

*Клімат —
статистичний опис
середньої величини і мінливості
відповідних кількісних параметрів протягом періоду
часу, який може коливатися від декількох місяців
до тисяч і мільйонів років (за визначенням ВМО,
класичним періодом вважається 30 років)*

*Climate C
Climate Change 2007 [12]*

Оцінка загрози глобального потепління

*(за даними Всесвітньої
метеорологічної організації (ВМО)
і Ukrainian Media Service,
% населення країни)*

	<i>Незначна</i>	<i>Важлива</i>	<i>Критична</i>
<i>Мексика</i>	<i>7</i>	<i>18</i>	<i>70</i>
<i>Австралія</i>	<i>5</i>	<i>26</i>	<i>69</i>
<i>Півд. Корея</i>	<i>4</i>	<i>29</i>	<i>67</i>
<i>Іран</i>	<i>9</i>	<i>16</i>	<i>61</i>
<i>Ізраїль</i>	<i>15</i>	<i>25</i>	<i>52</i>
<i>Індія</i>	<i>10</i>	<i>27</i>	<i>51</i>
<i>Китай</i>	<i>12</i>	<i>33</i>	<i>47</i>
<i>Вірменія</i>	<i>16</i>	<i>26</i>	<i>47</i>
<i>США</i>	<i>13</i>	<i>39</i>	<i>46</i>
<i>Україна *</i>	<i>11</i>	<i>33</i>	<i>33</i>

**Лише кожний третій українець
вважає глобальне потепління
критичною загрозою для людства*

СУЧАСНІ ГЛОБАЛЬНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА ПРОЯВИ ЇХ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ



Світлана Бойченко

докт. геогр. наук,
доцент,
ст. наук. співр.
відділу геомагнетизму
Інституту геофізики
ім. С.І. Суботіна
НАН України,
м. Київ

Глобальне потепління клімату, яке розпочалося в другій половині XIX ст., і подальшу його інтенсифікацію в XX ст. і на початку XXI ст. вважають спровокованими, головним чином, антропогенним підсиленням в атмосфері парникового ефекту Франкліна-Тіндала, а також, меншою мірою, природними факторами.

Саме антропогенний фактор — викиди в атмосферу парникових газів (CO_2 , CH_4 , N_2O) і відіграє в сучасній епісоді домінуючу роль (до $\sim 80 \pm 10\%$) у процесах формування змін глобального клімату та регіональних особливостей його динаміки [12]. Протягом останніх 100-150 років глобальна приземна температура повітря підвищилася на $0,5-0,7^\circ\text{C}$ [2,11-13]. На перший погляд, ця величина незначна, але з іншого боку — це є свідченням (індикатором) істотних змін у навколишньому середовищі. За оцінками різних груп міжнародних експертів до кінця XXI ст. можна очікувати підвищення приземної температури до $2,0-2,5^\circ\text{C}$ [12].

Однією з найважливіших міжнародних дій з проблеми захисту земної кліматичної системи від негативних наслідків глобального потепління, викликаного антропогенними чинниками, є розробка та прийняття Порядку денного на XXI ст. — прийняті Програма дій ООН, Рамкова Конвенція зі змін клімату (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.) та Киотський протокол (Киото, 1996 р.), Віденська конвенція та Монреальський протокол, Конвенція ООН по боротьбі з опустелюванням, Конвенція про біологічне різноманіття та інші міжнародні угоди, які, зокрема, ратифіковані й Україною.

Дослідженню і вивченню проблем, пов'язаних з глобальним потеплінням, присвячено ряд міжнародних програм — CLIVAR, TOGA, WOCE тощо. Вирішення цих проблем можливе при спільних, скоординованих зусиллях учених різних наукових напрямів, спрямованих на дослідження всіх ланок земної кліматичної системи (атмосфера-океан-криосфера-біосфера-літосфера) на основі сучасних досягнень науки і техніки.

Міжурядовою групою експертів зі змін клімату IPCC (МГЕЗК), яка створена в 1988 р. ВМО та ЮНЕП для реалізації Програми ООН з навколишнього середовища, були проведені дослідження, і як результат представлено чотири оціночні Доповіді щодо змін клімату (1990, 1995, 2001, 2007 рр.), підготовлені на основі узагальнених оцінок результатів досліджень міжнародних та національних груп учених, представлених IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) [11, 12]. Робота Міжурядової групи експертів зі змін клімату високо оцінена світовою спільнотою — у 2007 р. їм присуджено Нобелівську премію миру.

Очевидно, що при розробці стратегії соціально-економічного розвитку України слід враховувати сучасні тенденції у глобальних і регіональних змінах клімату та звернути особливу увагу на екологічні та соціально-економічні наслідки цих змін — з метою оцінки можливої вразливості агропромислового комплексу України, її паливно-енергетичної галузі, гідроресурсів, лісового господарства, гірських регіонів тощо. Протягом 1998—2000 рр. в Україні в рамках національної кліматичної програми проводили дослідження особливостей реакції кліматичних умов України на глобальні зміни клімату [8]. А згідно з указом Президента України (№ 658/2007 від 20.07.2007 р.) в Україні буде розпочато наступний цикл наукових досліджень з метою підготовки сценаріїв можливих змін кліматичних умов і оцінки впливу можливих змін клімату на національну економіку та системи забезпечення життєдіяльності населення України.

Особливості сучасних глобальних змін клімату

Динаміка глобальної приземної температури повітря в XX ст. Сучасне глобальне потепління ідентифіковано на основі даних інструментальних спостережень на світовій метемережі, яка охоплює всі материки й океани, а саме: на основі аналізу приземної температури повітря¹. Також рівень глобального потепління визначають шляхом різних модельних розрахунків щодо впливу на відхилення температури T різних складників радіаційного форсингу² (парникових газів, аерозолів, альbedo, сонячної сталої, вулканічних викидів тощо) та шляхом теоретичних модельних розрахунків на основі логарифмічного закону залежності аномалій глобальної приземної температури повітря від варіацій вмісту CO_2 в атмосфері [1, 14].

танні 100 років. В табл.1. наведені оцінки темпів (коефіцієнтів лінійних трендів) підвищення середньорічної температури (глобальної та окремо для Північної і Південної півкуль) за період 1900—2000 рр.

Виявлене квазіперіодичне коливання температури з періодом 58 ± 3 років, що розвивається на фоні загального лінійного тренду, може призводити до ще більшого або потепління, або похолодання — залежно від його фази й амплітуди (див. рис. 1 і табл.1). Для періодів, коли лінійний тренд температури був посилений висхідною гілкою квазіперіодичного коливання, наприклад в 40-х роках і 90-х роках ХХ ст., характерне сильне потепління, і, навпаки, в 20-х і 60-х роках, коли лінійний тренд температури був знівельований низхідною гілкою квазіперіодичного коливання, було характерне деяке похолодання [2, 4, 9, 10].

