



Я.П. ДІДУХ

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України  
вул. Терещенківська, 2, МСП-1, Київ, 01601, Україна

## **ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАПАСІВ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНИ**

*Ключові слова: термодинаміка, енергетика, екосистема, енергозапас, енергетична продуктивність, фітотомаса, підстилка, ґрунт*

### **Вступ**

З'ясування механізмів перетворення енергії в екосистемах, її потоків, характеру акумуляції і трансформації, яке стало можливим завдяки проникненню в біологію принципів термодинаміки, забезпечило якісно новий розвиток екології у ХХ ст. У рамках біофізики ці процеси вивчали як на субклітинному рівні, так і на рівнях клітин та організмів, але завдяки працям школи Ю. Одума такі дослідження вийшли на рівень екосистем. Цей підхід дає змогу усвідомити, що енергія, яку Ю. Одум влучно назвав «екологічною валютою» [29], може бути мірилом ефективності різних процесів функціонування як екосистем у цілому, так і окремих їх блоків. Використання термодинамічних підходів поставило в центр уваги проблеми функціонування екосистем, що дало можливість кількісно оцінювати такі важливі їхні характеристики, як «стійкість», толерантність, розвиток, стабільність. Завдяки такому підходу згодом поняття «наповнилися» кількісними показниками, придатними і для економічних розрахунків. Це надало екологам аргументи, які можна використовувати для оцінки рентабельності господарської діяльності,

переконання політиків, промисловців, економістів у перевагах одних заходів над іншими, визначення «екологічних збитків», підвищення якісного рівня екологічних експертиз, застосування у моделюванні, прогнозуванні.

Саме дослідження енергії забезпечило поєднання таких наукових напрямків, як екологія й еволюція, використання еволюційних понять на екосистемному рівні, оскільки механізми еволюції на цьому рівні тісно пов'язані з енергетикою і їх дослідження доводять, чому адаптація чи розвиток ідуть у тому, а не іншому напрямку. Ми сформулювали принцип, за яким енергетичний потенціал є рушійною силою, котра визначає вектор еволюції [12]. Термодинамічний підхід забезпечив повне смислове навантаження поняття еконіші як комплексної характеристики видів і угруповань, можливості їх порівняння.

Використання термодинамічних підходів в екології базується на трьох класичних законах термодинаміки, відкритих фізиками, але сьогодні вони розглядаються як загальні закони природи [42].

На базі основоположних законів термодинаміки встановлено цілий ряд похідних екологічних законів та принципів, узагальнених Реймерсом [33], введено нові поняття, а також якісно змінено смисл низки класичних понять.

Дослідження у галузі термодинаміки можуть дати відповідь на складні екологічні питання, котрі раніше не мали розв'язку або викликали гострі дискусії.

### **Основні поняття та методи**

У даній статті ми робимо спробу порівняти деякі енергетичні показники екосистем України, що дає змогу виявити певні закономірності і порушити проблеми, які при цьому виникають.

Незважаючи на певну зовнішню простоту таких операцій, насправді вони є досить складними, оскільки вихідний фактичний матеріал, яким необхідно оперувати, часто неоднорідний з об'єктивних (кожен тип екосистеми є досить різноманітним і диференційованим, складним, як і підпорядкованим йому елементи, тому середні арифметичні показники не завжди відображають реальну суть явища) та суб'єктивних (отримані різними дослідниками дані часто мають розбіжність на порядок, а помилкові вихідні дані можуть суттєво спотворити результат і висновки, які на них базуються) причин.

Розраховуючи енергозапаси, ми виходили з того, що 1 г сухої фітомаси еквівалентний 18 тис. Дж. Енергію ґрунтів розраховували за вмістом у них гумусу, а також використовували складніші методики і розрахунки. Прикладом може бути «Методика определения и оценка структуры энергипотенциала органического вещества почвы в агроценозах» [24] та інші праці [3, 28, 38].

З метою запобігання помилок у розрахунках ми застосовували верифікацію методів, суть якої полягає в тому, що будь-які операції, підрахунки здійснюються двома різними методами, котрі ґрунтуються на різних вихідних матеріалах, а отримані результати порівнюються. У разі їх подібності (в

екологічних розрахунках йдеться про подібність на рівні порядку) можна об-  
ратити один із результатів або середнє між ними, у випадку суттєвої розбіж-  
ності слід з'ясувати її причину і усунути її.

Для розуміння суті викладеного нижче ми подаємо короткі визначення  
основних понять та розмірності одиниць, якими оперуватимемо.

**Блок** — будь-яке природне тіло чи їхня сукупність, куди надходить, аку-  
мулюється і де віддається енергія. Характеризується певним енергетичним  
запасом.

**Енергозапас** (енергоємність, Дж) — кількість енергії, накопиченої в бло-  
ку, у живій або мертвій біомасі чи гумусі ґрунту на відповідній території.

**Потік** — енергія у стані переміщення з одного блоку в інший. Характе-  
ризує певну інтенсивність процесу.

**Енергетична продуктивність** (Дж) — приріст енергії, що є різницею між  
надходженням та витратами енергії і відображає її накопичення за одиницю  
часу, як правило, — за рік.

**Інтенсивність (приросту, розкладання)** — кількість енергії, котра накопи-  
чується чи переходить з одного блоку до іншого за одиницю часу ( $\phi = E/t$ ).

Хоча отримані нами дані є попередніми і їх потрібно не абсолютизувати,  
а поповнювати та уточнювати на основі докладніших розрахунків за  
новішими фактичними матеріалами, однак певні зроблені на їх базі виснов-  
ки, котрі відображають найзагальніші тенденції, є, на наш погляд, важливи-  
ми для фахівців з різних галузей, що оперують енергетичними поняттями.

Усю різноманітність екосистем ми поділяємо 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; **ліготоп** — ви-  
ходи геологічних порід; **технотоп** — технічна споруда [14]. Якщо два перші  
найефективніше забезпечують акумуляцію сонячної енергії та її подальше  
використання, то останні функціонують виключно завдяки субсидованій  
енергії, тому ми будемо їх порівнювати.

## Результати досліджень та їх обговорення

За даними В.А. Ковди [20] біомаса суші Землі становить  $3 \cdot 10^{12}$  т, що екві-  
валентно  $630 \cdot 10^{20}$  Дж, а Н.І. Базилевич зі співавт. [4] цей показник вважа-  
ють трохи нижчим —  $2,43 \cdot 10^{12}$  т ( $432,4 \cdot 10^{20}$  Дж). При цьому автотрофи стан-  
овлять  $2,4 \cdot 10^{12}$  т, консументи —  $2,3 \cdot 10^{10}$  т (зокрема, людство —  $1,8 \cdot 10^8$  т)  
та редуценти —  $1,2 \cdot 10^{10}$  т [33]. За підрахунками Дювільйо і Танга [17] Зем-  
ля, яка має площу  $5,1 \cdot 10^8$  км<sup>2</sup>, щорічно отримує  $20930 \cdot 10^{20}$  Дж енергії, зок-  
рема суходіл ( $1,49 \cdot 10^8$  км<sup>2</sup>) —  $5860,4 \cdot 10^{20}$  Дж. Враховуючи, що на фотосин-  
тез у середньому припадає 1 % енергії, 50 % якої витрачається на дихання,  
то на продукцію біомаси необхідно  $2344 \cdot 10^{18}$  Дж. За іншими підрахунками  
[43] на щорічну продукцію біомаси Землі необхідно  $4186 \cdot 10^{18}$  Дж (з неї на  
біомасу суші —  $2402,76 \cdot 10^{18}$  Дж, а океану — лише  $1783,24 \cdot 10^{18}$  Дж). Таким

чином, продуктивність суші втричі перевищує продуктивність океану [29] і, відповідно, становить  $16,13 \cdot 10^6$  та  $5,36 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>. За даними Н.І. Базилевич та ін. [4] сумарна річна продуктивність планети досягає  $171,54 \cdot 10^9$  т ( $3087,78 \cdot 10^{18}$  Дж). Це близько 7% запасів загальної фітомаси, тимчасом як за В.А. Ковдою [20] даний показник становить лише 3,8 %. Це означає, що у першому випадку фітомаса суші оновлюється протягом 14 років, а у другому — майже вдвічі повільніше — через 26 років, що важливо для оцінки еволюційних процесів.

