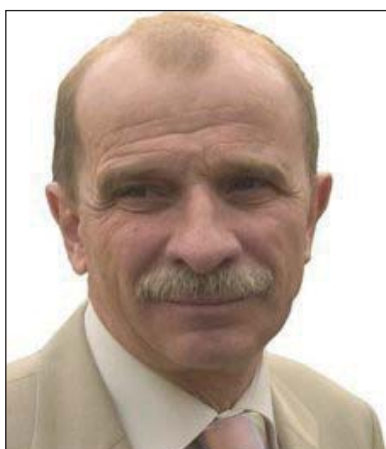


ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ: ПРОБЛЕМИ, ДИСКУСІЇ ТА ПРОГНОЗИ

Зміна клімату, тобто підвищення глобальної температури поверхні Землі, є однією з проблем планетарного масштабу з тривожними прогнозами, що викликає підвищений інтерес протягом останніх десятиліть. Глобальне потепління – це спостережуване або прогнозоване підвищення середньої температури поверхні, що являє собою середньозважену по площі: 1) температуру поверхні океану, тобто підповерхневу середньомасову температуру океану на глибині декількох метрів; 2) поверхневу температуру повітря на суші на висоті 1,5 м над рівнем ґрунту. Для визначення температури поверхні Землі сьогодні використовують висотні вишки з вхідними отворами для забору повітря на висоті 30; 120 і 300 м над рівнем землі з метою спостереження вертикального градієнту CO₂ в пограничному шарі.



Борис Басок

доктор техн. наук, професор,
член-кореспондент
НАН України, зав. відділу
Інституту технічної теплофізики
НАН України, м. Київ



Євген Базєєв

канд. техн. наук,
пров. наук. співробітник
Інституту технічної теплофізики
НАН України, м. Київ

З середини ХХ століття помітно посилилася тенденція підвищення глобальної приземної температури [1] (рис. 1) – одного з показників кліматичної системи Землі, що стало предметом наукових і соціально-громадських дискусій та обговорень на міжнародних форумах у рамках Міжнародної програми з екології [2] і породило громадський рух противників антропогенного (техногенного), на думку протестантів, впливу на клімат. Наведені на рис. 1 прогнозні моделі AR5, що лежать в основі висновків міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК, останній звіт 2014 р.), представляють фізично обґрунтований діапазон можливих зростань глобальної температури протягом наступних кількох десятиліть. Це явище глобального потепління було пояснено посиленням парникового ефекту внаслідок підвищення в атмосфері Землі концентрації так званих «парникових» газів (CO₂, CH₄, N₂O, O₃ та ін., рис. 2, [3]).

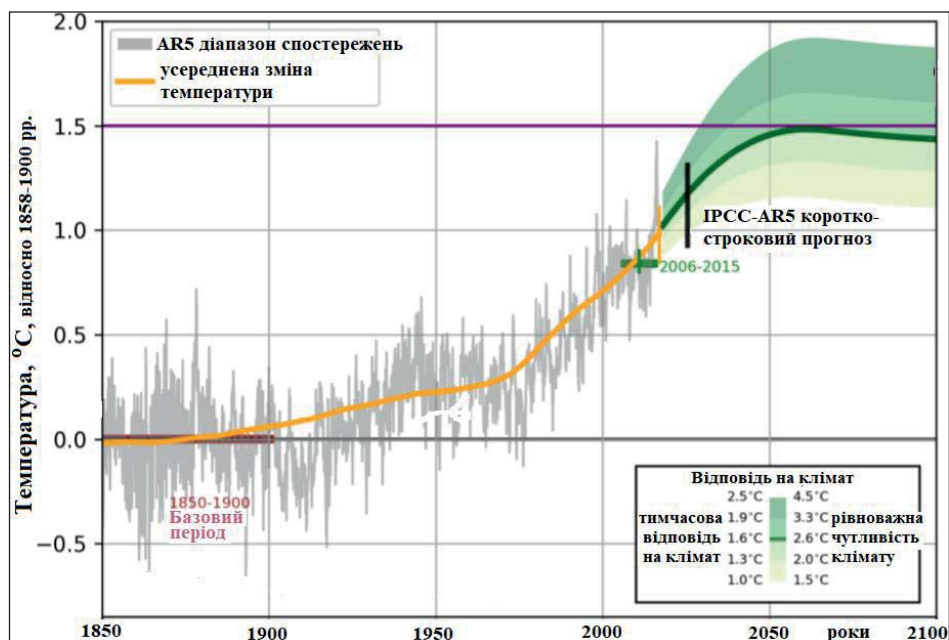


Рис. 1. Експериментальні (1850–2017 рр.) та прогнозовані (після 2017 р. і до 2100 р., модель AR5) дані температури клімату

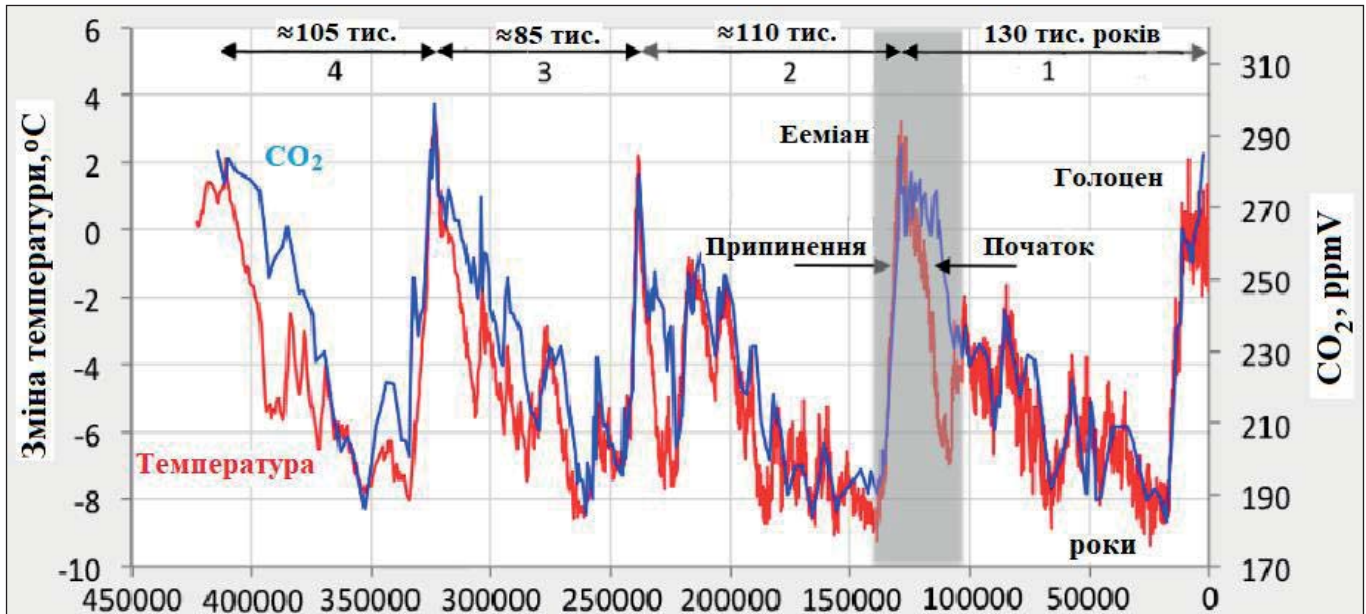


Рис. 2. Відлік часу ведеться від 1995 р. (0 часу) в минуле, нуль зміни температури відраховується від середнього значення температури впродовж 1850–1900 рр., ppmV – об'ємна мільйонна доля концентрації. На стадіях зростання температури (глобальні потепління) ріст концентрації CO₂ трохи випереджає тренд температури (див. кінець 4 періоду), а на стадіях глобального похолодання – тренд CO₂ суттєво відстає із затримкою 500±200 років (див. виділення частини графіку в кінці 2 періоду – на початку 1 періоду)

Зазначимо, що для визначення концентрації CO₂ в атмосфері використовуються позначення: *ppm* (parts per million) – кількість молекул CO₂ в одному млн. молекул повітря; *чнм* – частинок на млн. частинок повітря. У процентному відношенні, наприклад, концентрація 400 мкг (0,4 г) CO₂ в 1 кг повітря становить 0,04 %, приблизно в 1,3 м³ повітря (питома вага повітря 1,293 кг/м³). Для експериментального визначення концентрації парникових газів у період від 1 млн. років тому назад і до нового часу використовувались льодові керни (циліндри льоду діаметром 5 см і довжиною 10–12 см) із свердловин глибиною до 3,8 км Антарктиди (станція «Восток»), де завжди була відсутня техногенна діяльність людства. Основа вимірювань – газохроматичний аналіз бульбашок повітря, які були вкраплені в лід (вони, відповідно, знаходились у керні) при замерзанні води в минулі часи. Фізика визначення температури – вимірювання концентрації ізотопу кисню ¹⁸O, чітко пропорційна температурі.

