

УДК (574.63:621.311.25)

О.О. ПРОТАСОВ, д. б. н., проф., пров. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна,
e-mail: pr1717@ukr.net
ORCID 0000-0002-0204-2007

Й.І. УЗУНОВ, PhD, професор,
Інститут біорізноманіття та екосистемних досліджень Болгарської Академії наук
вул. Майор Юрій Гагарін, 2, Софія, 1113, Болгарія,
e-mail: uzunesku@abv.bg

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ВЕЛИКИХ РІВНИННИХ ВОДОСХОВИЩ НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ¹

Розглянуто концепцію екосистемних послуг (ЕП) з точки зору її застосування до водосховищ Дніпровського каскаду. Введено нове положення про ієрархічну структуру системи ЕП. Така структура включає декілька рівнів: річкового басейну, каскаду водосховищ, окремих водосховищ, екосистемних підсистем. На кожному рівні існує певний комплекс ЕП відповідно до структури та функціональних особливостей екосистем та метаекосистем. Не всі екосистемні функції можуть розглядатися як такі, що пов'язані з наданням ЕП (позитивні з точки зору людини послуги), поряд з ЕП існує певна низка антипослуг (ЕАП). У порівняльному аспекті розглянуто систему ЕП-ЕАП у двох варіантах природокористування, а саме за умов існування каскаду водосховищ і незарегульованої річки.

Ключові слова: екосистемні послуги, екосистемні антипослуги, р. Дніпро, водосховище, каскад водосховищ, екосистема, екологотопічні групи гідробіонтів.

Імплементация та практичне застосування ВРД на теренах України в повній мірі неможливі без чіткого уявлення щодо застосування принципів до всіх без винятку типів водойм з урахування їх особливостей. Тому дослідження, спрямовані на адаптацію принципів ВРД до розробки методології оцінки екологічного потенціалу водосховищ, у тому числі

¹ Робота виконана за підтримки бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень (КПКВК 6541230) «Розробка та апробація методології встановлення екологічного потенціалу водосховищ Дніпровського каскаду в аспекті імплементції Водної Рамкової Директиви в Україні» держ. реєстрації № 0120U000172

Ц и т у в а н н я: Протасов О.О., Узунів Й.І. Концептуальні положення щодо екосистемних послуг великих рівнинних водосховищ на прикладі Дніпровського каскаду. *Гідробіол. журн.* 2021. Т. 57. № 3. С. 3—20.

Дніпровського каскаду є вкрай актуальними. Зі встановленням екологічного потенціалу тісно пов'язане питання екосистемних послуг (ЕП). Можна взагалі сказати, що комплекс ЕП від техноекосистем, якими і є водосховища, співпадає комплексом екологічних і технічних (більш широко — споживчих) цілей. Слід, очевидно, вважати, що існує певне поєднання суто екологічних і технічних послуг.

Відповідно до ВРД, для істотно змінених і штучних масивів поверхневих вод (МПВ) має бути встановлений екологічний потенціал [4]. Елементи якості для штучних і істотно змінених МПВ повинні бути такими ж, що застосовуються для категорій непорушених МПВ, **найбільш подібних** до штучного або істотно зміненого МПВ, який проходить оцінку (наприклад, канал — річка, водосховище — озеро) (ВРД 2000/60, Додаток 5, п. 1.1.5). Для водосховищ Дніпровського каскаду такий підхід не є можливим, оскільки природних аналогів на території України немає. На основі розуміння структурних особливостей і закономірностей функціонування, спрямованості сукцесійних процесів у водосховищах Дніпра необхідно змодельувати екологічно і технічно прийнятні умови (комплекс реальних та гіпотетичних показників) і застосувати їх в оцінці екологічного потенціалу на основі тих чи інших алгоритмів порівняння. Такий підхід є подібним до встановлення так званих екологічних нормативів [11].

Створення водосховища практично руйнує старі екосистеми, тому докорінно змінюється, так би мовити «ландшафт» ЕП, що отримує людина. Важливим є і те, що суттєво змінюється цільова компонента оцінок. До цілей екологічних додається багато цілей технічних, суто споживчих у широкому розумінні. Саме технічні, утилітарні цілі безпосередньо пов'язані з ЕП, а також і з антипослугами (ЕАП). Концепція ЕП в цьому випадку є важливою, оскільки вона пов'язує цілі екологічного плану та цілі утилітарні: водосховища, як і будь яка штучна техноекосистема, створювалися з певними утилітарними цілями, за певним планом та проектом.

Метою роботи було розглянути принципові концептуальні питання щодо застосування понять ЕП до великих рівнинних водосховищ.

Положення концепції ЕП відносно водосховищ. Розширене визначення ЕП подано у документі «Оцінка екосистем на порозі тисячоліття» [2]: це користь, яку люди отримують від екосистем, яка полягає в отриманні ресурсів, продуктів харчування, питної води, регулюючих послуг, допоміжних послуг, культурних, а також інших матеріальних і нематеріальних вигод. ЕП розуміються як різноманітну користь, яку людина отримує від функціонування екосистем [16, 20, 22]. Важливо підкреслити, що ЕП пов'язані з функціонуванням цілісної екосистеми.

Однак від функціонуючих екосистем може бути отриманий і негативний для людини ефект, який виражається у так званих антипослугах (ЕАП) [32]. ЕП є певною антропоцентричною оцінкою відносин у системі людина — екосистема або, у більш широкому сенсі, у системі відносин людина — тип екосистем, або біогеом та біосфера в цілому.

Створення водосховищ було частиною діяльності людини при експлуатації нею водних ресурсів з давніх часів [1]. На сьогодні у світі нараховується до півмільйона штучних водних об'єктів площею понад 1 га [23]. Особливістю водосховищ на р. Дніпро у межах України є їх значна площа і об'єм. Вони входять у число 160 великих водосховищ світу з площею 100—1000 км² [23]. Деякі їх частини тією чи іншою мірою зберігають річковий режим, інші — режим, близький до озер, також є риси, які зближують їх з естуарними. Але, без сумніву, їх екосистеми мають багато унікальних рис, це особливий тип водних екосистем. Можна виділити близько 20 їх відмінностей як від озерних, так і від річкових екосистем (табл. 1), що частково впливають з відмінностей між лотичними і лентичними екосистемами [14].

