

К. СИТНИК, В. БАГНЮК

**БІОСФЕРА І КЛІМАТ: МИНУЛЕ, СЬОГОДЕННЯ І МАЙБУТНЄ**

*Глобальні зміни клімату ставлять нові виклики перед нашою цивілізацією. Як адаптується сучасний органічний світ до цих змін? Як позначаться нові погодні умови на ефективності ведення сільського господарства в різних регіонах планети? Якою буде реакція Світового океану на глобальне потепління? Чи здатне людство з його нинішнім рівнем моралі та відповідальності протистояти екологічній катастрофі, обриси якої вже проступають?*

*Автори статті аналізують еволюцію клімату нашої планети і сучасні тенденції його змін, осмислюють проблеми, спричинені дисгармонією у взаємодії Цивілізації і Природи, пропонують конкретні заходи щодо мінімізації наслідків кліматичних метаморфоз.*

За відомостями Потсдамського інституту кліматології (ФРН), кількість катастрофічних природних аномалій на планеті (снігопадів, злив, повеней, посух, ураганів, землетрусів, цунамі тощо) впродовж останніх 50-ти років зростає щонайменше вчетверо. Їхній «ужинок» — численні людські жертви і величезні матеріальні збитки. Лише протягом 1994–2003 років природні катастрофи призвели до загибелі 480 тис. осіб. Хоч як прикро констатувати, але ці втрати зростають. Якщо у 2003 р. від природно-техногенних катаклізмів постраждало близько 600 млн, то у 2004 р. — майже 1 млрд людей. Зливи й урагани, що прокотилися 2002 р. територією Західної та Центральної Європи, як і надзвичайні повені у Німеччині, Чехії, Румунії, Таїланді, Китаї цьогоріч, завдали місцевому населенню вели-

кого клопоту. Не оминула біда й інші регіони планети. Жахливий цунамі у Південно-Східній Азії (кінець 2000 р.) забрав майже 300 тис. людських життів. Катастрофічний землетрус у Пакистані, Афганістані та Індії наступного року поховав під завалами будинків і геологічних порід понад 100 тис. осіб. Загалом же впродовж останніх 5–6 років природні стихії не оминули практично жодного куточка Землі. Руйнівні урагани, зливи і повені вражали США, країни Південної Америки, Китай, Індію, Японію, Росію, Україну тощо. З другого боку, не менш сумні втрати спричинили сильні посухи в Іспанії, Африці, деяких країнах Південно-Східної Азії. Так, на Австралійському континенті нещодавно лютувала посуха і, крім збитків сільському господарству, вона призвела до страхітливих за

© СИТНИК Костянтин Меркурійович. Академік НАН України. Почесний директор Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України.

БАГНЮК Валентин Миронович. Кандидат біологічних наук. Старший науковий співробітник цієї самої установи (Київ). Член Національного географічного товариства США. 2006.

своїми масштабами лісових пожеж. Зумовлений посухами недорід став причиною недоїдання, голоду і підвищеної смертності серед мешканців згаданих регіонів.

Не встигли оговтатися від цих катастроф, як світ знову потрясла звістка про землетрус на острові Ява (27 травня 2006 р.), який забрав життя понад 6,5 тис. осіб. Без даху над головою залишилося 100 тис. родин. А вже в середині липня цього року над Китаєм пронісся ураган, від якого постраждало майже 1 млн осіб.

Як бачимо, проблеми клімату набули доле-носного значення для цивілізації. Вони висувають на порядок денний низку злободенних питань, потребують корекції взаємодії людства і природи, передбачення можливих наслідків цих змін для природної рослинності й агроєкосистем, зокрема їхньої продуктивності і біосферної ролі.

Нагадаємо, як саме метеорологи трактують термін «клімат». Клімат — це характерний для певної території багаторічний режим погоди, зумовлений сонячною радіацією, її перетвореннями у діяльному шарі земної поверхні та пов'язаною з нею циркуляцією атмосферних і водних мас [10]. З практичного погляду таке визначення, мабуть, є прийнятним. Хоча варто було б згадати про енергію, яка нуртує в ядрі Землі та іррадіює звідти у напрямку її поверхні.

На рис. 1, запозиченому нами з «Національного географічного журналу» США (травень 1998 р.), показано, що клімат зумовлюється кліматичною системою (КС), до якої входять атмосфера, літосфера, гідросфера, кріосфера і біота. В центрі КС міститься Сонце — визначальний постачальник енергії для Землі. Доречно зауважити, що наше світило ніколи не буває у стані спокою. Постійні спалахи на ньому супроводжуються виділенням величезної (до  $10^{32}$  ерг) енергії. При цьому відбуваються генерація жорсткого, зокрема гамма-випромінювання, і викиди плазми у міжпланетний простір. Згадані явища на Сонці зумовлюють пульсацію магніто-, іоносфери й інсоляції на

поверхні Землі і, в остаточному підсумку, формують середовище функціонування біоти у біосфері, впливають на життєдіяльність, а нерідко й на долю людства [11].

Враховуючи той факт, що маса гідросфери у 275, теплоємність — у 4, а теплопровідність — у 20 разів більші, ніж аналогічні параметри атмосфери, Світовий океан слугує основним акумулятором тепла. Проте атмосфера значно динамічніша. Звідси й різниця у періодах теплового відгуку на зміни зовнішніх умов: у нижній атмосфері — приблизно 1 місяць, при взаємодії верхніх шарів океану і повітряного басейну — місяці або кілька років. Щодо процесу повного теплообміну глибинних шарів океану з атмосферою, то він триває не менше кількох століть.

До найконсервативніших елементів КС належить літосфера, але оскільки саме її ми найбільше перетворюємо у процесі господарської діяльності, від стану останньої істотно залежить характер глобального і регіонального клімату Землі. Слід підкреслити, що взаємодія елементів КС визначається великою кількістю прямих і зворотних зв'язків: одні з них підсилюють коливання всередині системи, інші — послаблюють їх. Однак літосфера й у своєму природному стані може слугувати джерелом спорадичних вулканічних вивержень, виникнення пилових буревіїв, які змінюють альbedo (відношення частки відбитої до загальної кількості сонячної енергії, що падає на поверхню планети) і впливають на приповерхневу температуру.

Як елемент літосфери гірські екосистеми світу, залежно від їхньої протяжності і висоти, також причетні до формування клімату, особливо в регіонах, де вони простягаються [6]. Так, наприклад, Карпати значною мірою зумовлюють клімат у Західній Україні, і не тільки на цій території. Гори формують тут специфічну динаміку повітряних мас і фронтів. Завдяки їм у Закарпатті послаблюється дія Сибірського центру і, навпаки, — посилюється вплив Азорського. Гірські хребти захищають Закарпаття від проникнення холодних



Рис. 1. Складники кліматичної системи

арктичних повітряних мас. Особливістю цієї місцевості є і те, що влітку тут переважає внутрішня гірсько-долинна циркуляція повітря, а над горами формуються умови, які часто провокують інтенсивні дощі, буревії, паводки чи селі. З грудня по квітень у гірській частині Закарпаття випадає понад 500 мм атмосферних опадів, здебільшого у вигляді мокрого снігу. Домінуючі в регіоні південно-західні вітри спричинюють надмірне нагромадження снігу на схилах гір. Снігові лавини активізуються насамперед на крутих (до  $40^\circ$ ) пригребених схилах і ще крутіших стінах льодовикового походження. Тут часто утворюються лавини із свіжонавіяного та мокрого снігу, що легко сповзає вниз під час відлиг. Нерідко трапляються обвали снігових карнизів з гребенів об'ємом від 5 до 100 тис.  $\text{m}^3$  снігової маси. Інтенсивні дощі провокують на річках Закарпаття небезпечні гідрологічні явища [1].

У формуванні клімату Землі унікальну роль відіграє кріосфера. Кріосфера — це багатотисячолетні континентальні льоди і сніги, гірські льодовики і морська крига, які постійно взаємодіють з рідкою фазою і паром. Отже, гідросфера слугує своєрідним глобальним термостатом. Періоди танення вічних льодів

і снігів або, навпаки, надмірного замерзання води, були доленосними для біосфери і призводили до нищівних потопів чи зниження рівня Світового океану. Періоди похолодання і потепління на Землі відповідно корелюють з обсягами льоду і снігового покриву та рівнем Океану. Так, під час останнього зледеніння (25–12 тис. років тому) рівень Світового океану був на 80 м нижчим, ніж тепер.