Виявлені тренди підвищенням концентрації CO₂ в атмосфері і зростання глобальної температури стали предметом ініціатив з аналізу клімату. З'явилися численні публікації в ЗМІ та наукових виданнях з викладом необоротних драматичних для планети і її окремих районів наслідків, серед яких:

- підйом рівня світового океану внаслідок танення льодовиків, що призведе до затоплення низинних територій ряду прибережних і острівних країн та підвищення кислотності океанів;
- порушення біологічної різноманітності: деякі види тварин і рослин не зможуть пристосуватися до нових умов і можуть зникнути, що в свою чергу може викликати зниження врожайності ряду сільськогосподарських культур;
- нестача питної води, міграція комах і, як наслідок, поширення епідемій (лихоманка, малярія);
- ускладнення доступу до водних і продовольчих ресурсів, що може привести до загострення міждержавних відносин;

- збільшення витрат енергії на кондиціонування будівель (приміщень) в містах.

Проте є й позитивні ефекти глобального потепління:

- скоротиться опалювальний сезон – знизиться витрата енергоресурсів;
- північний кордон землеробства пересунеться в більш високі широти;
- потепління в Арктиці полегшить судноплавство і освоєння родовищ вуглеводневих ресурсів на морському шельфі.

Програми адаптації та боротьби з глобальним потеплінням, обговорення систем торгівлі квотами на викиди парникових газів породжують в суспільстві тривоги, протести «зелених» і впливають на світову і регіональну політику і, безумовно, на економіку. Глобальне потепління і клімат як такий стали розглядатися як проблема фізики та геополітики. Організація Об'єднаних Націй, наукові інституції та спільноти виступили з низкою ініціатив з проблеми клімату. Із важливих подій останнього часу – це Паризька конференція (2015 р.) – нова угода по спільним зусиллям щодо стримування кліматичних змін і зростання температури; кліматичні конференції та саміти ООН, грудень 2018 р. в Катовіце, вересень 2019 р. в Нью-Йорку, грудень 2019 р. в Мадриді.

Паризька угода не обійшлась без розбіжностей між учасниками цих кліматичних самітів. Країни мають різні можливості розвитку своїх економік, що не дозволяє пред'являти до них однакові вимоги. Країни, що розвиваються, вважають, що головну відповідальність за зміну клімату повинні нести розвинені країни – вони є головними продуцентами парникових газів. Країни з багатими родовищами традиційних вуглеводнів, які порівняно легко добуваються, насторожено сприймають заклики до скорочення викидів парникових газів і переходу до відновлюваних джерел енергії.

Сучасний погляд на глобальне потепління зводиться до таких положень:

1) основна причина глобального потепління – монотонне зростання концентрації парникових газів (в основному вуглекислого газу) в атмосфері Землі;

2) тренд підвищення концентрації парникових газів визначається збільшенням їх антропогенної емісії при спалюванні вуглеводневих енергоресурсів;

3) глобальне потепління загрожує негативними наслідками для навколишнього середовища і економіки;

4) необхідно вдосконалювати політику скорочення антропогенної емісії парникових газів.

Для прогнозів глобальної зміни клімату в даний час як наукову базу використовують результати наукових досліджень МГЕЗК. В групу входить близько 2500 дослідників і експертів – фізиків, кліматологів, біологів, енергетиків – з усього світу. Починаючи з 1990 року, група періодично готує наукові оглядові доповіді з прогнозами оцінок зростання концентрації діоксиду вуглецю в атмосфері і збільшення глобальної температури до кінця XXI століття. Опубліковані доповіді 1990, 1995, 2001, 2007, 2014 років; наразі готується шоста доповідь на 2021–2022 рік. У грудні 2019 року на останньому кліматичному саміті ООН (м. Мадрид) були представлені чергові матеріали про сучасний стан і проблеми динаміки клімату.

МГЕЗК виходить з антропогенної концепції глобального підвищення приземної температури і розглядає сценарії динаміки атмосферних концентрацій антропогенних емісій. Звіти МГЕЗК показують, що кількість антропогенних викидів, концентрація атмосферних парникових газів і середня глобальна температура залежать від соціально-економічних чинників розвитку майбутнього світу. На реалізацію сценаріїв впливає цілий ряд першопричин – чисельність населення, темпи економічного зростання, впровадження нових ресурсоефективних і енергозберігаючих технологій, інтенсивне використання викопних видів палива або збалансоване використання всіх енергоресурсів. Облік такого роду ключових першопричин у модельних дослідженнях МГЕЗК призводить до того, що можливі прогнозовані оцінки підвищення атмосферної концентрації парникових газів і глобальної температури до кінця XXI століття варіюються в досить широких межах.

Залежно від сценаріїв розвитку світової енергетики прогнозувалося до 2100 року в порівнянні з кінцем XX століття збільшення концентрації CO_2 від 400 до 790 чм і підвищення температури на 1–4 °C [2]. Були і більш тривожні прогнози: відповідно концентрації CO_2 від 540 до 970 чм і температури на 1,4–5,8 °C [3]. Відносно безпечним вважається збільшення концентрації CO_2 до 470 чм [4] і підвищення глобальної температури на 1,7 °C [4, 5] або навіть на 2 °C [6]. Допускається значний розкид і в оцінці такого важливого показника, як чутливість до зміни клімату вмісту парникових газів в атмосфері при подвоєнні концентрації CO_2 – 1,5–4,5 °C [1] і 1,5–5,5 °C [7].

Не всі фахівці і наукові колективи поділяють такі драматичні прогнози і висновки МГЕЗК. Частина з них, не вважаючи себе противниками реальності антропогенного впливу на підвищення температури, оцінюють тривожні прогнози цієї групи по збільшенню концентрації діоксиду вуглецю в атмосфері та підвищенню температури до кінця XXI століття як явно завищені, а пропозицію про необхідність прийняти вже зараз превентивні заходи по обмеженню викидів вважають недостатньо аргументова-

ною. За різними сценаріями і моделями до кінця століття глобальне середньорічне потепління складе 1,2–2,6 °C і 0,9–1,2 °C [8], а чутливість глобальної кліматичної системи – 1,9 °C [9].

У квітні 2019 року провідні вчені Всесвітньої Метеорологічної організації ООН представили звіт про останні зафіксовані дані щодо глобального потепління – температура піднялася на 1,1 °C у порівнянні з 1850–1900 рр. і на 0,2 °C у порівнянні з 2011–2015 рр. Зростання концентрації парникових газів від 2015 до 2019 рр. перевищує темпи зростання в попередні п'ять років на 20 % [10].

Найбільш послідовними опонентами МГЕЗК виступили наукові групи від Російської академії наук і науково-дослідної лабораторії глобальних проблем енергетики Московського енергетичного інституту. Використовуючи принципово різні методики, ці наукові групи прийшли практично до однакових результатів в прогнозних оцінках збільшення концентрації CO_2 в атмосфері і підвищення глобальної температури до 2100 року. Результати прогнозів МГЕЗК були оцінені як помилкові, а сценарії глобального потепління як драматичні. Огляд робіт опонентів з порівняльним аналізом основних розбіжностей з висновками МГЕЗК наведено в [11, 12]. Розбіжності стосуються двох основних проблем, а саме: визначення чутливості кліматичної системи і прогнозу концентрації CO_2 в атмосфері. Від ступеня наукової аргументації висновків щодо цих проблем залежить обґрунтованість пропонованих заходів і рішень по обмеженню викидів двоокису вуглецю, що підлягають узгодженню на міжнародному рівні.

Разом з антропогенною концепцією глобального потепління (підхід МГЕЗК) розглядається і природна концепція потепління клімату. На рис. 3 нами узагальнені дані різних джерел про антропогенні і природні фактори глобального потепління. Не заперечуючи впливу антропогенних викидів на збільшення глобальної температури, прихильники природної концепції потепління клімату вважають, що все ж таки визначальними факторами підвищення приземної температури є природні чинники, пов'язані з космогенними циклічними процесами, з сонячно-земною взаємодією (обертання Землі навколо Сонця, прецесія осі обертання Землі, цикли сонячної активності та ін.) [13–18]. Є й інші підходи, в яких причини та наслідки глобального потепління переставлені: зміни атмосферної концентрації діоксиду вуглецю – це є наслідком глобальних змін температури планети, а не їх причиною. Прогрівання Світового океану повинно призводити до зменшення розчинності CO_2 в морській воді і викиду надлишку CO_2 в атмосферу [13, 19]. Аналогічна ситуація і щодо суші. ґрунт теоретично може поглинати до 5,5 млрд т в еквіваленті CO_2 на рік, тобто стільки вуглецю, скільки його викидається на території США [20]. До речі, найбільше CO_2 зосереджено як раз у земній породі. Команда вчених з американської дослідної програми Deep Carbon Observatory підрахувала, що на Землі знаходиться приблизно 1,85 мільярда гігатонн (Гт) вуглецю в різних формах: твердих речовинах, газах і рідинах. На CO_2 , який знаходиться над землею (в атмосфері, океанах і на суші, рис. 4) припадає лише близько 1 % від загального вуглецю, що становить 43 500 (Гт).

