

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ РІЧКОВИХ ЕКОСИСТЕМ НА ПРИКЛАДІ Р. ПІВДЕННИЙ БУТ

Андрєєв В.І., Случак О.І., Случак О.І., Алексєєва А.О., Крисінська Д.О.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

вул. 68 Десантників, 10, 54000, м. Миколаїв

avi@chmnu.edu.ua, slu4ok@gmail.com, ill69mill@gmail.com,

anna.aleksyeyeva@chmnu.edu.ua, d_krysinska@chmnu.edu.ua

Авторами досліджено особливості сучасних підходів до визначення вартості екологічних послуг водних екосистем. Встановлено необхідність розробки методики автоматичного розрахунку вартості екосистемних послуг, адже дане питання є не достатньо вивченим в наукових публікаціях, як українських так і закордонних вчених. Метою дослідження була розробка методики обчислення економічного еквіваленту екосистемних послуг з застосуванням чітко визначеного набору величин, що дозволить автоматично корегувати ціну екосистемних послуг в реальному часі. Об'єкт дослідження – методики обліку екосистемних послуг водойм, предмет – автоматизація та токенизація екосистемних послуг річки Південний Буг. Використовуючи існуючу систему еколого-економічного обліку SEEA EEA, сучасні програмні пакети, дані власних експедиційних досліджень було сформовано методику оцінювання екосистемних послуг, що базується на використанні математичних моделей властивостей екосистеми водного об'єкту для розрахунку максимальних величин вартості екологічних послуг, використанні поправочних коефіцієнтів для формування рівноважної моделі та застосуванні реальних вимірювань для розрахунку реальних параметрів. Це дозволило створити метод розрахунку упущеної вигоди від невідповідності моделі ідеальним параметрам, а також розрахувати потенційні та реальні доходи від екосистемних послуг. В процесі дослідження створено модель фотосинтезу та застосовано понижуючі коефіцієнти на основі індексу екологічної безпеки водойми для отримання реалістичної величини біопродуктивності та відповідно обчислено реалістичну здатність водойми до депонування карбону. В результаті отримано 0,682913 тонн на гектар, що дає 66,25 дол/га за існуючими розцінками. За тією ж моделлю по схемі харчового ланцюгу розраховано біомасу риби та середню ринкову вартість екосистемної послуги як 94,52 дол/га. Ряд інших параметрів розраховано на основі статистичної інформації. Запропоновано концепцію токенизації отриманих моделей для формування ринку екологічної криптовалюти (NFT), що має стимулювати інфраструктурні проєкти та розростання системи моніторингу. В підсумку закладено основу для подальшого розширення розробленої концепції та продовження наукових досліджень, що дозволить створити систему не тільки реального оцінювання вартості послуг водних об'єктів, а головне – встановити справедливе відшкодування завданої шкоди та підвищити розуміння цінності водних екосистем. *Ключові слова:* екологічна безпека, водойми, моделі оцінювання, токенизація, NFT, депонування карбону.

Development of the methodology for assessment of ecosystem services of river ecosystems on the example of the Southern Bug River. Andreev V., Sluchak O., Sluchak O., Alekseeva A., Krysinska D.

The authors investigated the peculiarities of modern approaches to determining the value of ecological services of aquatic ecosystems.

The need to develop a methodology for automatically calculating the cost of ecosystem services has been established, because this issue is not sufficiently studied in scientific publications.

The purpose of the study was to develop a methodology for calculating the economic equivalent of ecosystem services using a clearly defined set of values that would allow for automatic real-time price adjustments of ecosystem services.

The object of research is methods of accounting for ecosystem services of water bodies, the subject is automation and tokenization of ecosystem services of the Southern Bug River. Using the existing SEEA EEA ecological and economic accounting system, modern software packages, data from own expedition research, a methodology for evaluating ecosystem services was formed.

The method proposed by the authors is based on the use of mathematical models of the properties of the ecosystem of the water body to calculate the maximum values of the cost of ecological services, the use of correction coefficients for the formation of an equilibrium model, and the application of real measurements to calculate real parameters.

This made it possible to create a method for calculating the lost benefit from the non-compliance of the model with ideal parameters, as well as to calculate potential and real income from ecosystem services.

In the process of research, the authors created a model of photosynthesis and applied reducing coefficients based on the ecological safety index of the reservoir to obtain a realistic value of bio productivity.

The realistic ability of the water body to deposit carbon was calculated. As a result, 0.682913 tons per hectare were obtained, which gives 66.25 dollars/ha at current rates.

Using the same food chain model, the authors calculated fish biomass and the average market value of the ecosystem service as \$94.52/ha. A number of other parameters are calculated on the basis of statistical information.

The concept of tokenization of the received models is proposed for the formation of the ecological cryptocurrency (NFT) market, which should stimulate infrastructure projects and the growth of the monitoring system.