Вважають, що ці квазіперіодичні коливання температури мають природний характер, але їхня фізична

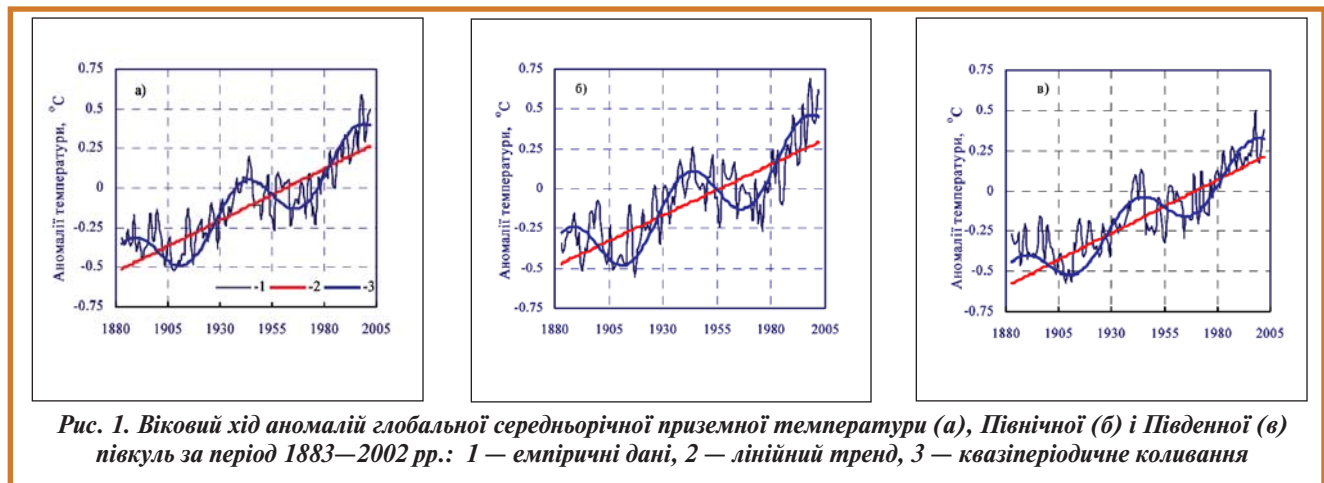


Рис. 1. Віковий хід аномалій глобальної середньорічної приземної температури (а), Північної (б) і Південної (в) півкуль за період 1883—2002 рр.: 1 — емпіричні дані, 2 — лінійний тренд, 3 — квазіперіодичне коливання

Темпи підвищення приземної температури виражають через суперпозицію лінійного тренду і розвинутого на його фоні квазіперіодичного (синусоїдального) коливання. Згідно з сучасними даними кліматології, лінійний тренд глобальної температури має, в основному, антропогенну природу — це результат антропогенного підсилення атмосферного парникового ефекту³ через стрімке збільшення в атмосфері вмісту водяної пари, вуглекислого газу, метану, окису азоту тощо. Природа квазіперіодичного коливання поки що невідома.

В результаті статистичної обробки емпіричних рядів глобальних середньомісячних аномалій температури, опублікованих IPCC, встановлено, що підвищення температури склало близько $0,6 \pm 0,1^\circ\text{C}/100$ років протягом 1900-2000 рр., але приземна температура підвищувалася швидшими темпами, на $0,15 \pm 0,02^\circ\text{C}/10$ років, в останні 50 років. Таким чином, темп зростання температури у другій половині ХХ ст. майже вдвічі вищий, ніж за ос-

природа поки що не з'ясована. Найбільш обґрунтованою гіпотезою щодо можливого фізичного механізму, який міг би формувати такі квазіперіодичні коливання температури, є вплив головного циклу просторового зміщення центра Сонячної системи, коли приблизно повторюється конфігурація Сонця, Юпітера та Сатурна, від яких і залежить, в основному, розташування центра інерції Сонячної системи (в цьому циклі Сонце рухається навколо центра інерції Сонячної системи по траєкторії, форма якої приблизно збігається з незамкнутим трилисником і характерний розмір якого дорівнює розміру самого Сонця). Як відомо, період цього циклу становить близько 60 років.

¹Температура приземного повітря — температура, що вимірюється термометром, встановленим на висоті 2 м над землею поверхнею на певній відстані від забудов і захищеним від прямого сонячного випромінювання.

²Радіаційний форсинг (потужність енергії випромінювання) — це зміна в сумарному потоку енергії випромінювання через тропопаузу внаслідок внутрішніх або зовнішніх змін у різних ланках кліматичної системи, наприклад, через зміни концентрації парникових газів в атмосфері і вмісту атмосферних аерозолів або енергії Сонця.

³Парниковий ефект — притаманний для атмосфер планет (наприклад, Землі, Венери, Марса), в яких наявні парникові гази. Парникові гази — це газоподібні складники атмосфери як природного, так і антропогенного походження, що ефективно поглинають і перевипромінюють інфрачервоне випромінювання поверхні планети. До парникових належать водяна пара, вуглекислий газ, метан, окис азоту, тропосферний озон, аміак та гази антропогенного походження (гексафторид сірки, гідрофторвуглеводні і перфторвуглеводні та ін.). При відсутності парникових газів в атмосфері середня температура земної поверхні становила б $-18,5^\circ\text{C}$; сучасна річна глобальна температура земної поверхні дорівнює $14,9 \pm 0,1^\circ\text{C}$, а це означає, що природний парниковий ефект у сучасну епоху підвищує температуру земної поверхні приблизно на $+33,5^\circ\text{C}$.

*ppm, ppb (англ.) — (укр. — млн^{-1} і мільрд^{-1} часток, відповідно)

Таблиця 1. Оцінки темпів підвищення глобальної приземної температури за останні 100 років [2]

Параметр	Регіон		
	Глобальний	Північної півкулі	Південної півкулі
Коефіцієнт лінійного тренду, $^\circ\text{C}/100$ років	0,5-0,7	0,49-0,63	0,51-0,67
Амплітуда квазіперіодичного коливання, $^\circ\text{C}$	0,13-0,17	0,15-0,20	0,11-0,14

Характерні особливості сезонного ходу глобального потепління. Важливою особливістю сучасного потепління є його різко виражений сезонний хід, який характеризується проявом ефекту потепління особливо в холодний період року — підвищення температури в середньому на $0,75 \pm 0,10^\circ\text{C}/100$ років у Північній півкулі і на $0,70 \pm 0,05^\circ\text{C}/100$ років — у Південній і меншим потеплінням у теплий період — на $0,55 \pm 0,05^\circ\text{C}/100$ років, і на $0,62 \pm 0,05^\circ\text{C}/100$ років, відповідно. Цю особливість сучасного потепління клімату наочно ілюструє рис. 2, побудований на основі статистичного аналізу емпіричних рядів аномалій температури (в Південній півкулі холодний період зміщений по фазі на півроку відносно Північної півкулі), представлених IPCC.

Виявлені тенденції у сезонному ході потепління вказують на прояв ефекту зниження амплітуди сезонного коливання температури, тобто до загальної деконтиненталізації кліматичних умов на материках. Найбільш імовірно, що причиною прояву ефекту деконтиненталізації є зменшення площі льодового покриву Землі та збільшення площі акваторій Світового океану через підвищення його рівня за рахунок теплового розширення верхнього квазіоднорідного шару морських вод, і, меншою мірою, через танення льодів у північних полярних регіонах [1,11,12,14].

При аналізі тенденції у зміні сезонного ходу для двох квазіперіодичних хвиль, які розвивалися протягом 1890–1950 рр. та 1940–2000 рр., виявлено ефект зміщення домінуючого рівня потепління протягом минулого століття по фазі вперед приблизно на 2–3 місяці. У Північній півкулі максимальне потепління для першої хвилі (протягом періоду 1890–1950 рр.) реалізовувалось у жовтні–лютому, а мінімальне — в травні–липні; а для другої хвилі (протягом періоду 1940–2000 рр.) максимальне потепління змістилось на лютий–квітень, а мінімальне — на липень–вересень (рис. 3). Такий самий ефект зміщення фази і величини амплітуди сезонного ходу характерний і для глобальної температури, але в дещо м'якшій формі. Ймовірно, що виявлений ефект зміщення максимуму потепління на лютий–квітень може бути причиною збільшення повторюваності ряду несприятливих клімато-екологічних явищ, особливо у гірських регіонах.