Але є і зовсім радикальні погляди, наприклад [19]: «Зараз ми живемо поблизу максимуму одного з тимчасових потеплінь, що почалося ще в XVII столітті, коли про ан-



Рис. 3. Основні причини глобального потепління

тропогенний вплив на клімат викидів парникових газів в атмосферу і говорити не доводилося. Зрозуміло, що сучасне потепління має яскраво виражене природне походження і незабаром може змінитися новою фазою похолодання», «... в найближчому майбутньому нас чекає тільки похолодання і настання «малого льодовикового періоду», як це було в XVII–XVIII ст., зі зменшенням середніх температур на градус і більше».

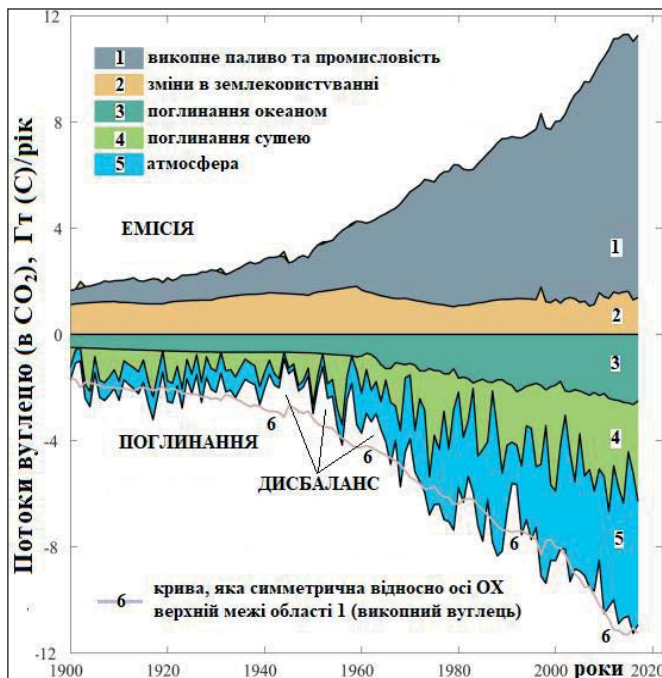


Рис. 4. Комбіновані компоненти глобального вуглецевого балансу для викидів викопних емісій CO₂ в 1900–2017 рр. Викиди вуглецю розподіляються між атмосферою і поглиначами вуглецю на суші і в океанах. Дисбаланс між загальними обсягами викидів і загальними обсягами поглиначів відображає прогалини в даних, у моделюванні або в нашому розумінні вуглецевого циклу. Джерело: Глобальний вуглецевий проект. Le Quéré, et al., 2018: Global carbon budget 2018. Earth System Science Data, 10: 2141-2194; and March 2019 updates. <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget>

Існує ще одне джерело парникових газів. Як вітчизняні, так і зарубіжні вчені геологічного профілю визначають процеси глибокої генерації Землі як чинник генерації парникових газів. Через тріщини і розломи із надр землі виходять у вигляді струменів водень, гелій, метан, сірководень і потрапляють безпосередньо в атмосферу [21–23].

Вчені-океанологи вирішальну роль у формуванні клімату Землі відводять світовому океану. Значною мірою стан атмосфери залежить від океану, маса якого в 1000 разів більше маси атмосфери, а теплоємність більше в 3500 разів: «Величина природних потоків (CO₂, H₂O, пил) з океану і з суші в атмосферу назад на Землю вимірюються десятками мільярдів тонн на рік і багаторазово перевищують викиди цих речовин в атмосферу в результаті діяльності людини, зокрема при спалюванні кам'яного вугілля і рідкого палива, отриманого із нафти та газу. Загальний вміст вуглекислого газу в океані в 50 разів більше, ніж в атмосфері і навіть слабке дихання океану може драматично міняти рівень CO₂ в атмосфері» [14, 24].

Нагадаємо фізику парникового ефекту (детально див. [13]). Парниковий ефект – явище в атмосфері Землі та інших планет, при якому енергія радіаційного випромінювання від поверхні фактично не в змозі проникнути в космос, оскільки затримується газами атмосфери, що призводить до підвищення температури приповерхневого шару планети.

У нижньому десятикілометровому шарі атмосфери температура в середньому зменшується з висотою, тому що сонячне короткохвильове випромінювання поглинається в атмосфері слабо і, досягаючи поверхні Землі, нагріває її, а довгохвильове випромінювання, навпаки, сильно поглинається в атмосфері, підвищуючи її температуру. Цей процес не рівномірний – в одних регіонах температура змінюється швидше, в інших – повільніше.

У атмосфері Землі на висотах, близьких до 5 км, фіксується температура 255 К. Середня приповерхнева температура шару повітря на висоті метеорологічного пункту близька до 288 К. Різниця цих температур в 33 К характеризує кількісне значення парникового ефекту (за аналогією з таким ефектом у парниках, теплицях). За інших рівних умов – чим більший парниковий ефект, тим тепліші нижні шари атмосфери. Без парникового ефекту приповерхнева температура не перевищувала б –18 °С, а це означає відсутність умов для життя. Вода на земній поверхні існувала б тільки у вигляді льоду. Сучасна середня температура земної поверхні рівна 15 °С. Таким чином, головними механізмами, що забезпечують стабільність температури на поверхні Землі, є сонячне випромінювання і парниковий ефект. Глобальне ж потепління пов'язане з посиленням парникового ефекту.

Довгохвильове випромінювання інтенсивно поглинається цілим рядом наявних в атмосфері так званих «парникових газів», основними з яких є водяна пара (найбільш ефективний поглинач), діоксид вуглецю CO₂, метан CH₄, закис азоту N₂O, озон O₃ та інші (таблиця).

Як видно з табл., головним парниковим газом є водяна пара, а не вуглекислий газ. Властивості водяної пари як парникового газу було відзначено *Д. Тіндалем* ще в 1863 р. [13]. Вуглекислий газ є другим за значимістю, але втричі меншим за обсягом сумарного парникового ефекту (табл.), в який найбільший вклад – до 60% вносить водяна пара.

Таблиця. Парникові гази атмосфери Землі

Парниковий газ	Концентрація (або вміст) парникового газу	Внесок у парниковий ефект, градусів
Водяна пара, H ₂ O	2,5 г•кг ⁻¹	20,6
Діоксид вуглецю, CO ₂	355 чнм	7,2
Озон, O ₃	343 оД	2,4
Закис азоту, N ₂ O	0,28 чнм	1,4
Метан, CH ₄	1,3 чнм	0,8
Сірчистий газ, SO ₂	2•10 ⁻³ чнм	0,8
Фреон, чотирихлористий вуглець, аміак та ін.	1•10 ⁻⁴ чнм	0,8

* оД – одиниця Добсона. 1 оД = 2,69•10¹⁶ молекул•см⁻² [13]

Роль вуглекислого газу як парникового була показана *С. Арреніусом* (1896 р.) і *Т. Чемберленом* (1899 р.). Збільшення концентрації CO₂ з 315 до 360 чнм в період 1956–1997 рр. стало підставою висунути гіпотезу про антропогенний внесок у потепління клімату саме вуглекислого газу внаслідок спалювання викопного палива. Вперше про таку гіпотезу заявив *Д. Каллендор* у 1938 р. Головний же парниковий газ – водяна пара – не став предметом пильної уваги при розгляді зв'язку температури і вмісту водяної пари в атмосфері. У той же час у цілому ряді авторитетних джерел відстоюється особлива, домінуюча, роль саме водяної пари в підвищенні глобальної температури [13, 25, 26].

Значний внесок у зміну клімату вносять завислі в атмосфері частинки – аерозоль природного походження (до 90 % – пил при бурях в пустелях, дим лісових пожеж, аерозолі вулканічних викидів тощо) і антропогенного походження (промисловий пил – викиди гірничодобувних виробництв, металургійних, цементних заводів та електростанцій при спалюванні вугілля тощо). Аерозоль може викликати як парниковий, так і антипарниковий ефекти. Якщо аерозоль пропускає більшу частину теплового випромінювання Землі, то температура атмосфери під аерозольним шаром може виявитися нижчою, ніж за відсутності аерозолу (антипарниковий ефект). Але при деяких поєднаннях властивостей аерозолу (просторова і часова зміна характеристик) він може посилювати парниковий ефект [13]. Сумарні викиди різних типів аерозолу дуже різняться – від 0,004 Гт/рік (вулканічний аерозоль) до 1 Гт/рік (морський).

Є також два види антропогенного аерозолу. Кількість його (0,045 Гт/рік) на порядок менша від природного. Промисловий сульфатний аерозоль – це частинки, що утворюються в атмосфері з сірчистого газу SO₂ при спалюванні палива, особливо вугілля, на електростанціях, при виплавці металів, виробництві сірчаної кислоти та ін.

Промисловий пил – це викиди гірничодобувної промисловості, цементних, металургійних та інших заводів. У межах України характерним прикладом території зі значною кількістю промислового пилу в атмосферному повітрі є м. Маріуполь [27]. Антипарниковий ефект аерозолу в цілому невеликий.

