

## ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ПОНИЗЗЯ РІЧКИ ДНІПРО

Шахман І.О.

ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»

вул. Стрітенська 23, 73006, м. Херсон

shakhman.i.a@gmail.com

Виконана оцінка екологічного стану вод за методикою розрахунку комплексних показників екологічного стану для пониззя річки Дніпро відповідно до рибогосподарських нормативів за період спостережень 2013–2016 років. Проведений аналіз здатності водної екосистеми пониззя Дніпра до саморегуляції і самовідновлення (екологічна надійність) в часі та просторі (за довжиною річки). *Ключові слова:* комплексний показник, оцінка екологічного стану, екологічна надійність, рибогосподарське використання.

**Оценка экологического состояния и экологической надёжности низовья реки Днепр. Шахман И.А.** Выполнена оценка экологического состояния вод по методике расчёта комплексных показателей экологического состояния для низовья реки Днепр в соответствии с рыбохозяйственными нормативами за период наблюдений 2013–2016 годов. Проанализирована способность водной экосистемы низовья Днепра к саморегуляции и самовосстановлению (экологическая надёжность) во времени и в пространстве (по длине реки). *Ключевые слова:* комплексный показатель, оценка экологического состояния, экологическая надёжность, рыбохозяйственное использование.

**Assessment of ecological state and ecological reliability of the Lower section of the Dnieper River. Shakhman I.** Ecological state of the lower section of the Dnieper River was estimated by method of calculation of integrated index on the basis of monitoring over the years 2013–2016. Self-purification potential and capability of restoration in time and space (along the river stream) of the aquatic ecosystem of the lower section of the Dnieper River was established. *Key words:* integrated index, assessment of ecological state, ecological reliability, fishery use.

**Постановка проблеми.** Інтенсивне господарське використання водних ресурсів посилює антропогенне навантаження на водні об'єкти, що призводить до змінення водного балансу динамічних характеристик і гідрофізичних властивостей водних мас та донних відкладень. Ці зміни настільки потужні, що впливають на біологічні компоненти гідроекосистем. Часті випадки, коли змінення навіть деяких елементів гідрологічного режиму природних водних об'єктів зумовлюють помітну, а під час і корінну трансформацію окремих ланцюгів або водних екосистем у цілому [1].

Оцінка, прогнозування стану гідроекосистем та розроблення механізмів раціонального їх використання є одним з найважливіших завдань сучасних гідроекологічних досліджень, які обов'язково повинні ґрунтуватися на комплексній оцінці стану водних екосистем за гідрологічними, гідрохімічними та гідробіологічними показниками.

**Актуальність дослідження.** Екологічний стан природних вод залежить від їхньої здатності до самоочищення. Разом із гідрологічними факторами важлива роль у процесі самоочищення належить фізико-хімічним та біологічним процесам. Хімічні процеси в природних водах тісно пов'язані з біологічними, і часто важко сказати, де закінчується один процес, і починається інший. Вирішальну роль

у цьому комплексі відіграють біологічні процеси, але фізико-хімічні процеси будуть домінуючими, якщо у воді є високотоксичні забруднюючі речовини або для життєдіяльності тваринних і рослинних організмів сформовані негативні умови, за яких біологічні процеси зводяться до мінімуму. Отже, самоочищення водотоку або водойми залежить від багатьох факторів: об'єму річкового стоку, швидкості й турбулентності потоку, хімічного складу і температури води, об'ємів і ступеню забрудненості стічних вод [2].

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Проголошення Україною курсу на євроінтеграцію стало потужним стимулом для використання європейського досвіду в реалізації водної політики на території нашої країни. Стратегічні напрями водної політики країн Європейського Співтовариства визначає Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2000 року щодо визначень меж дій Співтовариства у сфері водної політики (Directive 2000/60/EC) [3].

На вирішення проблем, пов'язаних з екологічним оздоровленням басейну Дніпра, спрямований закон України «Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року» [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Сучасний досвід науковців дозволяє на основі аналізу процесів водообміну та формування якості води [5–7] прогнозувати наслідки розвитку органічної речовини [8] і можливості самовідновлення водної екосистеми [9]. Задача фахівців-гідроекологів – використовуючи моделі залежностей якості води і біопродуктивності від водообміну, оперативно реагувати на змінення стану водної екосистеми та управляти якістю вод на зарегульованих річках для зниження або ліквідації антропогенного забруднення водних об'єктів [6; 7].

Застосування математичних моделей для дослідження гідроекологічних проблем продемонстроване під час виконання оцінки якості води поверхневих вод Нижнього Дніпра (2013–2015 рр.) в межах Херсонської області за різними методиками і за гідрохімічними показниками відповідно до діючих нормативів якості поверхневих водних ресурсів рибогосподарського призначення [10]. Встановлено, що віднесення басейну Нижнього Дніпра до водного об'єкту рибогосподарського призначення на сьогодні пов'язано з певними екологічними ризиками.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Виконана оцінка екологічної надійності пониззя річки Дніпро для сучасного рівня антропогенного навантаження.

