

Технические науки

УДК 538.9:536.6

Тимченко Николай Петрович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Tymchenko Nikolay

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Institute of Technical Thermophysics of the

National Academy of Sciences of Ukraine

Фиалко Наталия Михайловна

доктор технических наук, профессор,

Член-корреспондент НАН Украины, заведующая отделом

Институт технической теплофизики НАН Украины

Fialko Nataliia

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Corresponding Member NAS of Ukraine, Head of the Department

Institute of Technical Thermophysics of the

National Academy of Sciences of Ukraine

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ КАК КРИТИЧЕСКИЙ ФАКТОР

УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

GLOBAL WARMING AS A CRITICAL FACTOR SUSTAINABLE

DEVELOPMENT

Аннотация. Рассматриваются различные аспекты климатической угрозы, связанной с глобальным потеплением. Анализируются пределы годовых изменений концентрации диоксида углерода в атмосфере. Обсуждаются оценки климатической опасности из-за глобального потепления.

Ключевые слова: глобальное потепление, устойчивое развитие, климатическая опасность.

Summary. *Different aspects of the climate threat associated with global warming are considered. The limits of annual changes in the concentration of carbon dioxide in the atmosphere are analyzed. Climate danger assessments due to global warming are discussed.*

Key words: *global warming, sustainable development, climate danger.*

В настоящее время в результате осознания обществом климатической угрозы глобального потепления комплексное условие "устойчивое развитие" понимается как целевой (параметрический) показатель содержания существующего уровня биологического разнообразия, который в свою очередь маркирует статус экологической и климатической безопасности. Одной из иллюстраций этой угрозы является кривая Килинга - график записей прямых измерений концентрации главного парникового газа (ПГ): концентрации диоксида углерода (КДУ), или углекислого газа CO₂ в атмосфере (рис.1). Измерения CO₂ в атмосфере были начаты Чарльзом.

Дэвидом Килингом в Институте океанографии им. Скриппса и обсерватории Мауна-Лоа (ОМЛ), Гавайи. На рис.1 представлены данные с мая 1974 по первые четыре месяца 2021, включая дополнение временным рядом с 1958 года (315 ppm) [1]. Изолированное расположение ОМЛ (в "середине" океана) и факт более или менее равномерного пространственного (горизонтального) распределения КДУ в атмосфере¹ свидетельствуют о высокой надежности и репрезентативности кривой Килинга. Данные учитывают коррекцию среднего сезонного цикла (рис. 1,

¹ Динамика зональной неравномерности концентрации CO₂ отслеживается в ходе, например, спутникового дистанционного зондирования. Оценивается, что глобальный разброс данных не превышает 3-5% [2].

врезка *a*), определяемую методом скользящей средней семи соседних сезонных циклов с центром на соответствующие текущие месяцы. Основным источником антропогенных выбросов в атмосферу считается интенсификация сжигания с 1950-х годов ископаемого топлива, особенно угля. В интервале 1975-2020 гг. график КДУ демонстрирует рост с наклоном $\approx 1,87$ ppm/г. В 2020 году КДУ увеличился до 2,52 ppm/г. по сравнению с предыдущим 2019 годом, в 2019/2018 годах - на 2,90; 2018/2017 - 2; 2017/2016 - 2,31 ppm/г. (табл. 1).

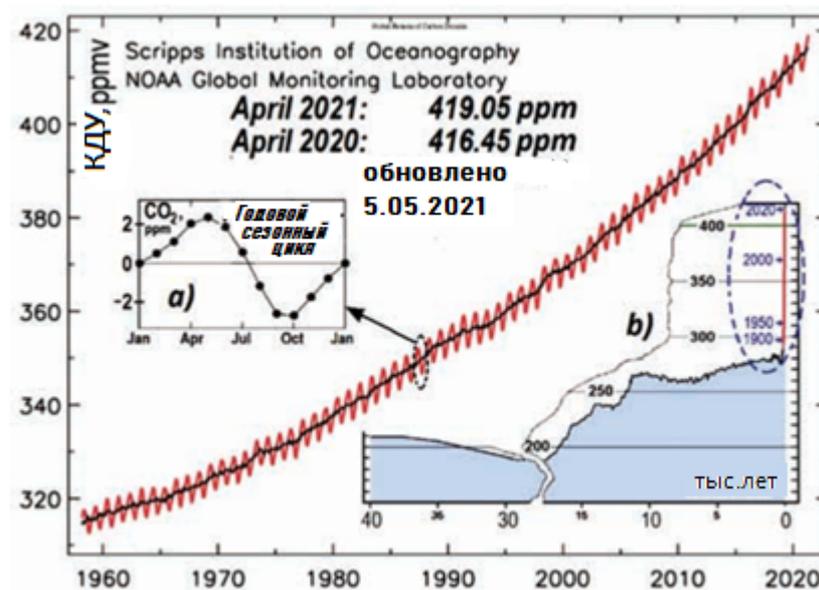


Рис. 1. Кривая Килинга – динамика концентрации диоксида углерода (КДУ) в атмосфере Земли в 1957-2020 гг. за наблюдениями* обсерватории Мауна-Лоа, Гавайи. Источник [1]. Врезки: а — типовое отклонение КДУ на протяжении сезонного цикла (повернуто); б — крива Килинга на фоне динамики КДУ за последние 40 тыс. лет (данные ERA [6]); овалом и цветом выделены индустриальный и постиндустриальный периоды