Найпростіше визначення поняття «парниковий ефект» наведено в [13] – «прямий розрахунок парникового ефекту виявляється важкою справою через складність спектрів поглинання парникових газів». Немає єдиної думки фахівців і про природу парникового ефекту. Як відомо, МГЕЗК пояснює підвищення глобальної температури монотонним зростанням концентрації в атмосфері парникових газів, головним чином діоксиду вуглецю, внаслідок їх антропогенних викидів. Не всі у науковому співтоваристві поділяють підхід МГЕЗК про визначальну роль антропогенних викидів у підвищенні глобальної температури.

Наявність парникового ефекту ніхто не заперечує, але по-різному визначають природу такого ефекту. У порівнянні з інформацією щодо антропогенної концепції зміни клімату, яка широко публікується, менш доступними (і менш помітними) для громадськості є публікації в спеціальних журналах про результати досліджень іншого чинника впливу на клімат – сонячно-земної взаємодії. Вирішальну роль природного впливу саме цього фактора на глобальне потепління відводять фахівці з фізики атмосфери і океану, геомагнетизму й аерономії. Наприклад, фахівці з фізичної оптики нижньої атмосфери пояснюють природу сучасного глобального потепління впливом факторів сонячно-магнітної активності (спалахи на Сонці, магнітні бурі) [25]. Потік мікрохвиль з іоносфери утворює в тропосфері з кластерів водяної пари конденсаційно-кластерний серпанок, що переходить у оптично тонку хмарність (у вигляді «молодих» перистих хмар), яка екранує потік тепла в космос з нижньої тропосфери і підстильної поверхні. Відбувається розігрівання приземного повітря і поверхні світового океану [25]. Водяна пара – основний парниковий газ в тропосфері і його вміст набагато більший (до 36–70 %) порівняно з діоксидом вуглецю (9–26 %), метаном (4–9 %) або озоном (3–7 %) [25]. Таким чином, кластероутворення з водяної пари, яке призводить до створення оптично тонкої хмарності, є основною причиною сучасного глобального потепління в епоху проходження в кінці ХХ – початку ХХІ століття як сонячної, так і геомагнітної активності. А викиди парникових газів антропогенного походження (головним чином діоксиду вуглецю, метану) можуть лише посилювати ефект глобального потепління.

Дослідження сонячно-геомагнітної активності і техногенного електромагнітного шуму (що виникає в тому числі в передавальних пристроях мобільного зв'язку) дозволять краще зрозуміти механізм впливу порівняно слабких впливів на біосферу і навколишнє середовище, зокрема і на погодно-кліматичні характеристики [25].

Є й інші дослідження [28] про зв'язок потепління зі збільшенням хмарності. На основі аналізу метеорологічних і аерологічних даних, отриманих на станції «Восток» (Антарктида), були виявлені значні зміни рівня хмарного покриву і температури повітря, пов'язані з варіаціями рівня галактичних космічних променів і міжпланетного магнітного поля. Як зазначається в [25]: «*посилення хмарності на висотах нижче 8 км викликає потепління при-*

земної температури атмосфери, ймовірно, за рахунок парникового ефекту, відсутність вихолоджування поверхні Землі».

Сценарії антропогенного посилення глобального парникового ефекту, термічні, гідрологічні режими і основні висновки для можливих температурних змін клімату в Україні були розглянуті на початку 90-х років ХХ століття і представлені в [29]:

1) при глобальному антропогенному потеплінні приблизно на 1 °С (в першій чверті ХХІ століття) у південних районах України рівень потепління практично збігатиметься з глобальним, а в північних може посилитися до 40 %;

2) широтний градієнт температур на території України буде за абсолютною величиною зменшуватися до 10 % (в сучасну епоху широтний градієнт приземної річної температури – близько 0,8 °С на 1° широти);

3) якщо річна глобальна температура підніметься на 3 °С (близько середини ХХІ століття), то температурний режим північних областей України може стати подібним до температурного режиму її південних регіонів.

Відзначається, що отримані рядом дослідників результати математичного моделювання динаміки земної кліматичної системи для створення сценаріїв RCP регіональних змін клімату при антропогенному посиленні парникового ефекту поки що малонадійні. Труднощі полягають у недостатньо глибокому вивченні всієї сукупності фізичних процесів, які формують широтно-довготний розподіл полів температури та інших кліматичних параметрів (суми опадів, мінливість погоди та ін.).

Отже, є прихильники як антропогенного, так і природного впливу на глобальне потепління. Перших – більше, серед них є багато політиків, в т.ч. достатньо впливових. Є й ті, хто вважає, що на зміну клімату діють одночасно і природні, і антропогенні фактори. Кожен має свої аргументи і вибудовує свої імперативи в проблемі глобального потепління. Але є й такі, які вважають, що глобальне потепління – це, швидше за все, наслідок руйнування природних екосистем, тобто порушення механізму регуляції хімічного складу атмосфери і природних вод. Збої механізму ведуть до порушення стійкості життя на Землі на всіх рівнях [30]. У доповіді Амстердамської конференції (2001 р.), присвяченій виконанню і перспективам основних глобальних наукових проблем, сформульоване фундаментальне положення: «Земля являє собою систему, в якій саме життя допомагає контролювати її стан. Біологічні процеси сильно взаємодіють з фізичними та хімічними процесами в формуванні властивостей навколишнього середовища, ніж це передбачалося раніше» [30].

Після підписання Киотського протоколу роботи в Україні з проблем зміни клімату отримали подальший розвиток. Дослідження проводяться в Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка, Українському гідрометеорологічному інституті, Київському національному університеті ім. Тараса Шевченка, науково-дослідному економічному інституті Міністерства економічного розвитку і торгівлі України. Зокрема проведені регіональні екологічні та соціально-економічні оцінки щодо зміни клімату в Україні, проаналізовано та обґрунтовано описані стратегічні напрями зменшення викидів парникових газів в економіці [31–33].

Публікації прогнозів на десять років показали, що в Україні підвищення середньої приземної температури в період 1900–2000 рр. склало 0,4–0,6 °С, причому по регіонах: північний схід близько – 1 °С, полісся і лісостеп – 0,7–0,9 °С, степ – 0,2–0,3 °С. За порами року: взимку –1,2 °С, навесні – 0,8 °С, влітку – 0,2–0,3 °С. Виявлено негативний тренд числа морозних днів і деконтиненталізація клімату. Прогнозні оцінки зміни середньої приземної температури в Україні до 2050 року зводяться до того, що підвищення температури складе 1,5–2,0 °С, причому в січні для півдня – 2,0 °С, для півночі – 2,8 °С і в липні для України – 0,5–1,0 °С [34].

У 2012–2013 роках в Україні були виконані досить детальні дослідження на середньо-довгострокову перспективу [35, 36]. Недавній прогноз для потепління в Україні по ряду періодів до 2100 року наведено на рис. 5. Видно, що результати інструментальних вимірювань підвищення температури і прогнози потепління в Україні в цілому відповідають трендам зміни глобальної температури, і перед Україною стоять ті ж виклики і ризики, якими стурбований весь світ [37].

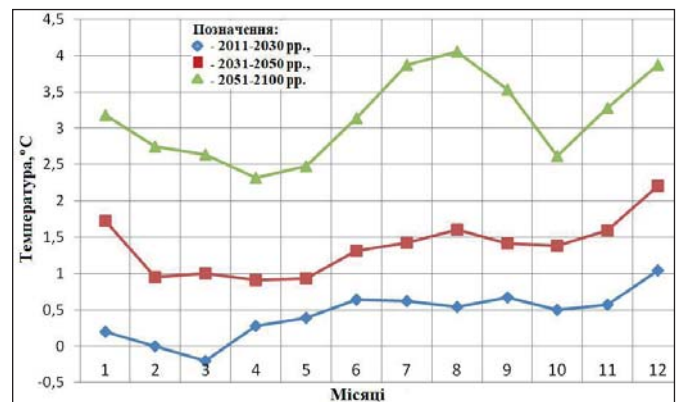


Рис. 5. Проєкції змін середніх місячних температур повітря в Україні із довірчими інтервалами по ансамблю з 10 РКМ (регіональні числові кліматичні моделі) відносно 1991–2010 рр.

У Киотському протоколі був розроблений шлях до зниження викидів парникових газів: 1) зменшення кількості використання енергоресурсів внаслідок підвищення енергоефективності їх використання; 2) залучення до теплового циклу низьковуглецевих енергоресурсів; 3) ефективне управління теплотехнічними характеристиками процесу спалювання вуглеводнів (низькоемісійне спалювання, утилізація теплоти продуктів спалювання, утилізація викидів димових газів). Відомо, що на збільшення енергоемності продукції впливає як необґрунтована втрата цінності енергії (ексергії) в технологічних процесах виробництва, так і надмірне споживання енергоресурсу в результаті недотримання принципів і методів економічного стимулювання зниження енергоемності продукції. Тому необхідно спрямовувати зусилля на вдосконалення виробництва енергоносіїв (електричної, теплової енергії), продукції теплотехнологій, вдосконалення і підвищення ролі держави в створенні стимулюючих заходів по реалізації інвестиційних проєктів, енергоефективних технологій та енергозберігаючих заходів, методів і програмних засобів організаційно-технологічного та економічного управління підвищенням ефективності використання енергоресурсів з удосконаленням політики ціноутворення, формування тарифів в умовах ринку.

