
УРБООКОЛОГІЯ

УДК 547.4(477.25)

У. М. Альошкіна

ЕМЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМ м. КИЄВА

Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України

Найважливішим законом, що описує потік енергії через екосистеми, є другий закон термодинаміки про розсіювання енергії на кожному наступному етапі її перетворення. Розсіювання енергії тісно пов'язане з її здатністю виконувати роботу. Дисипативні структури, які описує І. Пригожин, відповідають за здатність організмів трансформувати енергію та здатність упорядкування речовини таким чином, що забезпечує мінімальне використання енергії для роботи. Отже, ми можемо говорити про трансформацію енергії в енергію вищої якості на кожному наступному етапі. Г. Одум запропонував методіку для оцінки якості енергії та ввів поняття «емергія» та «індекс трансформації». У нашій роботі ми використовували підхід Г. Одума для оцінки потоку енергії, накопичення енергії та трансформації енергії екосистемами м. Києва. Це дозволяє нам оцінити потенціал відновних та невідновних джерел енергії в комплексній урбоекосистемі м. Києва.

Ключові слова: урбоекосистема, енергія, емергія, індекс трансформації.

U. M. Alyoshkina

M. G. Kholodny Botany institute NAS of Ukraine

EMERGENT ANALYSIS OF KYIV ECOSYSTEMS

The most important law that describes the flow of energy through the ecosystems is the second law of thermodynamics, which determines dissipation of energy, i.e. energy loss on every subsequent stage of energy transformation. Energy loss is closely related to its work ability. Dissipative structures effect described by I. Prigogine is related to the ability of the organisms to transform input energy and to arrange matter in a way that helps spending minimal energy use while working. Therefore, we can talk about the transformation of energy into the higher quality energy. H. Odum proposed the methodology for energy quality assessment by introducing the terms «emergy» and «transformational index». This work uses Odum's approach to examine the energy flow, energy storage (emergy values) and transformational index of Kyiv ecosystems. Thus, it allowed us to evaluate the correlation and potential of renewable and nonrenewable energy resources in Kyiv's complex urban ecosystem.

Keywords: urban ecosystem, green belt, energy, emergy, transformational index.

Урбоекосистеми, з точки зору екологічної енергетики, підпорядковуються таким самим законам розвитку, деградації та взаємодії, що й природні екосистеми. Загальна теорія систем Л. Берталанфі свідчить про креативну здатність самоорганізації систем та визначає теоретичне підґрунтя для розуміння процесів, за якими речовина, організми та екосистеми самоорганізуються в комплекси, далекі від рівноважного стану. Екосистеми самоорганізуються та розвиваються за ієрархічними схемами через симбіотичні зворотні зв'язки, структурний перерозподіл енергії та роботи.

У міських екосистемах як у самоорганізованих системах потік та розсіювання енергії та речовини визначається продуктивністю та споживанням. На кожному наступному етапі відповідно до другого закону термодинаміки більшість доступної енергії розсіюється для того, щоб виробити меншу частину енергії іншого типу, вищої якості, яка повертається на нижчі ієрархічні рівні через контролюючі зворотні

© Альошкіна У. М., 2008

Екологія та ноосферологія. 2008. Т. 19, № 1–2

78

зв'язки. Миську екологічну структуру та її упорядкування можна розглядати як результат фотосинтезу рослин та життєпідтримуючої здатності факторів навколишнього середовища разом із споживанням невідновних ресурсів та подальшим виробництвом товарів та послуг. Така структурна організація виражається в просторовому поширенні земель з різними видами користування та акумуляцією ресурсів. Більше того, урбоекосистеми розвивають ієрархічну просторову структуру для організації міської економіки та навколишнього середовища з метою збільшення продуктивності (рис. 1).