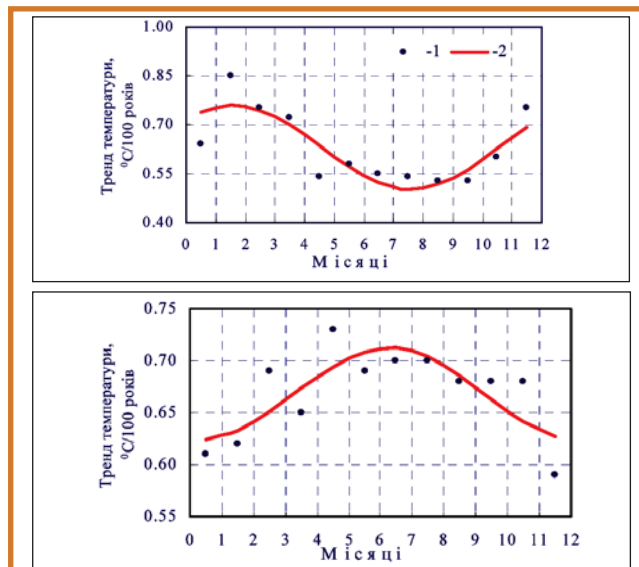


Рис. 2. Сезонний хід темпів потепління клімату в Північній (а) і Південній (б) півкулях за період 1900–2000 рр.: 1 — емпіричні значення коефіцієнтів лінійного тренду, 2 — напівемпірична модель

Характерні особливості сучасного широтного розподілу потепління в Північній і Південній півкулях та сценарії на майбутнє. Рівень потепління клімату і в Північній, і Південній півкулях сильно залежить від широти. Встановлено, що в екваторіально-тропічних широтах темпи потепління істотно нижчі від глобальних і становлять $0,4 \pm 0,1^\circ\text{C}/100$ років, у помірних широтах теплішає майже до $0,7 \pm 0,2^\circ\text{C}/100$ років, а в високих широтах потепління — майже $2,0 \pm 0,5^\circ\text{C}/100$ років, що у 3,0–3,5 рази перевищує глобальний рівень. Такий розподіл потепління призводить до інтенсивного танення гірських і морських льодів та деградації зони віковичної мерзлоти. Цікаво, що і матеріали палеокліматичних реконструкцій теплих епох минулого (оптимум голоцену 5–6 тис. років тому, микулинське міжльодовиків'я 125–135 тис. років тому, оптимум пліо-

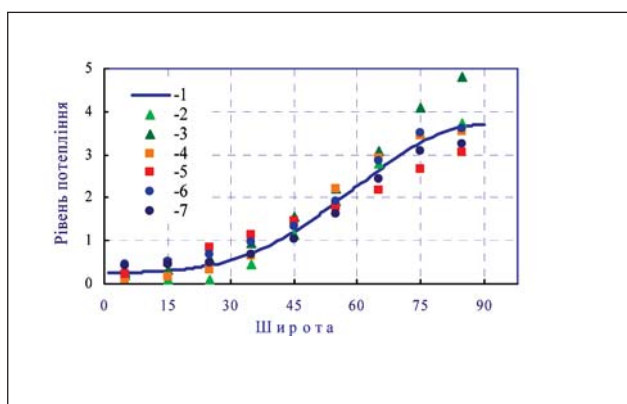


Рис. 3. Широтний розподіл потепління в Північній та Південній півкулях (відповідно): 1 — модель, 2 і 3 — оптимум голоцену, 4 і 5 — микулинське міжльодовиків'я, 6 і 7 — оптимум пліоцену

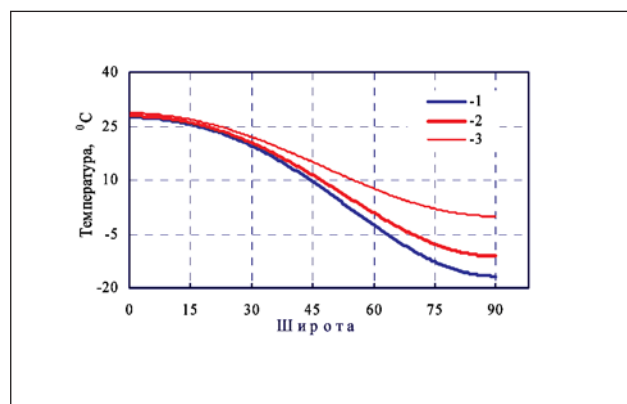


Рис. 4. Сценарій зміни широтного ходу температури в Північній півкулі при глобальному потеплінні: 1 — сучасний широтний розподіл, 2 — при потеплінні на $1,5^\circ\text{C}$, 3 — при потеплінні на $4,5^\circ\text{C}$

цену 2-3 млн. років) підтверджують такий широтний розподіл потепління при різних рівнях коливань клімату (див. рис. 3).

Важливим результатом такої особливості глобального потепління є істотне зниження перепаду температур екватор-полюс, що може призводити до змін загальної циркуляції атмосфери. На рис. 4 представлені сценарії трансформації зонального кліматичного поля температури в Північній півкулі при зміні глобальної температури на 1,5 та 4,5°C. Якщо порівняти сучасний широтний хід температури і її хід при різних рівнях потепління, то чітко видно, що справді має місце істотне зниження її перепаду в напрямі екватор-полюс. Скажімо, сучасний перепад температури з широтою становить $43 \pm 1^\circ\text{C}$, при потеплінні на $1,5^\circ\text{C}$ від становитиме $39 \pm 1^\circ\text{C}$, а при $4,5^\circ\text{C}$ дорівнюватиме $29 \pm 1^\circ\text{C}$.

Характерні особливості динаміки глобального річного рівня опадів в XX ст. та сценарії можливих змін у майбутньому.

За законом Клапейрона-Клаузіуса при підвищенні глобальної приземної температури глобальна середньорічна концентрація водяної пари і рівень випаровування також підвищуються. Слід відмітити, що, незважаючи на підвищення загального вмісту вологи в атмосфері, зміна кількості атмосферних опадів має немонотонний характер і по-різному проявляється залежно від регіону. А тому в деяких регіонах з надмірним зволоженням відмічають навіть збільшення кількості атмосферних опадів і, навпаки, в посушливих регіонах може посилились посушливість (аридизація) кліматичних умов.

В середньому за рік на планеті випадає опадів близько 1000-1200 мм/рік. За оцінками міжнародних експертів загальна глобальна кількість атмосферних опадів у XX ст. справді збільшилась на 5-10% — у відповідності з законом Клапейрона-Клаузіуса [14]. Але у низьких широтах можна спостерігати як збільшення, так і змен-

шення опадів — залежно від географічного регіону: наприклад у тропіках (10° пн. ш. — 10° пд. ш.) відмічено збільшення кількості опадів до 5%, а в субтропіках на широтах 10-30° пн. ш. і пд. ш. (Сахельська пустеля, Південна Африка і деякі регіони Південної Азії та Середземномор'я) їхня кількість зменшилась у середньому на 5-10%. У регіонах, розташованих у середніх і високих широтах Північної півкулі, де відмічено зростання кількості опадів, мало місце і збільшення повторюваності несприятливих кліматичних явищ. Інтенсифікація атмосферних опадів призвела до збільшення повторюваності злив на 5-10% і, як не дивно, до збільшення повторюваності посушливих явищ (через інтенсифікацію процесів випаровування і синоптичних процесів). У Південній півкулі значних змін у широтному розподілі атмосферних опадів не спостерігали.

Виявлені характерні особливості розподілу кількості опадів в умовах глобального потепління на різних материках наведено в табл.2.

Широтний розподіл річної зональної суми атмосферних опадів у Північній півкулі.

