

Я. ДІДУХ

ЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОСИСТЕМ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

Сучасний критичний стан довкілля, який продовжує катастрофічно погіршуватися, спричинений тим, що в ХХ столітті розвиток цивілізації визначав шалений технічний прогрес. Він ґрунтувався на екстенсивному освоєнні природних ресурсів, на антропоцентричній моделі господарювання: «Ми не можемо чекати милостей від природи, взяти їх — наше завдання». І як сумний підсумок такої парадигми взаємодії людини і природи — переосушені землі Полісся, випрямлені русла річок, затоплені багаті заплави Дніпра, розорані всі степи і схили долин річок, нищаться ліси Карпат, піднято на поверхню і складовано у терикони мільйони тонн геологічних порід, нарито кар'єрів, засолено ґрунти Півдня України. Зведено атомні станції, однак ми не навчилися грамотно і відповідально керувати ними, що і призвело до Чорнобильської катастрофи, за масштабами і згубними наслідками якій немає аналогів у світі.

Усе це, в остаточному підсумку, спричинило порушення природних процесів, підрив рівноваги екосистем. Але проблема полягає в тому, що ми свідомо чи несвідомо, за інерцією чи мотивовано — продовжуємо рухатися тим самим шляхом, і сьогодні не тільки зупинити, а й сповільнити цей рух неможливо. І якщо світовій науковій спільноті не вдасться домогтися від владних структур своїх країн реалізації ухвалених на міжнародних самітах рішень й адекватної реакції на нові загрози, людство очікує планетарна катастрофа.

В Україні триває процес бездумної експлуатації природних багатств, країна живе за енерго- й ресурсозатратною моделлю господарювання. Віддзеркаленням цього є те, що у нас досі не прийнято концепції сталого розвитку держави, про яку говорять ось уже 15 років, від часу відомої конференції в Ріо де Жанейро (1992). Мета сталого розвитку — це забезпечення високої якості жит-

тя за рахунок збалансованого соціально-економічного розвитку суспільства, раціонального використання природних ресурсів, відтворення навколишнього природного середовища. Слід зауважити, що перші варіанти цієї концепції в Україні базувалися на старих засадах, а екологи, економісти, технологи продовжують розмовляти «різними мовами» і залишаються глухі один до одного.

© ДІДУХ Яків Петрович. Член-кореспондент НАН України. Директор Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України (Київ). 2007.


Збалансоване використання природно-ресурсного потенціалу потребує його кількісної оцінки у певних одиницях виміру, що дало б змогу визначити обсяги та межі споживання ресурсів, швидкість їх скорочення та відновлення, ефективність тих чи інших технологій, контроль за ними не лише з утилітарних чи економічних позицій, тобто корисності для людини та їхньої вартості, а й екологічної доцільності. Останні показники слід задіяти і для інноваційної оцінки.

Ці проблеми є складними і багатогранними, але, на нашу думку, один із шляхів їх розв'язання — це необхідність формування спільної мови, оперування такими поняттями й одиницями їх виміру, які доступні для всіх. Екологи мають навчитися оперувати економічними поняттями, економісти — обчислювати збитки, завдані природі, технологи — оцінювати не лише прямі, а й опосередковані результати своєї діяльності, зумовлені складністю організації екосистем, їх емерджентними властивостями. Загальновідомо, що для оцінки певних показників необхідні цифри, але питання у тому, щоб знайти такі одиниці виміру, якими могли б оперувати фахівці різного профілю.

І таке мірило було знайдено. Це — показники енергії, що є досить універсальними і з фізичних законів термодинаміки перейшли у сферу екології. Енергія — доволі обширне поняття. Крім фізичного та утилітарного значення, забезпечення суспільних потреб, вона виступає мірою природних процесів, їх ефективності, потужності тощо. Саме це показав І.Р. Пригожин [1], який довів, що закони термодинаміки «працюють» у неврівноважних відкритих біологічних системах (за цю теорію вчений отримав Нобелівську премію). Наступний крок полягав у тому, щоби показники і поняття термодинаміки ввести у науковий обіг екологів. На це були спрямовані зусилля багатьох всесвітньо відомих учених, серед яких

особливу роль відіграв американський еколог Ю. Одум [2]. У своїй класичній праці він пише, що показники енергії є «екологічною валютою», на основі якої можна оцінювати як біотичні, так і фізичні, хімічні процеси, які відбуваються у часі і просторі, — від найменшого об'єкта до рівня біосфери. Ю. Одум продемонстрував це на конкретних прикладах.