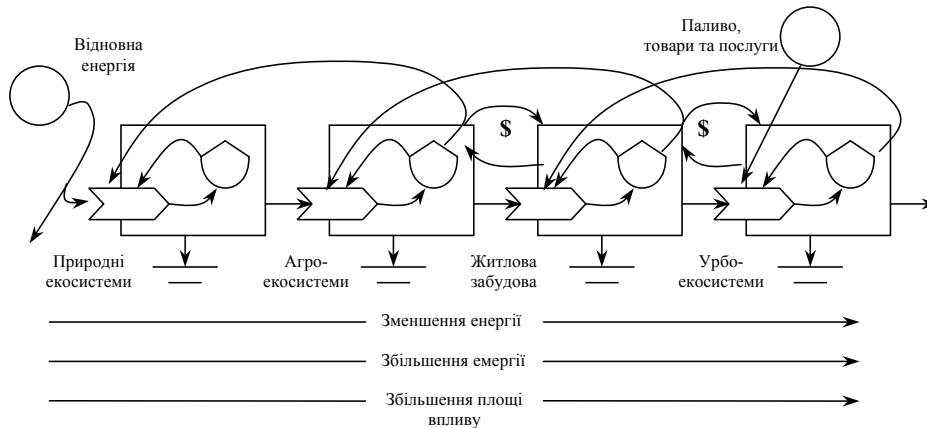


Рис. 1. Ієрархічна структурна організація екосистеми міста з урахуванням потоку енергії (за Huang, S.-L., Chen, C.-W., Lee, C.-L., 2007)

Аналіз урбосистеми ускладнюється необхідністю оцінки цілої низки взаємодій людської діяльності з навколишнім середовищем. Традиційно наукові дисципліни, що вивчають діяльність людини, наприклад економіка та соціологія, існують окремо і не враховують знання з фізики, хімії, біології, екології, що, у свою чергу, є причиною недосконалої оцінки. Тому виникає необхідність альтернативного інтегрального підходу до розуміння та аналізу еколого-економічних систем. Еколого-економічні системи є комплексом кліматичних, фізіогеографічних, біогеохімічних, соціоекономічних та культурних факторів і процесів. Якщо розглядати всі ці фактори в цілому у певному часовому проміжку, то економічні та екологічні системи складатимуть частини одного цілого.

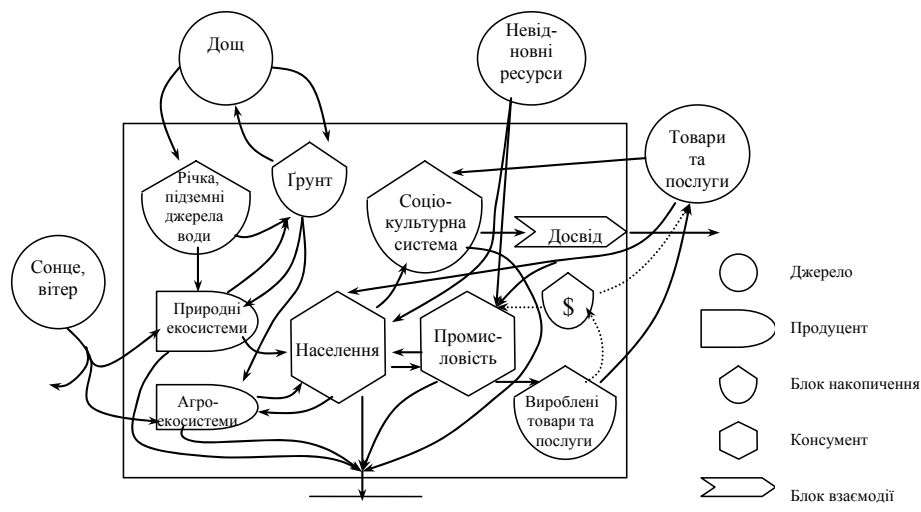


Рис. 2. Схематична модель міста (за Odum, 1996)

Міська система представлена на рис. 2 компонентами соціальної, економічної систем, субсидованою системою сільського господарства, природних екосистем, які забезпечують життєспроможність міста. Ця система обмежується постачанням енергії як від природних джерел, так і від економічних. Інші аспекти функціонування систем, що забезпечують її динамічну рівновагу, включають 1 – баланс та рециклінг матеріалів (води, відходів), 2 – ієрархічну взаємодію (контроль сільського господарства міською екосистемою), 3 – контролюючі механізми систем (субсидії з державного бюджету та ринкові механізми регулювання), 4 – обмеження в ефективності трансформації енергії, частина якої розсіюється у вигляді тепла (Huang, Chen, 2005).

Визначення та оцінка екологічних ризиків для соціоекологічних систем можливі за умови уніфікації понять. Традиційний економічний аналіз, як правило, недостатньо широкий, щоб охопити комплексні проблеми регіональних систем з урахуванням їхніх природних складових. Межі економічних систем фіксовані, тому вклад і робота природних складових не враховується. Робота довкілля не оцінюється зовнішньою економічною ринковою системою, тому що гроші оцінюють людський труд та капітальні інвестиції для придбання того чи іншого продукту, а не роботу навколишнього природного середовища в його створенні. Оскільки продукти довкілля не оцінюються в достатній мірі за допомогою економічного аналізу, то екологічні системи, подібно до капітальних інвестицій, вичерпуються.