As a result, the foundation has been laid for the further expansion of the developed concept and the continuation of scientific research, which will allow the creation of a system not only for the real assessment of the value of the services of water bodies, but most importantly – to establish a fair compensation for the damage caused and to increase the understanding of the value of water ecosystems. *Key words:* environmental security, reservoirs, valuation models, tokenization, NFT, carbon sequestration.

Постановка проблеми. Проблематика відсутності єдиної системи фінансового аудиту екосистемних послуг (ЕП) є однією з ключових проблем регулювання природокористування в рамках сталого розвитку. Необхідність чисельного вираження вигоди, що приносить екосистема річки є особливо важливою при визначенні обсягів екосистемних платежів, відшкодування шкоди, завданої екосистемі, встановленні плати за природокористування та обґрунтуванні необхідності затрат на певні інфраструктурні проекти.

Актуальність дослідження. Основна методологія, яка наразі використовується в проєктах під егідою ООН базується на системі еколого-економічного обліку (SEEA EEA) [1], а також ряді методик, розроблених в рамках Проєкту економіки екосистем та біорізноманіття (ТЕЕВ) [2], проте, попри чітко визначену послідовність дій при здійсненні обліку екосистемних послуг, методики безпосереднього розрахунку вказаних параметрів зазвичай розробляються індивідуально. Однозначних формул для розрахунку економічної вигоди від використання екосистемних послуг в науковій періодиці та методичних рекомендаціях вказаних вище проєктів ООН знайти не вдалось, тому їх розробка лишається актуальною.

Об'єкт дослідження – методики обліку екосистемних послуг водойм.

Предмет дослідження – автоматизація та токенизація екосистемних послуг річки Південний Буг.

Мета дослідження – розробка методики обчислення економічного еквіваленту екосистемних послуг з застосуванням чітко визначеного набору величин, що дозволить автоматично корегувати ціну екосистемних послуг в реальному часі.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

1. Створити список екосистемних послуг для водного об'єкту (тільки тих на які можна впливати через інфраструктурні заходи з вказуванням таких заходів).

2. Розробити формули розрахунків вартості екосистемних послуг для кожного з вказаних в переліку параметрів.

3. Запропонувати механізм додаткового залучення коштів на інфраструктурні екологічні проєкти з використанням розробленої системи розрахунків.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Проведене авторами дослідження різних методик оцінювання екосистемних послуг річкових екосистем, проведено в рамках виконання чергового етапу виконання НДР 0120U101959 «Науково-практичне обґрунтування та визначення стенобіотного підходу щодо забезпечення національної екологічної безпеки водних екосистем України».

Практична значущість результатів дослідження полягає в створенні базових та динамічних моделей

оцінювання екосистемних послуг, питома вартість яких розрахована для річки Південний Буг, що може стати взірцем для подібних досліджень інших річок.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання оцінки екосистемних послуг водних об'єктів в науковій періодиці України розроблювалось дещо ширше для лісів, але і водним об'єктам було приділено певну увагу. Так для водно-болотних угідь подібні розрахунки проводили [3], [4], [5], для озер [6], для каскаду водосховищ [7], для водних об'єктів загалом [8].

Зазвичай виділяють три основні категорії екосистемних послуг [9] послуги постачання (матеріальні та енергетичні ресурси), регулюючі послуги (наприклад регулювання клімату, водності та вмісту карбону в атмосфері) та культурні послуги (інтелектуальні та рекреаційні). Водночас інколи [10] додатково виділяють ще підтримуючі послуги, проте їх можна також віднести до регулюючих.

Основним прикладним напрямком використання ЕП є [8]: виявлення зацікавлених сторін (постачальників та користувачів екосистемних послуг), оцінка та проведення переговорів щодо визначення компенсаційних заходів в зв'язку з користуванням екосистемними послугами.

Якщо окремо оглядати методологію для кожної з категорій, можна чітко встановити відсутність єдиної системи таких розрахунків [9].

Так платежі за екосистемні послуги при водозаборі [10] можуть бути ефективним інструментом сталого водокористування, але крім безпосередньої плати за забрану воду треба враховувати шкоду, нанесену ґрунтам через засолювання та ряд інших параметрів, що можуть завдавати збитки фермерським господарствам. Разом з тим необхідно враховувати енергетичну ефективність водозабору [11] та вторинний вплив на інші компоненти екосистеми.

Здатність екосистеми до самоочищення, як екосистемна послуга, має обов'язково бути врахована в загальній сумі розрахунків шкоди заподіяних забрудненням навколишнього середовища [12]. Крім того, варто визначати втрати інших типів ресурсів (затрати на очистку води для водокористування, загибель біоресурсів, втрата рекреаційної цінності і ін.).