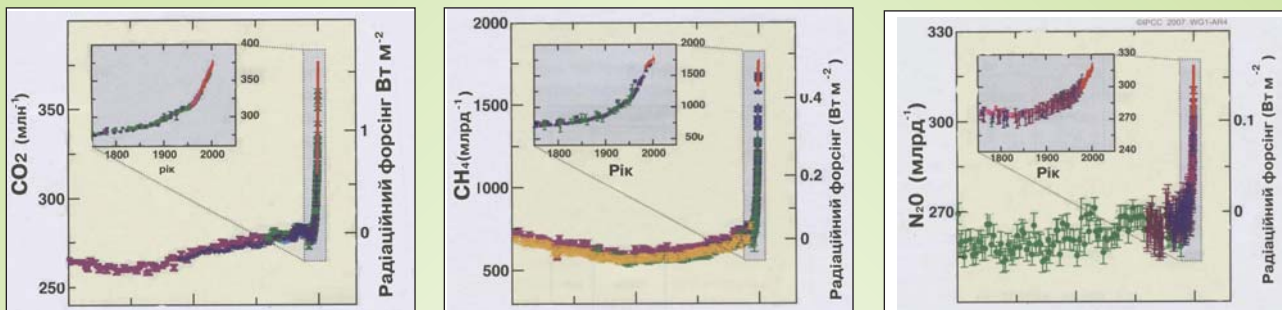
Широтний розподіл річної зональної суми атмосферних опадів у Північній півкулі має свої особливості: досить гострий максимум у екваторіальній зоні (до 1800 ± 450 мм/рік), помітний мінімум (до 400 ± 100 мм/рік) у поясі субтропічних антициклонів, досить широкий, але не дуже різко виражений максимум (в середньому 650 ± 150 мм/рік) у помірних широтах та різко виражений мінімум у високих широтах (до 250 ± 100 мм/рік). Гострий максимум в екваторіальній зоні пов'язаний із внутрішньотропічною зоною конвергенції повітря, яка формується на висхідній гілці "кільця Гадлея (Хедлі)" — одній із основних ланок загальної циркуляції атмосфери.

Особливо наочно представлена внутрішньотропічна зона конвергенції повітря на супутникових фотознімках хмарного покриву Землі — у вигляді практично суцільної смуги потужних хмар, що оперізує земну кулю у теплий період року у широтному поясі 5-15°. Субтропічний мінімум опадів відповідає поясу субтропічних антициклонів. Пояс субтропічних антициклонів формується на низхідній гілці "кільця Гадлея", де у тропосфері в основному панують низхідні рухи повітря. Саме вони і є причиною того що, незважаючи на досить великий абсолютний вміст вологи в атмосфері (у зв'язку з порівняно високою температурою), тут частота утворення і хмар, і опадів досить низька.

Пояс субтропічних антициклонів — це зона пустель. Саме у цьому поясі розташовані основні пустелі планети. Північна периферія поясу субтропічних антициклонів деякою мірою сягає південних регіонів України. Циклони, атмосферні фронти, конвективні хмарні утворення в умовах нестійкої термічної стратифікації формують другий максимум у широтному розподілі річної суми опадів. Україна якраз розташована в основному саме у цій зоні інтенсивної синоптичної діяльності атмосфери. У полярних регіонах інтенсивність опадів знову різко знижується. Це пов'язано з низьким абсолютним вмістом вологи в атмосфері (у зв'язку з низькою температурою повітря) і з пануванням низхідних рухів повітря, бо полярні регіони розташовані в зоні низхідної гілки вертикального руху повітря (в зоні циркумполярного вихору) — другої важливої ланки загальної циркуляції атмосфери.

Таблиця 2. Основні тенденції у зміні кількості атмосферних опадів в умовах сучасного глобального потепління на різних материках планети [11]

Материк	Зміна кількості атмосферних опадів
Африка	зростання кількості опадів у східній частині материка на 10-20% та зниження, особливо у північній і центрально-західній частині — від 10 до 50%
Південна Америка	значне зниження опадів на західному узбережжі в межах 30% і зростання на 10-30% в південно-східному регіоні
Північна Америка	загальне підвищення опадів в середньому на 10-30%, але незначне зниження на 10% — на південному заході і центрі материка
Європа	загальне зростання опадів на 10-30%, але зниження опадів на 10-20% — на півдні і в центрі материка
Азія	підвищення опадів на 10-20%, особливо на південному заході і на північному сході, та зменшення на 10% — в центральній частині

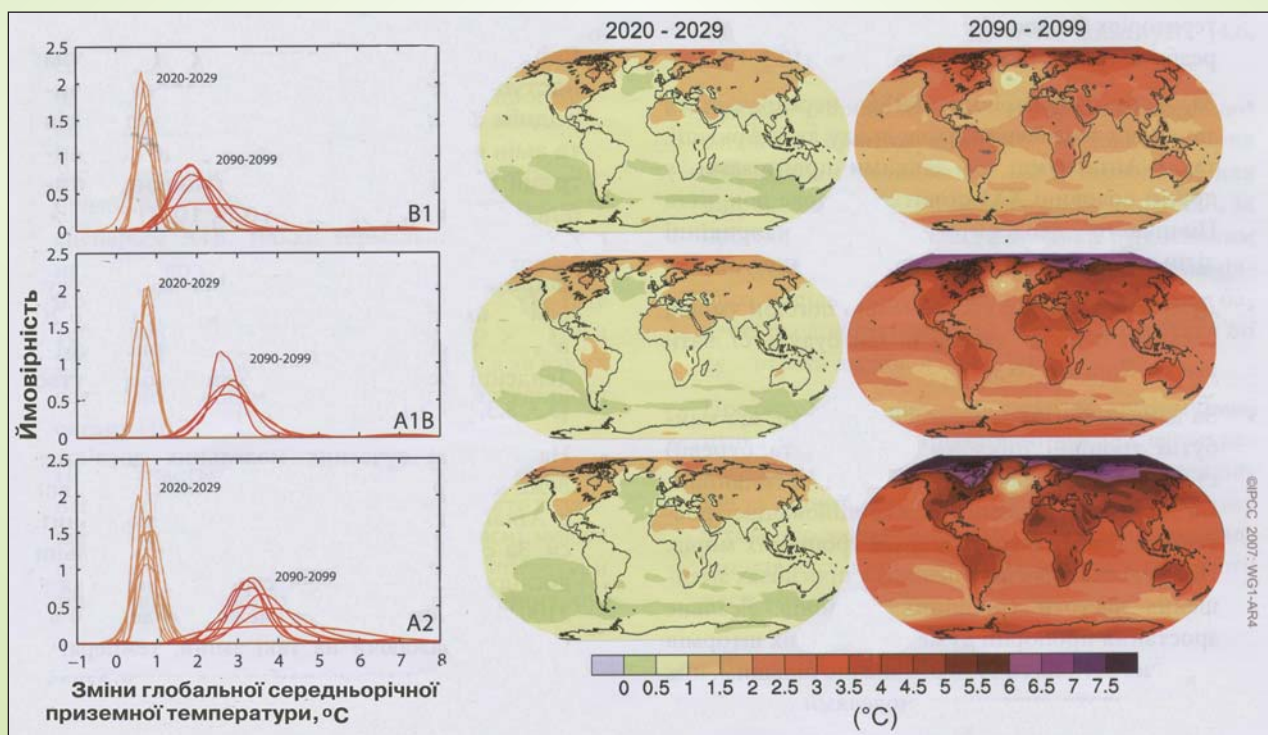


Зміни концентрацій парникових газів за даними дослідження кернів льоду та за сучасними інструментальними даними [12]

Концентрації вуглекислого газу, метану та азоту в атмосфері упродовж останньої 1 тис. років (збільшені графіки) та з 1750 р. (зменшені графіки), — горизонтальна вісь означає час до 2005 року.

Вимірювання здійснені з використанням зразків льоду (різнокольорові символи позначають різні дослідження) і зразків атмосфери (червоні лінії).