З метою оцінки роботи, що виконується природними складовими екосистем, було запропоновано енергетичний аналіз як доповнення до економічного на основі поняття «емергія», введеного Г. Одумом (Odum, 1996), та розробленої ним методики емергетичного аналізу (Odum, 1988; 1996). D. Campbell, J. Higgins використали даний метод для оцінки енергетичного балансу деяких американських штатів (Campbell, 1998; *Keeping the book ...*, 2004; Higgins, 2003), S. Ulgiati – для Італії (Brown, Ulgiati, 1997; Ulgiati, Odum, 1994). Ландшафтний аналіз та класифікацію ландшафтів на основі динаміки емергетичних показників був проведений для Тайпеї (Китай) (*Energetic mechanisms ...*, 2007; Huang, Chen, 2005; *Energy hierarchy ...*, 2001). Емергетичний аналіз проводився як для природних екосистем, так і для оцінки доцільності впровадження деяких економічних проектів, наприклад нафтових розробок шельфових територій (Odum, 1996).

Емергетичний аналіз дозволяє розрахувати реальну цінність продуктів екосистеми, оскільки він враховує всю енергію, яка була необхідна для створення даного компонента екосистеми. Значення емергії не замінює ринкову вартість у доларах, але воно є важливим для визначення відносної вартості продуктів на макроекономічному рівні для прийняття управлінських рішень. Як економічні, так і екологічні дані потрібні для емергетичного аналізу, тому останній не замінює економічного аналізу, а доповнює його.

Основними поняттями емергетичного аналізу є «емергія» та «індекс трансформації» (Odum H., Odum E., 2000). Емергія – це доступна енергія одного виду, що була попередньо використана прямо чи опосередковано для вироблення продукту чи послуги. Коли енергія – це потенційна здатність виконувати роботу, то емергія – це сума всієї енергії, що була використана прямо чи опосередковано для створення ресурсу, продукту чи послуги, виражена в одиницях одного типу енергії, а саме енергії сонця, СДж (джоулі сонячної енергії). Отже, емергія враховує всю енергію, що була використана на роботу зі створення, накопичення та транспорту біомаси чи промислових продуктів через екосистему. Префікс «ем» походить від англійських слів «energy» (e) «тмоту» (m), що виражають основні характерні ознаки емергії, тобто фізичну кількість енергії, яка була використана в минулому і від якої залежить кількість та форма енергії на даному етапі. Наприклад, джоуль сонячного світла, електроенергії та людської думки має однаковий енергетичний уміст, але різну форму та вміст емергії і тому різну здатність виконувати роботу.

Індекс трансформації – це відношення сумарної емергії до енергоємності продукту, вимірюється в одиницях СДж/Дж і розраховується шляхом додавання всіх значень емергії, що беруть участь у процесі створення продукту, та поділом їх на значення енергоємності продукту. Індеси трансформації використовуються для переведення енергій різних форм у показники емергії. За допомогою індексу трансфор-

мації оцінюють якість енергії: чим більше значення трансформації, тим на вищому щаблі енергетичного перетворення знаходиться компонент екосистеми.

Таким чином, енергетичний аналіз має на меті врахувати не просто потік енергії через екосистему, але також якісне значення енергії на кожному етапі енергопотуку. Приймаючи те, що з кожним наступним етапом проходження енергії через екосистему частина енергії втрачається і розсіюється, на кінцевому етапі ми маємо невелику її кількість, зафіксовану в також невеликому об'ємі, але вартість і якість цієї енергії найвища.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі методики, розробленої Г. Одумом (Статистичний щорічник ..., 2006; *Odum*, 1996; *Odum H., Odum E.*, 2000), нами були розраховані показники та деякі співвідношення енергії для м. Києва та його зеленої зони з метою оцінки балансу споживання і продукції енергії містом у межах року.

