

О. В. Томченко

Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук Національної академії наук України», Київ

ВИКОРИСТАННЯ КОСМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЗЗ ТА НАЗЕМНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА НА ОСНОВІ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Обґрунтовується можливість використання методу аналізу ієрархій для оцінки екосистемних послуг Київського водосховища з поєднанням результатів дешифрування матеріалів ДЗЗ та наземних спостережень (гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних показників) за період 1988–2013 рр. Подано критеріальну оцінку фізіономічних та аналітичних характеристик водойми і шляхом обчислення їхніх пріоритетів виконано аналіз стану водосховища як для підтримання біотичного різноманіття, так і з позиції використання його для виробничих потреб людини (комунального водопостачання та видобутку гідроелектроенергії).

ВСТУП

Київське водосховище — складна багатофункціональна екосистема, потенціал якої пов'язаний з інтенсивним соціально-економічним розвитком, формуванням багатогалузевих виробничих комплексів, еколого-рекреаційною та природоохоронною діяльністю. Воно виконує низку важливих функцій: сприяє виробництву електроенергії Київськими ГЕС та ГАЕС, забезпечує водотранспортні вантажні перевезення, використовується для сезонного регулювання стоку Дніпра і Прип'яті, є джерелом санітарно-екологічних попусків на київську ділянку Канівського водосховища та інтенсивно використовується в рекреаційних цілях [8].

Головним конфліктом гармонійного та збалансованого розвитку його території є конфлікт між соціально-економічними потребами людини та збалансованим існуванням екосистеми. Бажано використовувати водойму у поляризованому виді обох напрямків та при цьому намагатися гармонізувати свою життєдіяльність і

привести її у відповідність із законами природи [10, 11].

Моніторинг якісного стану водних ресурсів в Україні виконується підрозділами Держводагенства і є інформаційною системою, що здійснює збирання, збереження та оброблення багаторічної наземної інформації про стан та якість вод для комплексної оцінки її подальшого водогосподарського використання. На відміну від системної оцінки якості води для водоспоживання, моніторинг екосистемних послуг (екологічних функцій) водних ресурсів в Україні ніхто не виконує. Саме тому метою нашої роботи було обґрунтування комплексної оцінки екосистемних функцій великої штучної водойми — Київського водосховища — з використанням матеріалів ДЗЗ, які дозволили виділити угруповання вищої водної рослинності, що є середовищем існування інших видів. Саме ці рослинні угруповання і є як показником, так і фактором стану екосистеми.

Методологічною базою досліджень було вибрано метод аналізу ієрархій — математичний інструмент системного підходу для вирішення складних проблем прийняття рішень при стратегічному плануванні.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для проведення ретроспективного аналізу структури заростання водосховища були використані дані дешифрування космічних знімків супутників «Landsat TM» та «Landsat OLI» (рис. 1) за період 1988—2013 рр. (опрацьовано 12 знімків) та картографічні матеріали (топографічні карти та карти глибин). Також нами в 2012—2013 рр. були проведені натурні дослідження сучасних особливостей заростання верхів'я Київського водосховища угрупованнями вищих водних рослин (в об'ємі, прийнятому В. М. Катанською [3]) з метою виділення еталонних ділянок для подаль-

шого дешифрування. В ході роботи розроблено процедуру тематичної обробки супутникових даних та наземної інформації, результатом якої є карти природно-територіальних комплексів (ПТК) акваторії водосховища. Так, для класифікації різних типів об'єктів, представлених на знімках «Landsat», застосовувався класифікатор, побудований на штучних нейронних мережах. Розпізнавання виконувалося з використанням моделі нейронної мережі багатосаровий Перцептрон (MLP), у якій вхідними ознаками були дані спектральних каналів, а також значення нормалізованого вегетаційного індексу *NDVI* та водного індексу *NWI*. Як дешифрувальні ознаки

Таблиця 1. Статистичні дані вхідних аналітичних характеристик Київського водосховища