Особливістю водосховищ Дніпра є і те, що всі вони є частиною більшої екосистеми, яку можна назвати «зарегульований Дніпро». Вони по-

Таблиця 1

Порівняння екосистем рівнинних водосховищ з озерними та річковими екосистемами (за [14, 31] зі змінами)

Характеристика	Річки	Озера	Водосховища
Походження	Природні	Природні	Штучні
Час існування, років	10 ⁴	10 ⁴ —10 ⁶	10—10 ²
Максимальна глибина	Гирлова частина	Середня, центральна частина	Пригреблева частина
Донні відклади	Аллохтонні, рухомі	Автохтонні, акумуляція	Аллохтонні, акумуляція
Гідрофізичні градієнти	Гравітаційний стік	Вітрові циркуляції, сейші	Стокові течії, техногенні та вітрові циркуляції
Стік	Поверхневий	Поверхневий	Глибинний
Водообмін	Дуже значний	Незначний	Значний
Значення прибережної зони, літоралі для екосистеми у цілому	Незначне	Від малого до суттєвого	Значне
Зв'язок з водозбірною площею	Значний, вирішальний	Значний	Обмежений
Коливання рівня води	Циклічні, сезонні	Несуттєві	Постійні, короткоперіодичні, технозалежні
Використання водних ресурсів	Спорадичне, локальне	Спорадичне, локальне	Постійне
Використання біологічних ресурсів	Періодичне	Періодичне	Постійне, по всій акваторії

в'язані не лише стоком води, а і біостокком. Системний підхід змушує нас звернути увагу на неоднозначні оцінки, які можна зробити з огляду на деякі принципи Водної Рамкової Директиви. За Керівним документом № 4 [24], створені людиною водосховища це «істотно змінені МПВ» (ІЗМПВ, НМWB). Таким чином, ділянка р. Дніпро у межах України має бути віднесена до ІЗМПВ. У той же час, виходячи з системного ієрархічного принципу, окремі водосховища аж ніяк не можна віднести до ІЗМПВ, тому що річкова екосистема повністю перебудована завдяки антропогенній діяльності. Вони ближче до штучних МПВ (ШМПВ, АWB). У той же час Керівний документ № 37 [25] відносить водосховища енергетичних станцій до ІЗМПВ. Саме системний принцип знімає це протиріччя: більші за розмірами екосистеми ІЗМПВ можуть включати в себе як штучні, так і істотно змінені МПВ, а також елементи природних.

Основним екологічним наслідком створення каскаду водосховищ є фрагментування річкової екосистеми та мікритичні процеси поєднання лотичних та лентичних локусів єдиної системи. Таким чином, розглядаючи питання щодо ЕП слід взяти до уваги по-перше те, що екосистеми водосховищ існують у складі більш складних екосистем, по-друге, що вони є особливим типом водних екосистем, до яких принципи організації лотичних чи лентичних систем з притаманною саме їм континуальною структурою не можуть бути застосовані повною мірою.

Концепція екологічного континууму водосховищ ще не розроблена, але можна вказати на такі особливості: білатеральна (частково) симетрія, поздовжній та латеральний градієнти глибин, пригреблева асиметрична відносно поздовжньої осі акумуляція донних відкладів, для часової осі континууму характерні короткоперіодичні коливання, антропогенні сезонні режими накопичення та витрат водних мас, періодичне осушення літоралі. Слід додати, що імпульсний режим стоку формує особливі умови у річковій частині нижче греблі (нижній б'єф та прилеглі акваторії). В умовах каскаду вона сама може бути практично частиною вже розташованого нижче водосховища.

Неоднозначність підходів до виділення однорідностей екосистем і екологічних оцінок веде за собою неоднозначність оцінок можливості отримання ЕП. Згідно з нормативами, прийнятими в Україні, континуальні за своєю природою водні об'єкти умовно поділяються на так звані масиви поверхневих вод або МПВ [4, 10]. Хоча цьому терміну дається таке визначення: «МПВ визначається як поверхневий водний об'єкт або його частина, для котрого встановлюються екологічні цілі та які використовують для оцінки досягнення цих екологічних цілей» [10, с. 2], з якоїсь причини у визначенні не відзначено важливу властивість МПВ — його умовну **однорідність**. Саме це дозволяє робити більш-менш цілісну оцінку саме цього МПВ і встановлювати для нього певні цілі. З точки зору отримання ЕП цілі можуть бути не лише суто екологічними. Практично всі техноекосистеми створюються саме з технічними і господарськими цілями, які, безумовно, пов'язані і з екологічними. Питання домінування тих чи інших цілей дуже складне і не має однозначного вирішення. На практиці,

при створенні техноекосистем саме технічні, споживчі цілі стають домінуючими.

Визначення МПВ може тлумачитися неоднозначно. Один варіант, з точки зору суто водогосподарської, — це водна маса, що вміщає весь водний об'єкт, чи його частину, яка у прийнятій нами мірі розглядається як досить однорідна. Другий — МПВ як фрагмент екосистеми, умовно виділений, досить однорідний, включає в себе всі живі і косні елементи середовища в екосистемі. Очевидно, що з точки зору ЕП другий підхід більш адекватний. Якщо мова йде виключно про водні ресурси, то і тут другий підхід більш правильний, оскільки, наприклад, якість води безпосередньо залежить від усіх внутрішньоводоймних процесів, тобто таких, що відбуваються в екосистемі або її умовно виділеному фрагменті (субекосистемі або природному субекосистемному утворенні). В аспекті отримання ЕП повинен бути застосований саме такий підхід.

Комплекс основних ЕП водосховища впливає з самого його визначення у Водному кодексі України: «водосховище — це штучна водойма місткістю більше 1 млн. кубічних метрів, збудована для створення запасу води та регулювання її стоку». Тобто відмічено лише дві послуги. Взагалі ж виділяють чотири типи послуг: такі, що забезпечують, що регулюють, культурні та що підтримують, тобто відтворюють послуги того середовища, умов, в яких можуть бути отримані інші ЕП [27]. Наприклад, до останнього типу відносяться такі процеси, як формування трофічних ланцюгів, створення первинної і вторинної біопродукції, самоочищення водойм. Останнє пов'язано з деструкцією органічної речовини, процесами біологічної фільтрації і біоседиментації, біотурбації донних відкладень тощо. Таким чином, обсяг ЕП, які можна закласти і у саме визначення водосховищ, реально набагато ширший.