Із загальної кількості сонячної енергії, яка надходить в атмосферу, приблизно 20% поглинається парниковими газами (вуглекислота, метан, кисень, азот, озон та ін.), які прозорі для короткохвильової радіації, але затримують теплове випромінювання з поверхні планети, 47 акумулюється діяльним шаром суші й океану, 5 — хмарами і 28% відбивається у навколосферному просторі. Слід підкреслити важливу роль рослинності у формуванні альbedo: крони дерев дають 10–15%, трав'яний покрив — 20–25, рілля — 15%. Переважна кількість тепла, що йде на нагрівання Землі, витрачається на процеси випаровування вологи і меншою мірою — на турбулентний теплообмін з атмосферою. Останній — передумова формування атмосферних фронтів, причина її спорадичних збурень, він і є локомотивом численних океанічних

течій. Окрім добре відомого Гольфстріму — своєрідного обігрівача Північно-Західної Європи, існують такі течії, сама згадка про які навіює жах. Насамперед ідеться про суперпотужне явище Ель-Ніньо та однойменну течію, з вини яких приблизно кожних 4 роки трапляються кліматичні катастрофи. Найбільше допікає Ель-Ніньо прибережним й острівним країнам Південно-Східної Азії та Америки.

Зауважимо: метеорологічні умови, щоправда, на обмежених територіях, можна змінювати штучно. Сучасною наукою і технікою напрацьовані технології, які дають змогу спричинювати штучні дощі і снігопади, розганяти дощові хмари, провокувати землетруси, вести геологічні та кліматичні війни.

За теорією катастроф, на клімат Землі та її біоту впродовж історії існування біосфери неодноразово впливали космічні і геологічні події: зіткнення планети з астероїдами чи кометами, зміни її осі обертання і магнітних полюсів, а також сонячна прецесія, радіаційні процеси, вулканізм, землетруси тощо. Так, після падіння на Землю великого астероїда близько 251,4 млн років тому загинуло до 70% наземних тварин і 90% — морських. Їхнє вимирання пояснюють раптовим розігрівом планети — внаслідок випаровування величезної кількості води в атмосферу і парниковим ефектом (гіпотеза паро-водяного купола). Вважають, що такий механізм глобального потепління в історії Землі спрацьовував не раз. Цікаво, чи стосується цієї події кратер діаметром 250 м під товщею криги в Антарктиді, утворення якого пояснюють падінням великого космічного тіла 250 млн років тому? Якщо врахувати притаманну радіоізотопному методу датування неточність, то таке припущення видається цілком імовірним.

За однією з версій, «велике вимирання» фауни наприкінці мезозою — на початку кайнозою (65 млн років тому) було спричинене різкою зміною глобального клімату внаслідок викиду величезних обсягів вуглекислого газу і метану вулканічного походження. Однак не менш вірогідними є й інші версії кліматичної

катастрофи: тектонічні явища і дрейф земних плит, потужна астероїдна атака тощо. Так, згідно з гіпотезою Л. Альвареса згадана планетарна катастрофа була зумовлена ударом астероїда діаметром 1,5 км. Сліди його падіння знайдено в Мексиці (кратер Чиксулуб). Прихильник цієї гіпотези К. Чепмен [24] вважає, що за останні 500 млн років сталося кілька зіткнень Землі з космічними тілами різних розмірів. Серед відомих сьогодні 1550 навколосемних астероїдів є потенційно небезпечні для нашої цивілізації об'єкти.

На формування теплового балансу Землі істотно впливає біота, зокрема її фотосинтетичний блок, який разом з автотрофними організмами становить єдине джерело поповнення біосфери первинними органічними речовинами. Без них, як і без кисню, продукovanого зеленими рослинами, було б неможливим життя гетеротрофних організмів разом з людиною. Без рослин не функціонували б біогеохімічні цикли, не відбувався б колообіг хімічних елементів, як і не перетворювалася б енергія у трофічних ланцюгах.

Не вдаючись у деталі, зауважимо, що ще до потрапляння на верхню межу атмосфери Землі сонячного світла його спектр зазнає істотних змін. Надзвичайне значення у процесі перетворення сонячного випромінювання має озоновий шар атмосфери, який практично цілком поглинає жорстке, небезпечне для живих організмів УФ-випромінювання на ділянці 240–280 нм [23]. Відбивання світла водною поверхнею визначається зенітним кутом Сонця і може досягати 10% усієї радіації, що падає на неї. Розсіювання світла у водній товщі завислими і розчинними у воді речовинами призводить до зменшення голубого і збільшення — червоного компонента сонячного спектра. В чистих водах Світового океану максимум пропускання світла припадає на синьо-зелену ділянку (430–470 нм), але з посиленням забруднення й евтрофікації (внаслідок зростання щільності планктону) спектр світла зсувається до червоної ділянки.

Наведена інформація певною мірою демонструє, наскільки важливим є стан атмосфери і водних басейнів для формування якісних і кількісних характеристик освітлення та життєдіяльності фотосинтезуючих організмів на земних і водних екосистем. Зростання рівня забруднення повітряного басейну газозаерозолями може спотворювати процеси поглинання квантів світла фоторецепторами рослин [8].

Як відомо, фотосинтез зелених рослин забезпечується фотосинтетично активною радіацією (ФАР) з діапазоном хвиль 0,38–0,71 мкм. Учені вважають, що лише із зростанням рівня інсоляції земної поверхні на 30% (ФАР — на 50%) 480–500 млн років тому стала можливою поява хлорофіл-*b*-умісних водоростей і наземних рослин.

Енергетичну потребу будь-якої рослини, зумовлену її генотипом, оцінюють як суму ФАР, що надходить до поверхні ландшафту впродовж вегетаційного періоду. Наприклад, повна енергетична потреба озимої пшениці становить  $1039 \pm 60$  МДж/м<sup>2</sup>, а цукрового буряку —  $1567 \pm 80$  МДж/м<sup>2</sup>. Однак цей показник залежить від географічної зони. Так, на Поліссі сумарна сонячна радіація вимірюється 1600 МДж/м<sup>2</sup>, що відповідає потребам таких культур, як картопля, жито тощо. В районі Південного берега Криму (Ялта) сума ФАР за вегетаційний період досягає 2470 МДж/м<sup>2</sup>, що дає змогу вирощувати тут цінні сорти винограду та субтропічні культури. Отже, разом з параметрами вологості і забезпеченості біогенними елементами азоту, фосфору, калію та ін. ФАР зумовлює продуктивність рослинного світу як у природних, так і в агроекосистемах. Ефективність фотосинтезу в різних умовах освітлення демонструє класична крива (рис. 2).

Завдяки фотосинтезу в кам'яновугільний і третинний геологічні періоди було нагромаджено колосальну фітомасу, з якої в анаеробних умовах сформувалися поклади вугілля і нафти. Водночас рослини продукували величезну кількість кисню. Розрізняють таке поняття, як основна точка Пастера, коли рі-

вень кисню в атмосфері досягнув приблизно 1% сучасного. Це відкрило шлях для еволюції аеробних організмів. Як припускають учені, подальше накопичення кисню в атмосфері відбувалося вибухоподібно і тривало не більше 20 тис. років. У первісній атмосфері кисень витрачався на мікробіальне окиснення органічного вуглецю і його оксиду до вуглекислоти, аміаку — до молекулярного азоту й оксидів, сірки і водню — до сульфатів і води. Як у геохімічному, так і біохімічному плані у природі найкраще узгоджуються цикли CO<sub>2</sub> і O<sub>2</sub>. Сучасні запаси вільного кисню в атмосфері коливаються на рівні  $12 \times 10^{14}$  т, з них упродовж року на дихання організмів і спалювання викопного палива витрачається близько 0,001 %, що легко компенсується тим самим окисненним фотосинтезом. Окрім вільного кисню атмосфери, у біосфері депонуються величезні обсяги зв'язаного кисню у вигляді оксидів різних хімічних елементів.

Як уже згадувалось, ефективність фотосинтезу визначається низкою абіотичних і біотичних факторів, серед яких насамперед слід назвати забезпеченість водою, вуглекислотою та іншими біогенними елементами, сонячну енергію, температуру тощо. Наземні

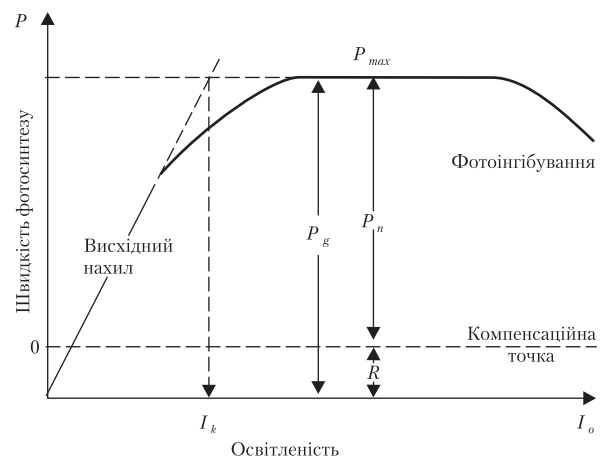


Рис. 2. Крива насиченого фотосинтезу:  $P$  — фотосинтез;  $P_{max}$  — максимальний фотосинтез;  $P_g$  — валовий фотосинтез;  $P_n$  — чистий фотосинтез;  $R$  — дихання;  $I_0$  — щільність спадного потоку фотонів;  $I_k$  — насичувальна щільність потоку фотонів (за Ramus, 1981)

рослини щодоби переробляють  $10^{17}$  ккал космічної світлової енергії, разом з водяними випускаючи із атмосфери понад 150 млрд т/рік вуглецю у формі  $\text{CO}_2$  (з атмосфери — близько 3%, з океанічних вод — 0,3%). Більшість експериментальних робіт свідчить, що за умови підвищення концентрації  $\text{CO}_2$  у повітрі зростає врожайність зернових, овочевих та інших культур. І тільки дефіцит інших біогенних елементів може нівелювати цей ефект. Водночас через продихи листя випаровується майже 50–70% вологи. До речі, цей природний процес доцільно використовувати у боротьбі з перезволоженням ґрунтів. У цьому зв'язку можна навести такі дані: одна береза внаслідок транспірації втрачає до 400 л води на день, а насадження бука повертають в атмосферу близько 60% опадів, що випадають на них.