Роки	Площі ПТК, га			Гідробіологічні показники			
	Пограничні сухопутні біотопи	Водні та водно-болотні біотопи	Відкрита водна поверхня	Індекс сапробності		Індекс Шеннона по чисельності	
				по фіто-планктону	по зоо-планктону	по фіто-планктону	по зоо-планктону
1988	6352.4	13483.4	28143.9
1993	7115.4	16674.8	25018.4	2.04	1.78
1998	7944.4	15178.5	25861.6	1.99	1.93	3.54	1.98
2003	5473.4	22471.8	20596.5	1.97	1.80	2.52	1.62
2008	4212.0	21988.0	20787.1	2.02	1.56	3.33	2.49
2013	3707.8	24365.7	18717.2	1.91	1.66	2.71	2.16

Роки	Гідрофізичні показники				Гідрохімічні показники							
	Середній коефіцієнт водообміну	Об'єм водосховища	Приплив ¹ , млн м ³	Витрата ² , млн м ³	CO ₂ , мг/л	O ₂ , мг/л	Cl, мг/л	Кольоровість, град	Зведені індекси та показники якості води			
									ПХЗ-10 (фіз-хім.) ³	ПХЗ-10 (антр.) ⁴	I _{сан} ⁵	I _{токс} ⁶
1988	8.6	3270	30400	30200	1.8	8.60	29.4	22.1	5.3	3.9	2.5	4.0
1993	11.4	3140	40200	37500	3.4	9.87	24.8	25.5	15.6	7.5	3.2	5.0
1998	8.4	3040	29126	27600	6.7	11.52	24.9	42.8	12.5	5.9	3.4	3.5
2003	7.1	3380	26300	25200	9.5	8.01	24.0	37.7	19.9	4.6	3.7	2.8
2008	9.2	3190	32400	30600	12.6	7.82	21.3	36.1	22.2	4.6	3.5	2.6
2013	10.29	3190	34900	34200	11.7	13.08	18.96	43	19.4	3.8	3.4	2.8

Примітка. 1. Приплив — поверхневий приплив, виміряний на річках Дніпро, Прип'ять разом з опадами. 2. Витрата — поверхневий стік крізь Київський гідровузл (турбіни ГЕС) разом з опадами. 3. ПХЗ-10 (фіз-хім.) — показник хімічного забруднення води за фізико-хімічними властивостями. 4. ПХЗ-10 (антр.) — показник хімічного забруднення води за речовинами органічного походження та біогенними компонентами. 5. I_{сан} — еколого-санітарний індекс. 6. I_{токс} — індекс показників токсичної дії.

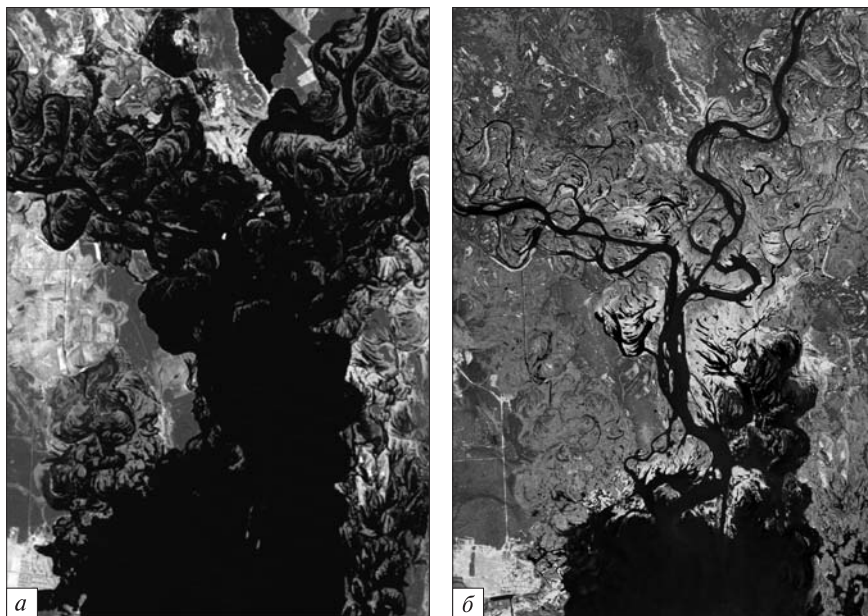


Рис. 1. Динаміка заростання верхів'я Київського водосховища на КЗ «Landsat»: а — станом на 06.06.1988 р., б — станом 13.08.2013 р.