Зазвичай рекреаційна цінність [13] являє собою елемент, який обчислюють з урахуванням середнього доходу від рекреаційної діяльності. Проте, на нашу думку, такі обчислення необхідно виконувати, використовуючи дані відвідування туристами певного об'єкта за розцінками реклами, адже основний дохід туристи приносять при оплаті свого проживання, харчування та інших потреб, тому оплата екосистемних послуг має включатись в дані витрати.

Розрахунок вигоди від біорізноманіття та генетичного різноманіття біотопів [14] є надзвичайно складною величиною, що потребує індивідуального підходу з урахуванням наявності та чисельності

видів, їх ролі в екосистемі та потенційної ролі в різних сферах життя людини. В той же час методика оцінки цінності геномів потребує додаткових складних досліджень.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Подібні дослідження визначення вартості екологічних послуг водних об'єктів можна знайти в статтях таких науковців, як Васенко О. Г., Дегтярь Н. В., Назаренко О. М., Протасов О. О., Шевченко Г. М., та ін. [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13]. Проте в попередніх публікаціях не приділялося достатньої уваги питанням можливості і необхідності автоматичного корегування ціни екосистемних послуг в реальному часі. Окрім того, не досліджувався такий практичний напрям, як токенизація екосистемних послуг та формування ринку екологічних криптовалют. Адже саме така спрямованість може дозволити в недалекому майбутньому створити систему не тільки реального оцінювання вартості послуг водних об'єктів, а головне – встановити справедливе відшкодування завданої шкоди та підвищити розуміння цінності водних екосистем.

Новизна отриманих результатів дослідження полягає в тому, що розроблено методику обчислення еквіваленту екосистемних послуг з застосуванням чітко визначеного набору величин, що дозволяє автоматично корегувати ціну екосистемних послуг в реальному часі.

Матеріали та методи дослідження. В процесі розробки та інтерпретації моделей застосовувались програмні пакети *Excel*, *Curve Expert*, *Google Maps*.

При проведенні нашого дослідження, було використано систему еколого-економічного обліку SEEA EEA.

Окрім того, дані власних експедиційних досліджень 2021 року, проведених в рамках етапів виконання НДР 0120U101959 («Науково-практичне обґрунтування та визначення стенобіотного підходу щодо забезпечення національної екологічної безпеки водних екосистем України») для визначення поправочних коефіцієнтів шляхом вимірювання ІЕБ (індексу екологічної безпеки) водойми.

Методика дослідження базується на використанні математичних моделей властивостей екосистеми водного об'єкту для розрахунку максимальних величин вартості екологічних послуг, використанні поправочних коефіцієнтів для формування рівноважної моделі та застосуванні реальних вимірювань для розрахунку реальних параметрів. Це дозволить створити метод розрахунку упущеної вигоди від невідповідності моделі ідеальним параметрам, а також розрахувати потенційні та реальні доходи від екосистемних послуг (наприклад, потенційна здатність водойми депонувати вуглець, та реальна здатність за NDVI-індексом, глибиною літоралі або на основі біомаси хлорофілу).

Отримавши всі необхідні параметри можна закласти основу для мобільного застосунку, що автоматично розраховуватиме та оновлюватиме таблицю екосистемних послуг.

Це стане передумовою для заходів з залучення коштів на проекти рекультивації водойм.

Основна гіпотеза дослідження полягає в тому, що спираючись на означену методику можна буде створити ринок екологічних послуг на базі токенизації екологічної інфраструктури та системи моніторингу водних об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Перш за все розробимо список екологічних послуг, впливати на які можна за допомогою інфраструктурних проєктів.

Основою більшості розрахунків буде використання енергетичного підходу в формуванні моделі питомого приросту ресурсів екосистеми.

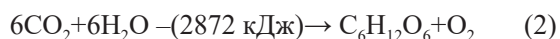
Так було розроблено модель надходження сонячної енергії на одиницю площі водойми залежно від широти (1) з коефіцієнтами (табл. 2)

$$E = a + b \cdot \cos(c \cdot L - d) \quad (1)$$

За допомогою сонячного калькулятора розраховуємо тривалість сонячного дня на означеній широті та вираховуємо тривалість надходження сонячного світла. Звичайно, кут падіння сонячних променів, ступінь коливання та ряд інших параметрів впливають на надходження енергії, зменшуючи її. В даному випадку беремо розрахований середній поправочний коефіцієнт в 0,58.

Враховуючи це, лишається додати ККД фотосинтезу, який беремо за 1,26 % (для ціанобактерій 30 %).

Для розрахунків екологічної стехіометрії використовуємо формулу фотосинтезу (2):



Унаслідок поглинання 264 г CO_2 утворюється 180 г глюкози та 192 г O_2 .