Центральна частина України, розташованої в зоні помірних широт, отримує 43 ккал/м<sup>2</sup> на рік [2], ( $1800 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, із яких на фотосинтез іде 1 %, тобто  $18 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>). Оскільки вегетаційний період у середньому триває 200—240 діб, то енергія фотосинтезу є меншою і теоретично становить  $12 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>.

До оцінки енергії продуктивності можна підійти й іншим шляхом. Встановлено, що цей показник змінюється прямо пропорційно відповідно до періоду вегетації та кількості опадів (аридності—гумідності клімату) [36]. У субгумідній лісовій та лісостеповій зонах він дорівнює  $12,59 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, у субаридній степовій —  $10,46 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>. Отже, на основі двох різних методик ми отримали досить близькі показники, які використовуємо у подальших розрахунках.

Площа України становить 603,7 тис. км<sup>2</sup>, або 0,4 % суші земної кулі. Більше половини її (приблизно 60 %) знаходиться в зоні субгумідного клімату, загальний приріст фітомаси досягає  $4,5 \cdot 10^{18}$  Дж, а 40 % — у зоні субаридного клімату (приріст —  $2,53 \cdot 10^{18}$  Дж) (площа субсередземномор'я ПБ Криму, як і субальпійського високогір'я Карпат, є незначною і врівноважується, тому цим показником можна знехтувати). Виходячи з цього, ми отримуємо сумарні показники енергетичного приросту фітомаси природних угруповань  $7,1 \cdot 10^{18}$  Дж, що становить 0,3 % стосовно відповідного показника суші Землі. Ця пропорція дещо нижча за пропорцію суші (0,4 %), що пояснюється зональними кліматичними умовами.

Наголосимо на тому, що це потенційний енергетичний приріст значно вищий за реальний. Теоретично він розрахований відповідно до зональних кліматичних особливостей України і нормального розподілу екосистем, в яких агросистеми охоплювали б 25—30 %, а природні ценози — 70—75 % території. У нас агросистеми займають понад половину площі (56 %), що суттєво впливає на реальні енергетичні показники. Тому для реальної оцінки енергозапасів та приросту слід виходити з показників фітомаси і продуктивності різних типів угруповань та їх площі, що варіюють у великих межах. Так, показники загальної фітомаси коливаються від 0,2—0,4 т/га у розріджених пустищах до 400 т/га у типових оптимальних високобонітетних лісах. У ксерофітних трав'янистих угрупованнях біомаса концентрується в підземній частині (у степах іноді перевищує надземну в 5—10 разів), а в мезофітних лісових — у надземній частині, перевищуючи підземну в 1—3 рази). Тому оцінка реального приросту є досить непростою, але сучасна методика дає змогу приблизно підрахувати цей показник.



Ліси — високоенергетичні врівноважені досить стабільні екосистеми, в яких максимум енергії акумулюється в деревині. Достатня кількість опадів і кислє середовище сприяють тому, що відмерла органіка швидше розкладається до фульвокислот, мінеральних форм, які поглинаються кореневою системою або вимиваються до гумусово-ілювіального горизонту, а не акумулюються в ґрунті, як у степових чорноземах.

Специфіка фіксації енергії, її подальшої трансформації залежить від типу лісових екосистем. Енергозапас лісів та їх річний приріст можна розрахувати кількома способами: 1) через запаси деревини; 2) через питому енергоємність лісів переважаючих порід.

Відповідно до офіційних даних [11] запас деревини в наших лісах у 2004 р. становив 1736 млн м<sup>3</sup>. При цьому площа всіх лісів дорівнює 9,4 млн га (15,6 % території України). З них 42,2 % припадає на хвойні породи, середня щільність деревини яких 400 кг/м<sup>3</sup>, 13,6 % — на дрібнолистяні породи з середнього щільністю деревини 400 кг/м<sup>3</sup> (вільха — 420, осика — 400, береза — 500 кг/м<sup>3</sup>) та 43,3 % — на твердолистяні, середня щільність деревини — 600 кг/м<sup>3</sup> (дуб — 550, бук — 520, граб — 630) [22].

Враховуючи, що відношення площ насаджень, які мають щільність 400 і 600 кг/м<sup>3</sup>, становить близько 60—40 %, то для обрахунку всієї фітомаси деревини можна взяти середній показник 500 кг/м<sup>3</sup>. За результатами проведених досліджень [28], запас фітомаси стовбурів досягає близько 60—66 % усієї фітомаси дерев (гілок — 12—14 %, підземної частини — 14—25 %, листя — 1—4 %). Крім того, значні енергозапаси сконцентровані у трав'яному покриві (1—10 % — у неморальних лісах, 3—10% — у хвойних). При цьому енергоємність 1 г сухої деревини дорівнює 18000 Дж, листя — 17700, коренів — 1970, насіння — 2200 Дж. Виходячи з того, що фітомаса стовбура та гілок становить 74 % від маси всього дерева, для подальших рахунків ми користувалися середнім показником 18 тис. Дж/см<sup>3</sup> сухої ваги. Загальний енергозапас деревини дорівнює  $11,88 \cdot 10^{18}$  Дж, тобто близько 60 % від загального запасу енергії фітомаси, яка досягає  $26,48 \cdot 10^{18}$  Дж.

Цей показник можна розрахувати іншим шляхом, через запаси фітомаси, які для дубових лісів у віці 40 років становлять 142 т/га, 60 років — 249,3 т/га, для трав'яного покриву — 0,475 т/га [45]. Середній вік наших листяних лісів — близько 50 років, тому ми беремо середнє значення — 200 т/га, відповідно до якого питомий енергетичний еквівалент дорівнює  $360 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>. Фітомаса хвойних порід віком 60 років становить 141 т/га, трав'яного покриву — 13 т/га (154 т/га разом), а енергетичний запас еквівалентний  $277,2 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>. Тоді енергетичний потенціал фітомаси всіх лісів України досягає  $29,48 \cdot 10^{18}$  Дж, що є близьким до попереднього розрахунку.