Концепція антипослуг. Під ЕАП слід розуміти комплекс чинників негативного з точки зору людської діяльності функціонування екосистем. Це відноситься як до природних, так і антропогенних екосистем. Для водосховищ прикладом таких ЕАП може бути гіперпродукція водоростей — «цвітіння» води, небажане накопичення донних відкладів, акумуляція речовин-забрудників тощо. Певний досвід, накопичений нами при дослідженні техноекосистем, дозволив запропонувати низку можливих ЕП і ЕАП з урахуванням класифікацій типів екосистем [32].

Концепція системності ЕП та ЕАП. Коли мова йде про взаємодію людини з тими чи іншими екосистемами, саме в аспекті отримання послуг від перших, очевидно, що формується своєрідна система. Як така вона має певні ознаки та характеристики, у тому числі свої елементи і зв'язки, що власне й об'єднують елементи і підсистеми. Виходячи з системного принципу, одні послуги неможливо розглядати незалежно від інших. Лише системний підхід може бути основою розв'язання конфліктів у отриманні послуг.

Можна навести такий історичний приклад конфлікту інтересів споживачів. На перших фазах розвитку Дніпровських водосховищ, як і водосховищ на Волзі та деяких інших річках, відбувалось масове «цвітіння»

планктонними синьозеленими водоростями. Безумовно, це явище розглядалось як дуже значна ЕАП з точки зору якості води, рекреації тощо. Але у той же період розроблялися і певні методи збирання та перероблення водоростевої маси на низку досить цінних речовин, тобто з цієї точки зору позитивною послугою виглядала якнайбільша кількість сировини.

Є ще один аспект системності ЕП, пов'язаний з природною ієрархічною структурою живого покриву Землі. Слід брати до уваги, що ЕП отримуються людиною не лише у цьому місці у цей час, а від цілісної ієрархічної системи, яка має свою структуру і історію розвитку. Для Дніпровських водосховищ ця система виглядає наступним чином. Найбільшою системою є водозбірна територія, басейн р. Дніпро та сама річка в її природному чи зміненому людиною вигляді. Наступний рівень — це каскад, система водосховищ, кожне з яких має свою специфіку, але пов'язаних спільним стоком, а також кліматичними зонами, що переходять одна в одну. Наступним рівнем є окреме водосховище, яке розглядається як система умовно однорідних фрагментів екосистеми, або МПВ. А ось наступним рівнем є не просторові, а просторово-функціональні підсистеми, це підсистеми контурних і внутрішніх підсистем. З екологічної та гідробіологічної точок зору це екосистеми пелагічні і контурні. Кожний з цих рівнів має свої особливості в аспекті надання ЕП. Наступним рівнем є окремі біоценотичні структури, просторовий розподіл і динаміка у часі яких певним чином має бути пов'язана зі структурою МПВ. Очевидно, що кожний біоценоз має свій потенціал надання ЕП. Їх ієрархічна структура може бути представлена у вигляді блок-схеми (рис. 1)

Ієрархічна схема поділяється на п'ять основних рівнів. На кожному з них ЕП і ЕАП мають свою специфіку.

Перший, найбільш загальний — це рівень басейну. Басейн Дніпра має площу 482 тис. км² [7], він є найбільшим з річкових басейнів України і охоплює 48,5 % території. Навряд чи можна розглядати басейн, всю водозбірну площу та систему водотоків (додатково ще і частину підземних вод) як єдину цілісну екосистему. Скоріш його можна віднести до метаекосистем, або системи екосистем, зв'язки між якими мають різний ступінь міцності у просторі і часі. На цьому рівні важливими є і зв'язки між водними та суходільними екосистемами. Основна ЕП на цьому рівні полягає в акумуляції водних мас, підтриманні гідрологічного циклу великого регіону. Загальна кількість руслових водосховищ на Дніпрі та його притоках становить 466, повний об'єм близько 46 км³ (45,85 млрд. м³), корисний об'єм — 20,24 км³ [3]. Всі вони розміщені в одному басейні, відтак тим чи іншим шляхом пов'язані між собою.

Умовно як ЕАП може розглядатися перенесення окремих забруднювачів (наприклад, радіонуклідів) від одних регіонів до інших у межах басейну та ризики, пов'язані з техноаваріями. При екологічній і гідрологічній єдності басейну слід брати до уваги, що існують державні та адміністративні кордони, що певною мірою впливають на екологічну фрагментацію басейну. Отримання чи неотримання ЕП (а також ЕАП) в одній частині басейну може залежати від процесів, що відбуваються в