Кількість світлих годин в вегетаційний період 3205,37. Завдяки цьому можемо отримати кількість енергії 2507059,1 кДж/м² з яких 18321,5881 кДж/м² асимілюється в процесі фотосинтезу. А це означає потенційну можливість поглинання 1684,16 г CO_2 , утворення 1224,8 г O_2 та 1148,29 г біомаси за ідеальних умов. При цьому 1 га це 10000 м², тому на гектар припадатиме можливість депонування 16,8416 тонн вуглекислого газу на рік за ідеальних умов. На реальну ефективність росту біомаси впливає рівень перемішування, що розраховується у вигляді енергетичного індексу екологічної безпеки за санітарним пропуском та становить 0,14 з потрібних 0,29, тобто дає поправочний коефіцієнт 0,49. Також подібний коефіцієнт дає і токсикологічний відгук у вигляді токсикологічного індексу екологічної безпеки, що визначає категорію забрудненості водойми. У випадку з річкою Південний Буг він становить 0,31. Таким чином, отримуємо 2,5024 тонни на гектар. Проте дослідження проводимо для визначення

Таблиця 1

Типи екосистемних послуг та способи впливу на них

Тип	Екосистемна послуга	Спосіб впливу
Постачання	Продовольство (Риба, Водна рослинність, Молюски-фільтратори, об'єкти інсектофагії, змішана фауна)	Випускання малька, створення штучних рифів та ін. середовища для життя, підгодовування, биття лунок та заходи проти термодіфузії
	Сировина (пісок, очерет)	Заходи з берегоукріплення
	Лікарська сировина	Знищення інтродуцентів
	Біорізноманіття та генетичне різноманіття	Боротьба з інтродуцентами
	Питна вода та зрошення	Створення системи випаровування та конденсації морської води з транспортуванням до витоків, система фільтрів.
	Простір для аквакультури	Заходи з ізоляції аквакультури
	Енергія (кінетична для водотоків, енергія надлишку фітопланктону, місце для вітряків та сонячних батарей)	Контроль зарегульованості, механізм збору фітопланктону при цвітінні
Регулююча	Охолодження АЕС	Боротьба з тепловим забрудненням
	Саморегуляція екосистем	Запускання природних ворогів та інші методи боротьби з інтродуцентами
	Кліматорегулююча	Затінювання, вплив на відбиваючі властивості
	Водорегулюючі	Заходи з захисту від підтоплення
	Асиміляційна	Прискорення самоочищення додатковою аерацією, геохімічні пастки
	Депонування вуглецю	Створення більш продуктивних штабів фітопланктону. Освітлення дна та додаткове перемішування
Культурна	Рекреаційна	Створення унікальних арт-інсталяцій з природних матеріалів на місці
	Культурна	Використання образів в мистецтві
	Оздоровча	Штучне культивування біотопів бактерій, що утворюють лікарські грязі
	Науково-освітня	Дослідження та експедиції, створення нормальної науково-туристичної бази.

Таблиця 2

Коефіцієнти функції приходу сонячної енергії

Місяць	Значення коефіцієнтів			
	a	b	c	d
Квітень	121,77	144,08	0,032	0,283
Травень	174,44	99,04	0,037	0,8099
Червень	239,595	45,788	0,055	1,774
Липень	244,243	41,52	0,058	1,957
Серпень	191,744	81,367	0,041	1,029
Вересень	102,213	160,82	0,029	0,9385
Жовтень	129,195	133,909	0,036	0,3826

значення депонування саме вуглецю, молекулярна маса якого становить 0,2729 від маси вуглекислого газу. Звідси отримуємо значення 0,682913 тонн на гектар. Плата за 1 т фіксованого вуглецю на сьогоднішній день становить 97 доларів. Це дає значення в 66,25 доларів на гектар від екосистемної послуги по депонуванню вуглецю.

Відповідно, загальна формула розрахунку для теоретичної моделі екосистемної послуги по депонуванню вуглецю матиме вигляд (3):

$$P_{C_{mod}} = 0,2729 \cdot \Delta P_C \cdot \frac{264 \cdot \eta \cdot t \cdot E \cdot k_W}{2872} \cdot S \cdot I_{Tox} \cdot I_E, \quad (3)$$

де η – ККД фотосинтезу; t – сума тривалості світлових днів за період без біологічної зими для означеної широти; E – питоме надходження сонячної енергії на метр квадратний; k_W – коефіцієнт втрати енергії, що розраховується на основі відбиття, хвилювання та ряду інших факторів; S – площа досліджуваної ділянки водойми, або її площа водного дзеркала в цілому; I_{Tox} – токсикологічний індекс екологічної безпеки, що розраховується на основі відношення зафіксованої чисельності досліджуваних організмів відносно історичного максимуму; I_E – енергетичний індекс екологічної безпеки, що розраховується

за відношенням санітарного пропуску реального до зафіксованого та характеризує зарегульованість; ΔP_C – питома сума доходу від депонування тонни вуглецю, встановлена нормативами ООН.