Складніше розрахувати річний приріст фітомаси. Відповідно до офіційної інформації [27] у 2004 р. середній річний приріст деревини у розрахунку на 1 га становив 3,8 м<sup>3</sup>, для лісів України у цілому — 37 млн м<sup>3</sup>, що еквівалентно  $0,333 \cdot 10^{18}$  Дж, а енергетична продуктивність фітомаси лісів Украї-

ни —  $0,71 \cdot 10^{18}$  Дж (питома енергоємність —  $61,6 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>). Стосовно загального запасу деревини цей показник, враховуючи досить молодий вік наших лісів, є значно нижчим (2,1 %) за теоретичний (3,8 %). Пояснюється це тим, що приріст деревини визначається не як абсолютна величина, а як різниця між власне приростом і рубками, обсяг яких у 1990 р. досяг 15,3 млн м<sup>3</sup>, а в 1998 — 10,3, в енергетичному еквіваленті — від  $0,138 \cdot 10^{18}$  до  $0,093 \cdot 10^{18}$  Дж. Потенційний приріст наших лісів, тобто за відсутності рубок, становив би 3,6 % від запасів деревини.

Разом з тим приріст залежить від віку лісів: чим вони молодші, тим приріст вищий, а в зрілому віці деревостану приріст відсутній. Отже, приріст описується логістичною кривою, а враховуючи, що вік наших лісів молодий (молодняки — 31 % площі, середньовікові — 45 %), і загалом вони переважають над досягаючими (15 %) і стиглими (11 %), то приріст має бути значно вищим. Тобто обсяги рубок є все ж таки досить високими, що врешті-решт знижує загальні енергетичні запаси.

За такого показника річної енергетичної продуктивності фітомаса лісів оновлюється кожні 36 років, тобто інтенсивність рубок є досить високою. Внаслідок того, що рубки деревостану ведуть після 80 років, ліси в цілому вирубуються швидше, ніж стабілізується екосистема. Пояснюється це тим, що для розрахунку лісосіки і періоду рубок 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 років у лісах формується характерний мохово-трав'янисто-чагарничковий ярус, а онтогенетичний цикл окремих лісових видів триває 15—20 років і його завершення означає стабілізацію екосистеми. Таким чином, деревостан починають вирубувати в тому віці, коли лісова екосистема ще не стабілізувалася, що призводить до втрати майже 20 % енергетичного запасу наших лісів від потенційно можливого.

Принадібно відзначимо, що Г.Ф. Морозов [25] та Г. Вальтер [45] вважали нормальними рубки у віці 120 років, що є екологічно обґрунтованим.

Важливим компонентом лісових екосистем, котрий забезпечує зв'язок у системі «рослинність—грунт» і функціонування екосистем у цілому, є лісова підстилка, що включає відмерлий травостій, листя, мертві частини гілок та ін., тобто все, що знаходиться на поверхні ґрунту. Підстилку розділяють на дві частини: опад — відмерлі частини поточного року, які зберігають форму живих органів, і детрит — напіврозкладені рештки, що втратили цілісну форму. Їхнє співвідношення важливе для розуміння процесів динаміки розкладання підстилки. Фітомаса підстилки залежить від типу та віку лісу і швидкості її розкладання (деструкції). Її максимальна вага характерна для молодих лісів (25—40 років), згодом вона знижується. Маса підстилки у хвойних лісах коливається від 10 до 35 т/га (хвоя — від 3,7—5,0 до 13,7—50,5 т/га) [26], а в листяних — 5—15 т/га (листя — 3—4 т/га) [34]. У світовому атласі [44] цей показник для хвойних лісів становить 25—50 т/га, для листяних —

12,5—25,0 т/га. Середні значення енергетичних показників для хвойних лісів еквівалентні —  $36 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, а листяних —  $19 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, що для відповідних типів лісів України у цілому дорівнює 1,44 та  $2,47 \cdot 10^{18}$  Дж, у сумі — близько  $4 \cdot 10^{18}$  Дж.

За даними Н.І. Базилевич [3] підстилка в лісах перевищує приріст у 2—5 разів, оскільки вона розкладається повільно — від 2 (листяні ліси) до 7 років (хвойні). Ці твердження збігаються з наведеними нами даними ( $4,0 \cdot 10^{18} / 0,83 \cdot 10^{18} = 4,8$  раз). З іншого боку, швидкість розкладання підстилки характеризує швидкість кругообігу речовин в екосистемі, що відображає коефіцієнт рециркуляції ( $\tau = 1/2-7=0,5-0,14$ ). Цей показник є досить низьким, що свідчить про сповільнення та врівноваження процесів кругообігу, тобто про високу стійкість лісових екосистем. Інтенсивність розкладання підстилки ( $\tau = E/t$ ), що характеризує потужність трансформації енергії, в ли-

стяних лісах становить  $\frac{19 \cdot 10^6}{63 \cdot 10^6} = 0,30$  Вт/м<sup>2</sup>, хвойних —  $\frac{36 \cdot 10^6}{157,7 \cdot 10^6} = 0,23$  Вт/м<sup>2</sup>.

Таким чином, формування лісових екосистем спрямоване на акумуляцію енергії у фітомасу і власне фітоблок забезпечує стабільність їх функціонування. Енергозапаси лісів становлять 82 % всіх енергозапасів суходолу, тому вони визначають енергетичний стан біосфери. Підкреслимо, що енергозапас лісів України — це 60 % загального енергозапасу екосистем, тобто є нижчим за середній світовий.

Досить важливу роль у трансформації та накопиченні енергії відіграють трав'яні типи екосистем з принципово іншим типом кругообігу речовин [13]. Їх характерною фізіономічною ознакою є домінування злаковників (злаків, осок, ситників тощо), які відзначаються інтеркалярним ростом, за умов викошування чи випасання добре відростають, відновлюючи фітомасу таким чином, що приріст у сумі перевищує надземну фітомасу неушкоджених рослин.

В офіційних документах України угруповання трав'яного типу мають загальну назву «сіножаті та пасовища», їх загальна площа становить 7,98 млн га (13,2 % території держави), в т.ч. сіножатей — близько 2,42 млн га, пасовищ — 5,56 млн га [27]. Залежно від вологості та багатства ґрунтів вони досить різноманітні і опановують різні форми рельєфу. Зокрема, в сухих умовах південних степової та лісостепової зон на плакорах панували степи, які тепер займають близько 1 % території, у вологих умовах формуються луки. Степові фітосистеми є високоадаптованими до екстремальних умов аридними системами з відносно лабільною нестійкою структурою, орієнтованою на постійний розвиток, мінливість, що зумовлюється невпинним впливом змін доквілля.

Особливість структури степових ценозів полягає в тому, що в них підземна маса перевищує надземну в 2—10 разів, тимчасом як запаси надземної біомаси знижуються з півночі на південь від 5,7 до 1,6 т/га. Враховуючи, що в

середньому надземна біомаса становить 3,7 т/га, а підземна в 4—5 разів перевищує надземну, для розрахунків ми взяли усереднений показник 16 т/га, хоча Н.І. Базилевич зі співавторами [4] наводять дещо вищі показники (20—25 т/га), що могли б розглядатися як потенційні для степів. Таким чином, енергозапас надземної фітомаси становить  $6,66 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, а фітомаси в цілому —  $28,8 \cdot 10^6$ . Виходячи з того, що площа степів сягає майже 6,0 тис. км<sup>2</sup>, то їх енергетичні запаси дорівнюють  $0,17 \cdot 10^{18}$  Дж.