З метою отримання репрезентативних даних для різних типів екосистем у 60–70-х роках ХХ ст. було започатковано програму МАБ ЮНЕСКО «Людина і біосфера», до якої долучалися науковці різних країн, у тому числі й Радянського Союзу. Були одержані вельми цікаві результати, які стосувалися й України. Проте в СРСР ці результати опрацьовувалися не повністю, до визначення продуктивності і запасів біомаси різних типів екосистем. Коли за кордоном інтенсивно велися дослідження енергії екосистем, у «Програмі і методиці біогеоценотичних досліджень» [3] розділ, присвячений проблемам енергетики, займав усього кілька сторінок, де наголошувалося, що ці проблеми потребують подальшого вивчення. Нагромаджений величезний масив цінних даних щодо «завис», і теоретичні узагальнення не зроблені. Тим часом американські та західноєвропейські вчені переводили ці показники в енергетичні одиниці, зуміли промодельювати екологічні проблеми у категоріях термодинаміки і виявити цікаві закономірності. У підсумку було сформульовано відповідні закони [4, 5].

 ля розуміння суті викладеного ми подаємо короткі визначення ключових понять і розмірності одиниць, якими оперуватимемо.

Основними в цьому контексті є поняття «блок» і «потік енергії».

Блок — будь-яке природне тіло чи їхня сукупність, куди надходить енергія, акумулюється і віддається, отже, блок харак-

теризується певним запасом енергії (Q). Головними блоками екосистеми, які аналізуються у цій статті, є фітомаса, де акумулюється приблизно 90% енергії біомаси, підстилка, котра індикує стан і розклад мортмаси, та гумус, що відображає енергетичний стан ґрунту;

Потік енергії — енергія у стані переміщення з одного блоку до іншого, що характеризується певною інтенсивністю (I);

Відповідно встановлено цілу низку похідних понять, дано оцінку їхньої величини.

Енергозапас (енергоємність) — кількість енергії (Дж), накопиченої у блоці, живій або мертвій біомасі чи гумусі ґрунту на відповідній території.

Енергетична продуктивність (Дж) — приріст енергії, що являє собою різницю між надходженням і витратами енергії і відображає її накопичення за одиницю часу (Q/t).

Інтенсивність — кількість енергії, яка переходить з одного блоку до іншого за одиницю часу (I/t).

Питома швидкість руху енергії (f) з одного блоку до іншого (I/Q); **час** (t) **енергетичного обороту** (Q/I).

Звісно, отримані нами дані — попередні, їх не слід абсолютизувати, а необхідно поповнювати й уточнювати на основі докладніших розрахунків, із використанням новіших фактичних матеріалів. Однак певні зроблені на їх підставі висновки, що відображають найзагальніші тенденції, є, на наш погляд, важливими для фахівців різних сфер, які оперують енергетичними поняттями.

Усе розмаїття екосистем ми поділили на чотири типи — залежно від того, який компонент формує основу, поверхню, що трансформує сонячну енергію і таким чином визначає специфіку кругообігу речовин: **біотоп** — поверхня, вкрита рослинністю; **гідротоп** — водне середовище; **літотоп** — виходи геологічних порід; **технотоп** — технічна

споруда [6]. Якщо перші найефективніше забезпечують акумуляцію сонячної енергії і її подальше використання, то останні функціонують виключно завдяки субсидованій енергії, тому для подальшого порівняння використаємо саме ці два типи.

За даними В.А. Ковди [7], біомаса суші нашої планети становить $3 \cdot 10^{12}$ т, що еквівалентно $630 \cdot 10^{20}$ Дж, а за відомостями Н.І. Базилевич та ін. [8], цей показник є дещо нижчим — $2,4 \cdot 10^{12}$ т, тобто відповідно $432,4 \cdot 10^{20}$ Дж. За підрахунками П. Дювіньйо і М. Танга [4], Земля, що має площу $5,1 \cdot 10^8$ км², щорічно отримує $20930 \cdot 10^{20}$ Дж енергії, з якої на суходіл ($1,49 \cdot 10^8$ км²) потрапляє $5860,4 \cdot 10^{20}$ Дж. Враховуючи, що на фотосинтез у середньому припадає 1% енергії, причому 50% витрачається на дихання, то на продукцію біомаси необхідно $2344 \cdot 10^{18}$ Дж. енергії. За іншими підрахунками [9], на щорічну продукцію біомаси Землі потрібно $4186 \cdot 10^{18}$ Дж, з якої на біомасу суші — $2402,76 \cdot 10^{18}$ Дж, океану — лише $1783,24 \cdot 10^{18}$ Дж.

Таким чином, продуктивність суші втричі перевищує продуктивність океану [2] і становить $16,13 \cdot 10^6$ Дж/м² і $5,36 \cdot 10^6$ Дж/м², відповідно. За даними Н.І. Базилевич та співавторів [8], сумарна річна продуктивність планети — $171,54 \cdot 10^9$ т, що еквівалентно $3087,78 \cdot 10^{18}$ Дж. Цей показник дорівнює майже 7% запасів загальної фітомаси, тоді як за В.А. Ковдою [7], він нижчий — 3,8%. Це означає, що у першому випадку фітомаса суші оновлюється протягом 14 років, у другому — вдвоє повільніше, через 26 років, що важливо для оцінки еволюційних процесів.