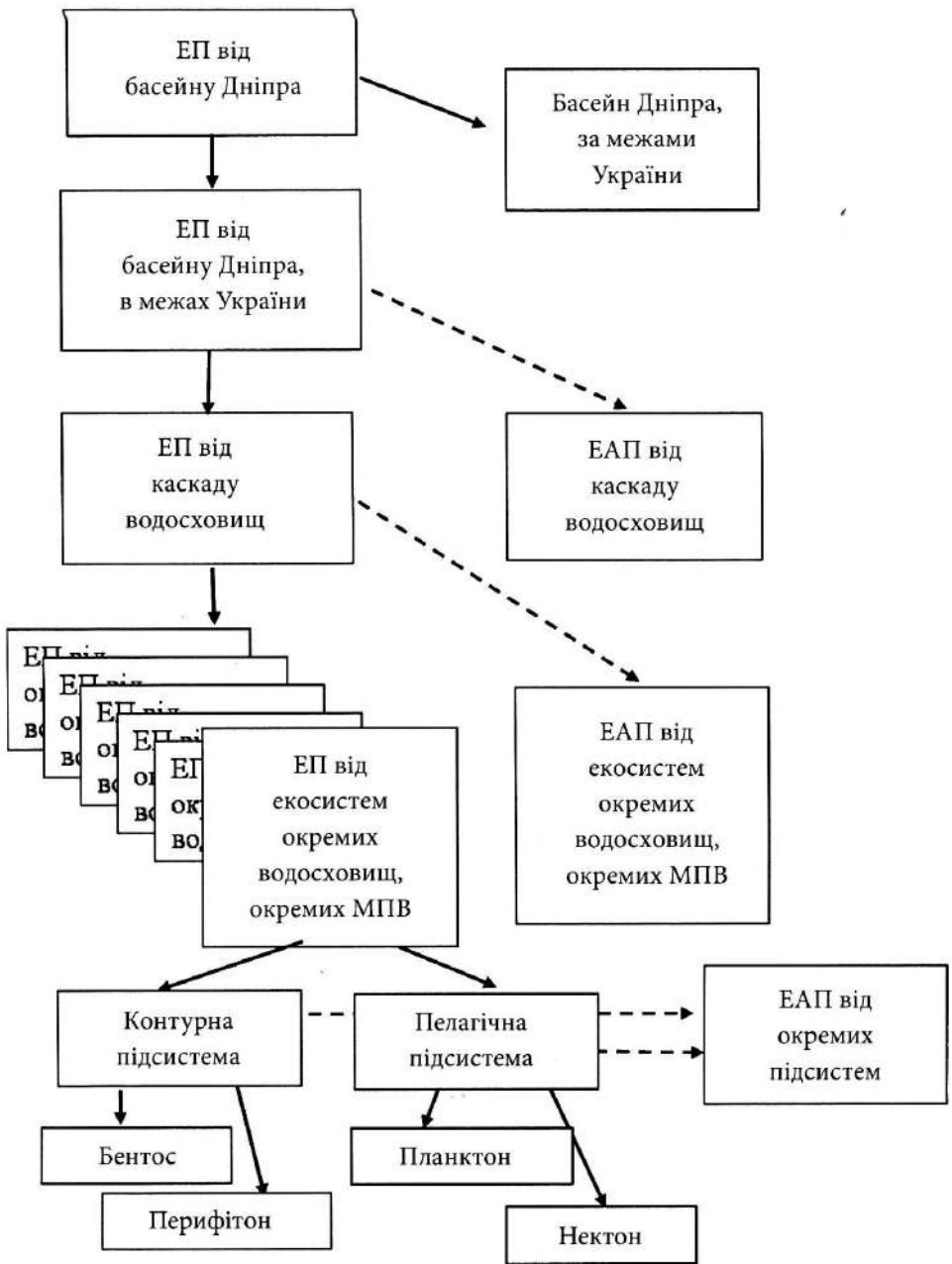


Рисунок. Блок-схема ієрархічної структури екологічних послуг (ЕП) та антипослуг (ЕАП)

інший, у тому числі і на території іншої держави. Тому необхідне виділення частини басейну у межах країни з урахуванням важливості міждержавної співпраці.

Другий рівень — це рівень каскаду водосховищ. Ця система, яка з екологічної точки зору теж є скоріш метаекосистемою, створювалася

7

протягом десятиліть і як єдина гідрологічна система існує майже півсторіччя [28]. Загальний об'єм водної маси у шести водосховищах перевищує 40 км³, це більше 70 % водних запасів України, площа водного дзеркала становить близько 7000 км². Каскад складається з досить різних за характеристиками водосховищ (табл. 2).

Окремі ЕП від каскаду водосховищ очевидні, інші мають дещо опосередкований характер, що можна сказати також і про ЕАП. Найважливішою є ЕП з накопичення води для різних потреб, хоча з відмічених 40 км³ загального об'єму реально може бути використана певна частина — корисний об'єм становить 20,2 км³. Такий резерв водопостачання є необхідним для країни, більша частина якої розташована у зонах з низькою зволоженістю. Особливо це важливо у часи змін клімату. Друга послуга пов'язана з можливістю регулювання стоку, що полягає у зменшенні на 20—40 % максимальних витрат води при великих повенях [19]. Взаємодія між водосховищами дозволяє знижувати загальні ризики повені. Так, після вводу в експлуатації Кременчуцької ГЕС та водосховища, максимальна розрахункова повенева витрата для греблі ДніпроГЕС знизилася з 37,7 тис. м³/с до 24,8 тис. м³/с [6]. Регулювання стоку зумовило ще одну послугу — суттєве покращення умов судноплавства, збільшення глибин на фарватері, можливість пропуску більших суден.

Системність в аспекті ЕП і ЕАП можна розглянути на такому прикладі. Створення каскаду водосховищ покращує транспортні умови (ЕП), але і призводить до докорінної зміни екологічних умов для багатьох угруповань та популяцій гідробіонтів, зміни логічних умов на частково лентичні, до фізичної та екологічної фрагментації екосистеми великої річки. Це, безумовно, може розглядатися як ЕАП з огляду на функціонування річкової екосистеми, особливо відтворення популяцій гідробіонтів, що мігрують, насамперед прохідних риб. Накопичення води (ЕП) може бути лише при уповільненому стоці, але ж власне уповільнення призвело до підвищення концентрацій біогенних речовин у воді та розвитку явищ

Таблиця 2

Характеристика водосховищ Дніпра (за [6, 7, 19])

Водосховища	Рік створення, введення ГЕС в експлуатацію	Площа, км ²	Об'єм, км ³	Водообмін, раз на рік	Вироблення електроенергії на 1 га затопленої землі, млн. кВтг
Київське	1965	922	3,7	12,5	145,2
Канівське	1972	675	2,6	17,5	82,0
Кременчуцьке	1960	2250	13,2	3,3	149,2
Кам'янське	1964	576	2,4	19,0	46,1
Дніпровське	1933, 1980	410	3,3	13,0	9,9
Каховське	1956	2150	18,2	2,5д	151,4

гіперпродукції — «цвітіння» води (ЕАП). Затоплення заплави річки при створенні водосховищ призводить до суттєвих змін режиму підземних вод, для каскаду водосховищ такий вплив, по суті це комплекс ЕАП. Підвищення рівня підземних вод, фільтраційні процеси можуть призводити до підтоплення територій, утворення боліт, активації зсувних явищ, зміни гідрохімічного складу підземних вод [6]. Складною і суперечливою може бути оцінка ЕП и ЕАП при розгляді втрати земель та отримання електроенергії. Як видно з табл. 2, найбільш ефективним у цьому аспекті є Каховське водосховище. Очевидно, що треба враховувати споживчу якість втрачених земель і те, що водні ресурси та енергія можуть використовуватися для меліорації, відтак підвищення врожайності. Безпосередньою послугою від каскаду є вироблення електроенергії. На ГЕС каскаду встановлено 87 основних та один допоміжний агрегат. Всього встановлена потужність на шести ГЕС становить 3749 тис. кВт, на них виробляється близько 6 % електроенергії у країні.

