



ДІДУХ
Яків Петрович –
академік НАН України,
завідувач відділу геоботаніки та
екології Інституту ботаніки
ім. М.Г. Холодного НАН України

РОЛЬ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНИ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ТА РОЗВИТКУ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ЗЕЛЕНОГО КУРСУ

**Доповідь на науковій сесії Загальних зборів
НАН України 17 лютого 2022 року**

У доповіді проаналізовано такий аспект декарбонізації як оптимізація депонування карбону в природних екосистемах, наведено відповідні розрахунки енергії для лісових, степових, лучних, болотних, агроекосистем України та їх компонентів, результати яких можна переводити в зручні для економістів грошові одиниці і використовувати для оцінки екосистемних послуг. З позицій Європейського зеленого курсу висвітлено проблеми адаптації до негативних наслідків зміни клімату і показано, що нові ідеї та наукові розробки кардинально розходяться з практичною діяльністю на місцях.

Сьогоднішня наукова сесія присвячена актуальній проблемі формування і реалізації моделі низьковуглецевої економіки, на яку ми хотіли б поглянути ширше і доповнити наше обговорення висвітленням аспектів, які стосуються відносин суспільства і природи, оскільки економіка як сфера управління впливає, зокрема, й на природу.

Такий надважливий тренд як декарбонізація зачіпає багато проблем і впливає майже на всі сектори економіки. Це відображено в багатьох нормативних документах різного рівня. Ці документи перебувають на різних стадіях розроблення, а деякі з них, наприклад Стратегія сталого розвитку, вже практично забуті. Окремо взятий, жоден із них не є достатнім, тому потрібна інтеграція та використання інноваційних підходів у сфері технологій, економічних, соціальних, екологічних заходів, комплексне вирішення проблем збереження стабільного стану біосфери, умов існування життя і людської цивілізації.

Непомірне зростання потреб людства протягом тисячоліть спричинило зниження і виснаження енергозапасів планети, оновлення біомаси тепер відбувається протягом 26 років і пришвидшується, а процеси еволюційного характеру не встигають

адаптуватися до такого прискорення. Це спричинює зменшення біорізноманіття, руйнування структури природних екосистем, порушення функціональних процесів і природного ходу еволюції на планетарному рівні.

Людська цивілізація стала геофізичною силою, що змінює організацію та структуру біосфери і диктує хід її подальшого розвитку, впливаючи на еволюційні процеси. З огляду на такі трансформації науковці пропонують виділяти новий геологічний період — *антропоцен*.

Людина впливає на всі планетарні процеси, а тому повинна нести відповідальність за наслідки. Суспільству необхідно подбати про «спадок», який воно залишає наступним поколінням.

Якщо розглядати кліматичні аспекти, то у попередньому П'ятому (2014) і нинішньому Шостому звіті Міжурядової групи експертів з питань змін клімату (ІРСС), який, як очікується, має бути оприлюднено 28 лютого 2022 р., переконливо доведено, що діяльність людини як безпосередньо, так і опосередковано суттєво впливає на зміни клімату, що разом з антропогенним чинником спричиняє негативний синергетичний ефект. При цьому звертається увага не лише на зростання середньорічних температур (такі періоди спостерігалися й раніше), а й передусім на безпрецедентну швидкість підвищення температури. В атмосфері, яка є найбільш лабільним компонентом біосфери, здатним до якнайшвидшого відновлення, відбуваються значні флуктуаційні зміни, турбулентні процеси, посилення яких може призвести до катастрофічних наслідків, різні прояви яких уже фіксуються в Україні.

Тому ключовий меседж моєї доповіді можна сформулювати так: не можна стабілізувати зміни клімату, не зберігаючи, не рятуючи біосферу.

Розглянемо детальніше основні аспекти декарбонізації (рис. 1). Яка її кінцева мета? Збереження біосфери як основи існування життя, але спочатку потрібно досягти рівноваги викидів і депонування CO_2 . Навіщо? Щоб обмежити підвищення середньорічної температури планети $1,5^\circ\text{C}$. Звідки взялася ця величина?