Територія України становить 603,7 тис. км², більше половини її (приблизно 60%) — це зона субгумідного клімату, загальний приріст фітомаси якої ми оцінили у $4,5 \cdot 10^{18}$ Дж, а 40% — зона субаридного клімату (приріст $2,53 \cdot 10^{18}$ Дж). Виходячи з цього,

отримуємо сумарні показники енергетичного приросту фітомаси природних угруповань $7,1 \cdot 10^{18}$ Дж, або 0,3% щодо відповідного показника суші земної кулі. Ця пропорція дещо нижча від пропорції суші (0,4%), що пояснюється зональними кліматичними умовами.

Підкреслимо — це потенційний енергетичний приріст, який значно вищий від реального. Останній залежить від показників біомаси та продуктивності різних типів угруповань, площі яких варіюють у великих межах, тому оцінка реального приросту є вельми непростою, але сучасна методика дає змогу приблизно обчислити цей показник для різних типів екосистем.

Ліси є високоенергетичними системами, які забезпечують баланс енергії на планеті в цілому (82% від сумарної енергії біомаси).

За нашими підрахунками, енергетичний запас лісів України, що займають майже 9,4 млн га, дорівнює $28 \pm 1,5 \cdot 10^{18}$ Дж. Це становить 66,8% від загального запасу енергії фітомаси. За офіційними даними (Державний лісовий кадастр України), в 2004 р. середній приріст деревини у розрахунку на 1 га становив $3,8 \text{ м}^3$, а для лісів України в цілому — 37 млн м^3 , що еквівалентно $0,333 \cdot 10^{18}$ Дж, для фітомаси лісів — $0,71 \cdot 10^{18}$ Дж. Стосовно загального запасу деревини цей показник є значно нижчим (2,1%) від теоретичного (3,8%). Пояснюється це тим, що приріст деревини визначається не як абсолютна величина, а як різниця між власне приростом і вирубками, які в 1990 р. становили $15,3 \text{ млн м}^3$, а в 1998 р. — $10,3 \text{ млн м}^3$ (в енергетичному еквіваленті це дорівнює $0,138 - 0,093 \cdot 10^{18}$ Дж). За відсутності вирубок потенційний приріст наших лісів становив би 3,6% їх запасів.

Це означає, що біомаса лісів оновлюється протягом 36 років, тобто інтенсивність вирубок є досить високою. І хоча вирубання деревостану слід вести після того, як він

досяг 80 років, однак ліси вирубуються швидше, ніж стабілізуються лісові екосистеми. Пояснюється це тим, що для розрахунку лісосіки і періоду вирубок за основу беруть лише показники деревостану, максимальний приріст якого триває до 50 років, відтак знижується, а після 120 років припиняється зовсім. При цьому не враховується, що лише в 60–70-річних лісах тільки формується характерний мохово-трав'янисто-чагарничковий ярус, а онтогенетичний цикл окремих лісових видів триває 15–20 років, завершення якого означає перехід екосистеми у стабільний стан. Отже, деревостан починають вирубувати у тому віці, коли лісова екосистема ще не стабілізувалася, і ми втрачаємо майже 20% енергетичного запасу наших лісів від потенційно можливого.

Принагідно зазначимо, що Г.Ф. Морозов [10] довів: вирубки слід проводити лише у тих лісах, яким не менше 120 років. Такої думки дотримується і Walter [11], що є екологічно обґрунтованим критерієм.

Важливий компонент лісових екосистем, який забезпечує зв'язок рослинність—ґрунт і функціонування екосистем загалом, — це лісова підстилка. Вона включає листовий опад, відмерлий травостій, мертві частини гілок та ін. Біомаса підстилки залежить від типу та віку лісу, швидкості її розкладу (деструкції). Максимальна її маса характерна для молодих лісів (25–40 років), а потім вона знижується. Кількість підстилки у хвойних лісах коливається від 10 до 35 т/га, у листяних — від 5 до 15 т/га [12]. Середні значення енергетичних показників еквівалентні для хвойних лісів — $36 \cdot 10^6$ Дж/м², для листяних — $19 \cdot 10^6$ Дж/м², що для відповідних типів лісів України становить 1,44 та $2,47 \cdot 10^{18}$ Дж, а сумарно — майже $4 \cdot 10^{18}$ Дж.

За даними Л.Є. Родіна та Н.І. Базилевич [12], підстилка у лісах перевищує приріст у 2–5 разів, оскільки вона розкладається повільно: від двох (листяні ліси) до семи

років (хвойні). Ці твердження збігаються з наведеними нами даними між показниками підстилки і приросту ($4,0:0,83 \cdot 10^{18} = 4,8$ разів). З другого боку, швидкість розкладу підстилки характеризує швидкість кругообігу речовин в екосистемі. Це відображає коефіцієнт рециркуляції ($t=1:2-7=0,5-0,14$), тобто даний показник є досить низьким, що свідчить про повільні, врівноважені процеси кругообігу, а отже, високу стійкість лісових екосистем. Інтенсивність розкладу підстилки коливається від $0,23$ вт/м² у хвойних лісах до $0,30$ вт/м² — у листяних.