Для реальних показників застосовуємо формулу 4:

$$P_{C_{real}} = 0,2729 \cdot \Delta P_C \cdot \frac{264 \cdot M_{C_{fit}}}{180}, \quad (4)$$

де $M_{C_{fit}}$ – маса фітопланктону для досліджуваної площі водойми, розрахована за глибиною літоралі, концентрацією хлорофілу або NDVI-індексом.

В процесі розробки моделі екосистемної послуги з продовольства за основу обираємо лише такий аспект, як кількість виловленої риби, адже по інших параметрам продовольства не ведеться регулярний облік. Виключенням може бути облік водоплаваючої птиці в мисливстві, але в такому випадку буде потрібно проводити додаткові дослідження, що ускладнить модель.

При розрахунку доходу від екосистемної послуги по вилову риби застосовується три змінні – питома кількість риби на гектар площі водного дзеркала водойми, площа водойми та усереднена ціна риби.

Для розрахунків моделі (5) було взято балансний питомий річний приріст біомаси риби з урахуванням поправочних коефіцієнтів (17,44 кг/га), розрахований за правилом екологічної піраміди на основі енергетичної моделі водойми.

$$P_{F_{model}} = \Delta P_F \frac{180 \cdot \eta \cdot t \cdot E \cdot k_{RW} \cdot S}{2872 \cdot 10 \cdot N \cdot S}, \quad (5)$$

де N – номер рівня екологічної піраміди, на якому знаходиться досліджуваний ресурс.

Для реальних розрахунків (6) беремо реальне добування риби у внутрішніх водних об'єктах за 2021 рік, що становить 22663 тонни. Їх площа 2420000 гектар. Це дає 9,37 кг з гектара і означає що ресурс річного приросту не вичерпується. Середню ціну риби візьмемо за 5,42 долара за кг. Таким чином отримуємо ціну екосистемної послуги для моделі в 94,52 дол./га, а для реальних виловів 50,79 дол./га.

$$P_{F_{real}} = \Delta P_F \frac{M_F}{S}, \quad (6)$$

де M_F – маса виловленої за рік риби.

При проведенні розрахунку екосистемної послуги по будматеріалам, у вигляді добування піску керуємося тим, що пісок є відновлюваним ресурсом, який поповнюється за рахунок намівання, тому величина річного твердого стоку є прямим показником відновлення даного ресурсу. Для річки Південний Буг дана величина становить близько 900 тис. тонн на рік. Для теоретичного розрахунку екосистемної послуги використовуємо формулу 7:

$$P_{S_{model}} = \Delta P_S \frac{M_S}{S}, \quad (7)$$

де ΔP_S – величина річного твердого стоку; ΔP_S – ринкова ціна піску.

Це дає нам доступний рівень екосистемної послуги в 0,372 тонни на гектар, або 2,02 дол./га.

Обсяги річкового піску, що добуваються в Україні на рік становлять біля 14 млн тонн (ще стільки ж добувається нелегально, тому при розрахунках цифру подвоюємо). Розрахунок ведемо за формулою (8):

$$P_{S_{real}} = \Delta P_S \frac{M_{ms}}{S}, \quad (8)$$

де M_{ms} – обсяги добування піску на рік.

Беремо за основу площу водойм в 2 420 000 гектар. Тоді екосистемна послуга з добування піску становитиме близько 11,57 тонн з гектару на рік, що по нинішнім цінам становить 31-63 дол./га (беремо за 62,7). Це означає, що існуюча інтенсивність добування піску є проявом хижацького ставлення до екосистеми, адже добування перевищує відновлення.

Для теоретичного розрахунку екосистемної послуги від очерету, як будматеріалу, необхідно розрахувати площу теоретично оптимальних умов для росту. Це заболочена частина прибережної смуги не більше 2% площі водного дзеркала, тобто до 48400 га. При урожайності 12-16 т/га та ціні 2500 грн/т (67,57 \$) отримуємо потенційний обсяг екологічної послуги на рівні в 16,22-21,62 дол./га середнє (18,92) за формулою (9):

$$P_{R_{model}} = \frac{\Delta P_R \cdot m_R \cdot S_R}{S}, \quad (9)$$

де ΔP_R – питома ціна очерету, що використовується як паливо в пелетах; S_R – урожайність очерету; m_R – площа заростей.

Окрім того, можна вивести дані про доступний ресурс за допомогою вимірювання площі, зайнятої заростями очерету на гугл-картах та використання означених довідкових даних про урожайність за тією ж формулою.