Звісно, у природі рослини рідко перебувають в оптимальних умовах освітлення, температури, забезпеченості вологою і біогенними елементами. Отже, життєву стратегію види рослин не могли б реалізувати без еволюційно вироблених ними морфо-анатомічних і фізіолого-біохімічних пристосувань [26]. Інша річ, що рамки згаданих абіотичних умов обмежені конкретними параметрами, за якими починається зниження ефективності фотосинтезу, продуктивності, відбувається елімінація видів, деградація усталених екосистем та поступове формування нових угруповань рослинного і тваринного світу. Власне, як це вже траплялося в історії нашої планети багато разів.

Зміни клімату позначаються на водозабезпеченні і температурних умовах розвитку рослин. Дефіцит вологи у ґрунті утруднює засвоєння рослиною елементів живлення, гальмує її ріст, фотосинтез та інші фізіолого-біохімічні реакції. За оптимального вмісту у ґрунті азоту, фосфору і калію на синтез одиниці маси сухої речовини, наприклад пшеницею, потрібно 480 од. маси води, льоном — 787. Надмірна вологість ґрунту також негативно впливає на поглинання елементів живлен-

ня і процеси синтезу та розпаду, зокрема в тканинах рослини можуть накопичуватися до рівня токсичних концентрацій закисні солі заліза і марганцю тощо. Температура нижче  $0^\circ\text{C}$  різко гальмує фотосинтез. Це відбувається як унаслідок уповільнення швидкості ферментних реакцій, так і через зневоднення клітин, спричинене утворенням кристалів льоду. Більшість рослин Центральної Європи за цих умов зазнає низькотемпературного стресу, тоді як полярні та високогірні рослини і хвойні дерева зберігають життєдіяльність і здатність до асиміляції  $\text{CO}_2$  за температур значно нижчих від  $0^\circ\text{C}$ . З другого боку, підвищення температури понад оптимум зумовлює теплові стреси та зневоднення у рослин внаслідок підвищеної транспірації вологи та висушування ґрунту. Як відомо, оптимум процесу фотосинтезу перебуває між  $20$  і  $35^\circ\text{C}$ . Максимальна температура, за якої ще можливий фотосинтез, коливається в межах  $35$ – $50^\circ\text{C}$ , проте це стосується лише термофільних водоростей.

Екстремальні зміни метеорологічних параметрів або інших абіотичних чинників потребують від рослинного організму адекватних морфо-функціональних реакцій, які можуть або не можуть реалізуватися завдяки клітинним механізмам адаптації до несприятливих екологічних умов, з чим рослина стикається впродовж вегетаційного періоду [9].

Складається враження, що деякі вчені недооцінюють значення парникових газів у формуванні теплового балансу Землі, не беручи до уваги очевидний факт: якби навколо Землі не було атмосфери з її газовим складом, то середня температура поверхні планети становила б  $-18^\circ\text{C}$ , а не  $+15,5^\circ\text{C}$ , як маємо нині. Водяна пара вносить в інтегральний парниковий ефект 62%, суміш газів (азот, кисень, метан, водень, озон) — 30, вуглекислий газ — 7, інші речовини — 1%. Відомо, що молекулярний кисень в атмосфері Землі поглинає червоні та інфрачервоні промені в діапазоні  $680$ – $760$  нм, а водяна пара — у ближній інфрачервоній ділянці  $930$ – $980$  та  $1095$ – $1165$  нм [8].

З огляду на величезні запаси вуглекислоти в атмосфері та обсяги її техногенної емісії (близько 20 млрд т на рік), а також на тривалий час обміну — сотні років (для порівняння: водяної пари — 9, метану — 10 діб), цей газ вважають основним чинником парникового ефекту. Порівняно з доіндустріальною епохою його концентрація у повітрі зросла на 30% і має тенденцію до прискорення. Крім промислових викидів, а також процесів дихання і бродіння, слід згадати і про таке джерело поповнення атмосфери вуглекислим газом, як розчинення карбонатних осадів літосфери і Світового океану, зокрема коралових островів, — унаслідок закислення середовища і випадання кислотних дощів. Гадають, що вміст  $\text{CO}_2$  в атмосфері до 2060 р. зросте вчетверо і зумовить підвищення середньорічної приземної температури повітря на 1–3 °C [27].

Серед парникових газів слід виділити метан, який надходить в атмосферу в кількості  $400 \times 10^6$  т/рік, здебільшого за рахунок бактеріальних процесів метаногенезу решток рослинного і тваринного походження та комунальних відходів, органічних відкладів з рисових чек, водойм і боліт (2/3 загальної кількості) та шляхом природної дегазації планети. Нині концентрація метану в атмосфері у 2,5 раза більша порівняно з XVII століттям. Вважається, що майже 15% глобального потепління зумовлює саме метан.

Екскурс у прадавню історію Землі (приблизно 3 млрд років тому) показує, що на зорі розвитку біосфери внаслідок високої концентрації парникових газів у тодішній атмосфері температура поверхневих вод нашої планети сягала 70 °C. Це створювало умови для масового розвитку термофільних автотрофних архебактерій і фототрофних синьо-зелених водоростей. То була ера беззастережного панування прокариотів, яким ми, суцї на Землі істоти, маємо завдячувати своїм життям. І справді, прокариотні організми виконали тоді доленосні біосферні функції: нагромадили великі запаси органічних речовин

і біогенних елементів у фізіологічно оптимальних кількостях, вилучили з атмосфери надлишок парникових газів (отруйних для вищих форм життя) та наситили її життєдайним киснем. Як потужні фотосинтетики, синьо-зелені водорості утилізували і депонували на материку і в Світовому океані у вигляді карбонатних осадів (завтовшки до 1100 м) величезну кількість вуглекислоти, чим оптимізували парниковий ефект і температуру на планеті та підготували підґрунтя для еволюції вищих форм життя [7]. Крім того, завдяки бурхливій життєдіяльності синьо-зелених водоростей і архебактерій у докембрії утворилося майже 70% світових запасів залізних руд, 2/3 — покладів марганцю й урану, 95% — кобальту та основні родовища міді, золота, фосфоритів тощо.

Якщо вірити чинному геохронологічному датуванню, перше зледеніння на Землі сталося 2,2 млрд років тому. За ним настав тривалий період теплої біосфери (перм, дріас, юра і крейда), який зумовив розквіт і надзвичайне поширення голонасінних рослин та рептилій і динозаврів. Потім, від 750 до 200 млн років тому, на Землі було не менше чотирьох зледенінь, кожне з яких тривало приблизно 4–30 млн років. Льодовики тоді сягали рівня океану навіть на континентах, розташованих поблизу екватора. Нині важко достеменно з'ясувати причини цих зледенінь. Найімовірніше, вони були зумовлені ефектом затінення. Щось подібне сталося на початку голоцену в Сибіру, коли практично раптово загинула фауна (в ротовій порожнині і шлунково-кишковому тракті заморожених трупів мамонтів містилася фітомаса осоки, різнотрав'я, пагонів верби, берези, вільхи тощо). З цього приводу А. Сандерсон [20] писав: «Досить 20 вулканам запрацювати одночасно, як з нашою планетою стануться жахливі речі... Раптовий масовий викид в атмосферу пилових частинок і газоаерозолів спричинив би холодні зливи і снігопади. У разі затяжного виверження вони могли б затулити Сонце на багато днів, тижнів і міся-

ців... Вулканічні аерозолі, що піднімалися б високо в атмосферу, охолоджувалися б там і випадали на землю у вигляді холодних опадів, які вбили б і заморозили тварин».