*Данные подаются как мольная доля сухого воздуха, которая определяется как количество молекул углекислого газа, деленное на количество всех молекул в воздухе, включая сам CO_2 , после удаления водяного пара. Мольная доля выражается в частях на миллион (ppm)

Считается, что заметный положительный тренд годовых изменений КДУ в атмосфере по кривой Килинга, связанный с выбросами CO_2 , образуется в результате мирового сжигания углеродсодержащих, в основном, угольного топлива (рис. 1). При этом только часть (до 60%) антропогенного углекислого газа поглощается растениями и растворяется в океане [3]. Остальные накапливаются в атмосфере и тем самым интенсифицирует парниковый эффект и признаются наиболее существенным энергетическим фактором современного феномена потепления климата. Сегодня научные оценки допустимых глобальных бюджетов (квот) на CO_2 выбросы различаются в основном вследствие различия и разнообразия методологических подходов, пороговых значений и сценариев. Однако уже почти достигнут консенсус относительно линейной пропорциональности между повышением глобальной температуры, КДУ и глобальными углеродными бюджетами. Другими словами, глобальное изменение температуры примерно пропорционально аккумулированным выбросам углерода [4, 5].

Такая связь прослеживается за прокси-данными КДУ с преиндустриального времени² (в 1750р. $\text{КДУ}_{1750} \approx 277$ ppm, обычно округляют до 280) до последних лет (рис. 1, табл. 1). То есть формально в течение 270 лет (с 1750 по 2020) КДУ рос с относительно небольшой "скоростью" 0,51 ppm/г., а основным источником антропогенного воздействия на атмосферу являлось устойчивое сжигание углерода. Ежегодная скорость роста КДУ по наблюдениям ОМЛ была: в 1960-х годах $\approx 0,8$ ppm в год (в 1,6 раза больше, чем в период 1750 по 2020гг.); в интервале от 1980-х до 1990-х годов - до 1,5 ppm в год (в 2,9 раза больше). Прирост $\text{КДУ}_{2019/2018} = 2,9$ ppm/г., что в 5,7 раза больше по сравнению с приростом в интервале 1750-2020 гг. Прирост $\text{КДУ}_{2018/2017} = 2$ ppm/г. в 3,9 раза превысил

² Антропогенные выбросы CO_2 начались еще до промышленной эры (например, за счет вырубки лесов).

прирост КДУ_{2020/1750} = 0,51 ppm/г. в интервале 1750-2020 гг., усредненный прирост КДУ_{2020/1975} = 1,7 ppm/г. - в 3,3 раза. Для сравнения: за последние 800 тыс. лет и до начала индустриальной эпохи (1850) КДУ в атмосфере Земли не превышал 280 ppm. Но в индустриальный и постиндустриальный периоды темпы прироста КДУ получили скачкообразный характер (рис. 1, врезка b).

Таблица 1

Прогнозные и наблюдаемые в период 2016-2020 гг. концентрации диоксида углерода (КДУ) ppm. (Все наблюдения - в пределах оценок погрешностей прогноза)

События	Годы						
	2020*	2020**Covid	2019	2018	2017	2016	1750
Прогноз-расчет	414,2 ± 0,6	414,0 ± 0,6	411,3±0,6	408,9±0,6	406,8±0,6	404,5±0,5	277
Наблюдения	414,01	414,01	411,49	408,59	406,59	404,28	
Прирост КДУ за год***		2,52	2,9	2	2,31	127,28	

*- исходящий прогноз-расчет; ** - с учетом влияния Covid-19; ***- в сравнении с прошлым годом

Когда величина текущей глобальной эмиссии CO₂ превысит (например, вследствие антропогенных выбросов CO₂) естественную способность утилизации CO₂ (поглощение CO₂ в основном, за счет растворения CO₂ в мировом океане и процессов фотосинтеза), образуется избыток атмосферного CO₂. Этот внебалансовый CO₂ за счет геохимических процессов, механизмов теплопереноса с активацией положительных обратных связей через участие в парниковом эффекте интенсифицирует потепление климата. Прямые измерения глобального изменения температуры и многочисленные прокси-данные (рис. 1, врезка b) свидетельствуют о том, что процесс глобального потепления сейчас разгоняется и приблизился вплотную к критической черте.