Таким чином, формування лісових екосистем спрямоване на акумуляцію енергії у фітомасі і саме фітоблок забезпечує стабільність їх функціонування.

Принципово іншим типом кругообігу речовин характеризуються трав'янисті екосистеми, що відіграють велику роль у трансформації та накопиченні енергії. Специфіка їх функціонування — у високій активності, значному відчуженні наземної біомаси й акумуляції енергії у підземній частині (як у біомасі, так і в ґрунті). Це забезпечується домінуванням злаковників (злаків, осок, ситників і т.д.), які мають інтернальний ріст і в разі викошування чи випасання добре відростають, відновлюючи фітомасу таким чином, що цей приріст сумарно перевищує надземну фітомасу неушкоджених рослин [13].

В офіційних документах України угруповання трав'яного типу мають загальну назву «сіножаті та пасовища», їхня площа становить 7,98 млн га (13,2% території держави): сіножаті — приблизно 2,42 млн га, пасовища — 5,56 млн га [14]. Залежно від вологості та багатства ґрунтів вони досить різноманітні. Зокрема, в сухих умовах півдня Степової та Лісостепової зон на плакорах панували степи, які тепер займають приблизно 1% території, у забезпечених вологою умовах формуються луки.

Особливістю структури **степових** угруповань є те, що в них підземна біомаса перевищує надземну в 2—10 разів, причому запаси надземної знижуються з півночі на південь від 5,7 до 1,6 т/га. Оскільки середній показник надземної біомаси дорівнює 3,7 т/га, а підземна у середньому в 4—5 разів перевищує надземну, то для розрахунків ми взяли усереднений показник 16 т/га. Таким чином, енергозапас надземної фітомаси становить $6,66 \cdot 10^6$ Дж/м², а фітомаси — $28,8 \cdot 10^6$ Дж/м² [13]. Площа степів сягає майже 6,0 тис. км², отже, їх енергетичні запаси дорівнюють $0,17 \cdot 10^{18}$ Дж.

Фітомаса у степах наростає, відмирає і швидко розкладається, що забезпечує інтенсивний кругообіг речовин. Потенційний приріст енергії біомаси степів України досягав би $0,76 \cdot 10^{18}$ Дж. Підстилка у степах становить 36% усієї фітомаси [12, 13, 15], що еквівалентно $0,063 \cdot 10^{18}$ Дж. В умовах дефіциту опадів, високого рН ґрунту (>7) підстилка розкладається протягом 9—11 місяців, тому коефіцієнт рециркуляції досить високий ($1:0,83=1,2$): він у 2,5—8,5 разів перевищує такий у лісах і свідчить про велику ($0,4$ вт/м²) потужність трансформації енергії.

Луки, що, на відміну від степів, формуються за достатнього і навіть надмірного зволоження, потенційно мають вищу продуктивність надземної біомаси, ніж степи, проте з урахуванням підземної частини лучних ці показники вирівнюються. Фітомаса сіножатей, як і в степах, становить 16 т/га, для пасовищ вона нижча — 13 т/га. Відповідно середня енергоємність сінокосів дорівнює $28,88 \cdot 10^6$ Дж/м², а пасовищ — $23,4 \cdot 10^6$ Дж/м². Виходячи з пропорції сіножатей і пасовищ — 1:2 (за вилученням степів), їхні енергетичні запаси в Україні сягають $0,7 \cdot 10^{18}$ Дж та $1,3 \cdot 10^{18}$ Дж, що сумарно становить $2 \cdot 10^{18}$ Дж.

За літературними даними, приріст лучних угруповань порівняно високий — 150% надземної біомаси, а підземна система онов-

люється на 40% [16]. Виходячи з цього, розраховуємо показники приросту від фітомаси сінокосів, що в енергетичному еквіваленті дорівнює $19,44 \cdot 10^6$ Дж/м², а для України в цілому — $1,4 \cdot 10^{18}$ Дж. Для лучного типу угруповань середні запаси підстилки дорівнюють 6 т/га, що еквівалентно $10,8 \cdot 10^6$ Дж/м², а для всіх луків — $0,78 \cdot 10^{18}$ Дж. Підстилка розкладається протягом року (коєфіцієнт рециркуляції 1), потужність трансформації енергії — $0,32$ Вт/м², тобто ці показники нижчі, ніж у степах.