Хоч як дивно на перший погляд, раптове потепління і танення потужних льодів, які вкривали планету шаром завтовшки майже 2 км, відбувалося дуже стрімко і його також пояснюють розвитком вулканізму та викидом в атмосферу величезних обсягів парникових газів. Звільнений від крижаного панциря океан почав поглинати із атмосфери гігантські обсяги вуглекислого газу, що призвело до зменшення парникового ефекту і поступового згасання потепління. Життя знову отримало шанс для свого розвитку. Однак цю точку зору дехто з дослідників піддає сумніву [15], аргументуючи тим, що зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері не завжди передувало потеплінню. Гадаємо, такі трактування не враховують інерційності природних процесів, з одного боку, та похибок радіоізотопного методу аналізу газів, законсервованих у «вічних» льодах, — з другого.

Реконструкція клімату за допомогою аналізу морфологічних параметрів викопного листя рослин доводить, що 65–55 млн років тому на Землі спостерігався переважно парниковий ефект. Навіть у районах Чукотки та Аляски росли широколистяні породи дерев, гінкгові та деякі види пальм.

Теплі і холодні періоди різної тривалості чергувалися і в подальшій історії Землі. Так, група вчених Бернського університету (Швейцарія), досліджуючи колонки антарктичного льоду на вміст вуглекислого газу і метану, зуміла зазирнути в 900-тисячорічну давнину. Результати аналізів засвідчили: за цей час Земля пережила 6 циклів похолодання і потепління.

Вважають [14], що лише на початку девону рослини почали розселятися вглиб континентів. В еволюції рослинного покриву визначальну роль відіграла поява деревоподібних рослин з потужними, до 1,5 м у діаметрі, стов-

бурами. Протягом карбону і пермського періоду зростала кількість фітохорій як територіально-флористичних одиниць різних рангів (від районів до царств). Це було тісно пов'язано з кліматом. Так, єврамерійська і катазіатська флори характеризували екваторіальний пояс з його тропічним і субтропічним кліматом. Ангарська флора була типово бореальною лише у пермський період, хоча місцями й заходила в екваторіальний пояс. Гондванська флора відповідала південній позатропічній зоні. Внаслідок зміни кліматичних умов порушилися бар'єри, які раніше розділяли фітохорії, завдяки чому рослини активно мігрували при переході від палеозою до мезозою. В часи раннього і середнього юрського періоду на переважній частині планети панував теплий вологий клімат. У пізній юрі екваторіальна область, яка займала всю Західну Європу, Кавказ, Середню Азію, Південний Китай та Південно-Східну Азію, була охоплена процесами аридизації, що призвели до зміщення її кордонів у північному напрямку.

У пізній крейді відсутні будь-які дані про зледеніння. Екваторіальний пояс тоді займали субтропічні лавролістяні ліси, а рослинних формацій, схожих на сучасні тропічні угруповання, зовсім не було. В ті часи ще не заклався океан Тетис, а Протоатлантичний океан не перешкоджав біогеографічним зв'язкам біоти. Першу найпомітнішу трансформацію ранньопалеогенова флора Бореальної області пережила в еоцені, коли глобальне потепління сприяло її збагаченню вихідцями із Тетисової області. Це особливо чітко виявилось на Камчатці й Алясці. До середини еоцену північні межі Бореальної області змістились у напрямку півночі на 5–10°. З початком похолодання наприкінці еоцену (середньорічні температури впали на 5–8°C) почала щезати поширена у палеогені великолистяна флора. З розвитком похолодання під кінець міоцену у флорі зросла частка холодолюбних хвойних та дрібнолистяних деревних порід і трав, притаманних сучасним Євросибірській і Атлантично-Північноамериканській областям.



Зміни клімату в кайнозої зумовили еволюційний пік покритонасінних рослин, сприяли формуванню сучасного рослинного і тваринного світу Землі. Факти існування теплої біосфери підтверджуються багатьма палеоботанічними і палеозоологічними знахідками, а також потужними покладами кам'яного вугілля у північних широтах планети (Арктика, острів Шпіцберген, Воркута та ін.). Так, різниця температур між обома полюсами земної кулі та екватором у кам'яновугільному періоді становила 24 °С проти сучасних 48 °С. Прикметно, що у цей теплий період існування біосфери над атмосферою постійно перебував шар водяної пари завтовшки до 12 м, яка разом з парниковими газами сприяла формуванню тропічного клімату на більшій частині планети. Завдяки інтенсивній фотосинтетичній діяльності нижчих і вищих рослин концентрація вуглекислоти і водяної пари в атмосфері почала неухильно зменшуватися. З цієї причини рослинність і гетеротрофні організми, які нею харчувались, опинилися під загрозою вимирання вже на початку кайнозою (50 млн років тому). Мабуть, згадані процеси сприяли появі та еволюції механізму фіксації рослинами атмосферного CO<sub>2</sub> у вигляді C<sub>4</sub>-органічних сполук, що виявився майже втричі ефективнішим порівняно з C<sub>3</sub>-механізмом.

Теплий період, який почався у північній півкулі 4,6 млн років тому і проіснував близько 2 млн років, різко припинився, швидко росли гірські льодовики і знизився рівень Світового океану [16]. Можливо, причини похолодання були ті самі: зменшення парникового ефекту.

За вимірами співвідношення ізотопів у відкладах планктону, законсервованого у вічних льодах, відомо, що впродовж останніх 500 тис. років льодовикові і міжльодовикові періоди чергувалися кожні 100 тис. років. Певною мірою це свідчить про циклічність природних чинників у формуванні клімату. Під час таких періодів різниця між потоками сонячної енергії у перигелії та афелії орбіти Землі становить від 7 до 26%.

З відступом останнього льодовика (приблизно 14 тис. років) природа Східної Європи починає поступово змінюватися. Температура літнього сезону тоді була на 4–5 °С, а зимового — на 8–10 °С нижчою за сучасні показники. Остаточо льодовикова ситуація у Європі перестала існувати близько 8–9 тис. років тому. Відповідно сформувався сучасний рівень морів. У ті часи майже вся територія нашого континенту була вкрита лісами. Як у Європі, так і на значних просторах Сибіру, ліси поширювались аж до узбережжя Північного Льодовитого океану. Палінологічні дослідження геологічних розрізів, зокрема виконані вітчизняними фахівцями [4], засвідчують, що на початку голоцену кліматичні умови на території сучасної України були близькі до умов північної тайги Західного Сибіру, тобто клімат був холодним і континентальним. Ландшафти Полісся і Лісостепу мали тоді приблизно такий вигляд: широкі долини річок займали луки, зарості кущів й окремі групи дерев. Порівняно короткочасне зниження температури на межі пізньольодовикового періоду та голоцену чітко демонструє, наскільки зміни клімату є важливим чинником формування якісного і кількісного складу рослинності. Внаслідок похолодання та інтенсифікації природних ерозійних процесів у згаданий період домінував тип рослинності, що поєднував у собі елементи флори, характерної для тундрової, лісової, степової зон та рослинності луків і боліт. Тут водилися степові види тварин, що «уживались» з типово тундровими видами (кінь, бізон, північний олень, песець) і лісовими (ведмідь, россомаха та ін.). Величезними просторами Східно-Європейської рівнини бродили стада мамонтів. Отримані авторами дані свідчать, що відклади лісової зони пізнього дріасу містять спорово-пилковий комплекс, притаманний палінозонам *Pinus-Artemisia* (Дорошів, Іква-1) та *Pinus-Artemisia-Chenopodiaceae* (Романькове). Прикарпаття характеризує палінозона *Pinus cembra-Betula nana-Artemisia* [25]. Основними лісоутворювальни-

ми породами на території лісової зони України були сосна і береза. Характерна ознака тодішнього рослинного покриву — наявність угруповань, поширених на порушених ґрунтах (спориш звичайний і берізкоподібний, лобода біла, міська і смердюча, берізка польова, волошка синя, цикорій дикий та ін.).

З потеплінням кліматичні умови України набули такої динаміки: 11 000—10 300 років тому середньорічна температура була нижчою за сучасну вже на 3 °С, січня — на 4 °С, липня — на 2 °С, а середньорічна кількість опадів — вищою на 50 мм, що сприяло розвитку рослинності [3]. Тодішня рослинність включала лісові (сосна звичайна і європейська, смерека європейська, береза повисла, вільха сіра і чорна, верба біла та ін.), лучні (щавель кінський і кучерявий, роговик польовий, куколиця біла, рутвиця жовта, подорожник великий і середній, гронянка півмісяцева та ін.) та степові (ефедра двоколоскова, гвоздика краплиста тощо) види. Основними лісоутворювальними породами в лісовій зоні України були верба, сосна, береза і вільха. В цей період на території України чи не найбільше поширилися вербові та вільхові ліси, чому сприяла більша на 50–100 мм кількість опадів.