Лікарська сировина є одним з погано регульованих елементів природокористування. Якщо на комерційний збір лікарських рослин в лісах існує спеціальна рентна плата, а також ліміт для власного користування в 10 кг, то для річкової екосистеми таких обмежень не встановлено. Для визначення вартості екосистемної послуги зі збору лікарських рослин, необхідно проводити експедиційні вимірювання для визначення відсотку таких рослин в загальній структурі різнотрав'я в прирусловій частині фітоценозу та розраховувати загальну цінність екосистемних послуг зі збору лікарських рослин, отримання насіннєвого матеріалу та сінокошу.

Для прируслової частини Південного Бугу характерне таке видове різноманіття різнотрав'я, а саме: костриця лучна (урожайність сіна 50–80 ц/га в 53–55 кормових одиниць); бекманія звичайна (зернова культура 150–200 кг/га та набивка матраців); китник лучний або лисохвіст (45–75 ц/га сіна та 1,5–4 ц/га насіння); очеретянка звичайна або злакова трава (енергетична культура, грамін в ній є шкідливим для худоби);

лепешняк великий (сіно, зерно та покривна культура); гірчак перцевий (кровоспинне, сечогінне, проти гемо-рою та запорів); жовтець їдкий (засіб від туберкульозу шкіри, захворювання печінки, бронхіти, зубний біль, інсектицид); жовтець повзучий (отруйний, проти корости, бородавок, міозитів, подагри, ревматизму, пухлин, артритів); незабудка болотна (хвороби очей, потогінне, захворювання статевих органів, пухлини рота); кульбаба лікарська (травна система, ревматизм, тиск і ін).

Основними цінними видами, що формують екосистемну послугу біорізноманіття є саме ендемічні види. В межах фітоценозу Південного Бугу це: волошка савранська, козельці великі; реліктові: хвощ великий, бруслина мала, медунка м'яка, червонокнижне біле латаття та ін. Їх господарське використання є неможливим, тому основним критерієм оцінки є розмір компенсації за незаконне використання червонокнижних і рідкісних біоресурсів, визначений постановою Кабінету Міністрів України від 7 листопада 2012 року № 1030 @Про розмір компенсації за незаконне добування, знищення або пошкодження видів тваринного і рослинного світу, занесених до Червоної книги України, а також за знищення чи погіршення середовища їх перебування (зростання)@. Відповідно, для екосистемної послуги даного типу необхідно проводити експедиційні дослідження, фіксуючи частоту знаходження різних видів з означеного в постанові списку, та екстраполюючи на площу водойми розраховувати фінансовий аспект за зазначеними в документі сумами компенсацій.

Водокористування та водозабір для держави приносить прибуток у вигляді рентної плати в розмірах, встановлених Ставками на спеціальне використання води пп. 255.5 ПКУ. Для Південного Бугу це 63,97 грн за 100 куб м. За даними басейнового управління щорічно забирається близько 84 млн куб м, то загальний ресурс екологічної послуги для р. Південний Буг становить 34,71 м³/га, або 0,6 дол/га. Розрахунок ведеться за формулою 10:

$$P_w = \Delta P_w \cdot \frac{V_y}{S}, \quad (10)$$

де V_y – об'єм водозабору; ΔP_w – ціна ренти за водокористування.

Використання водойм в енергетиці може бути оцінено (11) через зарегульованість, саме в тих міс-

цях, де розміщено ГЕС, в якості джерела води для гідроаккумуляції, джерела води для охолодження АЕС або як простір для розміщення енергогенеруючих установок. В таблиці 3 зазначено інформацію про потенційний дохід від такого використання у вигляді енергії та її вартості по зеленому тарифу.

$$P_E = \Delta P_E \frac{E \cdot \eta_E}{S}, \quad (11)$$

де η_E – ККД енергетичної установки.

Здатність екосистем до саморегуляції визначається за рахунок прямих спостережень. Так цвітіння води, зокрема, є порушенням здатності до саморегуляції, а точніше перевищенням максимальної спроможності до самоочищення водойми. В біологічному відношенні процеси саморегуляції мають розраховуватись на основі індикаторних показників, наприклад реакції дафній на зростання тієї чи іншої групи хижаків (відрощування шипів та зміна форми), фіксації вмісту кайромонів у воді, а також за результатами вилову. Значну шкоду такому типу екосистемних послуг завдають інтродуценти у яких немає природних ворогів. В фінансовому вираженні здатність до саморегуляції оцінюватиметься на базі втраченої вигоди. Зайва біомаса консумента – це втрачена біомаса корисного виду, що займає одну з ним нішу та кормової бази. Відповідно, визначена методом ловів чисельність „сорних риб” виражається в грошовому еквіваленті ринкової ціни цінних порід. За нормального функціонування водойми даний показник становитиме близько 10% від показника Добування риби.