На **рівні окремих водосховищ** система ЕП — ЕАП формується як на основі загальних для водосховищ характеристик, так і на таких особливостях, як розташування у каскаді, у тій чи іншій кліматичній зоні, характер гідрологічних та гідрохімічних процесів, режим експлуатації, комплексність використання.

Водосховища каскаду відрізняються характеристиками, історією, режимом експлуатації (див. табл. 2). Крім того, слід звернути увагу на інші показники. Водосховища є відкритими системами, тому, окрім стоку основної річки та приток, має значення також дифузний стік з поверхні водозбору. Важливим може бути показник відношення довжини берегової смуги до площі мілководь. Для Київського водосховища цей показник дорівнює $0,14 \text{ км/км}^2$ і є найменшим у каскаді, для Каховського він дорівнює $0,83 \text{ км/км}^2$. Цей індекс відображає розвинутість берегової смуги і площу мілководь, які власне і приймають дифузний стік. Теригенний стік є важливим для формування режиму біогенів літоральної зони. Режим експлуатації та морфометрія водосховищ зумовлюють параметри спрацювання рівня води. Найбільшим цей показник є для Кременчуцького водосховища — до 6 м, тому воно є основним регулятором стоку всього каскаду. Коливання рівня може розглядатися як опосередкована ЕАП тому, що при цьому суттєво страждають літоральні біоценози, які мають велике значення для процесів самоочищення водойм, як місця нересту риб, відтворення кормової бази.

Київське водосховище є першим у каскаді. Його важлива функція полягає в акумуляції стоку Дніпра та його великого притоку — р. Прип'яті, а також акумуляції можливих забруднень, що надходять з-за меж української частини басейну. Це водосховище вже більш як 30 років надає особливу, вкрай важливу ЕП — акумуляцію радіонуклідів, що потрапили до акваторії і території басейну після Чорнобильської катастрофи. У ньому залишається понад 75 % радіонуклідів стоку. Так, у 1987 р. до Київського надійшло 8,2 ТБк сорбованого Цезію-137, до Канівського — 2,1, у 1990 р. — відповідно 3,9 і 1,0, у 1993 — 1,62 і 0,43 [6].

Канівське водосховище було створено останнім у каскаді, тобто воно завершило створення каскаду як гідротехнічного, екологічного і географічного об'єкта. У верхній ділянці водосховище приймає та акумулює стік р. Десни, у басейні якої є дві АЕС. Важливою ЕП є акумуляція і включення до процесів самоочищення як точкових, так і дифузних стоків з території великого міста (Києва). Еколого-технічною послугою є охолодження конденсаторів двох теплових електростанцій — Трипільської та Київської. Дослідження показали, що підігріті скиди зі станцій не є чинниками формування ЕАП у цьому водосховищі [5].

Кременчуцьке водосховище, як вже зазначалось вище, є основним у каскаді регулятором стоку Дніпра. Його регулююча місткість досягає $8,97 \text{ км}^3$. Великий об'єм водосховища, розташованого на широкій заплаві, що була густо заселена, зумовив специфічну для водосховища ЕАП, а саме затоплення багатьох населених пунктів, переселення понад 130 тис. жителів. Ще однією ЕАП є значна абразія берегів, зумовлена його морфометрією і значними розмірами. Майже чверть берегової смуги суттєво змінюється, береги вже змістились більш як на 100 м. Як ЕП можна розглядати акумуляцію стоку приток — річок Сули, Росі, Тясмина, а також прийняття стоків м. Черкаси.

Кам'янське водосховище є найменшим за об'ємом у каскаді. Як ЕП можна розглядати приймання та акумуляцію стоків промислових міст, таких, як Кременчук, а також річок Ворскли, Псла, Омельника. Однією з важливих послуг є постачання води з цього водосховища до каналу Дніпро-Донбас.

Дніпровське водосховище є старішим за інші. Однією з запроєктованих послуг водосховища було затоплення Дніпровських порогів та суттєве покращення умов судноплавства. Також у верхній частині водосховища приймає стоки м. Дніпра, а в нижній — м. Запоріжжя.

Каховське водосховище є заключним у каскаді. Пропускна здатність Каховської ГЕС не перевищує $2600 \text{ м}^3/\text{с}$, що менше, ніж інших ГЕС каскаду. Це створює проблеми — обмежує роботу всього комплексу ГЕС і регулюючу здатність каскаду водосховищ. Зниження стоку у пониззі Дніпра призводить до більш інтенсивного надходження морської води до Дніпровсько-Бузького лиману і підвищення солоності. Це, безумовно, є ЕАП. Щоб послабити її ефекти, правилами експлуатації Каховської ГЕС передбачено, що скиди не можуть бути меншими за $500 \text{ м}^3/\text{с}$. Зміни режиму стоку Дніпра у нижній частині призвели до негативних екологічних явищ у заплавах водоймах, проведення меліоративних робіт вимагатиме значних витрат [19]. Водосховище надає важливу ЕП як донор води для великих водопостачальних каналів: Північно-Кримського, Дніпро — Кривий Ріг, Каховської зрошувальної системи. Також слід зазначити, що надається послуга з охолодження конденсаторів великої (шість енергоблоків по 1 ГВт) Запорізької АЕС і Запорізької ТЕС потужністю 3,6 ГВт. Ці дві станції пов'язані системою водопостачання, скидні води ТЕС поповнюють водойму-охолоджувач АЕС. З огляду на те, що водойма-охолоджувач АЕС має режим практично постійного продування, слід вважати,

що водосховищем також надається послуга акумуляції скидів з водо- йми-охолоджувача. Також водосховище приймає стоки промислових об'єктів та міст Марганець та Нікополь.

Наступний рівень в системі послуг є **рівень підсистем екосистем** (пелагічної і контурної) водосховищ (див. рис. 1). Першу складають всі угруповання планктону і нектону, другу — бентосу і перифітону. На цьому рівні послуги пов'язані з продукційно-деструкційними процесами пулу органічних речовин у водосховищі, а також процесами акумуляції, трансформації речовин, у тому числі і забруднюючих.