Болота в Україні представлені трьома типами: оліго-, мезо- та евтрофні, з яких 90% площі займають останні, зокрема трав'янисті, які мають високу біопродуктивність [17]. За даними М.С. Боч та В.В. Мазинга [18], евтрофні болота характеризуються запасами надземної фітомаси у 2,9–5,25 т/га і таким самим річним приростом. На відміну від попередніх угруповань, тут підземна біомаса менша від надземної і сягає 60–70% останньої. Тоді питома енергоємність боліт становить $5,2–9,4 \cdot 10^6$ Дж/м², а виходячи з їхньої площі (1008,1 тис. га), — $0,024 \cdot 10^{18}$ Дж [17]. Приріст фітомаси евтрофних боліт у цілому можна прирівняти до наземної фітомаси, що в середньому сягає 4,1 т/га і є еквівалентним запасам енергії у $7,3 \cdot 10^6$ Дж/м², а оліготрофних (0,8 т/га) — $0,9 \cdot 10^6$ Дж, для України це становило б $0,073 \cdot 10^{18}$ Дж. Близькою величиною характеризується підстилка ($7 \cdot 10^6$ Дж), яка розкладається досить повільно або зторфовується, що сумарно дорівнює $0,07 \cdot 10^{18}$. Умовно середній період розкладу евтрофних боліт триває 2–3 роки, тоді як в оліготрофних за 6 років розкладається лише половина біомаси. Виходячи з цього, коєфіцієнт рециркуляції боліт є досить низьким: для евтрофних він становить 0,4, для оліготрофних — 0,08, а потужність трансформації енергії, відповідно, 0,088; в оліготрофних боліт вона у 40 разів нижча — $0,0023$ Вт/м².

Прісноводні екосистеми, площею 2 415 тис. га (4% території України), мають досить низьку енергоємність — $0,1 \cdot 10^6$ Дж/м² [2], тому сумарний запас енергії у них дорівнює лише $0,0024 \cdot 10^{18}$ Дж, і цим показником можна знехтувати.

Сільськогосподарські угіддя досить різноманітні, вони займають найбільшу площу (40 млн га). Серед них значне місце посідають угруповання, що формуються на орних землях (324,8 тис. км²), їх відсоток — один із найвищих у Європі (56%). Залежно від географічного розташування енергозапаси фітомаси сільськогосподарських угідь коливаються по областях. Розрахувати їх енергозапаси досить складно, оскільки річна біомаса в агросистемах залежить як від вирощуваної культури, погодних умов, так і від площ, а вони щороку змінюються. Питома енергоємність агросистем аридної Степової зони дорівнює $11,34 \cdot 10^6$ Дж/м², а гумідної Лісостепової та Лісової — $13,43 \cdot 10^6$ Дж/м² [19]. Енергетичні запаси агросистем для всієї України, за нашими розрахунками, становить $4,3 \cdot 10^{18}$ Дж. Зрозуміло, що ці запаси фітомаси відповідають відносному річному приросту, який є набагато вищим, аніж у природних екосистемах [19].

Водночас майже вся біомаса забирається з агроєкосистем, а до ґрунту потрапляє лише 10–20% із залишками стерні, коренів та бур'янів. Тому, в остаточному підсумку, цей показник еквівалентний $2,1 \cdot 10^6$ Дж/м², а по Україні загалом — $0,86 \cdot 10^{18}$. Причому відмерлі органічні залишки розкладаються досить швидко, в середньому за півроку. Отож коєфіцієнт рециркуляції є достатньо високим (2,0), а потужність трансформації енергії — низькою ($0,13$ Вт/м²).

В агроценозах показники приросту і розкладу досить близькі, і вся енергія трансформується, що спричинює енергетичне виснаження екосистем, хоча воно сягає певного рівня і за 25 років встановлюється відносна рівновага.

Важливим компонентом екосистем є ґрунт, який характеризується високою енергетичною ємністю. За даними В.А. Ковди [7], на земній кулі у ґрунті консервується приблизно стільки енергії, як у біомасі ($502 \cdot 10^{20}$ Дж). Енергоємність ґрунтів розраховується через уміст у них гумусу. Для основних типів ґрунтів цей показник наведено у роботах О.К. Медведовського та П.І. Іванченка [20] та Ю.О. Тараріко [21]. Знаючи площі, які займають відповідні типи ґрунтів [22], ми розрахували їхню енергоємність, що коливається від $0,04 \cdot 10^6$ Дж/м² для відслонень, $0,5 \cdot 10^6$ — піщаних відкладів і солончаків до $3,77 \cdot 10^6$ Дж/м² — найбагатших типових чорноземів.

За нашими розрахунками, енергозапас ґрунтів під сільськогосподарськими угіддями, які займають 70% території України, дорівнює $100 \cdot 10^{18}$ Дж, а для ґрунтів України в цілому — $140 \cdot 10^{18}$ Дж — 0,3% від енергозапасу всіх ґрунтів планети. Разом з тим цей показник утричі вищий, ніж запаси біомаси. Це, з одного боку, свідчить про виняткову цінність, родючість наших ґрунтів, а з другого — про високий ступінь деградації, порушеності біотичного блоку.