Кліматорегулююча властивість розраховуватиметься за формулою 12 на основі площі водного дзеркала, рівня випаровування води, коефіцієнта відбивання. Попередній розрахунок дає близько 2,17 дол/га.

$$P_K = \Delta P_K \frac{E \cdot t \cdot k_{RW}}{L}, \quad (12)$$

де L – питома теплота пароутворення.

Водорегулююча властивість у випадку з Південним Бугом, що живиться від підземних вод, скоріше приносить збитки, ніж економічну вигоду. Тут варто провести комплексний аналіз даних про підземні води та обрахувати який їх обсяг бере на себе річка при живленні за формулою (13):

$$P_{UW} = \Delta P_{UW} \frac{V_{UW} - V_R}{S}, \quad (13)$$

Таблиця 3

Річний потенціал енергетики при використанні водного простору для розміщення установок

Назва	Кількість, кВт/га	Вартість, дол/га
Вітрова енергія	259 700	42 590,8
Фотоелектричні елементи	980 253	160 761,49
Тарілчасті СЕС	1 960 506	317 601,97
Вирощування мікрроводоростей на біопаливо	1 501 292	243 209,3

Таблиця 4

**Вартість екосистемних послуг
для р. Південний Буг**

Назва екосистемної послуги	Питома вартість на гектар, дол/га
Депонування вуглецю	66,25
Виллов риби	94,52
Очерет	18,92
Водозабір	0,6
Пісок	62,7
Розміщення об'єктів енергетики	42-250 тис
Кліматорегулююча	2,17
Саморегуляція	9,5
Рекреаційна	5,2
Біорізноманіття	за результатом експедицій та польових досліджень

де V_{UW} – питомий оціночний річний обсягів підземних вод; V_R – затрати підземних вод на живлення річки; ΔP_{UW} – рента за користування підземними водами або ціна вод за ринковою вартістю.

Найбільш складним розрахунком економічної вигоди від екосистемних послуг буде Культурна категорія, адже деякі з її елементів досить складно виразити в грошовому еквіваленті.

Так туристична роль водних об'єктів може бути виражена через стандартні розцінки на рекламу за кількістю туристів, що їх відвідали, або за стандартними витратами одного туриста пропорційно до часу, що він проводить біля того чи іншого об'єкту. За першим випадком це буде приблизно 5,2 дол. на 1000 туристів, а в другому підрахунок може бути лише індивідуальний (проте можна брати лише доходи, що отримує бізнес на пляжі пропорційно до ділянки де він розміщений). Те саме з оздоровчою роллю.

Культурна роль в грошовому еквіваленті не може бути виражена ніяк, крім як через ті суми, що закладаються в відшкодування шкоди, завданої об'єктам культурної спадщини.

Науково-освітня роль екосистемних послуг водної екосистеми виражається через систему дозволів на цільове природокористування, а також роль в підготовці фахівців різних галузей. Оптимальним виглядає варіант вираження цінності отриманої наукової інформації за кількістю людей, що з нею ознайомились (кількістю переглядів по аналогії з YouTube). Лишається питання якою буде ціна за один перегляд, що потребує додаткових розрахунків.

Відповідно, на базі проведених розрахунків було визначено ряд питомих показників для річки Південний Буг та закладено основу для формування методики розрахунку, що підходить для автоматизації обліку екосистемних послуг.

В табл. 4 відображено узагальнені актуальні дані по вартості екосистемних послуг, що піддаються обліку без додаткових узгоджень.

Відповідно, отримані методики дозволяють створити систему формування плаваючої ціни екосистемних послуг, яка може стати основою для утворення паралельного ринку екосистемної криптовалюти.

Для цього потрібно буде створити на регіональному чи державному рівні блокчейн, де розміщуватимуться унікальні NFT з модельними параметрами реальних ділянок водойми по 1 га.

Ці токени матимуть ціну по стартовій рівноважній моделі. За тиждень після випуску держава, що триматиме частину з них в резерві буде готова в будь який момент викупити їх по плаваючій ціні, розрахованій за матрицею з аналогічною формулою та підстановкою реальних параметрів, які постійно оновлюватимуться.

При цьому з певним інтервалом за допомогою результатів моніторингу буде випускатись колекційний токен, що містить унікальні дані за певний момент часу (ціна за якою в цей момент можна продати базовий токен державі), який вже не буде підкріплений державою.

Це призведе до того, що торгівля базовим NFT йтиме за ринковими законами, але за рахунок обмеженої кількості та часткового резервування він рідко досягатиме ціни, за якою його викуповуватиме держава. В той же час його ціна стимулюватиметься колекційною цінністю через тих, хто бажатиме викупити токени з даними поточних моніторингів для однієї і тієї ж ділянки.