Як показали розрахунки, підвищення середньорічної температури більш як на 2°C призведе до незворотних катастрофічних змін, індикаторами яких є втрата біотичного різноманіття і деградація природних екосистем, що підриває основи життя на планеті. Однак на цьому шляху виникають певні проблеми:

1) нелінійний характер взаємозв'язків, а в точках біфуркації можливі навіть зворотні залежності;

2) урахування інерційності процесів, які продовжуватимуться навіть після стабілізації кліматичних показників, а тому порогом обмеження підвищення середньорічної температури було обрано саме $1,5^\circ\text{C}$;

3) необхідність урахування каскадності змін, оскільки навіть незначний вплив вище допустимої межі може спровокувати різкі, якісно нові (емерджентні) зміни катастрофічного характеру. І хоча в теорії науки ці істини добре відомі, але на практиці передбачити, спрогнозувати цю межу і наслідки змін ми поки що не можемо.

Процеси, які відбуваються у природі, визначаються енергетичними потоками, а відтак, описуються законами термодинаміки. Одними з ключових кількісних показників, що корелюють з показниками енергії, є характеристики вмісту сполук карбону, зокрема CO_2 . На сьогодні розроблено методики для оцінки екосистемних послуг, які дозволяють економістам проводити розрахунки і досить легко переводити у грошові одиниці кількісні показники вмісту сполук карбону, маси карбону, CO_2 -еквіваленту, а також зіставляти їх з енергетичними показниками.

Запаси карбону в різних компонентах біосфери (суша, океан, атмосфера) різні. На суші сконцентровано 34 % запасів сполук карбону, у кругообігу яких різні компоненти екосистем беруть участь у різних співвідношеннях. І хоча запаси карбону в біотичному компоненті наземних типів екосистем становлять лише близько 9 %, саме цей канал за мільйони років забезпечив запаси карбону в ґрунті, горючих корисних копалинах, атмосфері, і власне він визначає життя, тобто і наше з вами існування.