Фітомаса у степах наростає, відмирає і швидко розкладається, що забезпечує інтенсивний кругообіг. Приріст надземної біомаси цих угруповань дорівнює 140—150 % (значну його частину споживають консументи), а підземна оновлюється на 2/5, що в сумі становить  $18,72 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, або 65 % від загальної фітомаси. Це означає, що потенційний приріст фітомаси степів України міг би бути  $0,76 \cdot 10^{18}$  Дж. Відповідно, підстилка у степах становить 36 % від усієї фітомаси [3, 21, 35], тобто  $10,4 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, а для всіх степів —  $0,063 \cdot 10^{18}$  Дж. В умовах дефіциту опадів, високого рН ґрунту (>7) підстилка розкладається протягом 9—11 місяців, тому коефіцієнт рециркуляції досить високий ( $1/0,83=1,2$ ), що в 2,5—8,5 разів перевищує такий у лісах і свідчить про високу потужність трансформації енергії ( $\tau = 0,4$  Вт/м<sup>2</sup>). Фітомаса оновлюється кожні 2—3 роки, тобто в 9 разів швидше, ніж у цілому на суші, і в 12 разів швидше, ніж у лісах. Низький показник накопичення енергії у надземній фітомасі компенсується її значним нагромадженням у ґрунті, а позитивом при швидкому оновленні фітомаси є вища інтенсивність процесів еволюції, котра виявляється у високому ендемізмі.

Луки, на відміну від степів, формуються за достатнього, навіть надмірного зволоження і потенційно мають вищу продуктивність надземної біомаси, ніж степи, яка коливається від 0,1—0,9 т/га (пустинні), 2—3 т/га (остепенені), 1,2—3,5 т/га (справжні), 2,5—5,0 і навіть до 15 т/га (болотні). Зокрема, дуже бідні карпатські високогірні луки з *Nardus stricta*, *Festuca rubra*, мають біомасу 3 т/га, що еквівалентно  $2 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup> [19]. Крім того, ці показники різко змінюються залежно від погодних умов (сухе чи дощове літо), тому обчислювати середній показник досить складно. Для його корекції ми застосували такий підхід. У західних приатлантичних країнах за більш-менш сталої, достатньо високої вологості (>1000 мм опадів на рік) середній показник біомаси лук становить 7 т/га і знижується пропорційно до зниження річної кількості опадів. Для центральної частини України при річній кількості опадів близько 400 мм він дорівнює 4 т/га, хоча в разі перевипасання, збоїв, характерних для більшої частини території України, знижується у 5 разів і сягає 0,4—0,4 т/га. Тому для сіножатей ми беремо показник 4 т/га, для пасовищ — 1 т/га. Підземна частина в лучних угрупованнях щодо надземної складової становить 1:2,3...5 [40], в середньому цей показник можна прийняти 12 т/га, тобто фітомаса сіножатей, як і степів, дорівнюватиме 16 т/га, а для пасовищ — 13 т/га. Відповідно, середня енергоємність сіножатей досягає  $28,88 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, а пасовищ —  $23,4 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>. Виходячи з пропорції сіно-



жатеї та пасовищ 1:2 (за винятком степів), їх енергетичні запаси в Україні сягають  $0,7 \cdot 10^{18}$  та  $1,3 \cdot 10^{18}$  Дж, а в сумі —  $2 \cdot 10^{18}$  Дж. Потенційні запаси зеленої фітомаси лук є досить високими — 5,6 т/га, а фітомаси в цілому — 40 т/га [38], що еквівалентне  $71,8 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, а для України в цілому має становити  $5,58 \cdot 10^{18}$  Дж, тобто в 2,5 рази перевищувати реальні.

За літературними даними приріст у лучних угрупованнях відносно високий, і хоча частину фітомаси споживають консументи, вресіт-ресіт фітомаса вирівнюється. У цілому сумарний приріст становить 150 % від надземної біомаси, але цей показник залежить і від інтенсивності її росту та відновлення, оскільки підземна система оновлюється на 40 % [32]. Виходячи з цього, розраховуємо показники приросту від фітомаси сіножатеї (надземна частина 6 т/га, підземна — 4,8 т/га, в сумі 10,8 т/га), що в енергетичному еквівалентні становить  $19,44 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, а для України в цілому —  $1,4 \cdot 10^{18}$  Дж. Для цього типу угруповань надземна біомаса переходить у підстилку і з урахуванням відмираючої у процесі вегетації частини рослин запаси підстилки в цілому дорівнюють 6 т/га, що еквівалентно  $10,8 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, а для всіх лук —  $0,78 \cdot 10^{18}$  Дж. Швидкість розкладання підстилки нижча, ніж у степах, воно триває протягом одного року, що відповідає коефіцієнту рециркуляції близько 1, а потужність трансформації енергії нижча, ніж у степах ( $\tau = 0,32$  Вт/м<sup>2</sup>).

Болота в Україні представлені трьома типами: оліго-, мезо- та евтрофні, із яких 90 % площі займають останні. Серед евтрофних боліт переважають трав'янисті (лісові, вільхові аналізуються у складі лісів), які мають високу біопродуктивність, котра майже відповідає їх надземній біомасі. За даними М.С. Боч та В.В. Мазинга [7] запаси надземної фітомаси евтрофних боліт становлять 2,9—5,25 т/га з таким же річним приростом, за даними А.А. Титлянової зі співавторами [38] середній запас біомаси трав'яних боліт дорівнює 4,5 т/га. На відміну від попередніх угруповань, підземна біомаса менша за надземну і сягає 60—70 % останньої. Тоді питома енергомісткість боліт становить  $5,2—9,4 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, а виходячи з їхньої площі — 1008,1 тис. га [39] —  $0,024 \cdot 10^{18}$  Дж. Приріст фітомаси евтрофних боліт у цілому можна порівняти до надземної фітомаси, що в середньому дорівнює 4,1 т/га і еквівалентно запасам енергії  $7,3 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, а оліготрофних — 0,8 т/га ( $0,9 \cdot 10^6$  Дж); для України це становило б  $0,073 \cdot 10^{18}$ . Близькою величиною характеризується підстилка ( $7 \cdot 10^6$  Дж), яка розкладається досить повільно або оторфовується, що в сумі дорівнює  $0,07 \cdot 10^{18}$ . Умовно середній період розкладання евтрофних боліт триває 2—3 роки, тоді як в оліготрофних за 6 років розкладається лише половина біомаси. Виходячи з цього, коефіцієнт рециркуляції енергії боліт є досить низьким, для евтрофних становить 0,4, а для оліготрофних — 0,08, інтенсивність трансформації енергії ( $\tau$ ), відповідно, 0,088 та  $0,0023$  Вт/м<sup>2</sup>, тобто останніх у 40 разів нижча, ніж перших.

Внутрішні водойми, що займають площу 2 415 тис. га (4 % території), мають досить низьку енергоємність [4, 29] —  $0,1 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, тому сумарний

запас енергії у них дорівнює лише  $0,0024 \cdot 10^{18}$  Дж і цей показник можна не брати до уваги.

Із сільськогосподарських угідь найбільшу площу (32,48 млн га) займають агросистеми на орних землях, відсоток яких є одним із найвищих у Європі (56 % від території України). Залежно від географічного розташування відповідних угідь енергозапаси їх фітомаси по областях коливаються у значних межах. Розрахувати ці енергозапаси досить складно, оскільки річна фітотомаса в агросистемах залежить і від культури, яка вирощується, і від погодних умов, і від площі, а вони щороку змінюються. Ми розрахували енергозапаси фітомаси агросистем на основі двох підходів. Результати мають близьке значення (відповідно,  $2,6$  та  $2,1 \cdot 10^{18}$ ) (табл. 1).