**Новизна.** Виконана оцінка екологічного стану пониззя річки Дніпро за методикою узагальнення інформації про екологічний стан водних об'єктів за допомогою комплексного показника, який пов'язує параметри води з гранично допустимими показниками.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Використання сучасної розрахункової методики оцінки якості поверхневих вод за гідрохімічними показниками [11], яка враховує ефект сумачії, дозволило виконати оцінку екологічного стану пониззя річки Дніпро (екологічної стійкості та надійності) відповідно до рибогосподарських норм як найбільш чутливих до змінення екологічного стану водного об'єкту.

**Виклад основного матеріалу.** Комплексна оцінка якості поверхневих вод використовується у випадках, коли необхідно простежити тенденцію просторово-часової зміни стану вод під впливом природних і антропогенних процесів, та може бути використана для порівняння стану водного середовища різних водних об'єктів.

Для оцінки екологічного стану вод пониззя Дніпра були використані дані аналітичного контролю поверхневих вод Херсонського управління водних ресурсів по створам: 1 – р. Дніпро – смт. Нововоронцовка-Ушкалка, Каховське вдсх. (195 км від гирла), 2 – р. Дніпро – н/б'єф Каховської ГЕС (92 км від гирла), 3 – р. Дніпро – м. Херсон, 1 км вище міста (40 км від гирла), 4 – р. Дніпро – с. Кізомис, рукав Рвач (0 км від гирла).

Оцінка екологічного стану пониззя річки Дніпро виконана за комплексним показником екологічного стану (КПЕС) [11], середнє значення якого розраховується за формулою:

$$КПЕС_{сер} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m КПЕС_i, \quad (1)$$

де  $m$  – кількість блоків показників якості вод (значень  $КПЕС_i$ ).

З  $m$  блоків показників якості вод до першого входять показники, які не мають ефекту спільної дії, до інших блоків входять показники, які мають цей ефект.

Для першого блоку комплексний показник розраховується за формулою:

$$КПЕС = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ПЕС_i, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість показників у першому блоці;  $ПЕС_i$  – показник екологічного стану, розрахований для  $i$ -го показника якості.

Значення  $ПЕС_i$  для  $i$ -го показника розраховується за формулами:

$$ПЕС_i = a_i(H_i - P_i) / H_i, \quad (3)$$

$$ПЕС_i = a_i(P_i - H_i) / H_i, \quad (4)$$

де  $a_i$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го показника;  $P_i$ ,  $H_i$  – значення показника (концентрація речовини) і його норматив.

Формула (3) використовується під час обмеження значень показника зверху. Для показників, обмежених знизу ( $O_2$ ), використовується формула (4). У разі нормування показника (рН) у вигляді допустимого інтервалу  $[H_{\min} < P_i < H_{\max}]$  значення  $ПЕС_i$  розраховується за формулою (3), якщо значення показника перевищує  $H_{\max}$ ; якщо значення показника нижче за  $H_{\min}$ , то  $ПЕС_i$  розраховується за формулою (4). Якщо показник знаходиться в середині інтервалу, то розрахунок виконується за формулами (3) і (4), а в якості  $ПЕС_i$  береться мінімальне з отриманих значень.

Коефіцієнт вагомості  $a_i$ -го показника пов'язаний із класом небезпеки. Якщо ступінь небезпеки зростає зі збільшенням номера класу ( $кл$ ), то  $a_i = кл$ ; якщо ступінь небезпеки зменшується зі збільшенням номера класу, то  $a_i = 1/кл$ . Якщо клас небезпеки не вказано, то береться клас на один розряд нижче від мінімально небезпечного класу.

Для блоків із показниками якості, які мають ефект спільної дії (ефект сумачії), КПЕС розраховується за формулою:

$$КПЕС = 1 - \sum (P_i / H_i), \quad (5)$$

За санітарними нормами ефект сумарної дії мають показники 1 і 2 класів небезпеки з однаковими лімітуючими показниками шкідливості (ЛПШ), за рибогосподарськими – з однаковими ЛПШ без урахування класу небезпеки.

Екологічний стан водного об'єкта класифікується таким чином:

при  $KПЕС_{\min} < 0$  і  $KПЕС_{\text{сеп}} < 0$  – стан нестійкий;  
 при  $KПЕС_{\min} > 0$  і  $KПЕС_{\text{сеп}} > 0$  – стан стійкий;  
 при  $KПЕС_{\min} < 0$  і  $KПЕС_{\text{сеп}} > 0$  – стан стійкий з ознаками нестійкості.