Загалом енергозапаси фітомаси України становлять $33 \cdot 10^{18}$ Дж, а разом із підстилкою ($5,77 \cdot 10^{18}$ Дж) — $38,7 \cdot 10^{18}$ Дж. На основі автотрофного блоку можна розрахувати показники гетеротрофного блоку. Використовуючи закон піраміди енергії Лемана, знайдемо сумарний показник енергозапасів біомаси — $43 \cdot 10^{18}$ Дж.

Для розрахунку потенційних енергозапасів екосистем України виходимо з того, що 40% її території могли б покривати ліси, оптимальні запаси фітомаси яких становлять 250 т/га, а 60% — трав'янисті угруповання (луки та степи) із запасами 16 т/га. За такого співвідношення енергетичний потенціал біомаси дорівнював би $120 \cdot 10^{18}$ Дж, тобто був би в 2,8 раза вищим від існуючого, що становить 65% енергозапасів

ґрунту. Потенційний запас підстилки дорівнював би $11 \cdot 10^{18}$ Дж (удвічі вищий від реального), а ґрунту — $190 \cdot 10^{18}$ Дж, (на 20% вище реального). Разом потенційний енергозапас екосистем України міг би становити $320 \cdot 10^{18}$ Дж. (рисунк 1).

Енергетичний ресурс є регулятором розвитку людського суспільства, яке визначає ситуацію на планеті і розглядається М.А. Голубцем [23] як соціосфера. Цей ресурс охоплює два блоки: той, що забезпечує прямі потреби людини в харчуванні як біологічної істоти — через трофічні ланцюги; блок, який задовольняє потреби людини як суспільної істоти — через поліпшення комфортності її життєдіяльності, соціальних умов. Біотичні потреби прямо пропорційно залежать від чисельності населення планети, яке невпинно зростає і сягло за 6 млрд, що потребує $27,5 \cdot 10^{18}$ Дж енергії щорічно. Ці показники стрімко збільшуються.

Населення України в 2005 р. становило 47,8 млн осіб, для свого харчування воно потребує $0,219 \cdot 10^{18}$ Дж енергії на рік (це 2,1% від приросту біомаси). Оскільки людина харчується як рослинною, так і тваринною їжею, то цей показник є достатньо високим. Наше населення споживає 2,2% енергії фітомаси агроекосистем і 0,5% — загальної фітомаси, тобто потреби в харчуванні є доволі незначними. Це лише 20% від того показника, який характеризує швидкість відновлення енергетичних запасів фі-

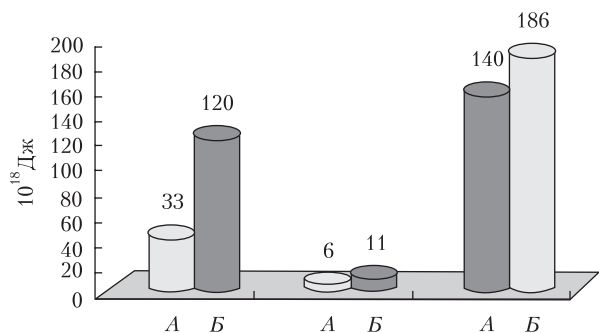


Рис. Порівняльна оцінка реальних (А) і потенційних (Б) запасів основних блоків екосистем України

томаси. Виходячи з цих розрахунків, нам справді не потрібні такі величезні площі сільгоспугідь, які до того ж використовуються нерентабельно. Але перед тим, як їх скорочувати, слід враховувати не тільки потреби людини у харчах, а й умови забезпечення її комфорту, а також площі, необхідні для розвитку тваринництва.

Соціальні потреби людини зростають у геометричній прогресії [24], їх задоволення пов'язане з удосконаленням технічних засобів отримання нових, раніше не доступних форм енергії (спочатку нафта, вугілля, газ, потім — електрична, нині — атомна, завтра — воднева енергетика). З цього погляду, враховуючи розумові здібності людини, практично не обмежені, запаси енергії можуть бути невичерпними. Однак людство намагається використати для задоволення своїх соціальних потреб біологічні ресурси, запаси яких на планеті є стабільною величиною і за такої інтенсивної експлуатації невпинно скорочуються. Споживацький підхід людини до Природи неминуче призведе до виснаження біотичних енергоресурсів, а в остаточному підсумку — до катаклізмів. На жаль, ми надто мляво усвідомлюємо цю ситуацію і глибоко не замислюємося над тим, як живемо.