Відповідні значення потужності випромінювання (радіаційного форсингу) подано справа на осях збільшених рисунків

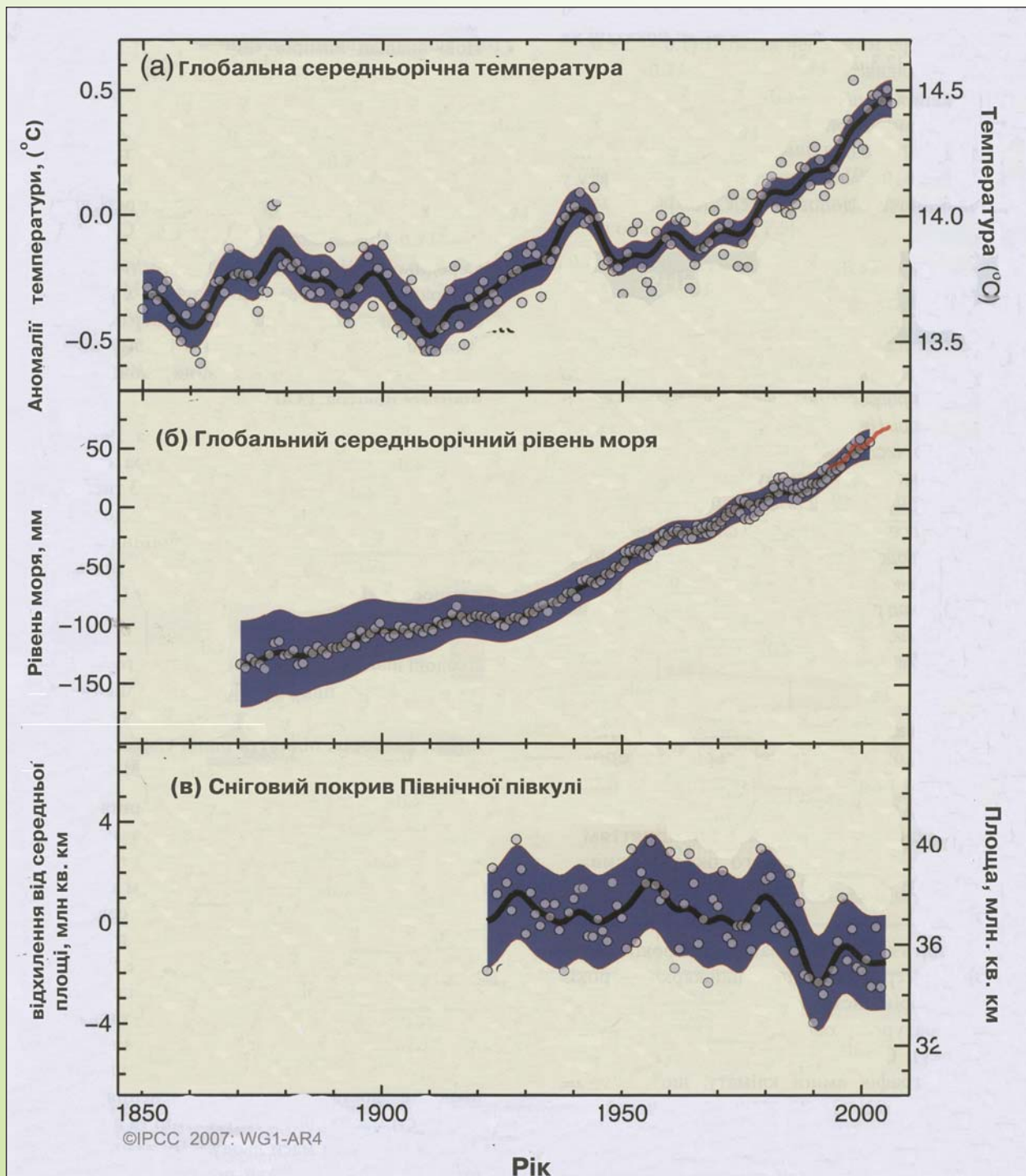


Прогнози змін приземної температури [12].

Прогнозовані зміни приземної температури на початку та наприкінці XXI ст. у відношенні до періоду 1980—1999 рр.

На центральному і правому рисунках подано прогнози мультимодельного дослідження глобальної циркуляції в атмосфері та океанах для SPES сценаріїв B1 (верхній) та A2 (нижній). Результати усереднено для 2020—2029 рр. (центрального) та 2090—2099 рр. (правого).

На графіках ліворуч подано відповідні невизначеності як імовірності середніх величин глобального потепління за результатами різних досліджень у рамках моделі Earth Models of Intermediate Complexity, EMICs) та моделей глобальної циркуляції в атмосфері та океанах (Atmosphere-Ocean Global Circulation Models, AOGCMs) для 2020—2029 рр. і 2090—2099 рр.



Зміни температури, рівня моря та снігового покриву Північної півкулі [12].

Зміни, що спостерігали для:

- а) глобальної середньорічної приземної температури;
- б) зростання рівня Світового океану під час припливів (сині кружечки) та за супутниковими даними (червоні кружечки);
- в) снігового покриву Північної півкулі у березні-квітні.

Всі дані подано у відношенні до аналогічних показників за період 1961—1990 рр. Згладжені криві відображають середні показники за десятиріччя, кружечки — середні показники за рік. Затемнені зони — інтервал непевності

За сценарними оцінками [2] щодо можливої зміни річної суми опадів у Північній півкулі по широті при різних рівнях глобального потепління, побудованими на основі модельних розрахунків при умові відносно стабільності основних процесів загальної циркуляції атмосфери, можна очікувати їх збільшення, особливо в помірних і високих широтах (наприклад, при потеплінні на $1,5^{\circ}\text{C}$ кількість опадів, особливо у помірних і високих широтах зростає на 10-20%). Але слід враховувати можливий вплив на інтенсивність атмосферних опадів варіацій процесів циркуляції атмосфери, які також будуть вносити відповідний внесок у трансформацію кліматичних полів опадів, особливо в окремих фізико-географічних регіонах. Аналіз палеокліматичних реконструкцій теплих епох минулого підтверджує той факт,

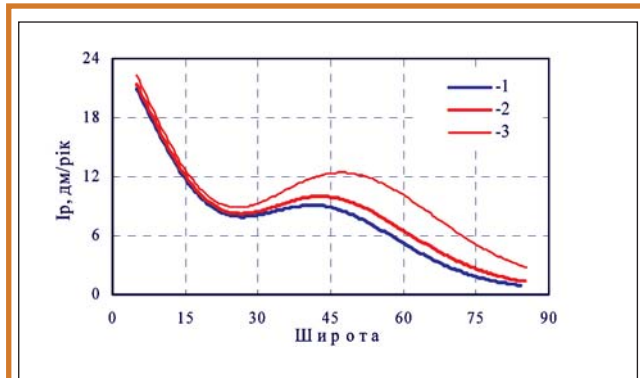


Рис. 5. Сценарії зміни зонального кліматичного поля річної суми опадів у Північній півкулі при змінах глобальної температури: 1 — сучасний широтний розподіл, 2 — при потеплінні на $1,5^{\circ}\text{C}$; 3 — при потеплінні на $4,5^{\circ}\text{C}$

що для всіх широтних зон Північної півкулі при глобальних потепліннях спостерігалось зростання річної суми опадів, причому тим більше, чим було сильнішим потепління (рис. 5).

Слід відмітити, що ефект опустелювання в результаті зсуву поясу субтропічних антициклонів на південні регіони Європи, і зокрема, на південні та південно-східні регіони України, який можна очікувати при потеплінні на $2-3^{\circ}\text{C}$ і більше, є прикладом одного з можливих катастрофічних наслідків саме зміни характеру загальної циркуляції атмосфери при подальшому глобальному потеплінні.

Сценарії динаміки глобальної приземної температури повітря в XXI ст. Сценарії можливої динаміки температурного режиму планети в XXI ст. при подальшому глобальному потеплінні, розроблені з урахуванням оцінок викидів парникових газів і сульфатних аерозолів і характеристик подальшого соціально-економічного розвитку людства на планеті, представлені IPCC [11,12]. Ці сценарії містять чотири комбінації можливих змін демографічної структури людства, подальшого соціально-економічного розвитку та масштабів технологічних змін (A1B, A2, B1, B2); дві інші групи сценаріїв (A1FI, A1T) розроблені для врахування альтернативних технологій в галузі енергетики.

