

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ В УМОВАХ ЗМІНЕННЯ КЛІМАТУ

Шахман І.О., Бистрянцева А.М.
Херсонський державний університет
вул. Університетська, 27, 73000, м. Херсон
shakhman.i.a@gmail.com, anbys@ukr.net

Змінення клімату призводить до суттєвого впливу на водні ресурси. Річковий стік, який є продуктом клімату і ландшафту, формується під впливом глобальних і регіональних кліматичних змін [1].

Режим опадів на території басейну річки Південний Буг безпосередньо впливає на режим стоку річки, на накопичення води у водосховищах, кількість яких у басейні вражає: 169 водосховищ, 10,29 тисяч ставків. Коли кількість опадів у басейні річки стає нижче певного порогу, визначений раніше режим стоку вже не може бути прийнятним, особливо в умовах низької якості поверхневих вод. Тому в таких виняткових випадках, коли водні ресурси повинні розподілятися відповідно до пріоритетів використання [2], визначення якості води поверхневих вод басейну річки Південний Буг для різних водокористувачів є особливо актуальним.

У статті продемонстровано практичну реалізацію методики інтегральної оцінки якості води, яка враховує ефект сумачі забруднювальних речовин, на прикладі річки Південний Буг. Виконана інтегральна оцінка якості води р. Південний Буг за 2019 рік у просторі (за довжиною річки) відповідно до нормативів якості поверхневих вод, призначених для різних водокористувачів. Акцентовано увагу на порівняльному аналізі ступеня забруднення поверхневих вод у часі (2003, 2019 рр.) відповідно до рибогосподарських нормативів.

Сучасне антропогенне навантаження на поверхневі води басейну р. Південний Буг в умовах змінення клімату зумовлюють катастрофічний ступінь забруднення річки. Результати дослідження дозволяють з певною ймовірністю стверджувати, що використання поверхневих вод басейну річки Південний Буг для рибного господарства, питного, культурно-побутового і рекреаційного призначення пов'язане з певними екологічними ризиками. Рекомендується розробити і вжити природоохоронних заходів, направлених на корегування пріоритетів господарської діяльності, зменшення скидання стічних вод та збільшення водності річки за рахунок регулювання роботи енергетичних комплексів. План управління поверхневими водами басейну р. Південний Буг повинен урахувувати прогностичні показники змінення клімату. *Ключові слова:* якість води, інтегральна оцінка, змінення клімату, ступінь забруднення.

The water quality integrated assessment of the Southern Bug River in the context of climate change. Shakhman I., Bystriantseva A.

The climate change has a significant impact on water resources. River runoff, which is a product of climate and landscape, is formed under the influence of global and regional climatic changes [1].

The precipitation regime in the basin of the Southern Bug River directly affects the flow regime of the river, the accumulation of water in reservoirs, the number of which in the basin is impressive: 169 reservoirs, 10290 ponds. When the amount of precipitation in the river basin falls below a certain threshold, the previously determined flow regime can no longer be acceptable, especially in conditions of poor surface water quality. Therefore, in such exceptional cases, when water resources must be distributed according to the priorities of use [2], determining the water quality of surface waters of the Southern Bug River basin is particularly relevant for different water users.

The article demonstrates the practical implementation of the methodology for the integrated assessment of water quality, which takes into account the effect of the summation of pollutants on the example of the Southern Bug River. The water quality integrated assessment of the Southern Bug River for 2019 in space (along the length of the river) was carried out in accordance with the quality standards for surface waters intended for various water users. Attention is focused on the comparative analysis of the degree of surface water pollution over time (2003, 2019) in accordance with the fishery standards.

The current anthropogenic load on the surface waters of the Southern Bug River basin under climate change conditions leads to a catastrophic degree of river pollution. The results of the study make it possible, with a certain degree of probability, to assert that the use of the surface waters of the Southern Bug River basin for fishery, drinking, cultural, domestic and recreational purposes is associated with certain environmental risks. It is recommended to develop and implement environmental protection measures aimed at adjusting the priorities of economic activities, reducing wastewater discharge and increasing the water content of the river by regulating the operation of energy complexes. The surface water management plan for the Southern Bug River basin should take into account the forecast indicators of climate change. *Key words:* water quality, integrated assessment, climate change, pollution degree.