Таблиця 1. Енергозапаси агросистем, розраховані на основі фітомаси та сухої речовини, по регіонах України

Регіон	Площа під агросистемами, тис. га	Загальні енергозапаси фітомаси, $1 \cdot 10^{18}$ Дж	Енергозапаси фітомаси на $1 \text{ м}^2$ , $1 \cdot 10^6$ Дж	Енергозапаси агросистем (суха речовина), $1 \cdot 10^{18}$ Дж	Вихід сухої речовини з $1 \text{ м}^2$ , гр
АР Крим	698,3	0,07	0,94	0,051	406,0
Вінницька	1373,1	0,15	1,12	0,125	505,6
Волинська	500,7	0,05	1,02	0,043	478,0
Дніпропетровська	1716,9	0,18	1,07	0,153	495,3
Донецька	1334,7	0,13	1,01	0,105	435,9
Житомирська	686,1	0,07	0,95	0,049	396,3
Закарпатська	184,0	0,02	1,08	0,017	514,3
Запорізька	1326,9	0,13	0,95	0,102	425,8
Івано-Франківська	305,2	0,03	0,84	0,022	394,2
Київська	1118,2	0,15	1,33	0,117	583,7
Кіровоградська	1445,9	0,16	1,09	0,131	502,6
Луганська	946,3	0,09	0,96	0,075	443,2
Львівська	565,7	0,05	0,85	0,043	426,9
Миколаївська	1353,3	0,12	0,88	0,093	382,4
Одеська	1655,7	0,16	0,99	0,127	425,8
Полтавська	1531,2	0,19	1,23	0,151	549,2
Рівненська	480,4	0,05	0,95	0,041	476,6
Сумська	860,6	0,09	1,02	0,065	418,6
Тернопільська	694,8	0,07	1,02	0,063	502,9
Харківська	1456,1	0,16	1,07	0,130	496,9
Херсонська	1189,6	0,11	0,91	0,086	403,1
Хмельницька	915,8	0,10	1,08	0,076	459,3
Черкаська	1153,2	0,15	1,33	0,122	586,0
Чернівецька	279,9	0,03	1,16	0,023	557,9
Чернігівська	936,9	0,11	1,13	0,083	491,3
Всього по Україні	24709,2	2,60	1,05	2,098	471,9

При перерахунку площі агросистем (24709 тис. га), яка становить 40,9 % території України, на всю площу орних земель і перелогів (56 % від загальної території України), а також враховуючи підземну біомасу сільгоспкультур та бур'янів (разом — 20 % фітомаси), сумарний енергозапас фітомаси агросистем становить  $4,3 \cdot 10^{18}$  Дж, а питома енергоємність —  $13,43 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>. Для агросистем зони посушливих степів [38] питома енергоємність дорівнювала б  $11,34 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, а для степової зони України —  $3,68 \cdot 10^{18}$  Дж. Таким чином, отримані показники є досить близькими.

Інтенсивність приросту агросистем становить 0,12 Вт/м<sup>2</sup> і є вищою, ніж природних.

Водночас з агроугідь вилучається майже вся біомаса, 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/м<sup>2</sup>, а в цілому по Україні —  $0,86 \cdot 10^{18}$ .

При цьому відмерлі органічні залишки розкладаються досить швидко, в середньому за півроку. Тому коефіцієнт рециркуляції є досить високим (2,0), а потужність трансформації енергії (τ) — досить низькою (0,13 Вт/м<sup>2</sup>). Таким чином, агросистеми хоча і мають високу врожайність, у результаті чого енергетичний приріст перевищує такий природних систем, але це відбувається за рахунок додаткової енергії (внесення добрив). Разом з тим, порівняно з природними, вони досить нестійкі і без дотації енергії швидко втрачають енергетичний потенціал до певної мінімальної межі. Цей процес регулюється енергетичними запасами ґрунту і після досягнення мінімуму через 25 років установлюється відповідна рівновага [38].

Для чіткого уявлення про інтенсивність процесів приросту та розкладання органіки, тобто інтенсивність функціонування екосистем, наводимо розраховані нами відповідні показники для різних типів екосистем (табл. 2).

Як видно з табл. 2, у високих широтах накопичення енергії перевищує розкладання, що забезпечує акумуляцію енергії у вигляді торфу, інших

Таблиця 2. Порівняльна оцінка потужності трансформації енергії різних типів екосистем

Показник	Тип екосистем							
	тундра	хвойні ліси	листопадні ліси	болота	луки	степи	тропічні ліси	агросистеми
Інтенсивність приросту, Вт/м <sup>2</sup>	0,009	0,08	0,081	0,035	0,092	0,09	1,4	0,12
Інтенсивність розкладання, Вт/м <sup>2</sup>	0,0023	0,23	0,30	0,088	0,32	0,4	2,45	0,13
Відношення приросту до розкладання	3,9	0,35	0,27	0,14	0,29	0,22	0,59	0,92

органічних решток. Чим ближче до екватора, тим більшими є потужність розкладання і приросту, проте розкладання інтенсивніше, ніж приріст, у тропіках за високого приросту воно відбувається дуже швидко, чому сприяє діяльність термітів. Але в таких екосистемах енергія акумулюється у біомасі. В агроценозах приріст і розкладання практично однакові. Чим інтенсивнішим і масштабнішим є антропогенний вплив, тим нижчий показник акумуляції енергії у біотичному блоці стосовно приросту, що знижує рівень стабільності, врівноваженості як окремих екосистем, так і біосфери в цілому (табл. 3).

Таблиця 3. Енергетичний запас різних типів екосистем України

Тип екосистем	Загальний енергозапас фітомаси, $1 \cdot 10^{18}$ Дж	Енергетична продуктивність, $1 \cdot 10^{18}$ Дж	Підстилка, $1 \cdot 10^{18}$ Дж
Ліси	26,48	0,71	4,0
Степи	0,17	0,76	0,06
Луки	2,0	1,4	0,78
Болота	0,02	0,07	0,07
Агросистеми	4,3	4,3	0,86
Всього	32,97	7,24	5,77

У цілому енергозапаси фітомаси України становлять близько  $33 \cdot 10^{18}$  Дж, а разом з підстилкою ( $5,77 \cdot 10^{18}$  Дж) —  $38,7 \cdot 10^{18}$  Дж. На основі автотрофного блоку можна розрахувати показники гетеротрофного блоку і сумарні запаси. Використовуючи закон піраміди енергії Лемана, показники гетеротрофного блоку становлять 11 % від автотрофного, тобто близько  $4,3 \cdot 10^{18}$  Дж, а сумарний показник енергозапасів біотичного блоку — майже  $43 \cdot 10^{18}$  Дж (рис. 1).

Важливим компонентом екосистем є ґрунт, котрий має високу енергетичну ємність і завдяки цьому забезпечує стабілізацію екосистем. Встановлено, що чим менше запасастся енергії у біотичному блоці, тим більше її акумулюється у ґрунті [14] і в результаті досягається певна рівновага, баланс, характерний для того чи іншого типу екосистем. Проте руйнація біотичної складової під антропогенним впливом зовсім не означає, що енергетичні запаси компенсуються у ґрунті, оскільки в цьому разі знижується рівень енергоємності екосистем у цілому.

За даними В.А. Ковди [20] на земній кулі в ґрунті консервується майже стільки енергії, як і в біомасі, тобто  $502 \cdot 10^{20}$  Дж.