За цими сценарними оцінками **до кінця XXI ст. приземна температура повинна зрости на $1,4-5,8^{\circ}\text{C}$.**

В серії сценаріїв IPCC використані наступні діапа-

зони подальшого глобального потепління:

A1 — $1,8-5,8^{\circ}\text{C}$, **A2** — $2,8-4,8^{\circ}\text{C}$,

B1 — $1,2-2,5^{\circ}\text{C}$, **B2** — $1,9-3,2^{\circ}\text{C}$.

Фактори невизначеності оцінюються в межах 20%. Слід відмітити, що в цих сценаріях не враховані додаткові міжнародні ініціативи стосовно стабілізації стану земної кліматичної системи, тобто це означає, що вони не включають результат, який може виникнути через здійснення Рамкової конвенції ООН про зміни клімату або акцій зі зменшення викидів згідно з механізмами Киотського протоколу.

Заслужують на увагу сценарії, які розроблені на основі різних фізичних міркувань (рис. 6) :

а) **сценарії динаміки температури, побудовані на основі екстраполяції тенденцій XX ст. з урахуванням основних особливостей глобального потепління — на фоні лінійного тренду глобальної температури чітко проявилось квазіперіодичне коливання** (з амплітудою $0,15-0,20^{\circ}\text{C}$ і періодом 58 ± 3 років). За сценарієм вікового ходу аномалій річної глобальної приземної температури, побудованого шляхом безпосередньої екстраполяції тенденцій XX ст. (лінійний тренд + квазіперіодичне коливання в гармонічному наближенні), можна очікувати підвищення температури до кінця XXI ст. до $1,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ (на період 2050 р. — $1,1 \pm 0,2$) [2,4];

б) **сценарії, які ґрунтуються на використанні логарифмічного закону залежності рівня глобальної температури від середнього вмісту CO_2 в атмосфері при безпосередній екстраполяції експоненціального закону його росту в останній чверті XX ст. на XXI ст.** (при відносній швидкості росту, рівній $4,32 \cdot 10^{-3}$ млн⁻¹/рік) — використовуються дві оцінки рівноважного підвищення глобальної приземної температури при подвоєнні вмісту CO_2 порівняно з 2000 р.: $1,5^{\circ}\text{C}$ — оптимальний варіант та $4,5^{\circ}\text{C}$ — песимістичний варіант [2,4]

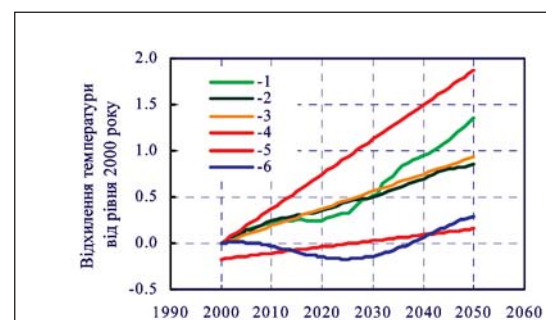


Рис. 6. Сценарії можливих змін глобальної середньорічної приземної температури для першої половини XXI ст.:
1 і 2 — сценарії Інституту Макса Планка, основані на математичних кліматичних моделях (відповідно, без врахування і з врахуванням впливу аерозольної складової атмосфери);
5 — екстраполяція лінійного тренду XX ст.,
6 — напівемпіричний сценарій, сконструйований на основі екстраполяції тенденцій XX ст.: лінійний тренд + квазіперіодичне коливання в гармонічному наближенні

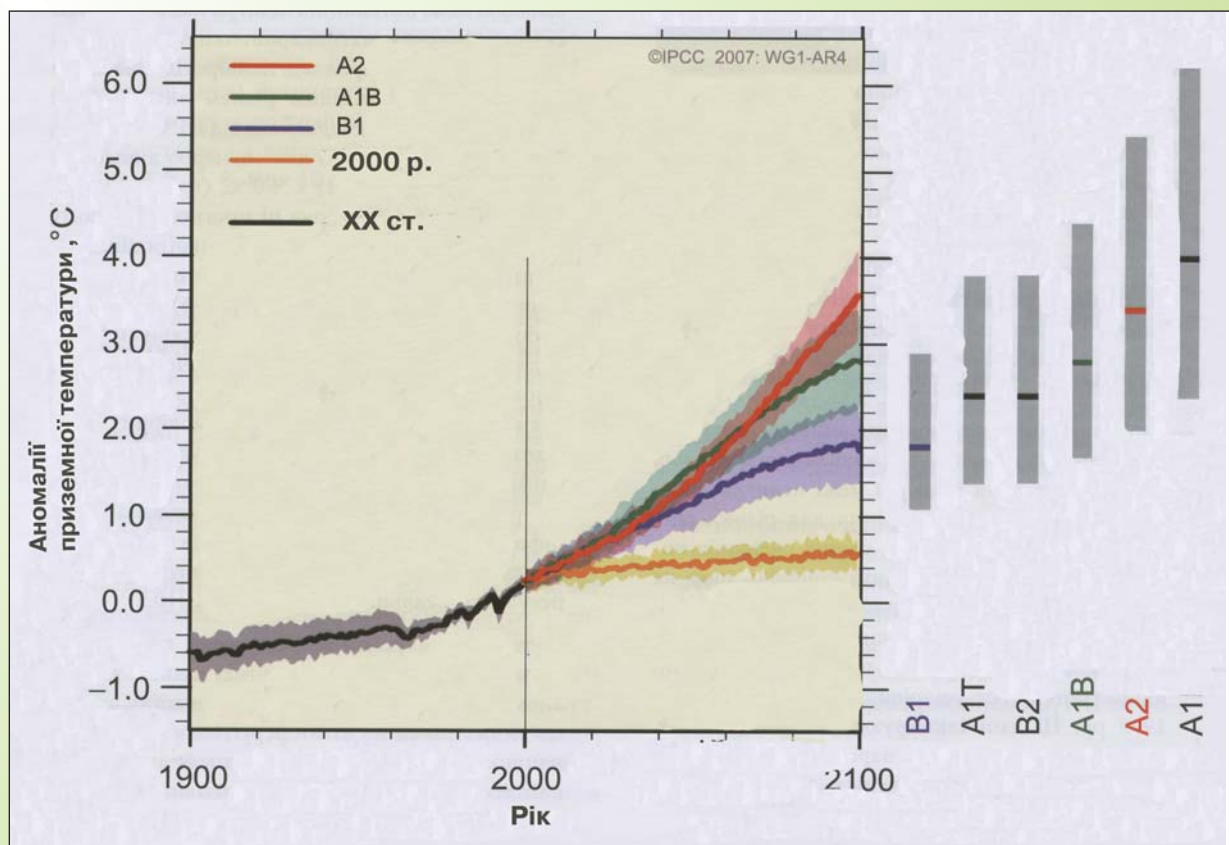
Екологічні та соціально-економічні наслідки від глобальних змін клімату

Сучасне глобальне потепління клімату в майбутньому може потенційно призвести до різких великомасштабних змін у геофізичних, геохімічних і біологічних системах Землі й істотним чином вплинути на екологічні та соціально-економічні умови життєдіяльності людства. Багато несприятливих екологічних явищ уже зараз інтенсивно проявляються (підняття рівня Світового океану, опустелювання, деградація полярних і гірських льодовиків, деградація вічної мерзлоти тощо). Однак, несприятливі екологічні наслідки від змін клімату мають певний час релаксації (в гіршому випадку, від декількох десятків до декількох сотень років), а тому вони протягом певного періоду можуть бути маловідчутними.