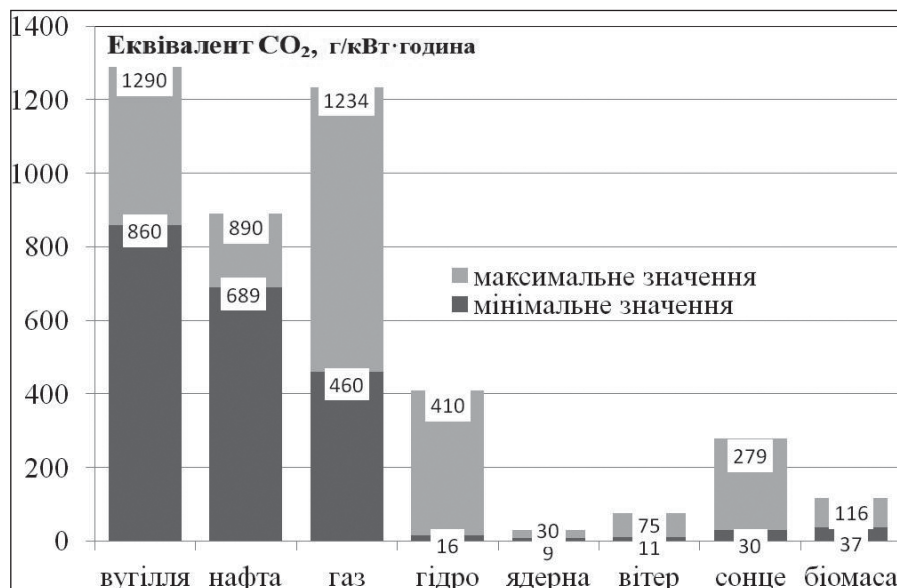


Рис. 6. Еквівалентні викиди CO₂ при використанні різних енергоресурсів для повного життєвого циклу виробництва електроенергії

Що стосується організаційно-економічних механізмів модернізації комунальної теплоенергетики України, то вони досить детально представлені в [38]. Як відомо, неодмінним наслідком перетворення енергоресурсів у зручні для використання види енергоносіїв (електричний струм, пара, гаряча вода та ін.) є викид забруднюючих речовин, тепла і парникових газів у навколишнє середовище. При цьому принципово важливо підкреслити, що немає жодного виду енергоресурсів, при використанні якого не виявлялося б негативного впливу на екологічну рівновагу в природі. Поновлювані джерела енергії, умовно відносяться до «екологічно чистих», такими не є, якщо розглядати т. зв. повний цикл їх життя, рис. 6.

Але все ж таки є потенційно значний екологічно чистий енергоресурс, який не видобувається з родовищ, який не витягується з навколишнього середовища і, природно, не зазнає ніяких перетворень. Він відсутній у природі як такий і може бути віднесений до екологічно абсолютно чистих енергоресурсів. У літературі [39] з'явився вже термін, що характеризує такий енергоресурс – «негаджоуль» (латин. *nego* – заперечую), тобто це є як би «віртуальні» джоулі. Мова йде про підвищення енергоефективності – заходу, що не є тотожним процесу енергозаощадження.

Енергоефективність – це характеристика, що відображає відношення будь-якого корисного ефекту (виробництво матеріальних цінностей, надання послуг, проведення різного виду робіт) до витрат енергетичних ресурсів з метою отримання такого ефекту [40]. Енергоефективність характеризує ефект від використання одиниці енергії і вимірюється у відносних одиницях (позитивний ефект / Дж). Ідеальний результат, наприклад, для теплопостачання – це повне, без втрат використання первинної енергії на створення належного теплового режиму комфорту в зонах перебування людини. Енергоефективність – показник, обернено пропорційний енергоємності виробництва продукції.

Енергозаощадження – це реалізація організаційних, правових, технічних, технологічних, економічних та інших заходів, спрямованих на зменшення обсягу енергетичних ресурсів, що використовуються при збереженні відповідного корисного ефекту від їх використання (в

тому числі обсягу виробленої продукції, виконаних робіт, наданих послуг) [41]. Важливо підкреслити: «існуючий корисний ефект», інакше просте припинення подачі теплоносія для опалення або електроенергії аж до відключення, можна віднести до заходу «енергозаощадження».

На початку XXI століття енергоефективність стала одним із основних енергоресурсів в енергетичному балансі світу (рис. 7, [42]) Як видно з рис. 7, енергоресурси у вигляді «негаджоулей» можуть бути порівняні з іншими енергоресурсами в структурному енергобалансі світу і Європи і, зокрема, можуть бути рівні або навіть перевищувати обсяги використання нафти. У енергобаланс України цей енергоресурс поки ще не включений в належній мірі.

Негативна ситуація в українській енергетиці, зокрема залежність від поставок газу і нафтопродуктів, недопоставки антрациту, відсутність повноцінних ринкових відносин в енергетиці та інші негативні явища, поглибила проблему диверсифікації енергоресурсів. Водночас все ще залишається проігнорованим такий енергоресурс, як «негаджоулі». Досвід роботи з підвищення енергоефективності недостатньо систематизується і пропагується, немає банку пропонованих інноваційних технологій і їх ієрархічного ряду для вибору найбільш оптимальних. Ігнорування підвищення енергоефективності – це зниження економічного зростання, збереження високої енергоємності ВВП, загроза енергетичній безпеці, зниження конкурентоспроможності промисловості та інвестиційної привабливості, підвищення рівня бідності, підвищення рівня забруднення навколишнього середовища і карбонізації економіки.

За даними Центру енергоефективності («ЦЕНЕФ-XXI», РФ) у 1973–2011 рр. за рахунок підвищення енергоефективності було забезпечено більше половини приросту потреби людства в енергії. У ці роки світовий ВВП зріс в 3,3 рази, а споживання первинної енергії – лише в 2,1 рази. Якби енергоємність ВВП залишалася на рівні 1973 року, то приріст споживання енергії склав би 14,1 млрд. тонн нафтового еквівалента (т н.е.), а фактично він склав 7 млрд. т н.е. Внаслідок підвищення енергоефективності було забезпечено половину приросту – 7 млрд. т н.е. У ці ж роки приріст палива і енергії склав (в млрд. т н.е.):

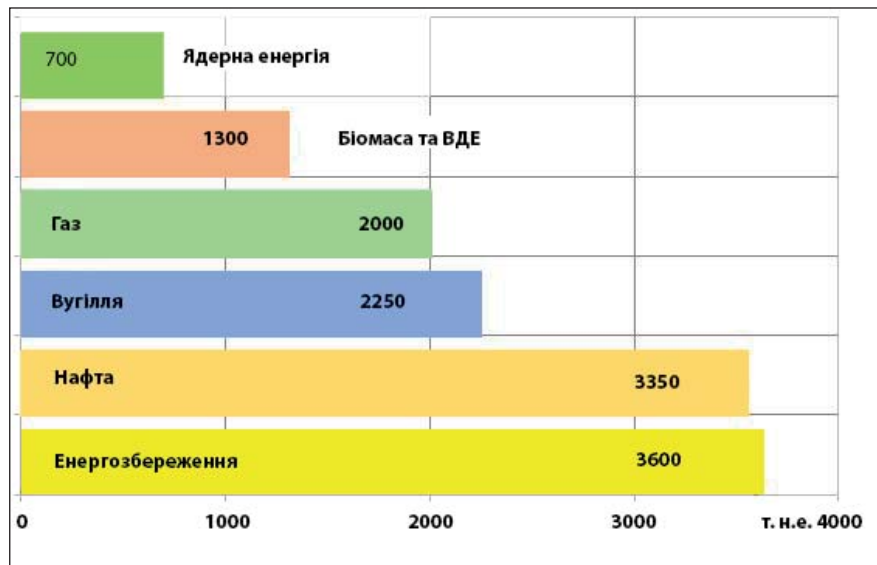


Рис. 7. Внесок енергоресурсів у світовому балансі

нафта – 1,35; вугілля – 2,28; природний газ – 1,81; ядерне паливо – 0,62 [40].

Останнім часом в Україні у законодавчому полі і в політиці виконавчої влади активізувалася діяльність з пропаганди енергоефективності та реального шляху її реалізації в сфері енергетики. До заходів у цьому напрямку відносяться:

1. Прийняття в 2017 році нової енергетичної стратегії України «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» на період до 2035 року. Слід зауважити, що в порівнянні зі стратегіями 2006 і 2013 рр. в останній стратегії окремими суттєвими блоками представлені теплозабезпечення населення і промисловості, а також відновлювальна енергетика та енергоефективність, включаючи підрозділ підвищення енергоефективності будівель. При цьому в матеріалах стратегії до 2035 року, в яких розглядаються конкретні сектори енергетики, на перше місце ставиться енергоефективність, далі йдуть електроенергетика, теплоенергетика, видобуток газу, вугілля, нафти, а потім відновлювальна енергетика. Таким чином, розставлені пріоритети впливу на ситуацію в енергетиці.