Для порівняння наведемо такі офіційні дані. В 2004 р. Україна видобувала 20,36 млрд м³ газу, що еквівалентно $0,75 \cdot 10^{18}$ Дж, 4,08 млн т нафти ($0,188 \cdot 10^{18}$ Дж), 54,68 млн т кам'яного вугілля ($1,6 \cdot 10^{18}$ Дж), 0,52 млн т бурого вугілля ($0,006 \cdot 10^{18}$ Дж). Сумарно це дорівнює $2,54 \cdot 10^{18}$ Дж і забезпечує лише третину її потреб. В цілому Україна використовує $7,68 \cdot 10^{18}$ Дж палива, а за розрахунками енергетиків потреба в ньому трохи вища — 3 млн т у.п. (1 т умовного палива дорівнює 1 т кам'яного вугілля), що еквівалентно $8,79 \cdot 10^{18}$ Дж, тобто у 40 разів перевищує біологічні потреби населення в харчуванні і щорічний приріст усієї біомаси

України ($7,45 \cdot 10^{18}$ Дж). Таким чином, ми вже реально спалюємо вітчизняної й імпортованої енергії більше, ніж запасасться її в екосистемах. Співвідношення палива країни до енергоприросту її екосистем становить 34%, а решта (66%) — імпортуємо. Постає запитання: а чи здатна Україна забезпечити такі великі потреби в паливі за рахунок власних ресурсів?

Зокрема, для задоволення цих потреб як один із варіантів пропонується використовувати біопаливо. Концепція відповідної програми формується у НАН України.

На наш погляд, виробництво біопалива — це тимчасовий і вимушений захід на найближчі десятиліття, допоки не будуть знайдені інші види енергії. Адже біопаливо передбачає використання енергетичних біотичних ресурсів для задоволення не прямих біологічних, а соціальних потреб людей у комфортності. Але як тимчасовий захід він перспективний. Для цього передусім потрібно оцінити існуючі біоенергетичні ресурси як джерела біопалива, різні їх форми. Сьогодні розглядається кілька варіантів отримання біопалива, однак це потребує окремої статті.

Один із можливих варіантів виробництва біопалива — культивування швидко-рослих дерев (тополя, верба тощо) у комплексі різних порід на тих територіях, які виведені з сільськогосподарського вжитку, що призведе до скорочення їхніх площ. Паралельно можна було б зменшити масштаби вирубань лісів і завдяки штучним насадженням створити екокоридори між окремими ізольованими лісовими масивами, тобто розв'язати екологічну проблему.

Джерелом отримання біопалива є також підстилка хвойних лісів. Її потужність сягає до 20 т/га, а тривалий період розкладу (до 5 років) дає змогу раз на три роки відбирати верхній шар із штучних насаджень віком до 70 років, що не порушує функціонування екосистем.

В Україні лісове господарство ведеться на природних насадженнях, внаслідок чого їхня структура погіршилася, корінні деревостани замінилися на похідні, що мають порослеве походження. У природні ліси намагаються підсаджувати інтродуковані породи — дуб червоний, сосну Банкса, каштан їстівний, а це спричинює не лише біотичне забур'янення, а й формування такого типу екосистем, які не властиві нашій природі. У моновидових насадженнях дуба червоного, сосни Банкса практично відсутній трав'яний покрив, що свідчить про неповночленність екосистем. І, як наслідок, — порушення кругообігу речовин, трансформації енергії, процесів ґрунтотворення.

Сьогодні лісове господарство потребує використання новітніх технологій, створення відповідних штучних культур замість нищівної експлуатації природних ресурсів.

* * *

Таким чином, за потоками енергії стоять складні процеси, які відбуваються у природі і забезпечують рух усіх речовин, функціонування й еволюцію екосистем, власне, життя на нашій планеті. Енергетичні показники є мірилом нашого ставлення до Природи, ефективності господарювання. Сьогодні потужний антропогенний вплив на довкілля призводить до зниження енергозапасів у природних екосистемах. На основі науково обґрунтованої оцінки енергоресурсів мають розроблятися механізми забезпечення сталого розвитку суспільства.

1. *Пригожин И.* От существующего к возникающему. — М.: Наука, 1985. — 327 с.
2. *Одум Ю.* Основы экологии. — М.: Мир, 1975. — 740 с.
3. Программа и методика биогеоценологических исследований. — М.: Наука, 1974. — 402 с.
4. *Дювиньо П., Танг М.* Биосфера и место в ней человека. — М.: Прогресс, 1973. — 267 с.
5. *Реймерс Н.Ф.* Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). — М.: Россия молодая, 1994. — 366 с.