Серед геоекологічних, соціально-економічних наслідків глобального потепління найбільш несприятливими є такі [1,11,12,14]:

— **Підвищення рівня Світового океану.** Трансгресія Світового океану на прибережні низовинні ландшафти через підвищення його рівня і рівнів гідродинамічно зв'язаних з ним морів, в основному, в результаті теплового розширення верхнього шару його вод — рівень Світового океану за останні 100 років піднявся на 0,15-0,20 м, а згідно зі сценаріями IPCC до кінця XXI ст. очікується підняття рівня до 0,5-0,6 м і навіть до 1 м. Результати моделювання показали, що значне підвищення рівня Світового океану, викликане саме інтенсивним таненням льодів, можливе тільки при потеплінні на 10-12°C;

— **Деградація земних і морських екосистем.** Через перенаселення прибережних територій (майже 2/3 населення Землі (4 млрд. осіб) проживає в прибережних смугах шириною до 150 км) характерне інтенсивне їх забруднення — щороку в прибережні води морів і океанів скидається понад 35 млн. тонн нітратів і до 3,75 млн. тонн фосфорних сполук. На початок XXI ст. вже близь-



Сценарії змін середньорічної приземної температури [12].

Суцільні лінії позначають зміни середньорічної приземної температури (порівняно з 1980-1999 рр.) для сценаріїв A2, A1B і B1 на період до 2100 р. Затемнені зони відповідають границі ± 1 стандартного відхилення щорічних середніх даних за різними моделями. Помаранчевою лінією позначені дані експерименту, коли концентрації залишаються стабільними на рівні 2000 р. Сірі стовпці праворуч від суцільної лінії всередині стовпця показують найвірогідніші зміни та ймовірні відхилення, визначені для шести сценаріїв SPES. Визначення найвірогідніших змін та ймовірних відхилень включає дані моделей AOGCM (ліворуч), а також результати ієрархії незалежних моделей обмежень для спостережень

ко 10% морських екосистем деградували, а 30% перебувають у критичному стані і будуть, можливо, втрачені впродовж наступних 10-20 років (тільки 30% морських екосистем, розташованих далеко від місць людської діяльності, перебувають у стійкому стані). Кількість коралових рифів за останні 50 років зменшилася в 2 рази. Водночас підняття рівня океану призводить до захоплення океанічними водами частини прибережних територій, що інтенсифікує процеси ерозії берегів.

— **Виснаження запасів прісної води.** На сьогодні близько 2 млрд. людей у 80 країнах світу живуть в умовах обмеженого забезпечення питною водою, а у 9 країнах споживання води перевищує швидкість її відновлення. При мінімальній потребі у воді для побутових потреб (зокрема в питній воді)— 50 літрів на день на одну особу в деяких розвинутих країнах, наприклад у США, споживається води в 8 разів більше, тобто 400 літрів на день на одну особу.

— **Деградація гірських материкових зледенінь:** спостерігається відступання льодовиків в обох півкулях та зсув строків водотоків від весняного до зимового періоду.

— **Опустелювання.** Збільшились масштаби аридації, особливо в літній період, збільшилась повторюваність та інтенсивність посух у деяких регіонах Азії, Африки та Європи.

— **Трансформація загальної циркуляції атмосфери,** що призведе до посилення меридіонального характеру циркуляції атмосфери, зростання повторюваності тропічних циклонів (торнадо, тайфунів) та підвищення повторюваності низки синоптичних утворень (циклонів, антициклонів, крупномасштабних фронтів тощо) в помірних широтах.

— **Просторова трансформація природних зон дислокації флори і фауни** в бік полюса і вгору по висоті над рівнем моря.

— **Урбанізація.** За підрахунками ООН на поч. XXI ст. близько 60% населення планети проживатиме в містах, наприклад, з'явиться близько 30 міст із населенням понад 5 млн. осіб.

— **Антропогенне навантаження на довкілля в результаті "демографічного вибуху".** В результаті різкого зростання чисельності населення на планеті антропогенне навантаження на довкілля істотно підсилиться, а ресурси, необхідні для підтримки життя людей, все-таки обмежені. За даними ООН нині загальна чисельність населення світу зростає приблизно на 1 млн. осіб кожні 4—5 днів. Тому досить важко буде забезпечити в близькому майбутньому всіх людей світу необхідною енергією, їжею, житлом, засобами охорони здоров'я й освіти.

— **Деградація морських льодів у північних і південних полярних регіонах.** За останні 100 років льодовикова маса Землі зменшилась на ~1,9 тис. км³. Протяжність морського льодового покриву в Північній півкулі навесні та влітку зменшилася, починаючи з 1950-х років, на 10-15%. Матеріали полярних досліджень вказують на зростання температури води на 2°C в районі Північного полюса, внаслідок чого розпочалося підтавання льоду і знизу. За останні 30 років загальна товщи-

на морських льодів стала меншою на 1,8-3,0 м. За модельними оцінками при потеплінні клімату на 5°C межа морського льоду в Північній півкулі може зменшитися на 500 км на північ (що може призвести до повного танення арктичного льоду влітку). Незважаючи на тенденцію до скорочення багатьох гірських льодовиків і Гренландського льодовикового щита, *льодовиковий щит Антарктиди* при сучасному рівні потепління, навпаки, збільшує свою масу. Приріст маси Антарктичного льодовика за останні 100 років оцінюють в межах 10-15%, але водночас можливе руйнування льодовиків Східної Антарктиди внаслідок нагріву вод океану та змін системи їх циркуляції (за останні 30 років значних змін у площі морського льоду в Антарктиді не відмічено).

— **Деградація зони віковичної мерзлоти у Північній півкулі.** На тепер віковична мерзлота в Північній півкулі займає площу 22,8·10⁶ км² (до 67% і близько 50% території Росії і Канади, відповідно). Згідно зі сценаріями — площа суцільної вічної мерзлоти при потеплінні на 2°C може скоротитися на 15-20%. Інтенсивна деградація зони вічної мерзлоти провокує ще більші зміни клімату через дегазацію парникового газу метану в атмосферу із заболочених територій та через зменшення альbedo земної поверхні, а також інтенсифікує ряд екологічно небезпечних явищ і процесів, наприклад, берегову ерозію на північних узбережжях (нині берег Карського моря відступає щорічно на 2-4 м) та розвиток термокарсту, що призведе до нерівномірних просадок ґрунту, порушення рельєфу і спровокує руйнування фундаментів, поховань радіоактивних відходів і транспортних та нафтогазових магістралей.

— **Деградація площі снігового покриву.** Сніговий покрив щорічно в холодний період року утворюється на площі близько 115-126 млн. км² (2/3 площі припадає на суходіл і 1/3 площі — на морські льоди). В XX ст. спостерігалось зменшення протяжності снігового покриву, що склало близько 7-10%, і скорочення приблизно на 7±3 днів тривалості покриття льодовим покривом озер і річок в середніх і високих широтах Північної півкулі в XX ст., а в неполярних регіонах відбувався відступ гірських льодовиків. Зменшення протяжності і тривалості снігового покриву може призвести до зменшення альbedo, змін у водному балансі підземних і поверхневих вод.

— **Деградація ґрунтів.** Сучасні темпи приросту призводять до збільшення площ землекористування — характерне збільшення площ орних земель на 15 млн. га в рік та виснаження раніше родючих земель щорічно на понад 10 млн. га. Для життєдіяльності однієї людини необхідно 0,5 га орних земель, приблизно 1,5 га землі для систем відновлюваних джерел енергії, а також близько 1 га для лісів і пасовищ. За останні 40 років втрачено приблизно третину орних земель внаслідок урбанізації, будівництва доріг, ерозії, засолення і заболочування ґрунтів.

— **Вирубання лісів.** У 1870 р. ліси займали 7 млрд. га, в кінці XX ст. їхня площа зменшилася в 1,75 разу. Одночасно знищується велика кількість різних видів тварин, комах і рослин, зокрема корисних для сільського господарства і медицини. Тропічні ліси зникають зі швидкістю 17 млн. га в рік, тобто за 10 тижнів позбувається лісу територія, рівна за площею Нідерландам.