Послуги **планктону** пов'язані насамперед з тим, що всі три основні групи планктону — фіто-, зоо-, бактеріопланктон виконують важливу функцію продукування і деструкції органічної речовини, у тому числі аллохтонної. Наприклад, у Київському водосховищі первинна продукція фітопланктону складала 44 % загальної (фітопланктон, мікрофітобентос, нитчасті водорості, вищі рослини) [8]. Очевидно, що відносне значення пелагічної підсистеми більше у водосховищах з менш розвинутою літоральною зоною (Каховське) та зі значними періодичними осушеннями літоральної зони (Кременчуцьке). Щодо деструкційного потенціалу, то слід зазначити, що, наприклад, у Київському водосховищі на планктонну підсистему припадає майже 80 % загальної деструкції, основну роль відіграє бактеріопланктон — близько 75 %, а частка зоопланктону (здебільшого фільтраторів) становить майже 25 %. Слід також зауважити, що фільтратори планктону надають значну послугу з освітлення води, і постачання трансформованих завислих речовин у донну підсистему, опосередковано надаючи послуги в аспекті підвищення кормової бази для рибного населення.

Найбільшою ЕАП від планктону слід вважати «цвітіння» води. Хоча це явище може відбуватися при значному розвитку різних груп водоростей — діатомових, зелених, але найбільших кількісних показників досягають ціанопрокаріоти [15]. На початок та середину 1980-х років найвища біомаса реєструвалась у Кременчуцькому водосховищі — близько 900 г/м³, щоправда з урахуванням прибережних скупчень, де ця ЕАП найбільш небажана, оскільки тут розташовані водозабори та зони рекреації. Загальна маса водоростей у водосховищах каскаду досягала майже 2 млн. т [15]. Особливу небезпеку становлять водорості, які виділяють у воду значну кількість альготоксинів [26]. Наразі рівень «цвітіння» нижчий, ніж декілька десятків років тому, але за змін кліматичних умов його інтенсивність може зрости [30], тобто негативний ефект ЕАП може збільшитися.

Послуги **нектону** полягають насамперед у продукції рибного населення водосховищ. Обсяги промислових виловів риби з водосховищ дніпровського каскаду наведено у відповідності до офіційних статистичних даних (табл. 3).

Як свідчить аналіз наявних даних, «у порівнянні з періодом до зарегулювання річкового стоку, вилов збільшився у три (без урахування тюльки) і у чотири рази (з урахуванням). Однак, промислова рибопродук-

тивність з одиниці площі акваторії у водосховищах виявилася набагато нижче» [18, с. 152]. Тобто за цим показником водосховища формально надають більші послуги, ніж частково незарегульована річка. Але для оцінки послуги треба враховувати не лише кількісні показники, а і якість, зокрема товарну якість рибної продукції. Було показано [9], що монетарна оцінка якості рибної продукції у водосховищах знижується.

У контурній підсистемі водосховищ ключову роль відіграє **бентос**, завдяки відносно великим площам м'яких ґрунтів, роль **перифітону** може бути обмеженою, залежно від розвинутості літоральної зони та наявності природних та антропогенних твердих субстратів. Послуги бентосу пов'язані здебільшого з функціонуванням гетеротрофних організмів, хоча значну роль може відігравати його автотрофна ланка. Так, наприклад, у Київському водосховищі частка первинної продукції водоростей бентосу (мікрофітобентосу) у загальній складала 22 % [8]. У той же час більша частина бенталу знаходиться в олігофотичній чи афотичній зоні, де процеси фотосинтезу обмежені.

Ретельне дослідження розподілу бентосу Київського водосховища [12] показало його ценотичну структурованість залежно від глибини і едафічних чинників. Ймовірно, слід мати на увазі, що послуги від кожного біоценозу мають свої особливості. У Київському водосховищі виявлено вісім біоценозів, які займали площу від 14 до 240 км². Запас, або маса кормових бентонтів становила від 900 до 380500 тон, а загальна маса складала майже 1 млн. т. У Кременчуцькому водосховищі виявлено дев'ять основних біоценозів бентосу [13]. У зв'язку з більшою площею, загальна маса бентонтів складала 1,3 млн. т, а запас «кормового» бентосу складав 548 тис. т. Продукція цієї частини бентосу за сезон досягала 2,6 млн. т. Якщо припустити, що коефіцієнт K_2 для загального бентосу дорівнює 0,3, то можна вважати, що у процесах трансформації органічної речовини за сезон було піддано деструкції близько 6 млн. т органічної речовини. Це вказує на значний потенціал самоочищення водосховищ, принаймні від органічного забруднення, що варто вважати однією з основних ЕП бен-

Таблиця 3

Обсяги вилову риб у різні роки, т (за даними Державного агентства рибного господарства України [https://darg.gov.ua/; 18])

Водосховище	1957 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.
Київське	—	1695,5	1381,6	1379,5
Канівське	—	768,8	821,9	859,2
Кременчуцьке	—	4668,4	4583,1	5197,5
Кам'янське	—	2289,1	2307,2	2497,6
Дніпровське	1264,0	1027,4	1166,1	1163,4
Каховське	4149,0	3304,1	2910,3	2862,7
Загалом	5413,0	13753,3	13170,2	13960,9

тичних угруповань. Важливим елементом донних угруповань є організми-фільтратори. Їх функція біологічного осадження зависей є також важливою ЕП. Як ЕП слід також вказати явище біотурбації, тобто перемішування донних ґрунтів, у результаті чого відбувається покращення аерації ґрунтів, активація деструкційних процесів, переміщення у більш глибокі шари поверхневого шару відкладів, у тому числі і поховання забруднюючих речовин.

Особливу роль в контурних угрупованнях відіграють молюски-фільтратори, насамперед з родини Dreissenidae. Було зроблено оцінку та розрахунки їх фільтраційної активності для Дніпровського водосховища [21]. Встановлено, що молюск масою 1 г у літній період фільтрує у середньому 12 дм³ води за добу, в осінній — 6, навесні — 4, взимку — 2 дм³. Загальний об'єм води, який популяція молюсків роду *Dreissena* фільтрує протягом літа у Дніпровському водосховищі, становить 17,74 млн. м³, а за рік — 19,82 млн. м³. Фільтрація є активним біологічним процесом, вона призводить до отримання необхідного молюскам харчового матеріалу (деструкція) та інтенсифікації осадження зависей (біоседиментація).