У пониззі Дніпра як лісоутворювальні породи домінували дуб, в'яз, сосна, береза, вільха, верба й осика. До лісової рослинності входили також ялина, бузина, калина, жостер та ін. З часом, під впливом людської діяльності, площі лісових ділянок почали скорочуватися, а природний рослинний покрив — змінюватися. Таку динаміку підтверджує зменшення вмісту пилку широколистяних порід і, відповідно, збільшення частки пилку сосни та рослин — індикаторів господарської діяльності. Факт збільшення пилку сосни деякі фахівці пов'язують зі штучними насадженнями сосни, якою місцеве населення закріплювало придніпровські піски. Чи це не приклад мудрості наших пращурів?

У своїй праці «Наші степи колись і тепер» видатний ґрунтознавець В. Докучаєв описав

походження чорноземів Російської імперії, зокрема України, у триєдності еволюції ґрунтів, клімату і рослинності. Оскільки клімат змінювався від холодного полярного до сучасного степового, з ним якісно і кількісно еволюціонувала і рослинність, яка сприяла перетворенню ґрунтів від первісних геологічних порід до сучасних родючих чорноземів. Упродовж тисячоліть природні екосистеми України, в тому числі південної її частини, перебували в стані динамічної рівноваги, зберігали здатність до самовідновлення. Наші предки створили власні правила і традиції господарювання та природокористування, яких чітко дотримувалися. Народна традиція не допускала надмірного розширення орних площ, як це маємо нині. Південний степ використовували переважно для випасання табунів коней, отар овець і великої рогатої худоби. Завдяки таким заходам на дрібноструктурних ділянках серед степу отримували сталі врожаї без поливу. Особливих проблем з нестачею вологи тоді, як правило, не виникало, бо цілинні дернинні та лісові (байрачні) ґрунти Причорномор'я і Приазов'я добре конденсували воду. А от на суцільно зораний ґрунт роси випадає мало, до того ж він інтенсивно випаровує вологу.

Крім трав'янистої рослинності степу, важливим чинником отримання стабільних урожаїв було й збереження лісів (на початку XVIII ст. вони вкривали половину території сучасної України). У ті часи за експорт пшениці Україну називали «другим Єгиптом». Однак унаслідок суцільного розорювання і нерационального сільськогосподарського використання в XX ст. ґрунти України, особливо на півдні, зазнали значної деградації (порушення структури, втрати гумусу, засолення, підтоплення тощо). Залишки степу збереглися хіба що в заповідниках «Михайлівська цілина», «Український степовий», «Чорноморський», «Асканія-Нова» та ще на кількох заповідних територіях місцевого значення.

Цікаву інформацію про характер клімату півдня пра-України у відносно недавні часи

(VI–III ст. до н. е.) наводять вітчизняні археологи. Так, на підставі досліджень розкопок поселень Лиса гора, Первомаївка, Чернеча і Кам'янське городище вони дійшли висновку, що у згаданий період сформувався клімат, сприятливий для рільництва в степах України, зокрема Нижнього Дніпра. Скіфи почали вирощувати просо звичайне, ячмінь плівчастий, кілька видів пшениці та жито. Цим самим вони компенсували брак кормів для численних отар і табунів. З цієї причини приблизно наприкінці V ст. до н. е. скіфи змушені були перейти до напівкочового й осідлого способу життя. Основними культурами Лівобережжя, крім проса і ячменю, були пшениця двозернівка, карликова і м'яка, а також жито і горох.

Стосовно рибних багатств Дніпра відомо, що батько історії Геродот із захопленням писав про безліч чудових риб, яких ловили у цій річці: «Величезні безкостисті риби (осетрові) масово заготовляли для засолення». З не меншим пієтетом про це повідомляв і Пліній: «У Борисфені водяться соми надзвичайної величини з дуже смачним м'ясом».

Підкреслюючи визначальний вплив клімату на формування рослинності, маємо зауважити, що і вона, шляхом зміни вмісту парникових газів в атмосфері, значною мірою впливає на нього. Гадаємо, коливання клімату (періоди похолодання і потепління) за останні 2–3 тис. років, очевидно, слід пов'язувати саме з розвитком рослинності та господарською діяльністю людини. Якщо 7–8 тис. років тому температура повітря на широті Москви була на 1,5 °C вищою від сучасної, а в районі нинішньої пустелі Сахари текли численні річки, буяли гаї і степові трави, то з плином часу ситуація різко змінилася, почалися процеси спустелення у Північній Африці, а на широті Москви трапилися за останні 2–3 тис. років чотири похолодання. Коливання клімату спостерігалися і пізніше. У VII–XI ст. було тепло у Гренландії і Шотландії, Балтійське море не замерзало. А в тій самій Москві, наприклад, упродовж 1601–

1603 років сніги випадали навіть влітку. Тоді від голоду і холоду вимерло багато людей. З цієї причини за останнє десятиліття XVII ст. Естонія, Фінляндія і Ліфляндія втратили до 40% свого населення. Існують відомості про те, що в 555–585 і 763–764 роках Чорне море замерзало, люди ходили по кризі з Криму до Фракії. Північна частина Чорного моря покривалася кригою у 1233–1234, 1543–1544, 1708–1709 і 1788–1789 роках. У цей час у Голландії замерзли канали, які раніше цілорічно були судноплавними.

Нещодавно на підставі дослідження викопного пилку і листя дерев група голландських учених дійшла цікавого висновку: похолодання у Європі за доби середньовіччя могло бути наслідком епідемії бубонної чуми, що викосила понад третину населення континенту та призвела до різкого зменшення обсягів рільництва. У зв'язку з цим на занедбаних угіддях сильно розрослися деревна і кущова рослинність та бур'яни, які споживали велику кількість вуглекислоти і, зменшуючи парниковий ефект, зрештою зумовили похолодання, що тривало майже 300 років.

За відомостями деяких учених [5], освоєння позатропічних територій Євразії первісними людьми почалося ще 400–300 тис. років тому. Вони спочатку з'являлися тут лише в теплий період, а під час похолодань поверталися у південні гірські райони. На думку еволюціоністів, приблизно 40 тис. років тому людина почала активніше освоювати ці території, чому сприяло поліпшення кліматичних умов. Нам видається вірогіднішою позиція тих учених, котрі вважають, що людина розумна з'явилася на Землі значно пізніше – близько 10 тис. років тому [19].

Як відомо, площа нашої планети становить 510,2 млн км<sup>2</sup>, на моря й океани припадає 316,1 млн км<sup>2</sup>. Метеорологічні умови в різних куточках Землі істотно відрізняються: від неймовірної спеки до жахливих морозів. Так, найнижча температура повітря на земній кулі – мінус 88,3 °C (Антарктида,

ст. «Восток»), найвища — плюс 58 °С (Лівія, Ель-Азізія), найвологішим місцем є Тутупенда (Колумбія), а найсухішим — пустеля Атакама (Чилі). Максимальна кількість сонячних днів (4300 год/рік) зареєстрована у пустелі Сахара, яка, мабуть, є ідеальним місцем для акумулювання сонячної енергії. Тож чи потрібно будувати в цьому регіоні АЕС? Повною протилежністю пустелям є наприклад, острів Ньюфаундленд, де спостерігається найбільше туманних днів упродовж року (пересічно 120), а грозових днів — в Уганді (242).

Переважає більшість прогнозів переконує, що техногенне наростання парникового ефекту несе у собі загрозу для цивілізації і біосфери. Стурбованість світової громадськості з цього приводу висловлена в численних наукових і публіцистичних працях [21, 27].

Характеризуючи викиди в атмосферу, слід пам'ятати, що не всі вони сприяють розігріву планети. Деякі з них, наприклад, хмара з крапельок сірчаної кислоти або дисперсних аерозолів, можуть спричинювати зворотний процес — затінення і похолодання. Такий самий ефект зумовлюють і дощові хмари, скупчені високо над Землею. І перші, і другі здатні підвищувати ступінь відбиття сонячних променів у космос. На цій підставі деякі вчені вважають, що ефект затінення компенсуватиме глобальне потепління. Якою мірою згадані процеси вплинуть на клімат Землі, сказати важко через брак необхідної інформації. Можна лише припустити: оскільки проблема очищення димових викидів розв'язується і легше, і дешевше (це вже успішно роблять в енергетиці та металургії), співвідношення аерозолів до парникових газів зростатиме на користь останніх.