Якщо система працюватиме, коштів від колекційних токенів вистачить на утримання системи моніторингу, а ринок базових токенів стимулюватиме державу та приватні фірми на реалізацію інфраструктурних екологічних проєктів.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. Авторами було закладено фундамент для розробки методології оцінювання екологічних послуг водного об'єкту.

Отримана базова та динамічна моделі можуть стати основою для токенизації екосистемних послуг та формування ринку екологічних криптовалют.

Було виявлено ряд проблем в чисельному вираженні певних параметрів екосистемних послуг, що стане предметом наступних досліджень.

В умовах післявоєнного відновлення подібні методи залучення інвестицій набудуть особливої важливості, а за їх успішності можуть стати загальносвітовою практикою.

Окрім того, створенні моделі оцінювання екосистемних послуг, питома вартість яких розрахована для річки Південний Буг, можна використати для дослідження інших річок.

Література

1. UNSD (2020). Using the SEEA EA for Calculating Selected SDG Indicators. United Nations Statistics Division, Department of Economic and Social Affairs, New York. URL: https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/documents/Indicators/3._using_the_seea_ea_for_calculating_selected_sdg_indicators.pdf (дата звернення 21.09.2022).
2. TEEB, 2010. The economics of ecosystems and biodiversity. Mainstreaming the economics of nature. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. URL: <https://teebweb.org/publications/teeb> (дата звернення 21.09.2022).
3. Дегтярь Н. В. Механізми фінансування та стимулювання збереження екосистемних послуг водно-болотних угідь. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2013. № 4. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mimi_2013_4_32 (дата звернення 21.09.2022).
4. Дегтярь Н. В. Управління екосистемними послугами водно-болотних угідь: механізми формування та напрямки реалізації. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Економіка і менеджмент*. 2013. Вип. 12. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_ekon_2013_12_9 (дата звернення 21.09.2022).
5. Дегтярь Н. В. Інституційні основи управління екосистемними послугами водно-болотних угідь. *Інвестиції: практика та досвід*. 2013. № 5. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ipd_2013_5_22 (дата звернення 22.09.2022).
6. Шевченко Г. М. Екосистемні послуги озер як об'єкт рекреаційного менеджменту. *Вісник Сумського державного університету. Серія: Економіка*. 2012. № 4. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSU_ekon_2012_4_7 (дата звернення 22.09.2022).
7. Протасов О. О., Узунов Й. І. Концептуальні положення щодо екосистемних послуг великих рівнинних водосховищ на прикладі Дніпровського каскаду. *Гідробіологічний журнал*. 2021. Т. 57, № 3. С. 3-20.
8. Васенко О. Г., Міланіч Г. Ю. Оцінка екосистемних послуг водних об'єктів України. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2018. Вип. 40. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ponp_2018_40_7 (дата звернення 22.09.2022).
9. Bram Edens, Joachim Maes, Lars Hein, Carl Obst, Juha Siikamaki, Sjoerd Schenau, Marko Javorsek, Julian Chow, Jessica Ying Chan, Anton Steurer, Alessandra Alfieri. Establishing the SEEA Ecosystem Accounting as a global standard. *Ecosystem Services*. Volume 54, 2022, p 101413, ISSN 2212-0416, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101413>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041622000092> (дата звернення 22.09.2022).
10. Архипова Л. М., Приходько М. М. Екосистемні послуги – аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду концепції. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2019. № 2. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2019_2_5 (дата звернення 23.09.2022).
11. Stoyan Nedkov, Sylvie Campagne, Bilyana Borisova, Petr Krpec, Hristina Prodanova, Ioannis P. Kokkoris, Desislava Hristova, Solen Le Clec'h, Fernando Santos-Martin, Benjamin Burkhard, Eleni S. Bekri, Vanya Stoycheva, Adrián G. Bruzón, Panayotis Dimopoulos, Modeling water regulation ecosystem services: A review in the context of ecosystem accounting. *Ecosystem Services*, Volume 56, 2022, p. 101458, ISSN 2212-0416, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041622000547> (дата звернення 23.09.2022).
12. Лабенко О. М. Стимулювання сталого водокористування через обов'язкові платежі за екосистемні послуги. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Економіка, аграрний менеджмент, бізнес*. 2018. Вип. 284. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvna_ekon_2018_284_23 (дата звернення 23.09.2022).
13. Назаренко О. М., Назаренко І. А., Бахтін В. І., Шеремет'єв Е. О., Серебряков Ю. В.. Розробка екосистемних послуг для підвищення енергоефективності еб'єктів. *Науковий вісник будівництва*. 2019. Т. 97. № 3. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2019_97_3_22 (дата звернення 23.09.2022).
14. Веклич О. О. Специфіка вартісного виміру цінності екосистемних послуг при визначенні збитку від забруднення навколишнього природного середовища. *Економіка України*. 2019. № 6. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk_2019_6_6 (дата звернення 23.09.2022).