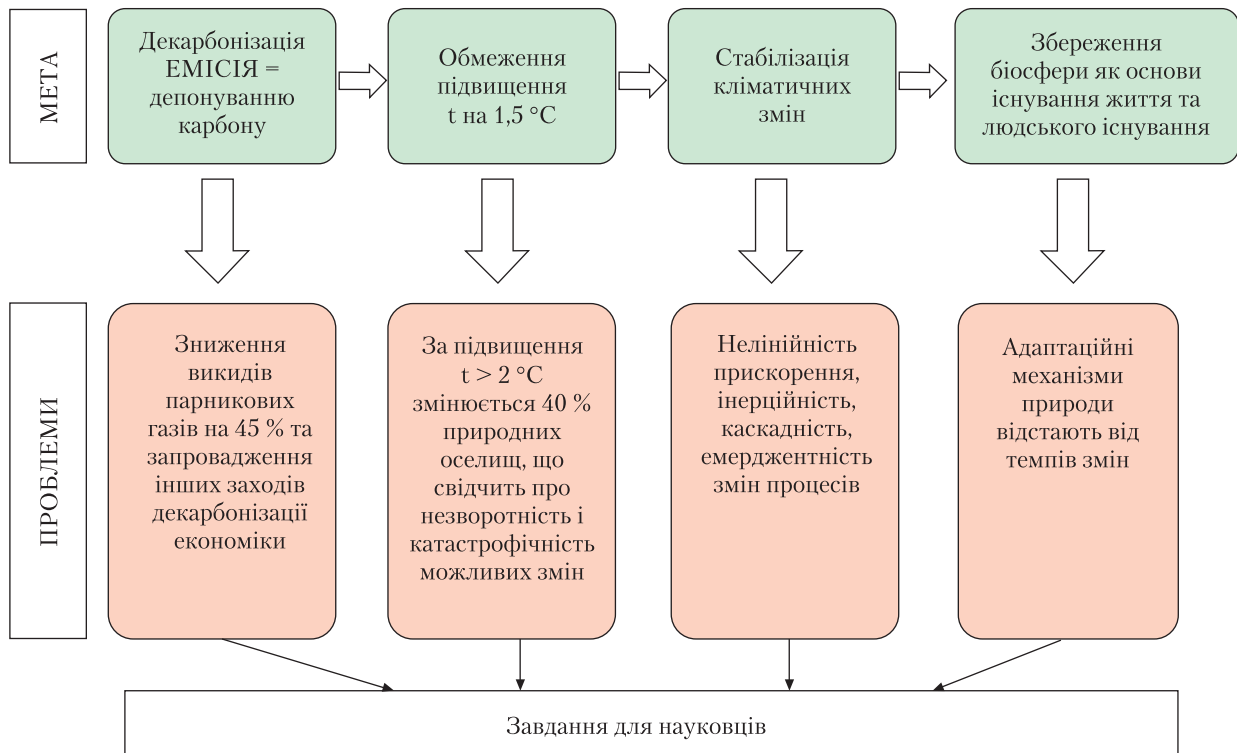


Рис. 1. Від декарбонізації до збереження біосфери: проблеми та завдання на кожному етапі

Для окремих компонентів біосфери розраховано відповідні показники запасів, емісії, депонування вуглецю. Оскільки мета декарбонізації – це досягнення рівноваги між емісією та депонуванням, ми маємо звертати увагу не лише на способи зниження рівня емісії, про що йшлося у попередніх доповідях, а й на збільшення депонування вуглецю. Проте слід визнати, що, згідно з розрахунками науковців, на території Європи ефект декарбонізації на 80 % залежить від зниження викидів і лише на 20 % – від поліпшення заходів депонування, які до того ж мають певні обмеження. Однак підкреслимо, що збільшення депонування впливає на той регуляторний механізм кругообігу вуглецю та засвоєння енергії, який через фотосинтез перетворює його з газоподібного стану на форми, які є доступними, передаються по трофічному ланцюгу і кінцевим споживачем яких є людина. Образно кажучи, ми повинні думати не лише про кількісний і якіс-

ний склад газів в атмосфері, що, без сумнівів, дуже важливо, а й про регуляторний механізм ефективності засвоєння та передачі цих сполук.

Проблема порушення рівноваги, балансу вуглецю особливо загострюється у зв'язку з кліматичними змінами та посиленням антропогенного впливу, поєднання яких дає негативний синергетичний результат. Хоча сьогодні різниця між поглинанням (40 Гт/рік) та викидами (38,9 Гт/рік) позитивна (1,1 Гт/рік), але близько половини їх акумулюється в атмосфері, що призводить до збільшення концентрації, внаслідок чого і відбувається підвищення середньорічних температур.

Для оцінки витрат, екосистемних послуг розраховано енергетичні показники і розроблено схему передачі енергії відповідними ланцюгами (рис. 2). Завдання полягає в оцінюванні їх для кожного регіону, зокрема України, використанні цих розрахунків для прогнозу-