Для оцінки енергії зеленої зони ми використали показники продукції (кг/м²/рік) природної зони м. Києва (Дідух, 2005а, 2005б, 2007). Знаючи загальну продукцію фітоценозів м. Києва – $0,45 \cdot 10^9$ кг/рік та враховуючи, що 1 кг сухої фітомаси еквівалентний з $18,00 \cdot 10^6$ Дж, маємо енергетичний потенціал зеленої зони м. Києва $8,10 \cdot 10^{15}$ Дж.

Щоб розрахувати енергію зеленої зони, необхідно врахувати енергію сонячного сяйва, що пішла на фотосинтез, енергію спожитої води та енергію ґрунту, помноживши ці показники на відповідні індекси трансформації (індекси трансформації взяті з літературних даних (*Keeping the book ...*, 2004; *Odum*, 1996).

Сонячне сяйво = $517,16 \cdot 10^6$ м² (площа зеленої зони) · $4 \cdot 10^9$ Дж/м²/рік (енергія сонячного сяйва) · % (відсоток сонячної енергії, що фіксується рослинами) · 0,66 (частина року, протягом якої відбувається активний фотосинтез) = $1,37 \cdot 10^{16}$ Дж; індекс трансформації – 1 СДж/Дж, тоді енергія сонячного сяйва = $1,37 \cdot 10^{16}$ СДж.

Хімічна енергія спожитої води = 320 кг води/кг фітомаси · $0,45 \cdot 10^9$ кг · 4940 Дж/кг (енергія Гіббса води) = $7,11 \cdot 10^{14}$ Дж; індекс трансформації для дощу – 15 423 СДж/Дж, тоді енергія спожитої води – $1,10 \cdot 10^{19}$ СДж.

Енергоємність еродованого ґрунту = $517,16 \cdot 10^6$ м² (площа зеленої зони) · 0,02 кг/м² · 0,03 (органічна фракція ґрунту) · 5400 ккал/кг · 4186 Дж/ккал = $7,72 \cdot 10^{12}$ Дж; індекс трансформації для ґрунту – 63 000 СДж/Дж, тоді енергія еродованого ґрунту = $4,86 \cdot 10^{17}$ СДж.

Отже, енергія насаджень зеленої зони м. Києва складатиме: $1,37 \cdot 10^{16} + 1,10 \cdot 10^{19} + 4,86 \cdot 10^{17} = 1,14 \cdot 10^{19}$ СДж, а індекс трансформації, з урахуванням розрахованого вище енергетичного потенціалу зеленої зони, складатиме відношення $1,14 \cdot 10^{19}$ СДж : $8,10 \cdot 10^{15}$ Дж = 1416 СДж/Дж (у цей показник не входять витрати, пов'язані з лісгосподарським відтворенням лісу).

У табл. 1 наведені значення енергії, індексу трансформації та енергії основних функціональних показників комплексної екосистеми м. Києва.

Для розрахунку споживання енергії та ресурсного потенціалу урбанізованої складової міста були використані дані Статистичного щорічника м. Києва (показники 2004 року) та Екологічного атласу м. Києва (Екологічний атлас, 2003; Статистичний щорічник, 2006).

Таблиця 1

Показники енергетичного потенціалу екосистем м. Києва

1	Показники енергії та ресурсів	Індекс трансформації	Енергія, СДж, · 10 ¹⁹	Значення в Доларах, · 10 ⁸
Енергетичний потенціал природної складової міста				
1. Сонце	$3,34 \cdot 10^{18}$ Дж	1 СДж/Дж	0,33	0,0092
2. Вітер, кінетична енергія	$4,49 \cdot 10^{15}$ Дж	1268 СДж/Дж	0,57	0,0156
3. Дощ, потенційна енергія	$2,68 \cdot 10^{15}$ Дж	15423 СДж/Дж	4,13	0,1136
4. Дощ, геопотенційна енергія	$9,53 \cdot 10^{14}$ Дж	8888 СДж/Дж	0,85	0,0233
5. Ґрунт	$3,68 \cdot 10^{14}$ Дж	63000 СДж/Дж	2,32	0,0637