Постановка проблеми. Змінення клімату призводить до значного впливу на господарську діяльність, пов'язану з використанням водних ресурсів. Усі країни Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй (далі – СЕК ООН) відчувають негативний вплив від збільшення час-

тоти та інтенсивності повеней і посух, посилення дефіциту прісних водних ресурсів, активізації ерозійних процесів і засолення, скорочення площі заледінення і снігового покриву, підвищення рівня моря тощо. Ці процеси призводять до погіршення якості води та нанесення шкоди гідроекосистемам, що,

безумовно, впливає на здоров'я людей та будь-яку галузь економіки, яка безпосередньо або опосередковано залежить від якості водних ресурсів [2].

Актуальність дослідження. Поверхневі води є особливим природним ресурсом стратегічного значення будь-якої держави. Вони визначають тенденції розвитку всіх галузей економіки. Найбільшу значущість для господарської діяльності країни становлять поверхневі джерела прісних вод [3]. Науково необґрунтоване антропогенне навантаження, підсилене зміненнями клімату, призвело до кількісної та якісної деградації багатьох річок. Проблема якості води розглядається як найголовніша соціальна і науково-технічна проблема сучасності, вирішення якої багато в чому залежить від правильного управління водогосподарськими системами [4; 5]. Тому особливо актуальним є дослідження якості поверхневих прісних вод із метою прогнозування змінення стану гідроекосистем та зниження ризиків нераціонального використання водних ресурсів різними водокористувачами [3; 6–9].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Для басейну річки Південний Буг характерний хронічний дефіцит водних ресурсів, оскільки водозабезпеченість на одного мешканця протягом останніх років становить усього 880 м³/рік. Сумарні ресурси поверхневого стоку у 2019 році склали 1,44 км³. Державне агентство водних ресурсів України на основі статті 45 Водного кодексу України офіційно заявило про те, що внаслідок аномальних осені та зими 2019–2020 років уперше за 120 років можуть бути обмежені або змінені права й умови водокористування, зокрема й скиди води через греблі гідроелектростанцій. Указано, що у разі впровадження таких заходів пріоритетним буде забезпечення питних і побутових потреб населення [10]. Позиція водного агентства обґрунтовується інформацією Українського гідрометеорологічного центру про низьку водність більшості річок України. Весняної повені у 2020 році на українських річках не спостерігалось, а мала водність могла призвести до пересихання малих водотоків [11].

За визначенням Міжнародного співтовариства, національний поріг мінімального водозабезпечення, необхідний для задоволення потреб сільського господарства, промисловості, енергетики та збереження навколишнього середовища, в перерахунку на душу населення становить 1 700 м³/рік. Зниження цього показника до 1 000 м³/рік указує на дефіцит водних ресурсів, а якщо показник не перевищує 500 м³ – на абсолютний дефіцит. Україна належить до регіону планети, де змінення середньої за рік температури повітря протягом останніх 30 років відбувалося найшвидшими темпами. Середньорічна температура повітря у 2019 році була на 2,7°C вищою за норму (1961–1990 рр.). Кількість опадів у 2019 році в середньому в країні складала 490 мм (84% норми), в лісосте-

пових областях – також 84% від річної норми [12]. Аналіз водності р. Південний Буг за останні 12 років свідчить про значне зниження природного стоку річки. Зарегульованість басейну на тлі глобальних кліматичних змін призводить до незворотних втрат поверхневих вод на випаровування, до змінення гідрохімічного режиму річки та якості води [3; 13; 14].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Детальні дослідження природно-екологічного потенціалу водних ресурсів басейну річки Південний Буг були виконані спеціалістами Інституту гідробіології НАН України в 2010–2011 роках [15]. Учені дослідили гідрохімічний режим руслової частини річки, виконали оцінку її екологічного стану, встановили фонові показники загального азоту і фосфору для верхньої, середньої та нижньої течій річки. Характеристику антропогенного навантаження на водні ресурси басейну р. Південний Буг в межах Миколаївської області виконали українські вчені у 2013 році [16]. Фахівці Інституту колоїдної хімії та хімії води імені В. Думанського НАН України у 2015 році виконали оцінку якості води в районі питних водозаборів Вінницької області [17]. Опубліковані результати попередніх досліджень якості поверхневих вод басейну річки Південний Буг належать до періоду 2010–2015 рр., тому для забезпечення раціонального використання водних ресурсів нами була виконана оцінка якості води за індексами забруднення [14] та інтегральна оцінка якості води річки Південний Буг у просторі (за довжиною річки) [3].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Виконана інтегральна оцінка якості води в часі (2003, 2019 рр.) за нормативами якості поверхневих вод, призначених для рибного господарства, як найбільш чутливих до змін екологічного стану водного об'єкта.