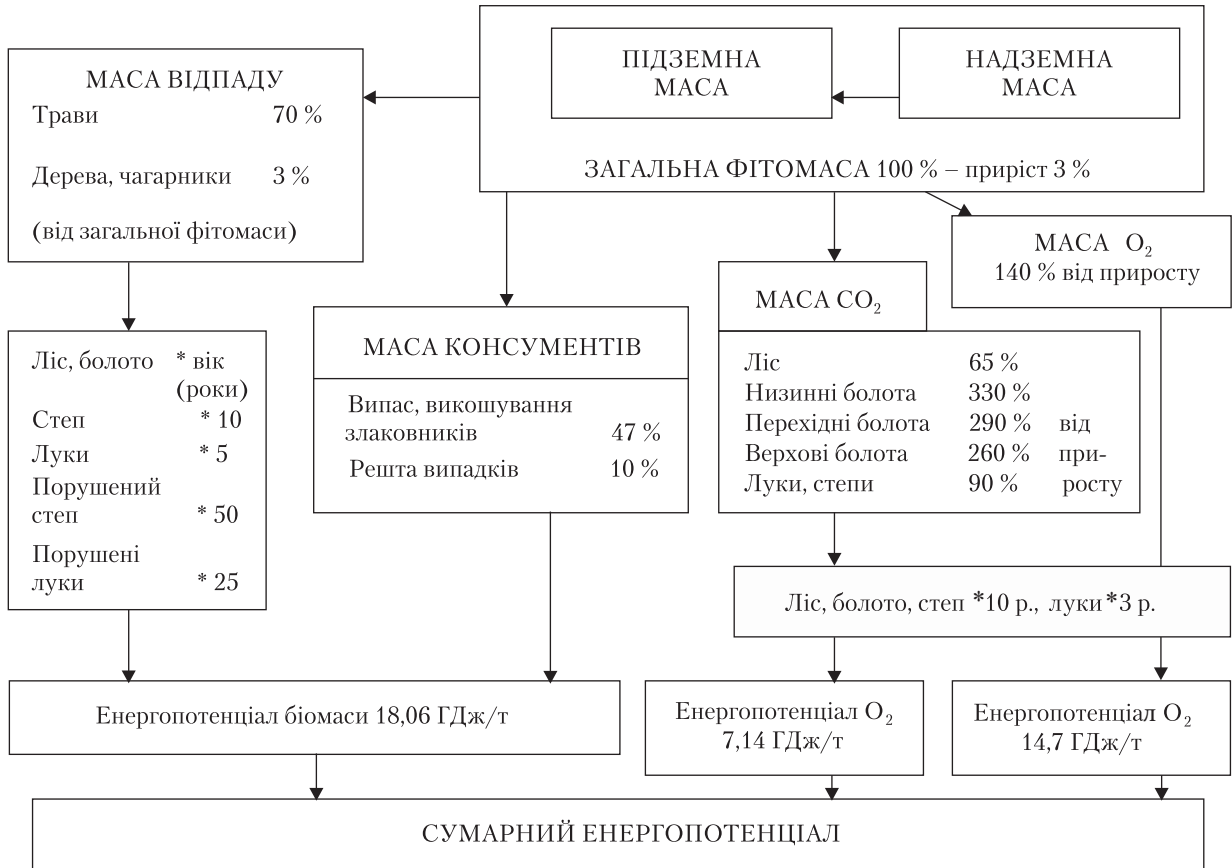


Рис. 2. Схема потоків та оцінка енергетичних показників компонентів екосистем

вання можливих змін, розроблення запобіжних заходів і протидії негативному впливу.

З цих позицій ми проаналізували сучасний стан і потенційні можливості наших природних екосистем. На рис. 3 наведено співвідношення реальних і потенційних запасів енергії основних природних компонентів екосистем України, сконцентрованих здебільшого у ґрунті та торфі. Найбільша диспропорція спостерігається для біомаси (різниця становить 2/3 від потенційно можливої), тому її відновлення є дуже важливим.

Проаналізуємо детальніше типи угідь та їхні енергетичні запаси (рис. 4). Найбільші площі займають орні землі (56%), енергетичні запаси яких становлять лише 25%, але їх щороку відчужують на потреби людини. Натомість ліси, які займають 15,9% території України, депону-

ють 68,6% запасів карбону і є найпотужнішим «депо». Тому на проблемі відновлення лісів та збільшення їх площі зосереджено особливу увагу. В Європі ліси в середньому займають 42% площі, тоді як в Україні – лише 15,9%, що є одним з найнижчих показників у Європі. Основні енергетичні запаси зосереджено в стовбурах деревини. При цьому, за офіційними даними, обліковані рубки щороку становлять приблизно 15,3 млн м³, або 0,9% запасів. Однак насправді унаслідок вирубування лісів ми втрачаємо близько 20% запасів.

За нашими розрахунками, ліси в Україні поглинають 105 млн т карбону, що становить 10% емісії викопного палива. Щорічна втрата енергетичних запасів деревини внаслідок недосконалої технології рубок еквівалентна 30% щорічного накопичення енергетичного запасу,

а тому збільшення площі лісів до оптимальних 20 % території є дуже актуальним завданням. Слід зазначити, що крім вирубування до втрати лісів призводять пожежі, вітровали, опустелювання, кліматичні катаклізми, поширення хвороб, шкідників, усихання внаслідок порушення гідрорежиму ґрунтів, формування насаджень інтродукованих порід, експансія адвентивних видів тощо. Ліси — це не лише регулятори CO_2 і O_2 ; вони знижують температурні показники, мають ґрунтовірне, гідрорегульвальне, протиерозійне значення, є оселищами специфічного біорізноманіття, а тому їх кумулятивний вплив на стабілізацію екосистем та клімату дуже значний.