використовувалися спектральні яскравості поверхонь виділених класів.

Також для розв'язання поставленої задачі було вивчено широкий набір наземних гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних показників, наданих Центральною геофізичною обсерваторією МНС України, які відображають особливості абіотичних і біотичних компонентів водної екосистеми. Цей набір включає значення вмісту біогенних і органічних речовин, компонентів сольового складу, прозорості, розчиненого кисню, специфічних речовин токсичної та радіоактивної дії та інших інгредієнтів, а також температури води і загального водообміну (табл. 1). На основі цих показників встановлено залежність між розвитком рослинних угруповань та характером факторів, що впливають на їхнє існування у природних комплексах водосховища [4].

Оцінка ресурсу екосистемних послуг — це складний процес поетапного вибору пріоритетів (чому надати перевагу — водогосподарському використанню чи підтриманню належної якості екосистеми) для здійснення якого найбільше підходить метод аналізу ієрархій (Analytic Hier-

archy Process), побудований Т. Сааті (США) на основі лінгвістичного підходу та експертної інформації [6]. Цей метод дозволяє шляхом відносного зіставлення багатьох параметрів і попарних експертних порівнянь ступеня переваги по кожному з них виявити найважливіші складові проблеми, найкращі способи перевірки тверджень та оцінки елементів.

Цей підхід дозволяє сформулювати задачу оцінки екосистемних функцій Київського водосховища за період спостережень з 1988—2013 рр. як систему ієрархічно пов'язаних чинників, критеріїв і впливів, що відбивають особливості реакцій рослинних комплексів мілководних біотопів на зміну зовнішніх умов.

Метою методу аналізу ієрархій (МАІ) є розв'язання задачі оцінювання за допомогою її багатокритеріального рейтингування. Метод дозволяє «зважити» у єдиній шкалі переваги і недоліки розглянутих альтернатив і одержати по кожній з них формалізовану підсумкову оцінку, на основі експертних оцінок сформувати необхідну цільову функцію і вибрати з багатьох альтернативних варіантів найвигідніший для рішення поставленої задачі [1].



Рис. 2. Етапи МАІ

Основна проблема використання методу полягає у послідовній декомпозиції цільової функції на простіші критеріальні складові — показники, що об’єднуються у відповідні ієрархічні рівні. Найбільш відповідальним етапом є побудова ієрархії суджень між першим і останнім рівнями. Метод поділяється на декілька етапів (рис. 2).

Коли розглянуту проблему представлено ієрархічно, для формалізації експертної процедури будується множина матриць попарних порівнянь для кожного рівня і по кожній складовій даного ієрархічного рівня. Проводиться їхня нормалізація і оцінка векторів пріоритетів з точки зору ступеня їхнього впливу на складові попереднього рівня [12].

Елементи матриці — відношення абсолютних пріоритетів експертів — є оцінками, судженнями експерта (чи їхніми групами) про відносну важливість окремих параметрів, що порівнюються по відношенню до параметра вищого рівня, із заданою попередньо шкалою оцінок. Для зручності представлення подальших міркувань матриці попарних порівнянь, що завжди є квадратними і обернено симетричними, запишемо у вигляді

$$\begin{aligned} & \|a_{ij}\|, \\ & a_{ji} = 1/a_{ij}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $i, j = 1, \dots, n$ — число параметрів, порівнюваних на кожному рівні.

Далі обчислюються компоненти власного вектора матриці, а саме:

$$a_1 = \left(\prod_{j=1}^n a_{1j} \right)^{1/n}, \dots, a_n = \left(\prod_{j=1}^n a_{nj} \right)^{1/n}. \quad (2)$$

З отриманих груп матриць визначаються нормальні оцінки вектора локальних пріоритетів:

$$K_1 = a_1 / \sum_i a_i, \dots, K_n = a_n / \sum_i a_i. \quad (3)$$

Після того як компоненти власного вектора отримані для всіх n рядків матриці відповідно до виразів (2), стає можливим їхнє використання для подальших обчислень.