1	2	3	4	5
6. Вода Дніпра	$2,15 \cdot 10^{17}$ Дж	48459 СДж/Дж	1040,00	28,623
7. Зелена зона	$8,1 \cdot 10^{15}$ Дж	1416 СДж/Дж	1,15	0,0315
Енергетичний потенціал урбанізованої складової міста				
8. Забрана вода, Дніпро, Десна	$2,07 \cdot 10^{15}$ Дж	48459 СДж/Дж	10,00	0,2747
9. Забрана вода, підземні джерела	$3,68 \cdot 10^{14}$ Дж	110000 СДж/Дж	4,05	0,1113
10. Спожита енергія, умовне паливо	$2,59 \cdot 10^{17}$ Дж	40000 СДж/Дж	1040,00	28,461
11. Імпорт	$6,54 \cdot 10^9$ \$	$2,6 \cdot 10^{12}$ СДж/\$	1700,00	46,714
12. Експорт	$4,14 \cdot 10^9$ \$	$2,6 \cdot 10^{12}$ СДж/\$	1080,00	29,571
13. Придбання товарів та послуг	$6,64 \cdot 10^9$ \$	$2,6 \cdot 10^{12}$ СДж/\$	1730,00	47,429
14. Випуск товарів та послуг	$2,40 \cdot 10^{10}$ \$	$2,6 \cdot 10^{12}$ СДж/\$	6240,00	171,42
15. Населення	$8,08 \cdot 10^7$ люд/років	$3,1 \cdot 10^{16}$ СДж/люд/років	251000,00	6883,82
16. Тверді відходи	$2,64 \cdot 10^{15}$ Дж	1800000 СДж/Дж	475,00	13,055
17. ВРП	$1,23 \cdot 10^{10}$ \$	$3,08 \cdot 10^{12}$ СДж/\$	3787,62	0,0123

Показники індексів трансформації (третя колонка таблиці) взяті з літературних джерел (Campbell, 1998; *Keeping the book ...*, 2004; Higgins, 2003; *Energetic mechanisms*, 2007; Odum, 1996), крім розрахованого вище індексу трансформації утворення фітомаси зеленої зони м. Києва та індексу трансформації ВРП.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Порівнюючи показники табл. 1, відразу можна зазначити значний енергетичний потенціал води Дніпра, який на 2–3 порядки вищий за всі інші показники. Як значення енергії, так і значення енергії води Дніпра приблизно дорівнюють відповідним значенням спожитого умовного палива містом. Отже, серед показників природних факторів найбільшу вартість енергії мають поверхневі води, що пояснює будівництво гідроелектростанцій на річках. Наступними за величиною потенціалу є значення енергії дощу, ґрунту (завдяки акумульованій органіці), енергії зеленої зони, вітру і сонця. Енергія сонця є найменшою, незважаючи на її значний енергетичний показник.

Значний енергетичний потенціал мають відходи міста. Порівняно з іншими альтернативними джерелами енергії (вітру, сонця) вони є найбільш енергомісткими, тому саме повторному використанню сміття або використанню його як джерела енергії необхідно найбільше приділяти увагу.

На основі показників енергії нами розраховані енергетичні індекси урбоєкосистеми м. Києва, які представлені в табл. 2 у порівнянні з показниками штату Західної Вірджинії та м. Тайбею.

1. $4,00 \cdot 10^9$ Дж/м²/рік (енергія сонячного саява) · $835,6 \cdot 10^6$ м² (площа м. Києва) = $3,34 \cdot 10^{18}$ Дж.

2. $835,6 \cdot 10^6$ м² · $1,23$ кг/м³ (щільність) · 1000 м (висота вітропотоків) · $15,00$ м²/с (коефіцієнт дифузії) · $31,54 \cdot 10^6$ с/рік · $(3,04^{-3} \text{ 1/с})^2$ (вітровий градієнт) = $4,49 \cdot 10^{15}$ Дж.

3. $835,6 \cdot 10^6$ м² · $0,65$ м (кількість опадів) · 1000 кг/м³ (щільність) · 4940 Дж/кг (енергія Гіббса) = $2,68 \cdot 10^{15}$ Дж.

4. $835,6 \cdot 10^6$ м² · $0,65$ м (кількість опадів) · 1000 кг/м³ (щільність води) · 179 м (висота над рівнем моря) · $9,8$ м/с² (прискорення вільного падіння) = $9,53 \cdot 10^{14}$ Дж.

5. $835,6 \cdot 10^6$ м² · $2,26 \cdot 10^7$ Дж/кг · $0,65$ кг/рік (швидкість формування ґрунту в лісових екосистемах) · $0,03$ (органічна фракція ґрунту).

6. $4,35 \cdot 10^{10}$ м³/рік (витрата води) · 1000 кг/м³ (щільність) · 4940 Дж/кг (енергія Гіббса) = $2,15 \cdot 10^{17}$ Дж.