Щодо з'ясування ролі аерозолів у формуванні термодинаміки атмосфери, пошлемося на спільну розробку вчених Інституту космічних досліджень ім. Годдарда НАСА і Національного наукового фонду Китаю. За допомогою математичної моделі вони продемонстрували, що антропогенні викиди сажі (здебільшого на території Китаю та Індії) призвели до почасті-

шання за останні два десятиліття посух на Північному Сході та літніх паводків — у південно-східній частині Китаю. Висновки науковців підтверджує й остання посуха, яка навесні 2006 р. вразила значну частину цієї країни і спричинила великі втрати у сільському господарстві, різкий дефіцит питної та поливної води. Як пояснюють дослідники, викиди сажі, змінюючи влітку мусонну циркуляцію повітряних мас над Азією, спотворюють систему випадання атмосферних опадів на території КНР. За прогнозами авторів, подальше зростання обсягів «азійської» сажі призведе до похолодання на території держави, з одного боку, і поширення процесів спустелення в Північній Африці та зниження температури у південних штатах США — з другого.

Більшість експертів прогнозують, що в XXI ст. концентрація вуглекислого газу в повітрі досягне 1800–2000 мкл/дм<sup>3</sup>. Майже однотайно вони вважають, що причиною цього є теплова енергетика, промисловість, сільське господарство і комунальна галузь. Оскільки ТЕС — традиційні забруднювачі атмосфери і значною мірою саме вони відповідають за глобальне потепління, адепти атомної енергетики переконані: АЕС є найбільш вдалою альтернативою ТЕС. Вони породили і всіляко культивують міф про те, що розширення мережі та нарощування потужностей атомних електростанцій розв'яже проблему глобального потепління, оскільки АЕС практично не викидають в атмосферу двоокису вуглецю. На наше переконання, твердження атомників щодо незамінності АЕС — «від лукавого», адже функціонування атомних реакторів супроводжується викидом у довкілля великої кількості тепла і водяної пари, що є не менш потужними чинниками парникового ефекту [21]. Крім того, АЕС породжують низку інших екологічно важких наслідків, про які йшлося у згаданій вище праці.

З огляду на гостроту проблем, спричинених техногенезом, міжнародна спільнота має активніше імплементувати засади сталого

розвитку, проголошені в Ріо-де-Жанейро і Йоганнесбурзі, вимоги щодо скорочення емісії парникових газів, передбачені Кіотським протоколом. Вважаємо: науково-технічна база для реалізації положень згаданих директивних документів в основному вже створена. Насамперед ідеться про ресурсозберігальні технології промисловості й енергетики, що не супроводжуються значними викидами теплоти та емісією вуглекислоти. Перспективу матимуть способи хімічного зв'язування вуглекислоти або закачування її у шахтні виробки та природні підземні порожнини.

Як біологи ми стверджуємо, що в арсеналі методів боротьби з глобальним потеплінням чільне місце має належати відновленню природних екосистем: лісових насаджень, боліт, луків, морських і прісноводних водойм, скороченню орних площ, удосконаленню біологічних агротехнологій, пошуку та селекції високоврожайних сортів сільськогосподарських культур, які вирізняються значними коефіцієнтами засвоєння сонячної енергії та вуглекислоти. Сучасна наукова думка працює над розробкою новітніх агротехнологій, спрямованих на поповнення ґрунтів гуміновими сполуками. Це не тільки розв'яже проблему підвищення їхньої родючості, а й сприятиме надійному депонуванню в них надлишку вуглецю. Нагадаємо: з початку антропогенного періоду пул гумінових речовин у ґрунтах зменшився на 500 Гт і становить нині, за усередненими даними, 1700 Гт вуглецю.

За відомими оцінками, Світовий океан утилізує  $5 \times 10^9$  т/рік вуглекислого газу атмосфери, а це лише четверта частина того, що потрібно для збалансування глобального бюджету вуглецю. Тому дуже важливим є збереження і примноження плантацій лісу, внесок яких нині оцінюється у  $2,5 \times 10^9$  т/рік. Особливу перспективу щодо утилізації надлишку вуглекислоти атмосфери мають ліси північної півкулі планети, тобто Євразії і Канади, де акумульована у вигляді фітомаси значна частина вуглецю біосфери. Отже, розширюючи площі лісових насаджень, ми зв'яжемо дедалі більшу

кількість вуглецю у вигляді ділової деревини, листового опаду, гумусу тощо. І це при тому, що ліс водночас виконує й інші неоціненні біосферні функції: регуляції мікро- і макроклімату, гідротермічного режиму, утилізації забруднень, поповнення атмосфери киснем та забезпечення умов для розвитку багатьох видів флори і фауни.

Свого часу видатний вітчизняний мислитель В. Вернадський уперше сформулював концепцію про людство, яке за масштабністю своєї діяльності прирівнюється до геологічної сили. Очевидно, це є видатним відкриттям у науці. Проте аналізуючи численні приклади взаємодії Людини і Природи, можна поставити під сумнів іншу добре «розкручену» концепцію вченого про ноосферу, згідно з якою людський розум спроможний розв'язати будь-які протиріччя, що виникають у взаєминах цивілізації і біосфери. Очевидно, В. Вернадський дещо переоцінив людину як соціального суб'єкта, адже, на превеликий жаль, вона виступає нині вирішальним дестабілізуювальним чинником біосфери [22]. Рівень моральності і свідомості людства не відповідає тим глобальним викликам, які стоять перед ним.

Щодо проблеми моделювання клімату з метою прогнозу його змін у майбутньому. Деякі вчені, наприклад російський філософ Т. Ойзерман, вважають цю справу марною, не вартою затрат зусиль і коштів. На його погляд, поведінка біосфери, як надскладної відкритої системи, не піддається передбаченню, особливо на віддалену перспективу. Адже, як запевняють математики, події, імовірність виникнення яких менша за  $10^{-50}$ , передбачити неможливо.

«Гадати чи не гадати на майбутнє — однаково невдячна справа», — колись сказав давньоримський мудрець Федр. І все ж, попри існуючий песимізм, провідні держави світу на прогнозування кліматичних змін коштів не шкодують. З цією метою в рамках Всесвітньої програми дослідження клімату відкриваються різноманітні гранти, створюються

міжнародні наукові колективи та освоюються надпотужні комп'ютерні системи.

На протипагу песимістичному погляду засновник російської школи математичного моделювання клімату академік М. Мойсєєв неодноразово наголошував на науково-теоретичному і прикладному значенні моделювання процесів загальної циркуляції атмосфери й океану. Науковці його школи переконані, що розроблені ними й іншими зарубіжними обчислювальними центрами кліматичні сценарії вже сьогодні здатні відповідати на деякі питання, які мають величезне практичне значення для людства. Це:

- ♦ оцінка впливу процесів забруднення Світового океану на кліматичні тренди, зокрема вологоенергообмін між океаном й атмосферою;
- ♦ передбачення можливих кліматичних трендів, пов'язаних з розвитком енергетики. Спричинене нею теплове забруднення атмосфери призводить до зменшення перепаду температур між полюсами й екватором, який є основним чинником циркуляції повітряних мас;
- ♦ обґрунтування проектів використання енергії припливів і відпливів, морських хвиль і навіть штучної зміни морських течій.

Оскільки сучасні зміни клімату здебільшого зумовлені техногенезом, що нагадує війну Цивілізації з Природою, на наше глибоке переконання, вони потребують не тільки всебічного дослідження, а й філософського осмислення, насамперед з погляду моралі і духовності. Здавалося б, наша цивілізація, яка досягла небачених, іноді просто фантастичних успіхів, є настільки мудрою, що спроможна розв'язати всі нагальні політичні, економічні та екологічні проблеми, які постали перед нею. Та реальні виявляються іншими. У суспільстві правлять бал сили, які не воляють жити «по правді». Заради надприбутків і задоволення особистих амбіцій вони втілюють ідеї глобалізації, що в сучасному вигляді є нічим іншим, як черговою спробою захоплення світової вла-

ди. Наразі людство не може розв'язати жодної з найболючіших соціально-економічних і природоохоронних проблем нашої цивілізації: голод, холод, наркоманія, поширення ВІЛ-інфекції, парниковий ефект, руйнування озонової оболонки стратосфери, забруднення довкілля тощо. Але як довго біосфера зможе підтримувати гомеостаз?

На це сакраментальне запитання існує широкий спектр відповідей: від безмежного оптимізму до безнадійного песимізму. Останній вочевидь переважає. Так, нещодавно у впливовій англійській газеті «Independent» міжнародна група авторитетних учених опублікувала наукову доповідь, де зроблено вражаючий висновок: до глобальної кліматичної катастрофи залишилося приблизно 10 років.

Вважаємо: лише за умови реалізації під контролем структур ООН і широких кіл світової громадськості нової глобальної, регіональних та національних стратегій і програм енерговиробництва, енергоспоживання і природоохоронної роботи можлива стабілізація глобального потепління та підтримання гомеостазу нашої Ойкумени. Адже нині людство щороку залучає для своїх потреб не менше  $1,6 \times 10^{13}$  Вт енергії — це 20% продукції усієї біосфери. За підрахунками вчених із славнозвісного Римського клубу, загальна кількість людей на Землі перевищує науково обґрунтовану від 3 до 10 разів. Мабуть, мають рацію ті науковці, котрі вважають: людство може врятуватися від глобальної екологічної катастрофи тільки за добровільної відмови від суто споживацької філософії буття та безумовного дотримання пріоритету природоохоронних проблем над економічними і будь-якими іншими.