Обробка матриць, наприклад, чотирьох рівнянь дає можливість обчислити вектори K^1, K^2, K^3 і K^4 пріоритетів відповідних рівнянь, компоненти яких визначають їхні пріоритети з точки зору експерта. Метод аналізу ієрархій дозволяє сконструювати необхідну цільову функцію й оцінити ступінь впливу на неї кожної з характеристик досліджуваної системи. В узагальненому критерії F перший рівень відповідає прийняттю рішення по всім векторам цільових пріоритетів, другий — вектору цільових пріоритетів, третій — компонентам вектора цільових пріоритетів і чет-

вертий — компонентам вектора пріоритетності показників порівнюваних альтернатив [13].

Якщо отримані всі необхідні вагові коефіцієнти, то формула згортки узагальненого критерію для порівнюваних варіантів має вигляд

$$F = \sum K_r^1 \sum K_m^2 \sum K_r^3 \sum K_p^4 \cdot x_p^s, \quad (4)$$

де верхній індекс критеріального пріоритету K позначає рівень ієрархії; x_p^s — коефіцієнт переваги варіанта s за показником p .

Значення F дозволяє встановити перевагу того чи іншого альтернативного варіанта системи по всій сукупності аналізованих факторів. Детально про методологію розрахунків описано у роботі [5].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Для порівняння ступеня важливості екосистемних послуг верхів'я Київського водосховища як цінного водно-болотного угіддя (ВБУ), з одного боку, та переваг і недоліків наявності Київського водосховища як техногенного комплексу для забезпечення потреб ГЕС, з іншого боку, розроблено інтегральну ієрархічну модель стану водойми, яку розглянемо далі більш детально.

Структурування проблеми і представлення її у вигляді ієрархій. Оскільки результатом дослідження має бути порівняння екологічного стану водосховища за роки спостережень, на верхньо-