Новизна. Продемонстровано практичну реалізацію інтегральної оцінки якості води р. Південний Буг у часі (2003, 2019 рр.).

Методологічне або загальнонаукове значення. Акцентовано увагу науковців гідроекологічної спрямованості на потреби в оцінці якості води поверхневих прісних водних ресурсів за методиками, які враховують ефект сумачії забруднювальних речовин, особливо в умовах змінення клімату.

Виклад основного матеріалу. Сучасна водогосподарська ситуація в басейні річки Південний Буг демонструє зменшення більше ніж у 4 рази об'ємів водозбору. У 1995 році він становив 1,185 млрд. м³, в 2019 р. – 279,2 млн. м³. Загальний забір води з поверхневих і підземних джерел басейну р. Південний Буг на території Вінницької області у 2019 році склав 94,5 млн. м³, Миколаївської – 103,8 млн. м³ [18; 19]. Водокористування за рахунок поверхневих прісних джерел забезпечується в Миколаївській області на 93%, у Вінницькій – 89%. Найпотужнішими водокористувачами та джерелами забруднення

поверхневих вод у басейні р. Південний Буг залишаються ПП «Южно-Українська АЕС», водозабір якої складає 23% усього водозабору в басейні (у 2019 р. – 63,1 млн. м³); КП «Вінницяоблводоканал»,

яке забирає 12% від водозабору у басейні (у 2019 р. – 33,5 млн. м³); ВП «Ладжинська ТЕС» (5% – 13,6 млн. м³), ТОВ «Вінницька птахофабрика» (2% – 5,5 млн. м³) [18].

Таблиця 1

Інтегральна оцінка якості води р. Південний Буг – м. Вінниця за нормативами питних потреб за 2019 р.

Показник	$C_i / ГДК_i$	З пріоритетами			Без пріоритетів		
		ранг	$\varphi(i)$	$\varphi(i) C_i / ГДК_i$	ранг	$\varphi(i)$	$\varphi(i) C_i / ГДК_i$
БСК ₅	1,28	1	1,000000	1,28000	5	0,312500	0,40000
Розчинений кисень	0,51	4	0,500000	0,25500	6	0,187500	0,09563
Завислі речовини	0,40	8	0,062500	0,02500	7	0,109375	0,04375
Іон амонію	2,24	2	1,000000	2,24000	4	0,500000	1,12000
Нітрит-іон	7,44	6	0,187500	1,39500	2	1,000000	7,44000
Нітрат-іон	0,05	12	0,005859	0,00029	11	0,010742	0,00054
Хлориди	0,13	10	0,019531	0,00253	9	0,035156	0,00457
Сульфати	0,12	11	0,010742	0,00129	10	0,019531	0,00234
СПАР	8,78	5	0,312500	2,74375	1	1,000000	8,78000
ХСК	2,27	7	0,109375	0,24828	3	0,750000	1,70250
Фосфати	0,40	9	0,035156	0,01406	8	0,062500	0,02500
НП	0,00	3	0,750000	0,00000	12	0,005859	0,00000
Σ			3,993163	8,20520		3,993163	19,614327
$\chi = 8,2052/3,993163 = 2,05$ (припустима)				$\chi = 19,614327/3,993163 = 4,91$ (інтенсивна)			

Таблиця 2

Зведені результати інтегральної оцінки якості води р. Південний Буг за 2019 рік

Пост	Оцінка ступеня забруднення			
	з пріоритетами		без пріоритетів	
<i>рибогосподарські нормативи</i>				
р. Південний Буг – м. Хмільник	6,90	катастрофічна	24,2	катастрофічна
р. Південний Буг – м. Вінниця	6,85	катастрофічна	23,4	катастрофічна
р. Південний Буг – м. Вознесенськ	3,72	істотна	11,5	катастрофічна
<i>нормативи питних потреб</i>				
р. Південний Буг – м. Хмільник	1,96	мала	5,02	катастрофічна
р. Південний Буг – м. Вінниця	2,05	припустима	4,91	інтенсивна
р. Південний Буг – м. Вознесенськ	1,22	мала	2,55	припустима
<i>нормативи культурно-побутового та рекреаційного призначення</i>				
р. Південний Буг – м. Хмільник	1,50	мала	3,18	істотна
р. Південний Буг – м. Вінниця	1,81	мала	4,14	інтенсивна
р. Південний Буг – м. Вознесенськ	0,93	нешкідлива (чиста)	1,55	мала