Така комплексна оцінка екосистемних послуг лісів свідчить, що їх вартість перевищує вартість деревини у кілька разів. Одним із варіантів поліпшення ситуації є розроблення системи заходів агролісівництва. Це не лише вирішення проблеми формування та відновлення лісосууг, а й створення штучних плантацій швидкозростаючих дерев, наприклад верб, які у Західній Європі використовують як сировину для біопалива.

Проведені нами розрахунки для України свідчать, що в разі підвищення температури на 2°C ситуація для природних лісів стає загрозливою, на $2,5^\circ\text{C}$ — критичною (можлива втрата 40 % нинішніх біотопів), а такі зміни сигналізують уже про вихід системи за межі стабільного стану, тобто є катастрофічними.

Пасовища і сінокоси в Україні представлені степами та луками. Степи — трав'яний біом, запаси карбону в біомасі якого нижчі, ніж у лісовому, але в Україні вони сконцентровані в найродючіших чорноземних ґрунтах і в 5 разів перевищують запаси біомаси. Тому степові екосистеми менш стійкі і більш вразливі до зовнішнього впливу. Механізм регулювання кругообігу зосереджений тут у ґрунті, і тотальне розорювання степів (із 40 % площі степової зони лише 3 % становлять власне степи) призводить до зниження запасів гумусу і емісії CO_2 .

Зменшується площа лук як цінних пасовищ та сіножатей через зміну структури господа-

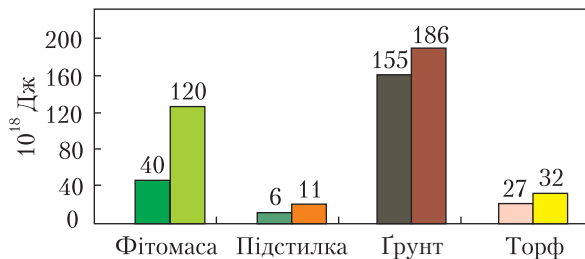


Рис. 3. Порівняльна оцінка реальних та потенційних запасів енергії основних блоків екосистем України

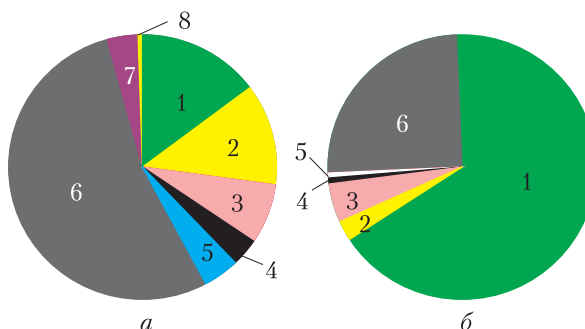


Рис. 4. Співвідношення між площами (а) та енергетичними запасами (б) екосистем: 1 — ліси; 2 — пасовища; 3 — сіножаті; 4 — болота; 5 — внутрішні водойми; 6 — рілля; 7 — урботериторії; 8 — відвали, автомагістралі

рування, зокрема розпаювання, що спричиняє масштабне розорювання їх під сільськогосподарські культури.

Особливо небезпечне розорювання степів та лук на схилах, оскільки ерозія посилює процеси емісії CO_2 . Недоцільним, на чому наголошено у звіті ІРСС, є також штучне заліснення місць, де не формуються повноцінні лісові екосистеми (а в Україні є намагання залісити степи). Така стратегія матиме, навпаки, негативний результат.

Особливо актуальною є проблема збереження високогірних лук, які вже страждають від кліматичних змін (на них зафіксовано навіть пожежі!). Оскільки Українські Карпати — гори невисокі (до 2200 м), альпійські екосистеми не мають плацдарму для відступу і можуть бути втрачені.

Болота займають близько 6 % площі суші, але депонують до 30 % карбону. Вони є од-

ним із найпотужніших енергетичних «депо» на планеті. Раніше значущість боліт недооцінювали. В Україні площа боліт становить до 1 млн га, енергозапаси живої біомаси незначні (0,024 ЕДж). Однак у торфї глибиною 1 м депоновано $168 \cdot 10^{18}$ Дж енергії. Тотальне осушення та видобуток торфу призводять до додаткової емісії CO_2 , метану та оксидів азоту в атмосферу. Попри це сьогодні є намагання розширювати торфовидобуток, що суперечить цілям і завданням декарбонізації. Внаслідок осушення боліт зростають масштаби емісії CO_2 та метану, збільшується їх концентрація в атмосфері.