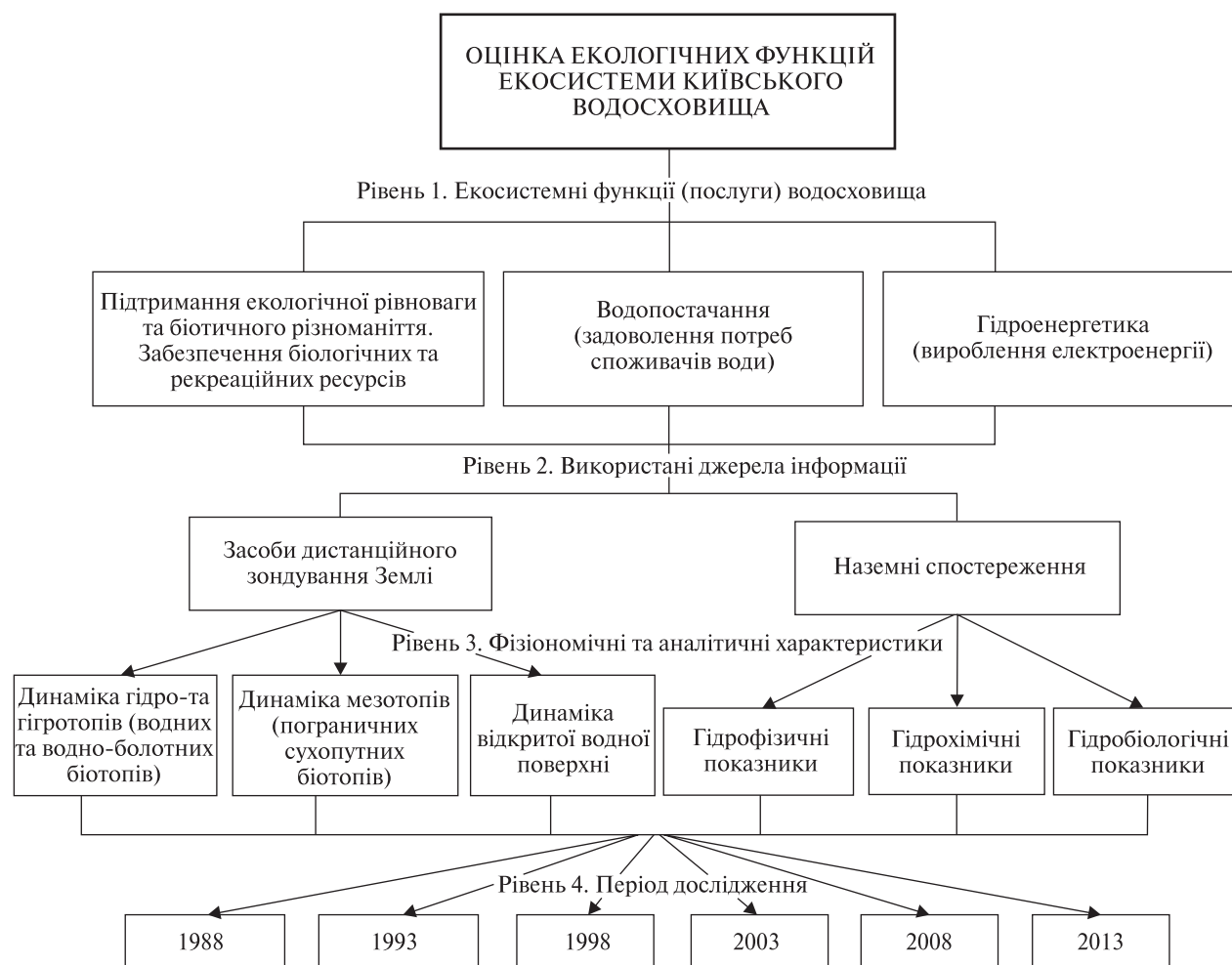


Рис. 3. Ієрархічне представлення задачі оцінки екосистемних послуг Київського водосховища за період з 1988—2013 рр.

му (нульовому рівні) ієрархії (див. рис. 3) поставлено мету дослідження — «Оцінка екологічних функцій екосистеми Київського водосховища», на першому рівні — три екосистемні функції (послуги) водойми, що чутливо реагують на зміну абіотичних та антропогенних впливів, у першому блоці згруповані підтримувальна та ресурсна функція екосистеми, що включає в себе підтримання екологічної рівноваги найважливіших екологічних процесів та біотичного різноманіття та забезпечення біологічних та рекреаційних ресурсів [7]. Другий та третій блок відображає дві найбільш потужні виробничі функції водосховища, а саме використання його для потреб водопостачання (комунального господарства, промисловості, сільського господарства, зрошення й обводнювання) та видобутку гідроенергетики. На другому рівні використано джерела інформації, а саме засоби дистанційного зондування Землі та наземні спостереження. Третій рівень — фізіономічні та аналітичні характеристики, що об'єднують складові та показники, які впливають на стан водойми, а саме — гідрофізичні, гідрохімічні, гідробіологічні показники та отримані на основі дешифрування космічних знімків динаміки змін рослинності гідро- та гігротопів (водних та водно-болотних біотопів), мезотопів (пограничних сухопутних біотопів) та водної по-

верхні. Четвертий рівень — множина найбільш репрезентативних показників середовища водосховища по роках. Пріоритетність всіх блоків стосовно попереднього рівня визначалася експертом.

Експертне попарне порівняння елементів рівнів ієрархічної моделі. Метою побудови множини матриць є кількісне визначення коефіцієнтів відносної пріоритетності показників, які утворюють ієрархію. У відповідності зі специфікою методу необхідно, щоб всі елементи нижнього рівня ієрархії були порівняні експертом попарно стосовно кожного елемента верхнього рівня аж до вершини ієрархії. Так, згідно із рис. 3 кожний із трьох напрямків впливу змін водойми: підтримувальна та ресурсна функція екосистеми та дві виробничі функції, а саме водопостачання та гідроенергетика (рівень 1) характеризується своєю питомою вагою (коефіцієнтом важливості) з точки зору його значущості для «Оцінки екологічних функцій екосистеми Київського водосховища» (рівень 0). Для розрахунку цих коефіцієнтів на нульовому рівні ієрархії будується матриця переваг 3-го порядку. Таким чином всі вхідні статистичні дані переводяться експертом у бали. Ряд вхідних показників наведено у табл. 1.

До клітин матриці записуються результати попарних порівнянь критеріїв у залежності від їхньої значущості стосовно цілі — «Оцінки екологічних функцій екосистеми Київського водосховища». Попарні порівняння проводяться в термінах домінування одних елементів над іншими. Якщо порівнюються якісні фактори, то порівняння проводиться експертно з використанням шкали «відносної важливості» (шкали переваг) згідно із табл. 2. Таким чином опрацьовується кожен елемент ієрархії з 1-го по 4-й рівні включно. При цьому вхідні статистичні наземні показники та отримані по КЗ площі ПТК (табл. 1) мають різне значення для екосистемних послуг водосховища.