2. Реалізація двох Національних планів дій до 2020 року – з відновлюваної енергетики і з енергоефективності та виконання відповідних секторальних дорожніх карт.

3. Розробка і прийняття декількох енергозначимих законів України: про енергоефективність будівель; про фонд енергоефективності; про комерційний облік комунальних послуг; про оптовий ринок електроенергії; про енергосервісні компанії, а також розгляд проекту загального закону про енергоефективність.

4. Прийняття проекту науково-технічного та експертного середовища з прогнозування на далеку перспективу соціально-економічного розвитку України, включаючи докладні дослідження спільної динаміки економіки і енергетики.

Дослідження у вирішенні глобальних і регіональних проблем потепління клімату проводяться, зокрема, в установах НАН України (Відділення фізико-технічних проблем енергетики, Відділення наук про Землю [43]). Пропозиції з технологічних, організаційних і соціально-економічних інновацій підвищення енергоефективності будівель, а також обладнання та інженерних систем їх енергозабезпечення, в тому числі при спорудженні «па-

сивних» будинків типу «нуль енергії» наведені в [43, 44]. Як приклад успішних розробок у цьому напрямку на території Інституту технічної теплофізики НАН України було збудовано унікальний експериментальний пасивний будинок типу «0 енергії».

У світовому масштабі геополітика, енергетика, екологія, економіка знаходяться в тісному взаємозв'язку. Енергетична політика різних країн (і регіонів) будується з урахуванням переваг тієї чи іншої складової такої залежності. Наприклад, 2019 рік відзначився особливою увагою світової громадськості до кліматичних проблем. На саміті G7 генеральний секретар ООН **Антоніу Гуттереш** оголосив «надзвичайну кліматичну ситуацію». У США відбувається процес виходу з Паризького угоди по клімату. Франція прийняла закон про енергетику та клімат, який встановлює екологічний і кліматичний надзвичайний стан та передбачає досягнення країною вуглецевої нейтральності до 2050 року. До 2030 р. Франція повинна зменшити споживання викопного палива на 40 % [45].

На 25-й конференції ООН з клімату (Мадрид, грудень 2019 р.) Генеральний секретар ООН визначив чіткі завдання з порятунку планети: до 2030 р. скоротити викиди парникових газів на 45 %; до 2050 р. досягти вуглецевого нейтралітету; до 2100 року обмежити зростання глобальної температури на 1,5 °C [46]. Європарламент 28 листопада 2019 року прийняв резолюцію, яка оголошує «глобальну кліматичну і екологічну надзвичайну ситуацію», і закликав усі країни ЄС до 2050 року повністю позбутися від викидів парникового газу. За ухвалення резолюції проголосували 429 депутатів, проти – 225 осіб, ще 19 утрималися. При цьому екологи вже розкритикували декларацію, в якій практично відсутні конкретні положення, а кліматичні цілі зовсім не відповідають Паризькій угоди [47].

Не всі фахівці з клімату поспішають оголошувати про прийдешні катастрофи. Уточнюється методологія, поглиблюється і розширюється теорія і практика досліджень, вдосконалюється інструментарій досліджень. Достовірні на перший погляд висновки беруться під сумнів. Здавалося б, можна достовірно визначити площу морських льодовиків в Арктиці – одного з ключових індикаторів клімату.

Широко розвинена авіарозвідка, супутникові спостереження. Однак похибка при вимірюваннях і розрахунках досягає, наприклад, для Арктичного басейну 10 % – в цілому близько 1 млн. км². Причина такої похибки – великі моря талої води шаром в 1–2 м в полярне літо на поверхні льоду. Талий шар води «екранує власне випромінювання льоду, в такій ситуації льодові спостереження в інфрачервоному діапазоні неможливі» [48].

Визначаються нові напрямки і об'єкти досліджень навколишнього середовища, що впливають на клімат внаслідок природної емісії парникових газів. У 2010 р. виконані унікальні дослідження в Арктиці причин і механізмів виникнення «метанового максимуму» в атмосфері Північної півкулі. Виявлені чинники і встановлені закономірності надходження в атмосферу величезних кількостей метану на мілководних акваторіях арктичних морів дають підстави вважати метановий фактор одним з основних причин глобальних змін клімату на Землі, а також пояснюють природу раніше встановлених аномалій [49].

Зараз основним трендом досліджень природи і характеру динаміки глобального потепління стають міждисциплінарні дослідження на стику, здавалося б, досить далеких дисциплін. Так, наприклад, виконавцями програми «Глобальні та регіональні зміни клімату та природного середовища пізнього кайнозою Сибіру» були десять інститутів Сибірського відділення РАН [50].

З урахуванням спрямованої антропогенної і циклічних природних компонент був виконаний прогноз динаміки глобальної температури в XXI столітті. Були використані прогнозні оцінки емісії вуглецю і змін атмосферної концентрації CO₂ в залежності від майбутньої динаміки антропогенних емісій, яка в свою чергу визначається багатьма факторами: технологічним прогресом та інноваціями в енергетиці, темпами розвитку світової економіки, результатами реалізації запланованих заходів, прийнятих на міжнародних кліматичних самітах, геополітичними турбулентностями і т.ін. (див. посилання [12] в [17]).

Залежно від різних сценаріїв розвитку енергетики межа в 2 °C (небезпечна зміна потепління, яка була, зокрема, зафіксована на Паризькій нараді) буде перевищена в 2050-му, в 2060-му або в 2070-му році, а за іншими прогнозними оцінками зростання температури в XXI столітті складе 2,2; 1,8; і 1,0 °C. Прогноз МГЕЗК для тих же умов відповідно – 3,6; 2,8 і 1,8 °C. Розбіжність в оцінках суттєва, тому що за багатьма пропозиціями, висловленими на останніх кліматичних самітах, зокрема на Паризькій нараді в 2015 р, небезпечна зміна потепління не повинна перевищувати 2°C. Така межа в 2 °C за двома сценаріями (більш жорстким за динамікою викидів CO₂) за прогнозами МГЕЗК буде перевищена в 2050 році і за менш жорстким сценарієм – в 2060 році. Згідно з прогнозами [17] таке перевищення за двома сценаріями настане в 2070 році, а за останнім сценарієм – не матиме місця. Тобто, ще є час для вирішення проблем, пов'язаних з антропогенною емісією парникових газів, хоча для першого сценарію (більш жорсткого) часу залишилося не так багато – близько 30-ти років.

Тому деякі вчені закликають до стриманості і пропонують не перебільшувати загрози природного процесу глобального потепління. Зокрема, у вересні 2019 р. п'ятсот провідних вчених з різних країн написали звернення на ім'я Генерального секретаря ООН Антоніу Гутерреша, керівника виконавчого секретаря рамкової комісії ООН зі

зміни клімату *Патриції Еспіноси Кантельяно* і в секретаріат Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату. У ньому вчені закликали припинити політизувати тему екології та спекулювати на ній. У своєму зверненні вчені говорять про те, що немає загрозової ситуації, пов'язаної зі зміною клімату, як і немає передумов для паніки або тривоги з цього питання [51].

Доречною бачиться ремарка доктора геолого-мінералогічних наук **В.С. Зикіна** з Інституту геології і мінералогії ім. В.С. Соболева Сибірського відділення РАН: «...Концентрація вуглекислого газу, дійсно, дуже потужно зростає. Тому з ним і прийнято пов'язувати процеси глобального потепління. Однак є дослідження, які спростовують зазначений причинно-наслідковий зв'язок. Тому далеко не все так однозначно, як про це часто пишуть в популярних ЗМІ. Напевне, тільки для політиків тут все просто, тому вони вхопилися за одну з версій. Але вчені насправді прекрасно усвідомлюють складність проблеми, пов'язаної з дуже інтенсивними змінами клімату. На мій погляд, ставлення людства до проблем зміни клімату добре відображає картина **Пітера Брейгеля Старшого** «Сліпі»» [52].

Для розуміння філософії такого підходу наводимо вказану картину (рис. 8). Як варіант її трактування: на картині зображена процесія з шести сліпих і понівечених чоловіків. Поводир групи відображений падаючим на спину в канаву, він тягне слідом за собою інших супутників. Існує версія, що чоловіки були не тільки сліпими, а й німими. Сюжет картини заснований на біблійній притчі «Сліпий веде незрячого». Написана в епоху кровопролитних суперечок про суть справжньої віри між протестантами і католиками. Обидві сторони були жорстокі й сліпі. І обидві звинувачували в згубній сліпоті інших.