8, 9. Об'єм забраної води · щільність води · енергія Гіббса.

10. Спожита енергія викопного палива подана в одиницях умовного палива, які застосовуються для зіставлення енергетичної цінності різних видів палива. Теплота

згоряння 1 кг умовного палива (або 1 куб.м газоподібного умовного палива) складає 29,3 МДж (7000 ккал), що приблизно відповідає теплоті згоряння 1 кг кам'яного вугілля.

11–14. Макроекономічні показники імпорту, експорту, випуску, споживання товарів та показник валового регіонального продукту (ВРП) у грошових одиницях взяті із Статистичного щорічника.

15. $2607 \text{ тис.людей} \cdot 31 \text{ рік (середній вік населення)} = 8,08 \cdot 10^7 \text{ люд/років.}$

16. $126 \cdot 10^6 \text{ кг (маса органічних відходів міста)} \cdot 5000 \text{ ккал/кг} \cdot 4186 \text{ Дж/ккал} = 2,64 \cdot 10^{15} \text{ Дж в органічній фракції відходів;}$
 $54 \cdot 10^6 \text{ кг (маса неорганічних відходів міста)} \cdot 14200 \text{ Дж/кг (енергія Гіббса для залізної руди)} = 7,67 \cdot 10^{11} \text{ Дж у неорганічній фракції відходів.}$

17. Значення ВРП дозволяє розрахувати показник енергетичної вартості долара (енергія/долар) або індекс трансформації для долара, що дорівнює співвідношенню сумарної енергії відновних ресурсів, енергії імпортованого палива, імпорту товарів та послуг до показника ВРП. Чим вищий цей показник, тим більша купівельна спроможність долара в регіоні і тим регіон є економічно менш розвинутим. Середній індекс Сдолара для світу дорівнює $2 \cdot 10^{12} \text{ Дж/\$}$. Знаючи індекс трансформації долара, можна розрахувати вартість у Сдоларах всіх компонентів урбоєкосистеми (табл. 1, стовпчик 5). Вартість природних ресурсів у Сдоларах дозволяє отримати їхню первісну грошову оцінку, ще до етапу людського господарювання, яку не враховує економічний аналіз.

Таблиця 2

Індекси енергії урбоєкосистеми м. Києва (2661 тис. населення, площа – 839 км², 2004 р.),
штату West Virginia (США) (1816 тис. населення, площа – 62360 км², 1997 р.),
метрополісу Taipei (Тайвань, Китай) (6753 тис. населення, площа – 1712 км², 1998 р.).

Умовне позначення	Назва	Київ	West Virginia	Taipei
<i>R</i>	Сума енергетичних показників природної складової міста	$1,05 \cdot 10^{22}$	$1,52 \cdot 10^{22}$	$3,38 \cdot 10^{21}$
<i>F+I</i>	Сума імпортованої енергії, F – паливо, I – товари та послуги	$2,74 \cdot 10^{22}$	$1,56 \cdot 10^{23}$	$1,27 \cdot 10^{23}$
<i>U</i>	Сума використаної енергії, R+F+I	$3,79 \cdot 10^{22}$	$2,19 \cdot 10^{23}$	$1,41 \cdot 10^{23}$
<i>R/U</i>	Частка природної енергії	0,28	0,07	0,0024
<i>F/U</i>	Частка енергії палива	0,27	0,12	0,31
<i>(F+I)/U</i>	Частка імпортованої енергії палива та товарів і послуг	0,72	0,71	0,98
<i>I/U</i>	Частка імпортованих товарів та послуг	0,45	0,59	0,59
<i>(F+I)-E</i>	Різниця між імпортом та експортом	$1,66 \cdot 10^{22}$	$-1,55 \cdot 10^{23}$	$2,19 \cdot 10^{22}$
<i>(F+I)/R</i>	Співвідношення концентрованої енергії та розсіяної природної	2,6	14	50
<i>E/(F+I)</i>	Співвідношення експорту та імпорту	0,39	2	0,83
<i>U/area</i>	Питома енергія споживання, СДж/м ²	$4,53 \cdot 10^{13}$	$3,51 \cdot 10^{12}$	$7,59 \cdot 10^{13}$
<i>U/pop</i>	Питома енергія споживання населенням, СДж/чол.	$1,45 \cdot 10^{16}$	$1,21 \cdot 10^{17}$	$1,21 \cdot 10^{17}$
<i>R/(U/pop)</i>	Несуча спроможність відновної природної енергії (за умов сучасного рівня споживання), чол.	723659 або 27,8 %	126042 або 6,9 %	162331 або 2,4 %
<i>8R/(U/pop)</i>	Несуча спроможність за умов розвинутої економіки, чол.	5789274	1008336	1298650
<i>P/U</i>	Частка енергії продукції зеленої зони	0,0003	-	-
<i>P/U/pop</i>	Несуча спроможність зеленої зони	789	-	-
<i>U/ВРП</i>	Індекс Сдолара, СДж/\\$	$3,08 \cdot 10^{12}$	$5,72 \cdot 10^{12}$	$1,73 \cdot 10^{12}$