Так, всі елементи ієрархії були паралельно порівняні експертом попарно стосовно трьох напрямків екосистемних послуг водосховища (підтримування екологічної рівноваги, потреб водопостачання та гідроенергетики) та були оцінені у відповідні бальні значення в залежності

Таблиця 2. Шкала парних порівнянь Т. Саати

Відносна важливість (бали)	Ступінь переваги одного об'єкта у порівнянні з іншим
1, 2	Однакова важливість, рівна пріоритетність
3, 4	Один елемент трохи важливіший за інший (слабка перевага)
5, 6	Один елемент суттєво важливіший за інший (сильна перевага)
7, 8	Один елемент значно важливіший за інший (дуже сильна перевага)
9, 10	Абсолютна перевага одного над іншим
Обернені величини чисел, наведених вище	Якщо при порівнянні першого елемента з другим отримане значення балу 1—9, то при порівнянні другого елемента з першим матимемо обернену величину (1—1/9)

від рівня впливу на кожну функцію екосистеми. Наприклад, збільшення площ водних та водноболотних біотопів, з одного боку, призводить до негативних наслідків для виробничих послуг екосистеми (уповільнення течії та зменшення обсягів води несприятливе для потреб гідроенергетики), з іншого боку, воно сприяє відновленню природних ВБУ як ядер біорізноманіття рослинних та тваринних організмів.

Математична обробка експертних оцінок. Розрахунок локальних пріоритетів елементів ієрархії. На цьому етапі для кожної з матриць попарних порівнянь розраховуються компоненти власного вектора матриці (2) і провадиться їхнє нормування до одиниці (3). Таким чином визначається вектор локальних пріоритетів критеріальних складових кожного рівня ієрархії. Визначення локальних пріоритетів дозволяє ранжувати (лінійно упорядкувати) складові за ступенем їхньої відносної значущості на кожному рівні ієрархії стосовно елемента верхнього рівня [9]. У табл. 3 наведено отриману в ході розрахунків матрицю значень попарних порівнянь елементів четвертого рівня стосовно динаміки відкритої водної поверхні.

Перевірка узгодженості оцінок для порівнюваних елементів. Відносна узгодженість для системи в цілому характеризує зважене середнє значення відносної узгодженості по всіх матрицях порівнянь. При цьому узгодженість всієї ієрархії складає 0.043771, тобто 4.4 %, що менше, ніж значення 10 %, допустиме за теорією МАІ.

Наприклад, для матриці четвертого рівня індекс узгодженості дорівнює

$$IU = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{6.1571 - 6}{5} = 0.0314,$$

відношення узгодженості (ВУ) дорівнює 3.5 %.

Розрахунок глобальних пріоритетів елементів ієрархії. Після того як компоненти власного вектора отримано для всіх n рядків матриці, за формулою (3) визначається вектор локальних пріоритетів критеріальних складових кожного рівня ієрархії. Далі у відповідності зі значеннями векторів локальних пріоритетів (вагами) K^1 , K^2 , K^3 і K^4 визначаються значення згортки узагальненого критерію для порівнюваних років (4). Для прикладу приведемо вираз розрахунку F оцінки екологічного стану Київського водосховища для потреб гідроенергетики за 1988 рік:

$$F_r = x_{3/1}^2 (0.3570x_{1/1}^4 + 0.27506x_{2/1}^4 + 0.38062x_{3/1}^4) + x_{3/2}^2 (0.29035x_{6/1}^4 + 0.3149x_{5/1}^4 + 0.075065x_{4/1}^4),$$

де x_p — значення (або коефіцієнт переваги) показника середовища p для порівнюваних років.

Зіставлення значень згортки узагальненого критерію F для порівнюваних років дозволяє оцінити екологічний стан Київського водосховища за всією сукупністю складових, що визначають ієрархію для трьох екосистемних функцій (див. табл. 4). При цьому використані в обчисленнях вхідні наземні та дистанційні дані були однакові, а отримані на основі їхніх експертних попарних порівнянь значення відносної важливості були розраховані експертами окремо, в залежності від оцінки їхнього впливу на кожну з трьох екосистемних функцій.