У разі кваліфікації екологічного стану за двома першими пунктами необхідно проведення природо-захисних заходів в екосистемі.

Екологічна надійність ( $EH$ ) – здатність стану екосистеми відносно повно самовідновлюватися і саморегулюватися. За наявності сукупності вимірювань у різних місцях річки або в різні моменти часу і за можливості розгляду цієї сукупності як випадкового статистичного ряду, отримані значення  $KПЕС_{\text{сеп}}$  можна використовувати для аналізу ймовірності сталого стану річки, тобто ймовірності перевищення  $KПЕС_{\text{сеп}}$  нульового значення, відповідного межі стійкості. Ймовірність стійкого стану річки називається екологічною надійністю ( $EH$ ), яку визначають за формулою:

$$EH = 1 - \chi^2 / (2N - M + 0,5\chi^2), \quad (6)$$

де  $\chi^2$  – значення функції «хі-квадрат» за довірчої ймовірності, яка приймається рівною 0,9 [12];  $N$  – загальне число значень  $KПЕС_{\text{сеп}}$ ;  $M$  – число значень  $KПЕС_{\text{сеп}}$  менших критичного, нульового значення.

Розподіл імовірностей «хі-квадрат» прийнято у зв'язку з тим, що зазвичай кількість ділянок річки, що досліджуються, невелика. За великого значення

$N$  розподіл «хі-квадрат» зводиться до нормального розподілу. Якщо розрахунок за формулою (6) дає від'ємне значення, то екологічна надійність приймається рівною нулю. З огляду на те, що складні технічні системи вважаються доволі надійними в разі рівня надійності 0,90–0,95, використовується така кваліфікація рівнів надійності за довірчої ймовірності 0,9: рівень високий ( $EH \geq 0,9$ ), рівень задовільний ( $0,9 > EH \geq 0,8$ ), рівень низький ( $EH < 0,8$ ) [11].

Виконаний розрахунок комплексних показників екологічного стану вод пониззя Дніпра за рибогосподарськими нормативами за період спостережень у 2013–2016 рр. Приклад оцінки екологічного стану водного об'єкту у створі р. Дніпро – с. Кізомис, рукав Рвач (0 км від гирла) за 2016 рік спостережень за рибогосподарськими нормами наведений у таблиці 1.

Зведені результати оцінки екологічного стану в часі та просторі (за довжиною річки) представлені в таблиці 2.

Для розрахункового періоду 2013–2016 рр. виконана оцінка екологічної надійності ( $EH$ ) в часі та просторі (за довжиною річки). Отримані показники екологічної надійності ( $EH = 0,77$ ) відповідають низькому рівню саморегуляції та самовідновлення.

Відновлення процесів самоочищення пониззя річки Дніпро можливо завдяки оптимізації режиму попусків Каховської ГЕС-1 [1; 5–7] та/або будів-

Таблиця 1

Оцінка якості води р. Дніпро – с. Кізомис (рукав Рвач) за 2016 р.

ЛПШ	Показники	$C_i$ мг/дм <sup>3</sup>	ГДК <sub>i</sub> мг/дм <sup>3</sup>	ГДК <sub>i</sub> - $C_i$	ПЕС	КПЕС
Загально-санітарний	Завислі речовини	5,0	20,0	15,0	0,75	
	БСК <sub>5</sub>	1,63	3,0	1,37	0,46	
	pH	7,91	6,5–8,5	0,59	0,07	
	Розчинений кисень	10,0	6,0	-4,0	-0,67	
Σ					0,61	0,15
Токсико-логічний	Амоній	0,12	0,50	–	0,24	
	Нітрити	0,03	0,08	–	0,38	
	АПАР	0,01	0,50	–	0,02	
	Залізо	0,12	0,10	–	1,2	
	Мідь	0,01	0,001	–	10,0	
	Нікель	0,05	0,01	–	5,0	
Σ					16,84	-15,84
Санітарно-токсико-логічний	Хлориди	82,0	300	–	0,27	
	Сульфати	68,4	100	–	0,68	
	Кальцій	48,0	180	–	0,27	
	Нітрати	0,93	40,0	–	0,02	
	Хром	0,001	0,001	–	1,00	
	Магній	18,3	40,0	–	0,46	
Σ					2,70	-1,70
Рибогосподарський	Нафто-продукти	0,3	0,05	–	6,00	-5,00
$KПЕС_{\text{сеп}} = (0,15 - 15,84 - 1,70 - 5,00)/4 = -5,6$ ; $KПЕС_{\text{мін}} = -15,8$ ; (екологічний стан об'єкта нестійкий)						