Порівнюючи показники енергії природних складових трьох регіонів, можна оцінити різноманіття і багатство природних умов. Враховуючи незначну площу м. Києва, порівняно із іншими регіонами, усі показники *R*, а також показники частки природної енергії *R/U*, можна зробити висновок про найбільший природний потенціал м. Києва, головним чином завдяки річці Дніпро.

Так само через незначну площу сума використаної енергії *U* серед трьох порівнюваних регіонів буде найменшою для м. Києва.

Частка імпортованих товарів та послуг I/U також буде найменшою для Києва, що корелює із співвідношенням концентрованої та розсіяної природної емергії $(F+I)/R$. Отже, роль природних складових відіграє в м. Києві значну роль, порівняно із Західною Вірджинією та Тайбеєм.

Найменше значення питомої емергії споживання на одиницю площі $U/area$ наведене для Західної Вірджинії, оскільки взяті дані для цілого штату, який включає як міські, так і сільськогосподарські території. Питоме споживання емергії населенням на порядок нижче для м. Києва.

Несуча спроможність відновних природних джерел енергії м. Києва (разом із зеленою зоною) складає 723 659 чоловік, або 27,8 % населення міста з їхніми потребами в природних ресурсах, викопному паливі та імпортованих продуктах, тоді як за умов розвинутої економіки, тобто восьмикратного значення емергії відновних природних ресурсів (отже, ощадливішого споживання) (*Keeping the book ...*, 2004), цей показник приблизно дорівнює неофіційній кількості населення (разом із приїжджими) – 5 789 274 чол. Отже, загалом природні відновні джерела енергії складають незначну частку в енергетичному балансі міських екосистем і не можуть забезпечувати сучасний рівень споживання. Тому урбоекосистема м. Києва є повністю залежною від субсидованої енергії, її імпорт переважає експорт у 3 рази.

Емергія насаджень зеленої зони м. Києва складає незначну частку порівняно з іншими показниками емергії м. Києва. Так, емергія фітомаси, що продукується за рік зеленою зоною (табл. 1), складає всього 0,11 % від емергії викопного палива, що споживається містом за той самий період. Так само незначний відсоток – 0,03 % – вона складає по відношенню до загальної емергії міста (табл. 2). Інший індекс – несуча спроможність зеленої зони – показує, що зелена зона за сучасного рівня споживання може забезпечити життєдіяльність лише 789 людей. Це свідчить про найбільшу вразливість саме зелених насаджень, оскільки вони не мають значного енергетичного потенціалу і відповідно значної економічної вартості.

З іншого боку, завдяки значному енергетичному потенціалу, що акумулюється в містах, насамперед це людський ресурс, міста виконують регулюючу роль стосовно навколишніх територій. Якщо порівнювати запаси емергії трьох різних підсистем міста – природної, економічної та соціальної, то найбільшим буде показник соціальної підсистеми міста за рахунок значного енергетичного потенціалу населення – $2,51 \cdot 10^{24}$ СДж, далі економічної (випуск товарів і послуг, табл.1) – $6,24 \cdot 10^{22}$ СДж, тоді як природний запас емергії складає $1,05 \cdot 10^{22}$. Отже, з перетворенням енергії від природних до антропогенних блоків урбоекосистеми значення емергії зростає за рахунок роботи, яку виконує людина для створення товарів, послуг та інформаційних ресурсів.

ВИСНОВКИ

У роботі подано оцінку потоку енергії через урбоекосистему м. Києва з використанням методу «емергії» Г. Одума. На основі даних енергії, індексів трансформації, емергії розраховані співвідношення екологічних та деяких економічних показників міста.