Таблиця 3. Матриця попарних порівнянь четвертого рівня стосовно динаміки відкритої водної поверхні

Роки	1988	1993	1998	2003	2008	2013	$\prod_{j=1}^n \alpha_{1j}$	a_i	K_i ($X_{3/1-6}^4$)	λ_{\max}
1988	1	2	3	4	5	6	720	2.9938	0.3806	0.9325
1993	0.5	1	2	3	4	5	60	1.9786	0.2516	1.0775
1998	0.3333	0.5	1	2	3	4	4	1.2599	0.1602	1.1346
2003	0.25	0.3333	0.5	1	2	3	0.25	0.7937	0.1009	1.0932
2008	0.2	0.25	0.3333	0.5	1	2	0.0167	0.5054	0.0643	0.9960
2013	0.1667	0.2	0.25	0.3333	0.5	1	0.0014	0.3340	0.0425	0.8918
Разом	2.45	4.2833	7.0833	10.8333	15.5	21		7.8655	1	6.1256

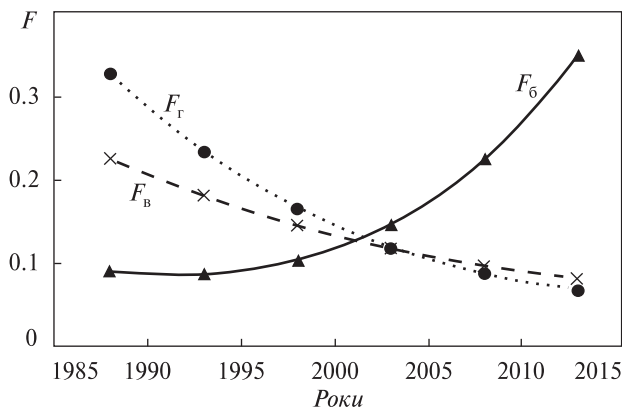


Рис. 4. Динаміка екосистемних функцій Київського водосховища за період 1988–2013 рр.

Таблиця 4. Значення узагальненого критерію $F_Б$, $F_В$, $F_Г$ (біорізноманіття, водопостачання, гідроенергетика) для порівнянних років (відносна шкала експертних оцінок екологічного стану водосховища)

Роки	$F_Б$	$F_В$	$F_Г$
1988	0.0897	0.2254	0.3265
1993	0.0875	0.1800	0.2341
1998	0.1050	0.1449	0.1656
2003	0.1456	0.1175	0.1184
2008	0.2238	0.0969	0.0874
2013	0.3484	0.0814	0.0681

Отримані результати свідчать про те, що за гідрофізичними та гідрохімічними показниками загальний стан водосховища дещо погіршується для соціально-економічних потреб людини. Так, уповільнення водообміну може вплинути на якість води у водосховищі та його рибні ресурси, як і зміна фізико-хімічних характеристик води, котру ми спостерігаємо. При цьому посилення заростання акваторій водосховища вищою водною рослинністю, що має певні негативні наслідки для господарських функцій водойми, можна розглядати як передумову відновлення біотичного різноманіття водойми та забезпечення екологічної рівноваги. Таким чином, водоймище, техногенне за своїм походженням, з плином часу все більше набуває рис природної водойми [2] з унікальними водно-болотними угіддями,

цінними для відтворення біорізноманіття та збереження місць перебування тварин.

Наочно динаміку екологічних функцій водосховища за період 1988–2013 рр. представлено на рис. 4.

ВИСНОВКИ

З використанням методу аналізу ієрархій обґрунтовано методику експертних оцінок для моделювання та визначення екологічних функцій екосистеми штучної водойми на прикладі Київського водосховища, яке, з одного боку, наближається до природних гідроекосистем, з іншого — зазнає інтенсивного впливу у зв'язку з комплексним використанням.