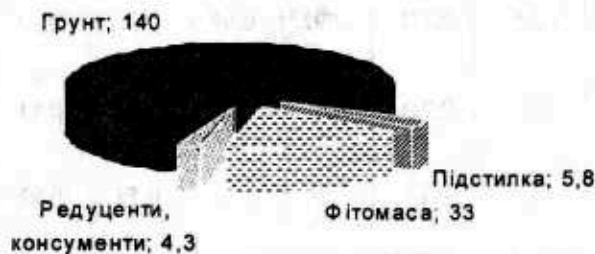


Рис. 1. Співвідношення енергозапасів основних блоків екосистем України ( $1 \cdot 10^{18}$  Дж)

Fig. 1. Correlation between main blocks of ecosystems of Ukraine ( $1 \cdot 10^{18}$  J)



Таблиця 4. Енергоємність різних типів ґрунтів України

Тип ґрунту	Вміст гумусу, %	Питома енергоємність		Площа, тис. га	Енергоємність, $1 \cdot 10^{18}$ Дж	Енергоємність (за гумусом), $1 \cdot 10^{18}$ Дж	Відхилення	
		1 кг ґрунту, Ккал	$1 \cdot 10^{12}$ Дж/га				$1 \cdot 10^{18}$ Дж	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дерново-підзолисті	1,6	63,9	1,63	3489,9	5,69	4,2	1,5	-26,1
Сірі лісові	3,2	167,3	1,82	6552,8	11,93	14,9	-3,0	25,2
Світло-сірі	2,5	123,1	1,19	1371,2	1,63	2,5	-0,8	51,7
Дернові	4,1	205,8	0,60	1627,1	0,98	4,4	-3,4	349,1
Чорноземи:								
опідзолені	4,5	213,4	3,18	1564,5	4,98	4,4	0,6	-12,1
вилугувані	4,1	205,8	2,81	1118,4	3,14	3,0	0,1	-4,1
звичайні	4,6	214,4	3,35	11298	37,85	33,0	4,9	-12,9
типові	5,3	211,8	3,77	6272,2	23,65	16,7	6,9	-29,4
південні	3,5	183,1	2,48	3727,2	9,37	8,6	0,7	-7,2
Коричневі	5,8	201,9	1,22	1489,9	1,82	3,8	-2,0	108,0
Буроземи	5,1	214,1	2,00	833,8	1,67	2,3	-0,7	40,1
Торф'янисті	4,0	202,9	5,25	998,7	5,24	1,9	3,3	-63,6
Солонші, солончаки	4,4	212,1	0,50	537,8	0,27	1,6	-1,3	477,6
Відслонення	3,0	155,5	0,04	297	0,01	0,6	-0,6	5194,3
Всього				41228,5	108,23	101,85	6,2	-5,8

Примітка. Відхилення обчислюється як різниця між показниками колонок 6 та 7

Енергоємність ґрунтів обчислюється через вміст у них гумусу. Хоча енергія гумусу — це не весь енергетичний запас ґрунту, а лише та його частина, яка включається у подальші процеси трансформації, проте саме вона відіграє ключову роль у функціонуванні екосистем. Показники питомої енергоємності для основних типів ґрунтів України наводять О.К. Медведовський та П.І. Іванченко [23]. Вони змінюються від  $0,04 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup> для відслонень та  $0,5 \cdot 10^6$  — піщаних відкладів і солончаків до  $3,77 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup> — для найбагатших типових чорноземів (табл. 4). Ю.О. Тараріко [37] наводить показники енергоємності різних типів ґрунтів у 20-сантиметровому шарі, які в 1,5–2,5 рази нижчі від зональних і становлять: для чорноземів типових — 2247 ГДж/га ( $2,247 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>), звичайних — 1742, південних — 1173, темнокаштанових — 814, сірих опідзолених — 519, дерново-підзолистих — 310–508 ГДж/га. Знаючи площі, які займають відповідні типи ґрунтів під сільськогосподарськими угіддями [1], ми розрахували їхні енергозапаси (табл. 4).

Для верифікації цих даних ми застосували й іншу методику підрахунку — через вміст вуглецю в гумінових кислотах за формулою  $Q_p = 37300C$ , де  $Q_p$  — енергетична ємність (Дж/см<sup>3</sup>),  $C$  — маса вуглецю. За даними А. Роде [34] у гумінових кислотах підзолистих ґрунтів міститься 52,4 %  $C$ , тоді їх

енергоємність має становити  $1,02 \cdot 10^{12}$  Дж/га, чорноземів звичайних (58,4 %) —  $3,16 \cdot 10^{12}$ , чорноземів типових (57,5 %) —  $3,73 \cdot 10^{12}$  Дж/га, тобто маємо показники, близькі до наведених О.К. Медведовським та П.І. Іванченком [23], тому ми використали їх для подальших розрахунків. Як видно з табл. 4, отримані різним шляхом результати відрізняються на  $6,2 \cdot 10^{18}$  Дж (5,8 %), що свідчить про їх достатню достовірність.

Враховуючи те, що ґрунти мають різний ступінь змитості, ми запропонували відповідні коефіцієнти: незмиті— 1 (95 % площі), слабкозмиті— 0,6 (3 %), середньозмиті — 0,4 (1,8 %) та сильнозмиті — 0,2 (0,2 %). Крім того, пропонуються коефіцієнти ступеня еродованості ґрунтів: нееродовані — 1 (75 %), слабкоеродовані — 0,8 (17,4 %), середньоеродовані — 0,5 (5,9 %), сильноеродовані — 0,3 (2,2 %) [16]. Разом з тим значні запаси гумусу, органіки накопичуються у від'ємних формах рельєфу, що певною мірою врівноважують позитивні, підвищені форми рельєфу, з яких гумус змивається. Розраховавши енергетичні запаси з використанням даних коефіцієнтів і площ, отримали нижчі на 10 % показники, що для України становлять близько  $100 \cdot 10^{18}$  Дж. Оскільки сільгоспугіддя, включаючи орні землі, сіножаті та пасовища, займають 70% території України, то енергозапаси її ґрунтового блоку в цілому становлять близько  $140 \cdot 10^{18}$  Дж, тобто 0,3% від енергозапасу ґрунтів планети (рис. 1).

Цей показник у 2,8 раза вищий за енергозапаси біомаси України, що свідчить про виняткову цінність, родючість наших ґрунтів, проте водночас — і про високий ступінь деградації, порушеності біотичного блоку.

Для розрахунку потенційних енергозапасів екосистем України ми пропонуємо виходити з того, що 40 % її території могли б покривати ліси, оптимальні запаси фітомаси яких у зрілому віці досягли б 250 т/га, а 60 % — трав'яні угруповання (луки, степи, болота) — 16 т/га. У Світовому атласі [44] ці показники дещо вищі і для лісів Полісся становлять 300—400 т/га, Лісостепу та Степу — 12,5—25,0 т/га. За такого встановленого нами співвідношення (ми абстрагуємося від питання вторинності лук та степів) енергетичний потенціал біомаси дорівнював би  $120 \cdot 10^{18}$  Дж, тобто був би у 2,8 раза вищий за існуючий, що становить 65 % від енергозапасу ґрунту. Потенційний запас підстилки дорівнював би  $11 \cdot 10^{18}$  Дж, що вдвічі вище реального, а ґрунту —  $190 \cdot 10^{18}$  Дж (на 20 %). Потенційний енергозапас всіх екосистем України міг сягнути  $320 \cdot 10^{18}$  Дж (рис. 2).