Серед показників природних факторів найбільшу вартість енергії мають поверхневі води. Наступними за величиною потенціалу є значення емергії дощу, ґрунту, емергії зеленої зони, вітру і сонця. Емергія сонця є найменшою, незважаючи на її значний енергетичний показник. Значний енергетичний потенціал мають відходи міста, тому вони в першу чергу мають застосовуватися як альтернативне джерело енергії.

Незначна частка емергії – 28 % – відновних природних ресурсів екосистем говорить про урбоекосистему м. Києва як штучну, субсидовану зовні додатковими джерелами енергії. Проте у порівнянні зі штатом Західна Вірджинія, метрополісом Тайбей місто Київ має потужний природний потенціал, головним чином за рахунок річки Дніпро. Зелена зона міста складає всього 0,0003 від загального запасу емергії міста. Це свідчить про найбільшу вразливість саме зелених насаджень, оскільки вони не мають значного енергетичного потенціалу і відповідно значної економічної вартості.

Якщо порівнювати запаси емергії трьох різних підсистем міста – природної, економічної та соціальної, то найбільшим буде показник соціальної підсистеми міста. Та-

кий розподіл запасів емергії свідчить про роль міста Києва та урбоєкосистем загалом як регулюючих систем, що мають сферу впливу поза їхнім територіальним поширенням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Дідух Я. П.** Еколого-енергетичні аспекти у співвідношенні лісових і степових екосистем // Укр. ботан. журн. – 2005а. – Т. 62, № 4. – С. 455-467.
- Дідух Я. П.** Класифікація екотопів міста Києва / Я. П. Дідух, У. М. Альошкіна // Наук. зап. НаУКМА. – 2005б. – Т. 53. – С. 50-57.
- Дідух Я. П.** Порівняльна оцінка енергетичних запасів екосистем України // Укр. ботан. журн. – 2007. – Т. 64, № 2. – С. 177-194.
- Екологічний атлас Києва.** – К.: ТОВ «Агентство Інтермедія», 2003. – 60 с.
- Одум Г.** Энергетический базис человека и природы / Г. Одум, Э. Одум. – М.: Прогресс, 1978. – 379 с.
- Одум Ю.** Экология: В 2 т. – М.: Мир, 1986. – Т. 1. – 327 с.
- Статистичний щорічник** м. Києва. – К.: Консультант, 2006. – 360 с.
- Brown, M. T., Ulgiati, S.** Emergy based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring technology and economics toward environmentally sound innovation // Ecol. Eng. – 1997. – V. 9. – P. 51-69.
- Campbell, D. E.** Emergy analysis of human carrying capacity and regional sustainability: An example using the State of Maine // Environ. Monit. Assess. 1998. – V. 51 – P. 531-569.
- Campbell, D. E., Meisch M., Demoss Th., Pomponio J., Bradley P.** Keeping the book for environmental systems: an emergy analysis of West Virginia // Environ. Monit. Assess. 2004. – V. 94 – P. 217-230.
- Higgins, J. B.** Emergy analysis of the Oak Openings region // Ecol. Eng. – 2003. – V. 21. – P. 75-109.
- Huang, S.-L., Chen, C.-W.** Theory of urban energetics and mechanisms of urban development // Ecol. Model. – 2005. – V. 189. – P. 49-71.
- Huang, S.-L., Chen, C.-W., Lee, C.-L.** Energetic mechanisms and development of an urban landscape system // Ecol. Model. – 2007. – V. 201. – P. 495-506.
- Huang, S.-L., Lai, H.-Y., Lee, C.-L.** Energy hierarchy and urban landscape system // Landscape Urban Plan. – 2001. – 53. – P. 145-161.
- Odum, H. T.** Environmental Accounting, Emergy and Environmental Decision Making. – John Wiley, New York, NY, USA, 1996. – 370 p.
- Odum, H. T.** Self-organization, transformity, and information // Science. – 1988. – 242. – P. 1132-1139.
- Odum, H. T., Odum, E. P.** The energetic basis for valuation of ecosystem services // Ecosystems. – 2000. – V 3. – P. 21-23.
- Ulgiati S., Odum H. T., Bastianoni S.** Emergy use, environmental loading and sustainability. An Emergy Analysis of Italy // Ecol. Model. – 1994. – № 73. – P. 215-268.

Надійшла до редколегії 06.02.08