Поєднання використання даних наземного екологічного моніторингу та космічної інформації ДЗЗ, подальший їхній аналіз та математичне моделювання змін певних екологічних функцій гідроекосистеми під впливом антропогенного навантаження дозволило чітко оцінити сучасний екологічний стан водойм та спрогнозувати можливі трансформації. З'ясовано, що процеси, які відбуваються у водосховищі, мають різнонаправлене значення для виробничих та підтримувальних біорізноманіття функцій екосистеми. Так, процеси заростання водосховища вищою водною рослинністю призводять до збільшення ландшафтно-різноманітності середовища та, одночасно, до змін у деякого погіршення фізико-хімічних показників якості води. У подальшому, з врахуванням отриманого досвіду, доцільно вирішити, що є прибутковішим, тимчасове використання виробничих екопослуг, чи отримання сумарного ефекту від усіх функцій екосистеми та забезпечення оздоровлення всього русла Дніпра на майбутнє.

1. Батьковський А. М., Коробов С. П., Хрусталева Е. Ю. Об одном подходе к оценке вариантов реструктуризации оборонно-промышленного комплекса // Экономика и математические методы. — 2004. — 40, № 1. — С. 50–68.
2. Водно-болотні угіддя Дніпровського екологічного коридору. — Київ: НАН України, ІНЕКО, 2010. — 142 с.
3. Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. — Л.: Наука, 1981. — 185 с.

4. *Методи* гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка. — К.: ЛОГОС, 2006. — 408 с.
5. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
6. *Саати Т. Л., Керис К. П.* Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. под ред. И. А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1991. — 244 с.
7. *Соловій І. П., Кулешник Т. Я.* Трактуння ключових термінів концепції послуг екосистем з огляду на еколого-економічні дослідження ландшафтів // *Наук. праці Лісівничої академії наук України: зб. наук. праць.* — 2011. — Вип. 9. — С. 174—178.
8. *Тімченко В. М., Линник П. М., Холодько О. П. та ін.* Абіотичні компоненти екосистеми Київського водосховища. — Київ: Логос, 2013. — 60 с.
9. *Федоровский А. Д., Якимчук В. Г., Боднар Е. Н., Козлов З. В.* Оценка эффективности космических систем ДЗЗ на основе метода анализа иерархий // *Космічна наука і технологія.* — 2005. — **11**, № 3/4. — С. 75—60.
10. *Daily G. C.* Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems. — Washington: IslandPress, 1997. — P. 1—10 p. [Electronic resource]. — Mode of access: <http://gcpolcc.org/group/ecosystem-services-team/page/es-resources>
11. *Groot R. S.* Functions of nature: Evaluation of nature in environmental planning, management and decision making. — Groningen: Wolters-Noordhoff BV, 1992. — 315 p.
12. *Saaty T. L.* An eigenvalue allocation model for prioritization and planning // *Energy Management and Policy Center, University of Pennsylvania, 1972.*
13. *Saaty T. L.* Multicriteria decision making. The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. — University of Pittsburgh, RWS Publications, 1990.

Стаття надійшла до редакції 28.05.14

О. В. Томченко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ КИЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА БАЗЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Обосновывается возможность использования метода анализа иерархий для оценки экосистемных услуг Киевского водохранилища с сочетанием результатов дешифрирования материалов ДЗЗ и наземных наблюдений (гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических показателей) за период 1988—2013 гг. Дана критериальная оценка физиономических и аналитических характеристик водоема и путем вычисления их приоритетов выполнен анализ состояния водохранилища как для поддержания биотического разнообразия, так и с позиции использования его для производственных нужд человека (коммунального водоснабжения и производства гидроэлектроэнергии).

О. В. Томченко

USING REMOTE SENSING IMAGERY AND GROUND-BASED OBSERVATIONS FOR INTEGRATED ASSESSMENT OF THE KYIV RESERVOIR'S ECOSYSTEM SERVICES ON THE BASIS OF ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

We substantiate the possibility of using analytic hierarchy process to assess the ecosystem services of the Kyiv reservoir for the period from 1988 to 2013, combined with interpreted remote sensing imagery and ground-based observations (hydrophysical, hydrochemical, and hydrobiological parameters). A criterial evaluation of the reservoir's physiognomic and analytical characteristics is given and the reservoir's state is analyzed through the calculation of their priorities from the positions of maintaining biological diversity and using it for human needs (municipal water supply and hydropower production).