Таким чином, вплив антропогенних факторів суттєво знижує енергозапаси екосистем, сприяє переведенню енергії в теплову форму, що, як вважають багато вчених, призводить до підвищення температури атмосфери, а в комплексі зі зміною інших кліматичних факторів — до парникового ефекту. Енергетичні показники є справді ефективним засобом оцінки антропогенного впливу, а енергетичний ресурс — регулятором розвитку суспільства — соціосфери, за формулюванням М.А. Голубця [10], яке визначає ситуацію на планеті.

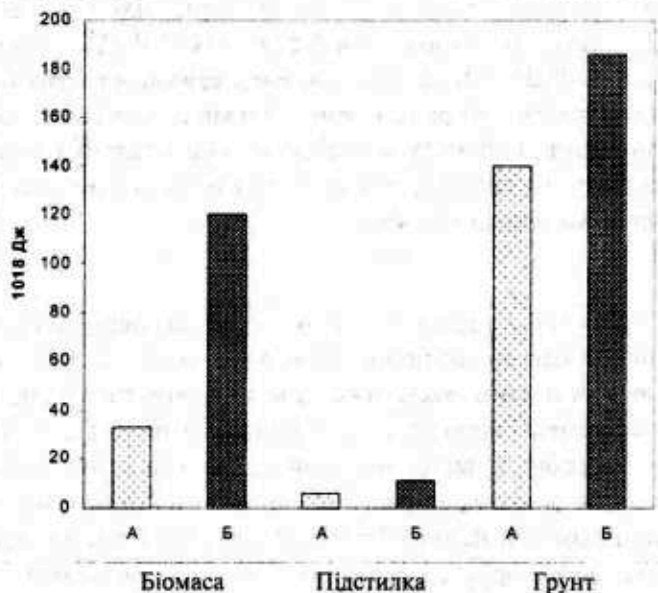


Рис. 2. Порівняльна оцінка реальних (А) та потенційних (Б) запасів основних блоків екосистем України

Fig. 2. Comparative evaluation of real (A) and potential (B) resources of main blocks of ecosystems of Ukraine

Розглянемо це лише на одному прикладі — оцінці впливу урбанізації на енергетичні показники. За даними Ю. Одума [29] функціонування сучасної міської системи забирає  $1,0\text{--}1,6 \cdot 10^5$  ккал/м<sup>2</sup>/рік (у середньому  $540 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>/рік).

У 1997 р. площа наших міст становила 2336,9 тис. га, або 3,9 % території України. Якщо взяти за основу розрахунків найнижчий показник ( $1 \cdot 10^5$  ккал/м<sup>2</sup>/рік), бо лише 5 міст мають кількість населення понад 1 млн мешканців, а більшість населених пунктів України з середньою чисельністю і невисокою забудовою, то їх функціонування еквівалентне  $5 \cdot 10^{18}$  Дж/рік, тобто близько 15 % енергозапасів біотичного блоку. Зрозуміло, що основні енергетичні потреби життєдіяльності урбосистем забезпечуються не за рахунок енергії біотичних ресурсів, а інших видів енергії. Зокрема, за нашими підрахунками, співвідношення енергії харчування до енергії палива (всіх його форм) по Україні становить 1:40.

За даними всеукраїнського перепису населення (05.12.2001) у м. Києві мешкало 2607 тис. осіб, котрі разом із 20 % приїжджих споживали продуктів, енергетична ємність яких дорівнювала  $14,3 \cdot 10^{15}$  Дж, що не так і багато порівняно з іншими енергетичними затратами. Виходячи з того, що площа Києва становить 83,6 тис. га, із яких під забудовою — 34,1 тис. га, енерговитрати цієї території за розглянутою вище методикою сягають  $185,6 \cdot 10^{15}$  Дж, тобто в 13 разів перевищують потреби енергії в харчуванні.

Решту території (49,5 тис. га) займає зелена зона міста, де на ліси припадає 36134 га ( $4,34 \cdot 10^{16}$  Дж), сільськогосподарські вгіддя — 3414 га

( $0,09 \cdot 10^{16}$  Дж), болота — 203 га ( $0,01 \cdot 10^{16}$  Дж), відкриті землі — 972 га ( $0,008 \cdot 10^{16}$  Дж), водні простори — 6418 га ( $0,034 \cdot 10^{16}$  Дж), що в сумі становить лише  $4,48 \cdot 10^{16}$  Дж. Отже, щорічні енергетичні витрати Києва еквівалентні запасам біомаси чотирьох зелених зон міста за аналогічної її структури. Якщо ці показники обчислювати стосовно не загальних запасів біомаси, а річного приросту, то такі енергетичні витрати міста еквівалентні приросту фітомаси половини Київської обл.

## Висновки

З наведених даних можна зробити висновок, що за енергетичними показниками ми ще не дійшли до критичних меж, але темпи, з якими ми рухаємося, приголомшують. З іншого боку, внаслідок марнотратності межі енергетичних запасів екосистем скорочуються і становлять 60 % від потенційних.

Одним із способів підвищення енергозапасів та їх акумуляції є розширення площі лісів, зокрема за рахунок скорочення орних земель, оскільки великі їх площі сьогодні не обробляються. На таких землях можна практикувати посадки швидкорослих деревних порід, що дасть можливість забезпечити наші потреби як у деревині, так і в біопаливі, водночас природні ліси відновили б структуру до оптимальної. Лісове та сільське господарства потребують запровадження новітніх технологій, культивування швидкорослих порід з відповідними технічними якостями замість нищівної експлуатації природних ресурсів. Натомість позиція працівників лісового господарства цілком протилежна: запровадити всі системи рубок у лісах першої категорії.

Таким чином, потоки енергії ґрунтуються на складних процесах, які відбуваються у природі та, в остаточному підсумку, забезпечують кругообіг усіх речовин, функціонування й еволюцію екосистем, життя на нашій планеті. Енергетичні показники є надійним критерієм нашого ставлення до природи. На оцінці енергоресурсів мають базуватися механізми забезпечення сталого розвитку суспільства.

1. *Агрохимическая характеристика почв СССР. Украинская ССР.* — М.: Наука, 1973. — 343 с.
2. *Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР.* — Гл. упр. геогр. и карт. при СМ СССР. — М., 1978. — 183 с.
3. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. — М.: Наука, 1993.
4. *Базилевич Н.И., Родин Л.Е., Розов Н.Н.* Географические аспекты изучения биологической продуктивности. — Л.: Наука, 1970. — 28 с.
5. *Банникова И.А.* Континентальная лесостепь Евразии (структура и функция; проблемы природопользования): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — М., 1992. — 44 с.
6. *Бельгард А.Л.* Степное лесоведение. — М.: Лесная пр-сть, 1971. — 336 с.
7. *Боч М.С., Мазинг В.В.* Экосистемы болот СССР. — Л.: Наука, 1979. — 187 с.
8. *Быстрицкая Т.Л., Осьчнюк В.В.* Почвы и первичная биологическая продуктивность степей Приазовья. — М.: Наука, 1975. — 110 с.
9. *Вернадский В.И.* Биосфера и ноосфера. — М.: Наука, 1989. — 263 с.
10. *Голубець М.А.* Від біосфери до соціосфери. — Львів: Поллі, 1997. — 251 с.
11. *Державний лісовий кадастр України, 2005.*