Водні континентальні ресурси є регуляторами багатьох процесів. За останні 50 років в Україні зникло понад 10 тис. малих річок, а зарегульованість і створення штучних неглибоких, але величезних за площею водосховищ зі стоячою водою, яка добре прогривається, спричинює інтенсивне розмноження ціанобактерій, «цвітіння» водойм, відмирання і розкладання органіки, евтрофікацію, а відтак, збільшує емісію CO_2 . До того ж зменшення концентрації кисню у воді призводить до скорочення рибних запасів. Ми маємо відмовлятися від тотального, масштабного зарегулювання річок і створення різного роду водосховищ, що суперечить ідеї зеленої енергетики. На півдні вода є дефіцитним ресурсом через засолення, спричинене підвищенням температур в умовах аридного клімату. В майбутньому, на жаль, площі засолених територій збільшуватимуться. Води є одним із чинників усихання лісів і виникнення руйнівних повеней у передгірських територіях.

Середньорічна температура міст на 2°C вища, ніж навколишніх територій, що в комплексі зі шкідливими викидами та смогами перетворює їх на осередки підвищеної небезпеки для великої кількості людей. Тому зелені насадження, які адсорбують пил та інші шкідливі викиди і збільшують концентрацію кисню, є дуже важливими. У Західній Європі успіш-

но розвивається вертикальне озеленення, а в Україні скорочується площа міських газонів. Ефективною протидією негативному впливу змін клімату є збільшення об'єму крон деревних насаджень, однак у нас дуже поширене масштабне обрізання крон дерев.

Натомість відсоток орних земель (площа $324,8$ тис. km^2) у нас один з найвищих у Європі – 56 %, а в окремих регіонах понад 80 %, що можна розглядати як одне з потужних ($10,39$ ЕДж) джерел емісії карбону.

Проблеми зміни довкілля, декарбонізації економіки зачіпають багато аспектів функціонування біосфери, розвитку суспільства та різних галузей господарства. В основу екологічної політики ХХІ ст. покладено оцінку екосистемних послуг як вигод, які суспільство отримує від природи, що є ефективною характеристикою цінності екосистем.

Такі напрацювання відображені й у новій еколого-економічній парадигмі – Європейському зеленому курсі, який передбачає широке запровадження технологічних, екологічних, економічних, соціальних, політичних заходів, спрямованих на удосконалення відносин суспільства і природи в умовах сьогодення.

Наведені в доповіді приклади господарювання свідчать про те, що між ідеями, науковими напрацюваннями та їх практичною реалізацією є величезна прірва, «ключ» до подолання якої – у наших головах, у формуванні екологічного мислення. Ми повинні спрямувати свої зусилля на розв'язання всього комплексу зазначених проблем. Зокрема, НАН України може зробити досить багато: забезпечити науковий супровід підготовки відповідних юридичних документів, розроблення довго- та короткострокових планів дій і заходів запобігання, протидії та адаптації до кліматичних змін, підготовку кадрів відповідної кваліфікації тощо. Для цього необхідно розробити спеціальну комплексну програму, основою якої має бути науковий блок.

Yakiv P. Didukh

Kholodny Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7619-0283>

THE ROLE OF NATURAL ECOSYSTEMS OF UKRAINE IN ENSURING
DECARBONIZATION AND DEVELOPMENT OF THE EUROPEAN GREEN DEAL

Report at the scientific session of the General Meeting of the NAS of Ukraine, February 17, 2022

The report analyzes such an aspect of decarbonization as optimization of carbon deposition in natural ecosystems, provides appropriate calculations of energy for forest, steppe, meadow, swamp, agro-ecosystems of Ukraine and their components, the results of which can be converted into convenient for economists monetary units and used for evaluation of ecosystem services. From the perspective of the European Green Deal, the problems of adaptation to negative consequences of climate change are highlighted and it is shown that new ideas and scientific developments are at great odds with practical activities on the ground.