На жаль, значна частина політиків, державних діячів й інтелектуалів світу приголомшена негативними екологічними наслідками антропотехногенезу, зневірилася у майбутньому. Ми переконані, що така позиція є хибною. Хочеться запевнити шановного читача: навіть тоді, коли констатуємо гірку дійсність, ми залишаємося оптимістами і віримо у гума-

нізм і можливості науки. Адже їй вдалося розв'язати цілу низку надскладних проблем сучасності в галузі фізики, хімії, техніки, інформації, біології, фармакології, медицини і сільського господарства. Віримо: сучасна наука спроможна накреслити шляхи виходу з глобальної екологічної кризи, в якій опинилася наша цивілізація. Отже, вченим належить переконати керівництво впливових світових інституцій, перших осіб держав, як і всю міжнародну спільноту, в реальності розв'язання актуальних проблем людства і біосфери. Іншого просто не існує.

Узагальнення величезної кількості інформації з глобального потепління свідчить, що, залежно від регіонів планети, у майбутньому можна очікувати:

1. Почастішання посух в аридних зонах планети та збільшення площ пустель і напівпустель. У гумідних широтах, навпаки, зростатимуть обсяги атмосферних опадів і вологість повітря.

2. Зниження продуктивності аграрного сектору та зменшення рівня забезпеченості продовольством населення, передусім у зонах аридного клімату. У гумідних зонах можливе частішання повеней, затоплень ґрунтів і вимокання врожаїв.

3. Загострення дефіциту водних ресурсів, особливо у басейні Середземного моря, Середній Азії, Центральній Америці, Африці, Китаї та інших регіонах.

4. Погіршення санітарно-гігієнічних умов проживання, поширення інфекційних та інвазійних хвороб серед людей, тварин і птахів.

5. Посилення міграції населення з регіонів екологічного лиха.

6. Зростання втрат видової різноманітності живого через скорочення ареалів існування видів.

Проблеми клімату України перебувають у центрі уваги вітчизняної наукової спільноти. Так, В. Єремєєв і В. Єфімов [6] вважають, що Україна належить до «критичних» регіонів планети, де можна очікувати

порівняно великих градієнтів змін температури. Цьому сприяє наявність Чорного й Азовського морів, Карпатських, Кримських і сусідніх Кавказьких гір. З метою підвищення вірогідності прогнозів автори пропонують виділити на її території субрегіони: Північно-Західний, Північно-Східний, Південно-Західний, Південно-Східний та окремо Крим. Залежно від субрегіонів можна очікувати ймовірних змін клімату. Принаймні ретроспективний аналіз показав, що за 95 років ХХ ст. температура повітря зросла у Північно-Східному і Південно-Східному субрегіонах України на 2,7–2,8 °С, тоді як у Північно-Західному – на 1,1–1,7 °С.

Проаналізувавши дані 26 метеостанцій України за 1900–1995 роки, М. Барабаш і співавтори [2] дійшли висновку про загальну тенденцію до підвищення середньорічної температури повітря та збільшення кількості атмосферних опадів, відповідно, на 0,3–0,7 °С і на 50–100 мм. На думку авторів, зросте також внутрішньосезонна мінливість метеопараметрів. У найближчому майбутньому в Україні прогнозують аномально холодні зими з різкими перепадами температур і браком снігу. Влітку можуть виникати посухи.

Стосовно сільськогосподарської галузі загалом, то, на думку деяких фахівців [18], потепління клімату позитивно позначиться на продуктивності рослинництва, адже інтенсивність процесів фотосинтезу, залежно від інсоляції і температури, може зрости на 30–100%. Такі культури, як пшениця, ячмінь, соняшник, рис і соя, дозріватимуть швидше, їхня врожайність підвищиться на 20–30%. Проте врожайність кукурудзи, сорго, цукрових буряків, проса та ін. рослин групи С-4, що є менш чутливими до вмісту CO<sub>2</sub>, навпаки, може істотно знизитися, передусім через інтенсивне забур'янення. Підвищення концентрації вуглекислоти, хоч і сприятиме збільшенню урожайності, однак спричинить погіршення якості зерна, зокрема зменшення вмісту білка.

На прикладі озимої пшениці М. Кульбіда [12] передбачає, що на всій території України

дати настання фенологічних фаз, порівняно із сучасними, зміняться на більш ранні строки: зміщення дат появи сходів від трьох днів у Лісостепу до семи — на Поліссі. На 3–6 тижнів раніше наставатимуть фенологічні фази розвитку пшениці у весняний період. Максимальне зміщення у бік ранніх строків очікується на Поліссі, а найменше — у Степу. Зміниться і тривалість міжфазних періодів. Так, термін міжфазного періоду сходи—коłosіння скоротиться на тиждень у Степу і на 3 тижні — на Поліссі. З огляду на це зміни клімату сприятимуть розвитку молочного скотарства в Степу та західних регіонах Полісся.

Загалом позитивно оцінюючи прогнози вітчизняних фахівців, варто зауважити, що дехто розуміє глобальне потепління надто прямолінійно. Адже підвищення середньорічної температури на 1 і навіть 3 °C не означає зникнення похолодань і заморозків на півдні держави і в Автономній Республіці Крим, як і не виключає виникнення спорадичних посух у степовій і лісостеповій зонах. Окрім того, з огляду на акваторії Чорного й Азовського морів та великі площі водного дзеркала, створені при зарегулюванні стоку великих, середніх і малих річок України, прогнозоване збільшення атмосферних опадів на 20% насправді може виявитися значно істотнішим.

З цієї причини важко погодитися з прогнозом зміни зональних типів лісової рослинності в аридному напрямку. Це стосується також і передбачення розвитку процесів ксерофітизації рослинності в українських степах, бо головними факторами деградації степів Причорномор'я і Приазов'я є не стільки зміни клімату, скільки надмірне розорювання земель і штучна іригація ґрунтів. Малоімовірним видається і сценарій появи нетипової для сучасності зони темного сухого лісу, яка нібито займе весь Лісостеп і частково — Полісся. Власне, немає і підстав для висновку про зниження продуктивності лісу на всій території України, адже прогнозовані гідротермальні умови та підвищений вміст

CO<sub>2</sub> мають сприяти розвиткові лісів. Мабуть, не випадково М. Ромащенко і співавтори [18] прогнозують збільшення за нових умов продуктивності рослинництва. Однак дещо надуманою сприймається така їхня теза: «Підвищення вмісту вуглекислоти при позитивному впливі на врожайність сільськогосподарських культур спричинить погіршення якості зерна, а саме — зниження у ньому вмісту азотистих речовин, кількості білка і, як наслідок, зниження поживності продуктів». Ми знаємо, що сучасна агрономічна наука вміє оптимізувати потреби сільськогосподарських культур у біогенних елементах і досягати високої якості врожаю. Далі у брошурі йдеться про скорочення на 20–30% тривалості вегетації культур, особливо тих, що належать до С-3 групи. З цим можна погодитися, проте сумнівною видається аргументація авторів, коли вони пишуть, що врожайність сорго, проса, цукрових буряків та інших культур групи С-4 може істотно знизитись у разі потепління — через інтенсивний ріст бур'янів. Для боротьби з ними сучасна наука розробила нові агротехнології, знайшла ефективні гербіциди та створила стійкі проти бур'янів і хвороб сорти.

Такі застереження можна висловити і стосовно результатів нещодавнього моделювання клімату Російської Федерації, зокрема отриманих російсько-німецькою групою учених. Так, на підставі комп'ютерної реалізації відомих зарубіжних моделей циркуляції повітряних мас, що включали й соціальний блок (зростання щільності населення, розвиток і регіоналізація економіки та ін.), цей колектив науковців спрогнозував таке: до 2020 р. очікується підвищення середньорічних температур на 1,8–2,8 °C, до 2070 р. на півночі Росії температура зросте на 4–6 °C, тоді як у південній її частині — лише на 1 °C. Якщо тепер частка посушливих років у Ставропольському краї становить 28%, то до 2020 р. вона збільшиться в 1,5–2, а до 2070 р. — у 3 рази.