Щодо ЕП перифітону, то у великих водосховищах основна роль належить обростанню не на антропогенних субстратах, а на вищих рослинах. Загалом, частка продукція перифітону у лентичних умовах може досягати 50—70 % [2]. За даними [17], у Київському водосховищі при загальній біомасі 415 т, або 1388 ГДж, водорості фітоепіфітону за добу продукують 191 т кисню, за літній сезон — більше 36 тис. т. Таким чином, ЕП епіфітону полягає насамперед у первинній продукції. У той же час як ЕАП можна вказати негативний вплив на системи водопостачання, у тому числі ГЕС та ГАЕС, насамперед дрейсенідами.

Порівняння **ЕП за різних варіантів природокористування**. Водосховищам, як і іншим техноекосистемам, притаманна дуже важлива риса — їхня залежність від діяльності людини. Вони не лише створюються людиною, але й підтримуються нею протягом всього періоду існування. У цьому полягає головна різниця між техноекосистемами та природними, що підтримуються самі за рахунок здатності трансформувати зовнішню енергію. Це слід враховувати при порівняльних оцінках різних варіантів природокористування, оскільки перед людиною розкриваються багато шляхів використання природних ресурсів для отримання ЕП для своїх потреб. Тому лунають заклики до повернення до природи, до стану незарегульованого Дніпра і робляться спроби аналізу таких варіантів [3, 28]. На нашу думку, такі питань можна вирішувати лише огляду на концепцію ЕП і ЕАП. Ця проблема не є суто екологічною, вона також зачіпає сфери економіки, соціології, політики. Механізми розрахунків вартості ЕП складні, але можна зробити деякі попередні оцінки на основі експертних висновків. На перших етапах оцінок ЕП важливим є формулювання самих принципів формування системи ЕП — ЕАП. Як орієнтовний варіант оцінок можна запропонувати наступний порівняльний список та експертні оцінки (табл. 4). Умовно прийнята двобальна оцінка ЕП чи ЕАП, тобто «+» означає «існує», «++» означає суттєве значення ЕП чи ЕАП.

Таблиця 4

Порівняльна оцінка ЕП и АЕП, які можуть надавати каскад водосховищ,
водосховища та незарегульована річка

ЕП	Каскад водосховищ, окремі водосховища	Річка
Накопичення води	++	
Регулювання стоку	++	
Зниження ризику повеней	+	
Рекреація	+	+
Туризм	+	+
Процеси самоочищення	+	++
Водопостачання питне	+	+
Технічне водопостачання	++	+
Меліоративне водопостачання	++	+
Акумуляція забруднювачів	++	
Біологічні ресурси диких тварин та рослин	++	+
Біологічні ресурси культивованих тварин та рослин	+	
Енергетичні	++	
Судноплавство, транспорт	++	+
Підтримання біорізноманіття	+	++
Вплив на мікроклімат	++	+
Наукові послуги	+	+
Буферні послуги	++	
Сума ЕП	28	13
ЕАП		
Повені		++
«Цвітіння» води	++	
Фрагментація екосистем	++	
Затоплення територій	++	+
Відселення	+	
Підтоплення	+	
Зміна історичного ландшафту	+	
Затоплення об'єктів культури та історії	+	

Продовження табл. 4

ЕП	Каскад водосховищ, окремі водосховища	Річка
Накопичення води	++	
Джерело захворювань	+	
Рефугіуми небезпечних інвайдерів	+	+
Джерела біологічних перешкод у водопостачанні	+	+
Сума ЕАП	13	5
ЕП-ЕАП	15	7

Як видно з таблиці, водосховища надають набагато більше ЕП, але і ЕАП у них набагато більше, ніж у річки, тому загальний результат, який враховує як позитивні, так і негативні моменти менш переконливий на користь водосховищ. Якщо повернутися до так званої проблеми «спуску водосховищ», то слід відмітити, що у цій оцінці на враховані ЕП та ЕАП від самого процесу ретрансформації, що ще раз вказує на велику складність проблеми.

Важливим є відмітити ще один аспект. Згідно з результатами досліджень та теоретичними розробками [29], хоча значне отримання продукційних послуг відбувається при низькому біорізноманітті екосистем та інтенсивних способах природокористування, найбільша ефективність отримання ЕП загалом, всіх їх видів — при високому біорізноманітті (але не максимальному) та «легкому» рівні (light use) природокористуванні. Слід також взяти до уваги, що біорізноманіття, має розглядатися як дво-, а можливо і трикомпонентна система, що включає багатство елементів, вирівняність та відмінність між елементами [22]. Це ще раз вказує на те, що проблема ЕП є у своїй основі системною.

Висновки

Екосистемні послуги це комплекс наслідків функціонування екосистем, які приносять користь людині. Антипослуги чинять негативний вплив на діяльність людини.

Комплекс ЕП від екосистем великих водосховищ визначається насамперед досягненням встановлених цілей при створенні цих техноекосистем. Екологічні і технічні цілі пов'язані з системою бажаних ЕП.

Екосистеми водосховищ мають свої принципові особливості, які не дозволяють використати природні екосистеми як аналоги для їх оцінок і порівнянь, тим більше, що водні об'єкти подібних розмірів і структури в Україні відсутні.

ЕП можуть перебувати у певному протиріччі, необхідні пошуки принципів і методик їх порівняльної оцінки.

Відносини між природними екосистемами, техноекосистемами та людиною являють собою складні системи, тому і ЕП та ЕАП теж мають системний характер, створюються ієрархічні системи ЕП та ЕАП.

Важливим у оцінці ЕП чи ЕАП є порівняння їх у різних варіантах природокористування. Орієнтовна спроба оцінити ЕП та ЕАП у порівнянні двох варіантів природокористування показала, що водосховища мають більший потенціал екологічних послуг, але методологія порівняльних оцінок безумовно потребує подальшого дослідження та розробки концепції ЕП з системних позицій.

