влияния изменения концентрации диоксида углерода, метана, закиси азота и водяного пара на радиационно-равновесную температуру земной поверхности. Метеорология и гидрология. 2011. № 8. С. 34—43.
7. Тетельмин В. В. Энергетические особенности и пределы глобального потепления // Экология промышленного производства. 2023. № 1. С. 51—59.
8. Мохов И. И. Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // Вестник РАН. 2022. Т. 92. № 1. С. 3—14.

Calculated confirmation of unattainability of the Paris Agreement

V. V. TETELMIN

Institute of Ecology of the Russian Peoples' Friendship University named after Patrice Lumumba,
Moscow, Russia

Public Council at the Ministry of Energy of the Russian Federation, Moscow, Russia

Graphs of changes in the main indicators of global warming are presented, consistent growth of which indicates the anthropogenic origin of climate change. It is shown that the goal of rapid reduction in CO₂ emissions by 2050 through reducing the use of coal and oil, outlined by the Paris Agreement, cannot be realized due to impossibility of ensuring the balance between the lost production of "fuel energy" and commissioning of replacement RES and NPP capacities. Calculated graphs of the long duration of reaching the global warming temperature limit are given for three hypothetical scenarios for achieving carbon neutrality.

Keywords: Paris Agreement, greenhouse gases, fossil fuel, global warming, carbon neutrality, decarbonization.

Bibliography — 8 references.

Received February 5, 2024