Аналіз результатів прогнозу кліматичних змін в Україні, опублікований ученими НАН



України, УААН, Гідрометкомітету, Київського національного університету ім. Тараса Шевченка та інших установ, дає підстави для таких висновків:

- ♦ подвоєння вмісту вуглекислого газу в атмосфері спричинить підвищення середньої температури в усі сезони року: за одними сценаріями, найістотніше — взимку, за іншими — навесні;
- ♦ збільшиться кількість атмосферних опадів і зросте вологість клімату;
- ♦ підвищиться рівень Чорного й Азовського морів, активізуються явища підтоплення території, абразії берегів морів і водосховищ;
- ♦ у помірні та північні зони перемістяться субтропічні циклони, які спустелюватимуть південь України;
- ♦ знизиться врожайність культур, за одними сценаріями, та підвищиться — за іншими;
- ♦ найнесприятливішими наслідками зміни клімату можуть стати: незворотна деградація степів Причорномор'я і Приазов'я та степової частини Криму;
- ♦ на всій території України передбачається зниження продуктивності лісу, зокрема внаслідок поширення епіфітотій і шкідників.

Ми акцентуємо на двох крайніх сценаріях зміни клімату: аридизації і гумідифікації, усвідомлюючи, що можливий ширший спектр змін, але, мабуть, за рахунок проміжних варіантів.

З метою мінімізації негативних наслідків глобального парникового ефекту рекомендуємо вжити таких заходів, спрямованих на:

- ♦ скорочення обсягів забруднення атмосфери, ґрунтів і вод на першому етапі (до 2010 р.) удвічі, на другому (до 2050 р.) — у 5 разів;
- ♦ відновлення природної біоти на 2/3 території Землі, розширення площ лісових насаджень і заповідних ландшафтів до 2025 р. у 2, а до 2050 р. — у 5 разів;
- ♦ стабілізацію чисельності населення Землі на рівні 7–7,5 млрд осіб;
- ♦ скорочення орних площ з одночасним збільшенням урожайності сільськогосподар-

ських культур завдяки впровадженню високоефективних сортів, порід тварин, сучасних технологій;

- ♦ заміну застарілих енергетичних і промислових технологій на наукоємні, ресурсозберігальні й екологічно чисті;
- ♦ активізацію генетико-селекційних робіт з метою отримання сортів і гібридів культурних рослин, спроможних давати високі та якісні врожаї за екстремальних коливань погоди;
- ♦ розробку і впровадження у виробництво ефективних агротехнологій вирощування та захисту сільськогосподарських культур, плодкових дерев і ягідників від екстремальних метеоумов;
- ♦ створення на основі новітніх досягнень генетики і селекції високопродуктивного поголів'я сільськогосподарських тварин та птахів, адаптованих до очікуваних кліматичних змін.

Очевидно, запропоновані заходи у певних межах виявляться актуальними і для народного господарства України, крім хіба що проблеми перенаселення. За оцінками ФАО, Україна може прогодувати не менше 300 млн осіб. Переконані, на часі — розробка нової комплексної програми дослідження, моделювання і прогнозу клімату нашої держави із залученням інтелектуального потенціалу НАН України, УААН, АМН, Міносвіти, Держкомгідромету та інших установ, з використанням потужностей Обчислювального центру Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова. У цих дослідженнях бачимо і роль Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, в якому ми працюємо. Це — вивчення і передбачення поведінки природних фітосистем за різних сценаріїв зміни клімату та розробка заходів охорони рослинності від екстремальних погодних умов, зокрема від ураження фітопатогенними грибами.

1. Багнюк В.М., Дідух Я.П. Екологічні проблеми Закарпаття // Наук. записки НаУКМА. Сер. біол. та екол. — 2002. — Т. 20. — С. 61–67.

2. *Барабаш М., Гребенюк Н., Татарчук О.* Зміна клімату при глобальному потеплінні // Водне госп-во України. — 1998. — №3. — С. 9–12.
3. *Безузько Л.Г., Климанов В.А., Шеляг-Сосонко Ю.Р.* Климатические условия Украины в позднеледниковые и голоцене // Палеоклиматы голоцена Европейской территории СССР. — М.: АН СССР, 1988. — С.125–135.
4. *Безузько Л.Г., Безузько А.Г.* Рослинний покрив лісової зони України в пізньому дріасі // Наук. записки НаУКМА. Сер. біол. та екол. — 2002. — Т. 20. — С. 3–8.
5. *Величко А.А., Грибенко Ю.Н., Куренкова Е.И.* Позднепалеолитический человек заселяет русскую равнину // Природа. — 2003. — №3. — С. 52–60.
6. *Єремєєв В., Єфімов В.* Регіональні аспекти глобальної зміни клімату // Вісн. НАН України. — 2003. — №2. — С. 14–19.
7. *Заварзин Г.А.* Микробный геохимический цикл кальция // Микробиология. — 2002. — 71, №1. — С. 5–22.
8. *Каневский В.А., Сиваш А.А.* Структура солнечного спектра и механизмы фоторегуляции в биологии. — К.: Ин-т ботаники АН УССР, 1988. — 28 с.
9. Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях / Под ред. чл-кор. НАНУ Е.Л. Кордюм. — К.: Наук. думка, 2003. — 277 с.
10. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського та ін. — К.: Вид-во Раєвського, 2003. — 343 с.
11. *Кузнецов В.Д., Житник И.А., Собельман И.И.* Короносфера: вклад в солнечно-земную физику // Вестн. РАН. — 2005. — 75, №8. — С. 704–711.
12. *Кульбіда М.І.* Оцінка фотосинтетичної продуктивності озимої пшениці за різноманітними сценаріями змін клімату в Україні // Хранение и переработка зерна. — 2002. — №4. — С. 18–23
13. *Либберт З.* Физиология растений. — М.: Мир, 1976. — 580 с.
14. *Мейен С.В.* Основы палеоботаники. — М.: Недра, 1987. — 403 с.
15. *Мошин А.С., Берестов А.А.* Новое о климате // Вестн. РАН. — 2005. — 75, №2. — С. 126–138.
16. *Несис К.Н.* Когда Средиземное море высохло и что за этим последовало? // Природа. — 2000. — №4. — С. 3–5.
17. *Ромащенко М.І., Собко О.О., Савчук Д.П., Кульбіда М.І.* Про деякі завдання аграрної науки у зв'язку із змінами клімату. — К.: Інститут гідротехніки і меліорації УААН, 2003. — 96 с.
18. *Рудий Б.* Критика еволюціонізму. — К.: Четверта хвиля, 2003. — 115 с.
19. *Сандерсон А.Т.* В мире неизведанного. — М.: Знание, 1977. — 55 с.
20. *Ситник К., Багнюк В.* Глобальне потепління: внесок атомної енергетики // Вісн. НАН України. — 2005 — №6. — С. 3–16.
21. *Ситник К.* Ноосфера: міфи і реальність // Там само. — 2003. — №5. — С. 45–53.
22. *Allen D.J., Nogues S., Baker N.R.* Ozone depletion and increased UV-B radiation: is there a real threat to photosynthesis? // J. Exp. Bot. — 1998. — 49. — P. 1755–1788.
23. *Capman C.R.* Impact of lethality and rises in today world: lessons for interpreting earth history. — Catastrophic events and mass extinctions: Impact and beyond / Ed. C. Koeberl, K.G. Mac-Leod: Boulder, Colorado. Geol. Soc. Amer. — P. 356–370.
24. *Kalinovich N.* Roslinnosc verchniodnistrovskoi dolyny (dolyny gornegi Dnistru, przedcarpacia) w holoceniu // Roczniki Bieszczadzkie. — 2000. — 9. — S. 141–149.
25. *Lacusic B., Lacusic D., Jancic R., Stevanovic D.* Morpho-anatomical differentiation of the Balcan populations of the species *Teucrium flavum* L. (Lamiaceae) // Flora. — 2006. — 201, N 1. — P. 108–119.
26. *Lorinus Calange, Oeschger Hans.* Climate change. Paleoperspectives: reducing uncertainties in global change? // AMBIO. — 1994. — 23, №1. — P. 30–36.

*К. Ситник, В. Багнюк*

#### БІОСФЕРА І КЛІМАТ: МИНУЛЕ, СЬОГОДЕННЯ І МАЙБУТНЄ

#### Резюме

Аналізуються проблеми зміни клімату у глобальному і регіональному вимірах, реакції на ці процеси біоти, екологічні та економічні наслідки сучасних кліматичних метаморфоз для населення Землі та окремих її регіонів. Автори пропонують конкретні заходи, спрямовані на мінімізацію негативного впливу глобального потепління, оцінюють прогнози кліматичних змін в Україні, акцентуючи на явищах аридизації та гуміфікації.

*К. Sytnyk, V. Bagnyuk*

#### BIOSPHERE AND CLIMATE: THE PAST, THE PRESENT, AND THE FUTURE

#### Summary

The problems of climate change are analyzed in global and regional dimensions, as well as biota reactions on these processes, ecological and economic consequences of the modern climate metamorphoses for the Earth population and its separate regions. The authors propose concrete action items oriented on minimization of global warming consequence negative impact, evaluate the forecasts of climate changes in Ukraine, highlighting the phenomena of aridization and humidification.