Список використаної літератури

1. Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шарапов В. А. Водохранилища. Москва : Мысль, 1987. 326 с.
2. Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М. Продукционная гидробиология. Санкт-Петербург : Наука, 2013. 343 с.
3. Вишневський В.І. Ріка Дніпро. Київ : Інтерпрес ЛТД, 2011. 383 с.
4. Водна рамкова директива ЄС 2000/60/ЄС: Основні терміни та їх визначення. Офіційне видання. Київ, 2006. 240 с.
5. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / под ред М.Ф. Поливанной. Киев : Наук. думка, 1991. 192 с.
6. Гидроэнергетика и окружающая среда / под ред. Ю. Ландау, Л. Сиренко. Киев : Либра, 2004. 484 с.
7. Денисова А.И. Формирование режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования. Киев : Наук. думка, 1979. 292 с.
8. Киевское водохранилище / под ред. Я.Я. Цееба, Ю.Г. Майстренко. Киев : Наук. думка, 1972. 257 с.
9. Межжерин С.В. Животные ресурсы Украины в свете стратегии устойчивого развития: аналитический справочник. Киев : Логос, 2008. 282 с.
10. Методика визначення масивів поверхневих та підземних вод. Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України. № 4. Від 14.01.19. // <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0287-19#Text>
11. Оксийук О.П., Жукинский В.Н. Экологические нормативы качества воды для р. Рось. *Гидробиол. журн.* 1999. Т. 35, № 6. С. 16—21.
12. Плигин Ю.В. Реализация концептуального дуализма в биоценологии на примере зообентоса ровнинного водохранилища. *Там же.* 2012. Т. 48, № 3. С. 3—20.
13. Плигин Ю.В., Кружилина С.В. Характеристика ценозов макрозообентоса Кременчугского водохранилища р. Днепр как основа оценки его биоресурсного потенциала. *Там же.* 2015. Т. 51, № 1. С. 28—48.
14. Протасов А.А. Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. Киев : Академперіодика, 2011. 704 с.
15. Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ / под ред. Н.В. Кондратьевой. Киев : Наук. думка, 1989. 232 с.
16. Розенберг А.Г. Истоки современной истории экосистемных услуг. *Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии.* 2017. Т. 26, № 1. С. 5—14.
17. Семенюк Н.Є. Фітоепіфітон водних об'єктів басейну Дніпра: автореф. дис. ... докт. біол. наук. Київ, 2020. 40 с.
18. Сухойван П.Г., Вятчанина Л.И., Рыбное население и его продуктивность. *Беспозвоночные и рыбы Днепра и его водохранилищ.* Киев : Наук. думка, 1989. С. 136—173.
19. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоемов Украины. Киев : Наук. думка, 2006. 383 с.
20. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 1. Услуги наземных экосистем / ред. Е.Н. Букварёва, Д.Г. Замолотчиков. Москва : Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. 148 с.

21. Яковенко В.А., Зайченко Е. И., Белоконь А.С., Губанова Н.Л. Значение моллюска дрейссена в процессах самоочищения Запорожского (Днепровского) водохранилища. *Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: матеріали VII Міжнар. наук. конф.* — Дніпропетровськ : Адверта, 2013. С. 73—75
22. Dasgupta P. *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review*. London: HM Treasury, 2021. 600 p.
23. Downing T., Prairie M., Duarte J. et al. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnol. Oceanogr.* 2006, Vol. 51 N 5. P. 2388—2397.
24. Guidance Document No 4. Identification and Designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies. Produced by Working Group 2.2 — HMWB: European Communities, 2003. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003. 109 pp.
25. Guidance Document No 37. Steps for defining and assessing ecological potential for improving comparability of Heavily Modified Water Bodies Document endorsed by EU Water Directors at their meeting in Helsinki on 26 November 2019 // CIS working group ECOSTAT 2020/ <https://circabc.europa.eu/sd/a/d1d6c347-b528-4819-aa10-6819e6b80876/Guidance>
26. Kirpenko N.I. Krot Yu.G. Usenko O.M. Surface waters «Blooms» — Fundamental and Applied Aspects. *Hydrobiol. J.* 2019. Vol. 55. N 2. P. 18—30.
27. MEA (Millennium Ecosystem Assessment). *Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis; Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute. Washington DC : Island Press, 2005. 139 p. [<http://www.maweb.org/en/Reports.aspx#>; <http://www.millenniumassessment.org/en/Reports.aspx#>]
28. Romanenko V.D. The Dnieper Reservoirs, their Significance and Problems. *Hydrobiol. J.* 2018. Vol. 54. N 3. P. 3—9.
29. Science for Environment Policy. In Depth Report — Ecosystems Services and Biodiversity. European Commission. 2015 // <http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/ecosystem-services-biodiversity-IR11-en.pdf>
30. Shcherbak V.I. Response of Phytoplankton of the Kiev Reservoir to the Increase in Summer Temperatures. *Hydrobiol. J.* 2019. Vol. 55. N 1. P. 18—35.
31. Straskraba M. Lake and reservoir management. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 1996. Vol. 26, part 1. P. 193—209.
32. Uzunov Y.I., Protasov A.A. Concept of ecosystem services in application to water technoecosystems. *Hydrobiol. J.* 2019. Vol. 55, N 1. P. 3—17.

Надійшла 08.02.2021

A.A. Protasov, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Leading Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: pr1717@ukr.net

Y.I. Uzunov, PhD, Professor,
Institute of Biodiversity and Ecosystem Research
Bulgarian Academy of Sciences,
2 Gagarin St., Sofia, 1113, Bulgaria,
e-mail: uzunesku@abv.bg

CONCEPTUAL PROVISIONS REGARDING ECOSYSTEM SERVICES OF LARGE
PLAIN RESERVOIRS BY EXAMPLE OF THE DNIEPER RIVER CASCADE, UKRAINE

The concept of the ecosystem services (ES) is considered in view of its application to the Dnieper cascade of reservoirs. A new provision on the hierarchical structure of the ES system was proposed. This system includes several levels: river basin, reservoirs' cascade, individual reservoirs, ecosystem subsystems. At each level there is a number of ES, according to the structural and functional characteristics of the ecosystems and metaecosystems. Not all ecosystem functions can be considered as related to the provision of ES (positive services, from the human point of view), so along with ES there is a certain number of anti-services (EAS). The ES-EAS system in two variants of nature management is considered in the comparative aspect, as the conditions of existence of the cascade of reservoirs on river Dnieper and under the conditions of the unregulated river.

Keywords: *ecological services, ecological anti-services, cascade of reservoirs, reservoir, ecosystem, plankton, benthos, periphyton.*