Таким чином, глобальне потепління, ставши однією з найбільш обговорюваних проблем сучасності, викликало дискусію серед фахівців з клімату про причини, які породжують глобальне потепління, і наслідки такої зміни клімату. Є прихильники як антропогенного, так і природного впливу на зміну клімату. І ті й інші відстоюють свої концепції, приводячи, з їх точки зору, переконливі аргументи. Але треба спиратися на науковий метод: «велике мистецтво в політиці – це не переконувати себе в тому, що ми не зробили жодної помилки, ігнорувати їх, приховувати і звинувачувати інших людей, а взяти на себе відповідальність за помилки, вчитися на них і застосовувати цей досвід так, щоб уникнути помилок в майбутньому» [53]. Треба дотримуватися і такого принципу: «скільки б сил не було витрачено на вашу теорію, не можна ігнорувати дані, що суперечать їй» або «слід звертати більше уваги на пошук даних, що суперечать вашій теорії, ніж доказів, що підтверджують її» [54].

ВИСНОВКИ

Безсумнівно, є протистояння точок зору прихильників антропогенної і природної концепцій глобального потепління. Є й ті, хто вважає, що на зміну клімату одночасно впливають і природні, і антропогенні фактори, що теж має свою логіку. Є експерти, котрі вважають, що потепління є наслідком руйнування природних мікро- та макроекосистем та втрати стійкості життя на Землі [30], як космогенної динамічної системи.

Вчені мають свої гіпотези, ведуть дискусії, до обговорення проблеми підключається широка громадськість.

Форми протесту збагачують навіть словниковий запас. До терміну «*brexit*» додається «*clexit*», як поєднання слів «*climat*» та «*exit*». У 2019 р. з'явилося слово «*climate strike*» – кліматичний страйк. Протести – це теж трибуна громадської експертизи. Але головне при вирішенні соціально значущих проблем – дотримуватися принципу: від громадянської сміливості і гучної патетики до наукової та практичної доказовості там, де можуть домінувати емоційні перегини. Тільки так можна зняти небезпеку руйнівних моментів, які можуть проявлятися при масовому залученні людей, особливо молодих, в громадські рухи.

Незважаючи на існуючу серед фахівців неоднозначність висновків про природу глобального потепління і оцінок значущості ролей антропогенного і природного факторів в зміні клімату, ступеня небезпеки таких змін, відсутність в міжнародному співтоваристві узгодженої позиції щодо прийняття та виконання рішень, визначених кліматичними самітами, (зокрема, Паризької угоди), довгострокова енергетична політика України повинна бути спрямована на підвищення енергоефективності використання енергоресурсів з необхідними заходами з охорони навколишнього середовища на всіх етапах паливного циклу – від видобутку енергоресурсів до споживання енергії. Можна підтримати твердження автора [55]: «*Навіть якби глобального потепління не було, з точки зору провідних країн світу його слід було б вигадати, оскільки для його запобігання вживаються заходи, які сприяють розробці нових енергетичних технологій, заснованих на поновлюваних джерелах енергії*». Розробка нових енергетичних технологій, звичайно, не повинна обмежуватися тільки орієнтацією на поновлювані джерела енергії.

Якщо говорити про прогнози розвитку енергетики і, відповідно, про характер динаміки емісії парникових газів, то в найближчі десятиліття будуть проявляти себе такі тенденції [56]:

1) стабілізація національного питомого енергоспоживання на душу населення на рівні, який в основному визначається клімато-географічними факторами країн;

2) неухильне і практично лінійне зниження з часом вуглецевої інтенсивності світової енергетики (кількість діоксиду вуглецю, що припадає на одиницю споживання енергії) в результаті змін структури паливно-енергетичного балансу спостерігається вже більше ста років (перехід від вугілля до нафти, газу і останнім часом – до збільшення обсягів поновлюваних енергоресурсів). Остання тенденція призводить, як зазначено в [56], до зниження темпів зростання антропогенного впливу на кліматичну систему. Тому слід очікувати досить помірних змін складу атмосфери і клімату планети. На такі етапи розвитку орієнтується і українська енергетика.

Якщо людство та держави, в тому числі Україна, не зовсім готові через різні мотиви до боротьби із різними причинами (навіть не встановленими) глобального потепління клімату, то до цього потепління потрібно приготуватись, пристосуватись, адаптуватись, щоб мінімізувати всі можливі ризики для життя і природи і навіть навчитись використовувати позитивні моменти глобального потепління (а такі позитивні аспекти достеменно наявні). Більше того, якщо всі причини будуть встановлені і заходи по боротьбі з викидами парникових газів будуть реалізовані, то все рівно потрібен певний час (десятиліття чи навіть століття), щоб парникові гази максимально поглинулись сушею та світовим океаном (якщо це фізично може бути реалізовано) до рівня концентрації періоду голоцена, тобто до моменту виникнення зрілого людства. Але на час повернення до умовно природних значень обсягів парникових газів все рівно потрібна ефективна політика адаптації.

Сильні країни світу цього (G7, G20) на кліматичних самітах при наявності політичної волі можуть впливати на антропогенні фактори глобального потепління. Впливати на зміни клімату внаслідок сонячно-земної взаємодії надзвичайно важко. Тому для результатів спільної дії обох факторів необхідно розробляти заходи адаптації до можливих природних змін – це вкрай важлива, надзвичайно актуальна і конче необхідна діяльність для всього світу.



Рис. 8. Пітер Брейгель Старший, «Притча про сліпих». 1568. *De parabel der blinden* (нідерл.). Музей Каподімонте, Неаполь

Для України на ближню перспективу повинні бути розроблені рекомендації з адаптації змін клімату в промисловості, енергетиці, транспорті, житлово-комунальному господарстві, для лісного господарства, у сфері виробництва сільськогосподарських культур, для тваринницької галузі, а також повинні бути скореговані вимоги і параметри опалювального періоду для території України. Для цього повинна бути сформульована, прийнята і реалізована концепція, стратегія і програма адаптації економіки України (загальнодержавна і регіональні) до зміни клімату. Тобто повинна бути сформована державна політика адаптації до глобального потепління.

Обґрунтуванням дій з адаптації є Розпорядження КМ України від 7 грудня 2016 р. №932-р. «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни

клімату на період до 2030 року», в якому наголошено, що одним із основних напрямів «реалізації Концепції є адаптація до зміни клімату, підвищення опірності та зниження ризиків, пов'язаних зі зміною клімату». Така адаптація здійснюється шляхом розроблення і реалізації середньострокової стратегії адаптації до зміни клімату України на період до 2030 року, скоординованої зі стратегіями і планами розвитку секторів економіки та регіональними стратегіями розвитку. Важливість питань адаптації до змін клімату в Україні набуває особливого значення в контексті Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, оскільки у статті 365 зазначено, що співробітництво сторін торкається питання розвитку та імплементації політики з питань зміни клімату. 24 січня 2020 року КМ України створив міжвідомчу групу з подолання наслідків

Література

1. Зміна клімату. Узагальнена доповідь під редакцією Роберта Т. Уотсона і основної групи авторів. Третя доповідь МГЕЗК про оцінку клімату. 2001. 220 с.
2. Мировая энергетика будущего – время действовать. Документы МИРЭС 2000. Мировой энергетический Совет. Справочный перевод. 2000. 175 с.
3. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Интернет-ресурс: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml.
4. Флавін К. та ін. Стан світу 2002. Пер. з англійської: ВГО «Україна. Порядок денний на XXI століття та інститут сталого розвитку.» – К.: Інтелсфера. 2002. 289 с.
5. Терешин А.Г., Клименко А.В., Клименко В.В. Золотой век газа и его влияние на мировую энергетику, глобальный цикл углерода и климат. Теплоэнергетика. 2015. №5. С. 3–13.
6. Демерчян К.К., Демерчян К.С., Кондратьев К.Я. Темп роста концентрации CO₂ и уточнение его прогнозных оценок. Известия РАН. Энергетика. 2001. №1. С. 3–35.
7. Елисеєв А.В. Глобальний цикл CO₂, Eliseev_A_V_theses_26042017. Pdf.
8. Аржанов М.М. и др. Оценка климатических изменений в Северном полушарии в XXI веке при альтернативных сценариях антропогенного воздействия. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 6. С. 643–654.
9. Клименко В.В., Терешин А.Г. Мировая энергетика и глобальный климат в XXI веке в контексте исторических тенденций: Пределы роста. Универсальная и глобальная история. Эволюция Вселенной, Земли, жизни, общества. Под ред. Л.Е. Гринина, И.В. Ильина, А.В. Корогаева. Волгоград: Учитель, 2012. – С. 608–621.
10. Интернет-ресурс: <https://www.segodnya.ua/world/wnews/temperatura-na-planete-podnyalas-na-1-1-0s-v-oon-byut-trevogu-1335122.html>.
11. Базеев Е.Т. Киотский протокол: препятствия на пути реализации (к вопросу неоднозначности прогнозных оценок изменения концентрации парниковых газов в атмосфере Земли и повышения приземной температуры. Обзор). Труды международного энергоэкологического конгресса «Энергетика. Экология. Человек». 27–28 марта 2003 года. Киев. 2003. С. 67–71.
12. Базеев Е.Т., Диденко В.М. Парниковый эффект и теплоэнергетика Украины. Політичні, економічні та екологічні проблеми енергетичної безпеки і транспортування енергоресурсів в Україні. Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції. 24–26 жовтня 2000 р., м. Київ. РВПС НАН України, 2001. 268 с.
13. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики. Успехи физических наук. 2000. Т. 170, № 4. С. 419–445.
14. Иванов В., Богуславский С., Совга О., Жоров В. Світовий океан як стабілізатор клімату Землі. Вісник НАН України. 2004. №3. С. 32–37.
15. Лосев К.С. Парадоксы борьбы с глобальным потеплением. Вестник РАН. 2009. Т. 79, №1. С. 36–40.
16. Большаков В.А., Капица А.П. Уроки развития орбитальной теории климата. Вестник РАН. 2011. Т. 81, № 7. С. 603–612.
17. Замолодчиков Д.Г. Естественная и антропогенная концепции современного потепления. Вестник РАН. 2013. Т. 83, №3. С. 227.
18. Кораблёв О.И. Марс и Венера: разные судьбы планет земной группы. Вестник РАН. 2016. Т. 86, № 7. С. 587–599.
19. Сорохтин О.Г. Эволюция климата Земли и происхождение ледовых эпох. Вестник РАН. 2006. Т. 76. №8. С. 699–706.
20. Интернет-ресурс: <https://cikavosti.com/skilki-vyglekislologo-gazy-moje-ytrimati-grynt-nashoi-planeti/#hcg=xhGGDUr>.
21. Шестопалов В.М., Лукин А.Е., Згонник В.А., Макаренко А.Н., Ларин Н.В., Богуславский В.М. Очерки дегазации Земли. Київ, 2018. 632 с.
22. Николаев А.В. Проблемы геотомографии. Москва, 1997. С. 4–38.
23. Усенко О.В. Формирование расплавов. Геодинамический процесс и физико-химические взаимодействия. Київ, 2014. 237 с.
24. Нигматулин Р.И. Океан: климат, ресурсы, природные катастрофы. Вестник РАН. 2010. Т. 80. №8. С. 175–182.
25. Авакян С.В. Супрамолекулярная физика окружающей среды: климатические и биофизические эффекты. Вестник РАН. 2017. Т. 87, № 5. С. 456–466.
26. Барцев С.И., Белоліпецький П.В., Дегерменджи А.Г. и др. Новый взгляд на динамику климата Земли. Вестник РАН. 2016. Т. 86, № 3. С. 244–251.
27. Кармазиненко С.П., Кураева І.В., Самчук А.І., Войтюк Ю.Ю., Манічев В.Й. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти). Київ, 2014. 168 с.