Особливості зміни клімату України в ХХ ст. та при подальшому глобальному потеплінні

Аналіз матеріалів інструментальних спостережень на мережі метеостанцій України показав, що потепління на території України відбувається приблизно з тими самими темпами, що і в цілому на планеті.

Встановлено, що **за останні 100-120 років проявилися такі закономірності у реакції регіональних кліматичних умов України на сучасне глобальне потепління** [2, 3, 6-8]:

* **середньорічна приземна температура підвищилася приблизно на $0,6 \pm 0,1^\circ\text{C}$ в середньому по території України**, причому в північних і північно-східних регіонах — на $1,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$, а в південних і південно-західних регіонах — на $0,5 \pm 0,1^\circ\text{C}$;

* **відбувся процес деконтиненталізації клімату України** (зниження континентальності кліматичних умов). Амплітуда сезонного ходу температури приземного повітря знизилася на $\sim 0,4^\circ\text{C}$, причому підвищення температури характерне для зимових місяців, а для літніх місяців істотних змін не відбувалось;

* **проявилася загальне вирівнювання кліматичного поля річних сум опадів**. В північно-західних регіонах України, де річна сума опадів була відносно високою (650-750 мм/рік), вона зменшилась приблизно на 10-15%, а в

південно-східних регіонах, де річна сума опадів була відносно низькою (350-450 мм/рік) — вона підвищилась приблизно на 10%;

* **виявлено зростання кількості опадів** у деякі місяці літнього періоду в північно-західних регіонах, і, навпаки, їх зменшення для цих місяців у південних і південно-східних регіонах;

* **встановлено також різке зниження кількості опадів** у весняні місяці, особливо в травні, та восени, особливо у вересні.

В Україні розроблені сценарії можливих змін регіонального клімату на території України при подальшому глобальному потеплінні. На основі математичного моделювання і аналізу регіональних палеокліматичних реконструкцій отримано такі сценарні оцінки:

* **підвищення річної приземної температури** до кінця ХХІ ст. в середньому на території України на $2,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$;

* **збільшення загальної річної кількості атмосферних опадів** на всій території України на 10-15% (при підвищенні глобальної температури на $1,5-2,0^\circ\text{C}$);

* **зниження кількості опадів і підвищення випаровування** в південних і південно-східних регіонах України при глобальному потеплінні на понад $2-3^\circ\text{C}$ — через зсув північної периферії поясу субтропічних антициклонів на південні та південно-східні регіони України.

Екологічні наслідки від глобальних змін клімату на території України, які вже проявилися або можуть проявитися при подальшому глобальному потеплінні

Серед несприятливих клімато-екологічних явищ і процесів на території України, які спровоковані глобальним потеплінням, можна виділити такі [2,3,5-8]:

** підняття рівня Чорного та Азовського морів — у XX ст. рівень піднявся на 0,15-0,20 м за останні 100 років, а при подальшому потеплінні до кінця XXI ст. можна очікувати підвищення їхнього рівня до 0,5-1,0 м, що призведе до інтенсивної ерозії узбережжя та деградації морських екосистем;*

** зростання меридіоналізації загальної циркуляції атмосфери, що призведе до підвищення повторюваності ряду аномальних синоптичних утворень на території України (посухи, зливи, буревії, аномальні температурні прояви тощо);*

** опустелювання південних і південно-східних регіонів України в результаті повільного зміщення північної периферії поясу субтропічних антициклонів, що призведе до виснаження ресурсів прісної води, зміщення дислокації природних зон, підвищення повторюваності посух, пилових буревіїв, смерчів у цих регіонах;*

** зростання повторюваності катастрофічних повеней в регіоні Українських Карпат, спричинене інтенсифікацією зливових процесів і ускладнене інтенсивним вирубуванням лісів, які відігравали роль демпфуючого фактора;*

** активізація катастрофічних зсувів і просядкових деформацій у гірських регіонах Карпат і Криму через зміни режиму зволоження, водного балансу підземних та ґрунтових вод тощо.*

Водночас відмітимо, що сучасні тенденції зменшення кількості опадів на північному заході до 10-15% і зростання кількості атмосферних опадів на південному сході України до 10% є відносно позитивними для сільськогосподарського виробництва.

Сценарні оцінки для XXI ст. врожайності основних агрокультур при глобальному потепленні на 2-3°C і при подвоєнні вмісту CO₂ в атмосфері дають позитивні оцінки для агросфери України (для С₃-рослин (пшениця, соя, рис тощо) — збільшення врожайності на 15-20%, а для С₄-рослин (сорго, кукурудза, цукровий буряк) — практично без змін). Але подальші зміни клімату при вищих рівнях потепління істотно ускладнять землеробство, особливо в південних і південно-східних регіонах України — через зниження кількості опадів і збільшення випаровування.

Оцінки на майбутнє дають, на жаль, досить песимістичні прогнози для природних і окультурених екосистем. Дуже ускладнює екологічні наслідки від глобального потепління нераціональне використання іригаційних технологій, що відзначиться на запасах прісної води і стані ґрунтів.

Література

1. Антропогенные изменения климата (под ред. М.И. Будыко). —Л.: Гидрометиздат, 1987. — 407 с.
2. Бойченко С.Г. Глобальні і регіональні коливання (зміни) клімату та можливі екологічні наслідки від них на території України: напівемпіричні моделі, сценарії (автореферат на здобуття наукового ступеня доктора наук).—Одеса, —2005. —35 с.
3. Бойченко С.Г., Волощук В.М., Дорошенко І.А. Глобальне потепління та його наслідки на території України //Український географічний журнал. —2000. —№3. —С. 59—68.
4. Бойченко С.Г., Волощук В.М. Основные закономерности современной динамики глобального температурного режима тропосферы // Доповіді НАН України, 2006. —№5 —С.106—109.
5. Бойченко С.Г., Волощук В.М., Сердюченко Н.Н. Параметризация смещения субтропического минимума атмосферных осадков в Северном полушарии при глобальном потеплении // Доповіді НАН України, 2006. —№9. —С.130—135.
6. Волощук В.М., Бойченко С.Г. Реакція сезонного ходу приземної температури України на глобальне потепління клімату // Доповіді НАНУ. —1997. —№ 9. —С.113-118.
7. Волощук В.М., Бойченко С.Г. Вплив загального глобального потепління клімату на середньорічну інтенсивність атмосферних опадів в Україні // Доповіді НАНУ. —1998. —№ 6. —С.125—130.
8. Волощук В.М., Бойченко С.Г. Клімат України. Розділ 5.3. Сценарії можливих змін клімату України в 21 ст. (під впливом глобального антропогенного потепління). Вид-во Раєвського, Київ, 2003. —С.319—330.
9. Даценко Н.М., Монин А.С., Берестов А.А. и др. О колебаниях глобального климата за последние 150 лет //Доклады РАН, 2004. —Т.339. —№2. —С.253—256.
10. Монин А.М., Берестов А.А. Новое о климате // Вестник РАН. —2005. —Т.75. —№2. —С.126—138.
11. Climate change 2001: The Scientific Basis — Contribution of Working Group I to the IPCC Third Assessment Report, UNEP/WMO, 2001.—520 p.
12. Climate change 2007: The Scientific Basis — Contribution of Working Group I to the IPCC Forth Assessment Report, UNEP/WMO, 2007.—250 p.
13. Jones P., New M., Perker D., Mattin S. and Rigrir I. Surface air temperature and its changes over the past 150 years // Reviews of Geophysics, 1999.—N37.—P.173—180.
14. The Encyclopedia of Climatology /Ed. by John. E. Oliver. New York. Van Nostrand reinhild Company, 1987.—986 p.