6. *Дідух Я.П.* Теоретичні підходи до створення класифікації екосистем // Укр. фітоценот. збірн. Сер. С. Фітоекологія. — 2005 б. — Вип. 23. — С. 3—15.
7. *Ковда В.А.* Почвоведение и продуктивность биосферы // Вестн. АН СССР. — 1970. — Вып. 6. — С. 83—90.
8. *Базилевич Н.И., Родин Л.Е., Розов Н.Н.* Географические аспекты изучения биологической продуктивности. — Л., Наука, 1970. — 28 с.
9. *Lieth H., Whittaker R.H. (eds.)* Primary Productivity of the Boisphere. — N.-Y.: Springer Verlag, 1975. — 340 p.
10. *Морозов Г.Ф.* Учение о лесе. — М.—Л.: Госиздательство, 1928. — 368 с.
11. *Walter H.* Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. Bd. II Die gemasigen und arktischen Zonen. — VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1968. — 1001 s.
12. *Родин Л.Е., Базилевич Л.Н.* Динамика органического вещества и биологической продуктивности в основных типах растительности. — М.—Л.: Наука, 1965. — 253 с.
13. *Дідух Я.П.* Еколого-енергетичні аспекти у співвідношенні лісових і степових екосистем // Укр. ботан. журн. — 2005 а. — 62, № 4. — С. 455—467.
14. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні. — К., 2004. — 227 с.
15. *Лавренко Е.М., Карамышева З.В., Никулина Р.Н.* Степи Евразии. — Л.: Наука, 1991. — 145 с.
16. Продуктивность луговых сообществ. — Л.: Наука, 1978. — 287 с.
17. Торфово-болотний фонд УРСР, його районування та використання. — К.: Наук. думка, 1973. — 263 с.
18. *Боч М.С., Мазинг В.В.* Экосистемы болот СССР. — Л.: Наука, 1979. — 187 с.
19. *Титлянова А.А., Тихомиров Н.А., Шатохина Н.Г.* Продукционный процесс в агроценозах. — Новосибирск: Наука, 1982. — 185 с.
20. *Медведовський О.К., Іванченко П.І.* Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. — К.: Урожай, 1988. — 120 с.
21. *Тараріко Ю.О.* Формування сталих агросистем: теорія і практика. — К.: Аграрна наука, 2005. — 506 с.
22. Агрохимическая характеристика почв СССР. Украинская ССР. — М.: Наука, 1973. — 343 с.
23. *Голубець М.А.* Від біосфери до соціосфери. — Львів: Поллі, 1997. — 251 с.
24. *Шеляг-Сосонко Ю.Р., Дідух Я.П.* Екологічний імператив сталого розвитку України // Наук. доп. НАУКМА. — Спецвипуск. — 2002. — Ч. II. — Т. 20. — С. 460—464.

Я. Дідух

ЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОСИСТЕМ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

Резюме

Вперше розраховано енергетичні показники різних типів екосистем у межах України, проведено їх порівняння. Оцінено ступінь енергетичних витрат фітотомаси, підстилки, ґрунту під впливом антропогенного чинника. Водночас показано, що соціальні потреби суспільства лише у паливі у 40 разів перевищують біологічні потреби населення в харчуванні і є вищими, ніж щорічна акумуляція енергії у біомасі. А це потребує кардинальної зміни енергетичної політики держави.

Ya. Didukh

ENERGY PROBLEMS OF ECOSYSTEMS AND PROVISION OF STEADY DEVELOPMENT OF UKRAINE

Summary

The energy parameters of different ecosystem types in Ukraine are calculated for the first time, and parameters comparison is presented. The level of energy consumption of phytomas, substrate, soil under man-made influence is evaluated. At the same time it's demonstrated that society social needs for fuel exceed biological population needs for food by 40 times and are higher than annual energy accumulation by biomass. So it requires cardinal changes of the state energy policy.

Г. КОВТУН, Є. ПОЛУНКІН

ПЕРСПЕКТИВИ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Що буде, коли вичерпаються запаси нафти, вугілля й газу? Сьогодні фахівці прогнозують: у недалекому майбутньому традиційні види палива може замінити екологічно чистий і невичерпний водень. Тож для багатьох країн світу дослідження з водневої енергетики стають пріоритетними напрямками розвитку науки. Вони забезпечуються фінансуванням як з боку держави, так і бізнесових структур. Зрозуміло, що основна мета розробки водневих технологій — зниження залежності від традиційних енергоносіїв, а головне — зменшення токсичних викидів в атмосферу від спалювання вуглеводнів.

Розробки в цьому напрямі ведуть і вітчизняні науковці, однак вони не відчувають необхідної фінансової підтримки держави.

Негативні екологічні наслідки використання нафтових палив уже помітні у великих промислових центрах, насамперед «завдячуючи» транспорту [1]. Так, у місті з населенням приблизно 1 млн мешканців на частку автотранспорту припадає майже 70% від сумарної кількості (кілька сотень тонн на добу) екологічно шкідли-

вих, у тому числі токсичних викидів. Поширені прогнози стверджують, що до 2030 року на планеті кількість автомобілів подвоїться і сягне 1,6 млрд (нині — 800 млн). Тож перехід на використання водню як моторного палива на транспорті — принаadne завдання. Незаперечні переваги нового палива, по-перше, у тому, що при будь-якому

© КОВТУН Григорій Олександрович. Член-кореспондент НАН України. Заступник директора Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України.

ПОЛУНКІН Євген Васильович. Кандидат хімічних наук. Старший науковий співробітник того ж інституту (Київ). 2007.