змін клімату для охорони здоров'я громадян. Тому доцільність і актуальність політики адаптації всієї економіки і населення країни є обґрунтованою.

Стратегія адаптації до зміни клімату – це розробка таких заходів і механізмів, які дозволяють технічно і економічно обґрунтованим способом, з урахуванням сучасного і прогнозованого стану економіки, виключити або послабити негативні наслідки зміни клімату на рівень і якість життя населення та економіки України. Наприклад, для комунальної енергетики метою стратегії адаптації до зміни клімату буде забезпечення такого стану муніципального енергопостачання (електро-, теплопостачання і кондиціонування), яке гарантуватиме якісне, комфортне та надійне поточне і перспективне теплохолодопостачання технічно і економічно обґрунтованим способом при

дотриманні вимог охорони навколишнього середовища.

Остання доповідь вчених МГЕЗК показує, що планета, швидше за все, «потеплішає» на 2,9–3,4 °С [57], тому необхідно докласти всіх зусиль, щоб утримати підвищення глобального потепління на рівні 1,5 °С до 2100 року.

Для цього слід значно скоротити шкідливі викиди. У цьому випадку наслідки будуть не настільки згубними, як за умов підвищення температури на 2 °С.

Вочевидь, що впливати на зміни клімату внаслідок сонячно-земної взаємодії надзвичайно важко, але до наслідків спільної дії обох факторів необхідно розробляти заходи адаптації до можливих природних змін. Для цього повинна бути сформульована, прийнята і реалізована концепція, стратегія і програма адаптації економіки України (загальнодержавна і регіональні) до зміни клімату. ■

28. Вовк В.В., Егорова Л.В., Трошичев О.А. Связь атмосферных характеристик в Антарктиде с факторами космической погоды. Геомагнетизм и аэрономия 2008. Т. 48, №4. С 561–565.
29. Волощук В., Срипник М. Глобальний парниковий ефект і кліматичні умови України. Вісник НАН України. 1993. №9. С. 43–46.
30. Заліханов М.Г., Лосев К.С., Шолохов А.М.. Природні екосистеми – найважливіший природний ресурс людства. Вісник РАН, т. 76. №7. 2006. С. 612–614.
31. Бойченко С. Г. Напівемпіричні моделі та сценарії глобальних і регіональних змін клімату. Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна. К.: Наук. думка, 2008. 309 с.
32. Волощук В. М., Бойченко С. Г., Степаненко С. М., Бортник С. Ю., Шищенко П. Г. Глобальне потепління і клімат України: Регіональні екологічні та соціально-економічні аспекти. Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка. К.: ВПЦ Київський університет, 2002. 116 с.
33. Шевчук В. Я., Трофімова І. В., Трофимчук О. В., Іваненко Н. І., Парасюк Н. В. Проблеми і стратегії виконання Україною Конвенції ООН про зміну клімату. Рада національної безпеки і оборони України, Український інститут досліджень навколишнього середовища і ресурсів. Київ, 2001. 95 с.
34. Ліпінський В.М. Глобальна зміна клімату та її відгук в динаміці клімату України. Матеріали міжнародної конференції «Інвестиції та зміна клімату: можливості для України, 10–12 липня 2002 р. – К.: Інвестиції з питань зміни клімату. 2002. С. 177–185.
35. Звіт про науково-дослідну роботу «Розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов України на середньо- і довгострокову перспективу з використанням даних глобальних і регіональних моделей». Український гідрометеорологічний інститут НАН України. 2013, 171 с. URL: <http://uhmi.org.ua/projekt/rvndr/climate.pdf>.
36. Шестое национальное сообщение Украины по вопросам изменения климата URL:http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/application/pdf/6nc_v7_final_%5B1%5D.pdf.
37. Підвищення стійкості до зміни клімату сільськогосподарського сектору Півдня України. Сентендре, Угорщина. Regional environmental center. Жовтень 2015. 73 с.
38. Організаційно-економічні механізми модернізації теплоенергетики України (під ред. Баска Б.І.). Київ, 2015. 338 с.
39. Сам собі пан. Вісник української мережі «Енергоефективні міста». 2005. №3–4. С. 17.
40. Башмаков И. Повышение энергоэффективности - главный энергетический ресурс (презентация). <https://www.cenef.ru/file/Study.ppt>.
41. Закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".
42. Башмаков И. Закон повышающей энергоэффективности. Энергоинформ. 2002. №27 (158).
43. Басок Б.І., Базеев Є.Т., Дубовський С.В. Про проблему адаптації комунальної енергетики до глобального потепління (огляд). Теплофізика та теплоенергетика, 2020, т.42, №2. С. 48–59.
44. Кириленко О.В., Басок Б.І., Базеев Є.Т., Блинов І.В. Енергетика в реаліях сучасного світу і України та глобальне потепління. Технічна електродинаміка, 2020, №3. С. 52–61.
45. Інтернет-ресурс: <https://www.unian.net/ecology/10749615-franciya-obyavila-klimaticheskoe-chrezvychnoe-polozhenie.html>.
46. Інтернет-ресурс: <https://www.rbc.ua/rus/news/gensek-oon-klimaticheskoy-konferentsii-nazval-1575336213.html>.
47. Інтернет-ресурс: <https://hightech.fm/2019/11/30/euro-eco>.
48. Матишев Г.Г., Дженюк С.Л., Моисеев Д.В. Климат и большие экосистемы Арктики. Вестник РАН. 2017. Т. 87, №2. С. 110–120.
49. Сергиенко В.И. Выступление на общем собрании РАН (стенограмма). Вестник РАН. 2011. Т.81, № 10. С. 893.
50. Фомин В.М., Молодин В.И., Ерминов В.Д. Междисциплинарные исследования — главный тренд развития науки в России. Вестник РАН. 2015. Т. 85, №11. С. 993–1004.
51. Інтернет-ресурс: https://pikabu.ru/story/500_uchenyikh_obratilis_v_oon_i_prizvali_prekratit_politizirovat_temu_yekologii_6955501.
52. Інтернет-ресурс: <https://academcity.org/content/dlya-nachala-globalnogo-poholodaniya-poka-net-sereznyh-osnovaniy>.
53. Поппер К. Ницета историцизма. Вопросы философии, 1992, №9. С. 22–48.
54. Харре Р. Социальная эпистемология: передача знаний посредством речи. Вопросы философии, 1992, №9. – С. 49–60.
55. Миронов Н. Меры и вызовы глобальной энергетической безопасности. Мировая энергетика. 2007. №4. С. 50–51.
56. Клименко В.В. Опыт генетических прогнозов мировой энергетики: можем ли мы предвидеть далекое будущее. Доклады РАН. Энергетика. 2014. т.458, №4. С. 415–418.
57. WMO Provisional Statement of the State of the Climate 2019. URL:https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10108.