12. Дідух Я.П. Теоретичні проблеми еволюції рослинного покриву // Ю.Д. Клепов та сучасна ботанічна наука. — К.: Фітосоціоцентр, 2002. — С. 11—26.
13. Дідух Я.П. Еколого-енергетичні аспекти у співвідношенні лісових і степових екосистем // Укр. ботан. журн. — 2005. — 62, № 4. — С. 455—467.
14. Дідух Я.П. Теоретичні підходи до створення класифікації екосистем // Укр. фітоцен. зб., Сер. С. Фітоекологія. — 2005. — Вип. 23. — С. 3—15.
15. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. — К.: Ін-т ботаніки НАН України, 1994. — 280 с.
16. Дідух Я.П., Хом'як І.В. Оцінка енергетичного потенціалу екотопів залежно від ступеня їх гемеробії (на прикладі Словечансько-Овруцького кряжу) // Укр. ботан. журн. — 2007. — 64, № 1. — С. 62—77.
17. Дювіньо П., Танг М. Биосфера и место в ней человека. — М.: Прогресс, 1973. — 267 с.
18. Збір урожаю сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду в регіонах України у 2005 році. — К.: Держкомстат України, 2006. — 149 с.
19. Коваленко А.П., Малиновский К.А., Половников А.П. и др. Биогеоэкологические исследования субальпийских лугов в Карпатах // Пробл. биогеоэколог. — М.: Наука, 1973. — С. 118—136.
20. Ковда В.А. Почвоведение и продуктивность биосферы // Вестн. АН СССР. — 1970. — Вып. 6. — С. 83—90.
21. Лавренко Е.Н., Карамышева З.В., Никулина Р.Н. Степи Евразии. — Л.: Наука, 1991. — 145 с.
22. Лакида П.І. Фітомаса лісів України. — Тернопіль, 2002. — 254 с.
23. Медведовський О.К., Іванченко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. — К.: Урожай, 1988. — 120 с.
24. Методика определения и оценки структуры энергетического потенциала органического вещества почвы в агроландшафтах. — Курск, 2000. — 29 с.
25. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. — М; Л.: Госиздат, 1928. — 368 с.
26. Мякушко В.К., Вольвач Ф.В., Плюта П.Г. Экология сосновых лесов. — К.: Урожай, 1989. — 247 с.
27. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні. — К., 2004. — 227 с.
28. Нешатаев Ю.Н., Добренцова Л.А., Самилан С.Н. Биологическая продуктивность и ее сезонная динамика в разных ярусах дубового леса // Уч. зап. Ленинград. ун-та. Сер. биол. — 1974. — Вып. 53, № 367. — С. 119—152.
29. Одум Ю. Основы экологии. — М.: Мир, 1975. — 740 с.
30. Пригожин Н. От существующего к возникающему. — М.: Наука, 1985. — 327 с.
31. Программа и методика биоэкологических исследований. — М.: Наука, 1974. — 402 с.
32. Продуктивность луговых сообществ. — Л.: Наука, 1978. — 278 с.
33. Реймерс Н.Ф. Экология (Теории, законы, правила, принципы и гипотезы). — М.: Россия молодая, 1994. — 366 с.
34. Роде А.А. Почвоведение. — М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. — 524 с.
35. Родин Л.Е., Базилевич Л.Н. Динамика органического вещества и биологической продуктивности в основных типах растительности. — М.; Л.: Наука, 1965. — 253 с.
36. Снытко В.А., Дружинина Н.П., Мартынова Г.Н. и др. Изучение степных геосистем во времени. — Новосибирск: Наука, 1976. — 237 с.
37. Тараріко Ю.О. Формування сталих агросистем: теорія і практика. — К.: Аграрна наука, 2005. — 506 с.
38. Титлянова А.А., Тихомиров Н.А., Шатохина Н.Г. Продукционный процесс в агроценозах. — Новосибирск: Наука, 1982. — 185 с.
39. Торфово-болотний фонд УРСР, його районування та використання. — К.: Наук. думка, 1973. — 263 с.
40. Шалыт М.С. Подземная часть некоторых луговых, степных и пустынных растений и фитоценозов // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. Сер. III. Геоботаника. — 1950. — Вып. 6. — С. 205—442.
41. Шеляг-Сосонко Ю.Р., Дідух Я.П. Екологічний імператив сталого розвитку України // Наук. доп. НАУКМА. Спецвипуск. — 2002. — 20, ч. II. — С. 460-464.

42. Brooks D.R., Wiley E.O. Evolution as Entropy. — Chicago; London: Univ. Press., 1986. — 335 p.  
 43. Lieth H., Whittaker R.H. (eds.) Primary Productivity of the Biosphere. — New-York: Springer Verlag, 1975. — 340 p.  
 44. Resources and Environment World Atlas. Characteristics of vegetation cover. Ed. Hölzel. — Vienna, 1998. — Т. II, P. 111. — P. 112—116.  
 45. Walter H. Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. Bd. II Die gemasigen und arktischen Zonen. — Jena: VEB Gustav Fischer Verlag, 1968. — 1001 s.

Надійшла 22.01.2007

Я.П. Дудух

Институт ботаники им. Н.Г. Холодного НАН Украины, г. Киев

#### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАПАСОВ ЭКОСИСТЕМ УКРАИНЫ

Впервые рассчитаны энергетические показатели запасов и прироста фитомассы, подстилки и почв для Украины в целом и различных типов ее экосистем. Сравниваются реальные и потенциальные показатели. Установлены зависимости между интенсивностью накопления и разложения энергии фитомассы. Воздействие антропогенного фактора привело к снижению энергозапасов фитомассы ( $33 \cdot 10^{18}$  Дж) в 2,8 раза, подстилки ( $6 \cdot 10^{18}$  Дж) — в два раза, а почв ( $140-155 \cdot 10^{18}$  Дж) — на 20–30 % от потенциально возможных. Соотношение энергозапасов биомассы и почв составляет 1,0:4,7, что свидетельствует о высоком плодородии и энергоемкости почв Украины, а также о деградации, нарушенности биотического блока.

Энергетические показатели являются эффективным способом оценки интенсивности антропогенного влияния и свидетельствуют об отношении человека к природе. На основе оценки энергоресурсов должны разрабатываться механизмы обеспечения устойчивого развития общества.

*Ключевые слова:* термодинамика, энергетика, экосистема, энергозапас, энергетическая продуктивность, фитомасса, подстилка, почва

Ya.P. Didukh

M.G. Kholodny Institute of Botany National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

#### COMPARATIVE EVALUATION OF ENERGY RESOURCES OF UKRAINE

Energy indicators for reservoirs and gain of phytomass, litter and soils of Ukraine in general and different types of its ecosystems have been calculated for the first time. Real and potential indicators are being compared. Correlations between intensity of phytomass accumulation and energy of its degradation have been elucidated. Influence of anthropogenic factor has lead to 2.8 times decrease of energy resources of phytomass ( $33 \cdot 10^{18}$  J), 2 time decrease of energy resources of litter ( $6 \cdot 10^{18}$  J), and 20–30 % decrease of potentially possible resources of soils ( $140-155 \cdot 10^{18}$  J).

Ratio of energy resources of biomass to soil was estimated as 1:4.7. Such a ratio indicates high fertility energy intensity of soils of Ukraine as well as degradation and disturbed state of biotic block.

Energy indicators are an effective way of evaluation of intensity of anthropogenic influence pointing out human attitude to nature. Evaluation of energy resources should serve as base for elaboration of mechanisms providing stable sustainable development of community

*Key words:* thermodynamics, energetics, ecosystem, energetic productivity, phytomass, litter