## Оцінка екологічного стану пониззя річки Дніпро

Створ	Комплексний показник екологічного стану (КПЕС)							
	мін.		сер.		мін.		сер.	
	екологічний стан водного об'єкту							
	2013		2014		2015		2016	
1	-2,2	-0,6	-3,7	-1,0	-16,2	-5,7	-17,2	-5,9
	нестійкий		нестійкий		нестійкий		нестійкий	
2	-2,2	-0,5	-4,2	-1,1	-17,1	-5,1	-16,8	-5,8
	нестійкий		нестійкий		нестійкий		нестійкий	
3	-2,1	-0,5	-2,9	-0,8	-16,2	-5,6	-15,7	-5,5
	нестійкий		нестійкий		нестійкий		нестійкий	
4	-2,3	-0,7	-3,5	-1,3	-16,0	-4,8	-15,8	-5,6
	нестійкий		нестійкий		нестійкий		нестійкий	

ництва Каховської ГЕС-2 [13]. За розрахунками Інституту гідробіології НАН України приблизно у два рази збільшуються за проектом (у разі витрати води 5100 м<sup>3</sup>/с) швидкості течії в головному руслі і рукавах Дніпра. Посилиться зовнішній водообмін руслової мережі – період її зовнішнього водообміну зменшиться з 11,4–17,2 до 5,8–8,8 діб (величини наведено для 6 і 4-годинних попусків відповідно) [13; 14].

**Головні висновки.** За період спостережень 2013–2016 рр. екологічний стан пониззя р. Дніпро в часі та просторі (за довжиною річки) оцінюється як нестійкий. Динаміка кількісних показників середніх і мінімальних коефіцієнтів демонструє погіршення якості води річки в часі та просторі, що вказує на посилення негативних наслідків антропогенного навантаження і необхідності впровадження природо-

доохоронних заходів, направлених на повернення здатності водної екосистеми до саморегуляції та самовідновлення і покращення умов існування біоресурсів у річці.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати наукових досліджень, викладені в цій статті, можуть бути основою для встановлення тенденцій змін екологічного стану поверхневих вод пониззя Дніпра, прогнозування наслідків впливу антропогенного навантаження на екосистеми водних об'єктів, оцінки змінення якості водних ресурсів, інформування громадськості про стан гідроєкосистем, вирішення економічних і соціальних питань, пов'язаних із раціональним використанням природних ресурсів та забезпеченням охорони навколишнього середовища.

## Література

1. Екологічна гідрологія водойм України : монографія / В.М. Тімченко. Київ : Державне науково-виробниче підприємство Видавництва «Наукова думка» НАН України, 2006. 383 с.
2. Інженерна екологія. Ч. 2. Гідросфера : навч. посіб. / Б.А. Шелудченко та ін. ; за ред. Б.А. Шелудченко. Житомир : Вид-во «Волинь», 2000. 220 с.
3. Directive 2000/60/ES of the European Parliament of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official journal the European Communities*. 2000. L. 327. 72 p.
4. Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4836-17> (дата звернення: 10.02.2019).
5. Timchenko V., Oksiyuk O. Ecosystem condition and water quality control at impounded sections of rivers by the regulated hydrological regime. *Ecohydrology and Hydrobiology*. Poland. 2002. Vol. 2. P. 259–264.
6. Timchenko V., Oksiyuk O., Gore J. A model for ecosystem state and water quality management in the Dnieper River delta. *Ecological Engineering*. UK. 2000. Vol. 16. № 1. P. 119–125.
7. Timchenko V.M., Oksiyuk O.P. Ecosystem condition and water quality control at impounded sections of rivers by the regulated hydrological regime. *Ecohydrology and Hydrobiology*. Poland. 2002. Vol. 2. № 1. P. 259–264.
8. Dubnyak S., Timchenko, V. Ecological role of hydrodynamic processes in the Dnieper reservoirs. *Ecological Engineering*. UK. 2000. Vol. 16. № 1. P. 181–188.
9. Shakhman I.A., Bystriantseva A.N. Assessment of Ecological State and Ecological Reliability of the Lower Section of the Ingulets River. *Hydrobiological Journal*. USA. 2017. Vol. 53. Issue 5. P. 103–109.
10. Пічуря В.І., Шахман І.О., Бистрянцева А.М. Просторо-часова закономірність формування якості води в річці Дніпро. «Біоресурси і природокоористування». 2018. Том 10. № 1–2. С. 44–57.
11. Тімченко З.В. Водные ресурсы и экологическое состояние малых рек Крыма. Симферополь : Доля, 2002. 152 с.
12. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятности и математической статистике. Москва : Высшая школа, 1979. 400 с.
13. Виконання проектних робіт, розробка розділу «Оцінка впливу на навколишнє середовище». Техніко-економічне обґрунтування. Заключний звіт. 1606-69-Т7. 2015. 133 с.
14. Timchenko, V.M. et al. Dynamics of environmentally significant elements of hydrological regime of the lower Dnieper section. *Hydrobiological Journal*. USA. 2015. Vol. 51. Issue 6. P. 75–83.