Наиболее авторитетной экспертной организацией по вопросам климатической угрозы является Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК, IPCC). Она была создана в 1988 Всемирной метеорологической организацией и ООН, имеет мандат Генеральной Ассамблеи ООН (далее - ГА) на проведение активного сбора и анализа всесторонней научной информации о происхождении ПГ в атмосфере и их стабилизации на уровне, который предотвращает опасное антропогенное влияние на климатическую систему. МГЭИК циклически, примерно с периодом 6 лет, издает оценочные отчеты (Assessment Reports, далее - AR + номер цикла), выполняющие роль научных платформ для мирового сообщества. Количество авторов AR приближается к нескольким тысячам. Чтобы облегчить и повысить эффективность ознакомления с многостраничными оценочными отчетами (последний AR5 насчитывает более тысячи страниц) специально для элиты (policymakers), в том числе государственных лидеров, синхронно с AR публикуются обзорные, существенно сокращенные издания ("AR-light"). Последние согласуются экспертами (особенно это касается выводов) на консенсусной основе. По результатам анализа МГЭИК разработана Рамочная конвенция ООН об изменении климата, РКИК (Рамочная конвенция изменения климата), UN FCCC (1992) - главный международный договор об изменении климата. МГЭИК работает уже 33 года и координировала огромный объем аналитических исследований по изменению климата. На базе AR5 (2014) было разработано Парижское соглашение (2015), приняты другие саммит-решения ГА. Под влиянием AR5 разработан ряд директивных документов, входящих в энергетические пакеты ЕС. Все пять AR содержат гигантские объемы "научной, технической и социально-экономической информации, касающейся понимания научной основы рисков климатических изменений, их потенциального влияния и вариантов адаптации и смягчения последствий".

Сейчас МГЭИК находится в Шестом цикле оценки угрозы климатической опасности из-за глобального потепления и синтезирует AR6. В 2018 г. она обнародовала "Специальный отчет о глобальном потеплении 1,5°C" (далее SR15 -Special report, специальный отчет) [7]. SR15 венчает предварительную многолетнюю деятельность МГЭИК. Он не только подтвердил реальную для ближайшего будущего человека опасность от изменения современного климата, а и содержит программу действий, чтобы противодействовать этой угрозе. В частности, была определена максимальная величина допустимого отклонения (1,5°C) аномальной глобальной температуры от базовой температуры $\Delta t_{\text{аном}}$. Мировым сообществом ограничение $\Delta t_{\text{аном}} \leq 1,5^\circ\text{C}$ принимается как цель (target) снижения глобальной температуры.

Главный вывод SR15 заключается в том, что достижение цели снижения глобальной температуры на 1,5°C путем "глубокого сокращения выбросов" возможно, но для этого необходимо приложить много усилий и достичь "быстрых, далеко идущих и беспрецедентных изменений во всех аспектах общества". SR15 показывает, что повышение глобальной температуры уже на 2°C недостаточно, поскольку не остановит проявления негативных явлений в виде усиления экстремальной погоды, повышения уровня океана, его закисления, уменьшения арктического морского льда, гибели кораллов (coral bleaching) и потери экосистем. Только "ограничение глобального потепления до 1,5°C вместо 2°C уменьшит сложные (вредные) последствия для экосистем, здоровья и благополучия человека". SR15 содержат результаты моделирования, которые показывают, что для ограничения глобального потепления до 1,5°C "глобальные чистые выбросы углекислого газа (CO₂), вызванные человеком, должны от уровня 2010 года упасть до 2030 года примерно на 45 процентов, достигнув "чистого нуля около 2050 года".

В Шестом цикле оценки МГЭИК также обнародованы другие Специальные отчеты: "О климатических изменениях и земле" (август 2019), "Об океане и криосфере в условиях изменения климата" (сентябрь 2019). В текущем 2021 ожидаются научные отчеты всех трех Рабочих групп по направлениям "Физическая наука", "Смягчение последствий изменения климата" и "Влияние, адаптация и уязвимость", образующих структуру МГЭИК. В 2022 ожидается AR6.

Таким образом, климатическая угроза, связанная с глобальным потеплением, является в настоящее время критическим фактором устойчивого развития и безопасности существования мира.

Литература

1. URL: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>
2. Global Patterns of Carbon Dioxide. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/82142/global-patterns-of-carbon-dioxide>
3. Canadell J., Le Quéré C., Raupach M.R., Field C.B., Buitenhuis E.T., Ciais P., Conway T.J., Gillett N.P., Houghton R.A., Marland G. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* Nov. 2007. 104 (47). P. 18866-18870; DOI: 10.1073/pnas.0702737104
4. Gillett N.P., Arora V.K., Matthews D., Allen M.R. Constraining the Ratio of Global Warming to Cumulative CO₂ Emissions Using CMIP5 Simulations. *Journal of Climate*. 2013. 26 (18). P. 6844–6858. doi:10.1175/jcli-d-12-00476.1.
5. Matthews H.D., Zickfeld K., Knutti R., Allen M.R. Focus on cumulative emissions, global carbon budgets and the implications for climate mitigation targets. *Environmental Research Letters*, 2018. Volume 13. Number 1.

6. EPA Global Patterns of Carbon Dioxide
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/82142/global-patterns-of-carbon-dioxide>
7. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/>