Таблиця 3

Зведені результати інтегральної оцінки якості води р. Південний Буг за 2003, 2019 рр. за рибогосподарськими нормативами

Пост	Оцінка ступеня забруднення							
	з пріоритетами				без пріоритетів			
	2003		2019		2003		2019	
р. Південний Буг – м. Хмільник	6,41	катастрофічна	6,90	катастрофічна	20,3	катастрофічна	24,2	катастрофічна
р. Південний Буг – м. Вінниця	4,24	інтенсивна	6,85	катастрофічна	13,4	катастрофічна	23,4	катастрофічна
р. Південний Буг – м. Вознесенськ	6,71	катастрофічна	3,72	істотна	20,5	катастрофічна	11,5	катастрофічна

Об'єм водовідведення в поверхневі водні об'єкти басейну р. Південний Буг у 2019 році становив 166,3 млн. м³. У загальному обсязі водовідведення 2019 року найбільшою часткою були нормативно чисті без очищення води (56%). У поверхневі водні об'єкти забруднених стічних вод було скинуто 2%, нормативно очищених на очисних спорудах – 37%, без визначення категорії якості – 5% [18; 19]. Суттєве зменшення забору поверхневих вод призвело до відповідного зменшення скидів стічних вод різних категорій і незворотних втрат, але не покращило гідро екологічну ситуацію в річковому басейні [20].

Виконано оцінку якості води р. Південний Буг за методом інтегральної оцінки якості води, який ґрунтується на розрахунку комплексного показника [21].

Комплексний показник – коефіцієнт забруднення χ , що визначається за формулою:

$$\chi = \sum [(N_i / C_{i,d}) \varphi(i)] / \sum \varphi(i), \quad (1)$$

де N_i – значення показника забруднення; i – номер показника забруднення в ранговій послідовності з m показників; $C_{i,d}$ – норматив (ГДК) показника; $\varphi(i) = i / 2^{i-1}$ – вагова функція; $\sum \varphi(i)$ – приведена кількість показників.

За основні беруться такі показники забруднення з відповідною ранговою послідовністю (i): біологічне споживання кисню (BCK_5) ($i = 1$); іон амонію (NH_4^+) ($i = 2$); нафтопродукти ($НП$) ($i = 3$); розчинений кисень (O_2) ($i = 4$). Ранги іншим показникам установлюють експертно або за співвідношенням $N_i / C_{i,d}$. Залежно від значення коефіцієнта χ складено атестаційну шкалу оцінки ступеня забруднення водного середовища [21].

Виконано інтегральну оцінку якості води р. Південний Буг у просторі (за довжиною річки: м. Хмільник – м. Вінниця – м. Вознесенськ) за 2019 рік для різних водокористувачів (питних потреб, рибогосподарського призначення, культурно-побутового та рекреаційного призначення) [3]. Приклад розрахунку для створу р. Південний Буг – м. Вінниця наведено в таблиці 1 (відповідно до питних нормативів).

Зведені результати інтегральної оцінки якості води річки Південний Буг за 2019 рік відповідно до нормативів якості поверхневих вод, призначених для різних водокористувачів (рибного господарства,

питних потреб, культурно-побутового і рекреаційного призначення) [3], представлені в таблиці 2.

Далі для порівняльного аналізу в часі була виконана інтегральна оцінка якості води р. Південний Буг за 2003 р. за рибогосподарськими нормативами якості поверхневих вод (таблиця 3).

Якість води в р. Південний Буг за результатами інтегральної оцінки в просторі (за довжиною річки) у 2019 році [3] та в часі (2003, 2019 рр.) відповідно до рибогосподарських нормативів оцінюється як катастрофічна. Коливання показників якості води може бути зумовлене акумуляцією забруднювальних речовин у багатьох водосховищах, розташованих уздовж усієї ділянки дослідження, та значною звивистістю русла вище за течією від м. Вознесенськ. Збільшення ж турбулентного водообміну та зменшення концентрації забруднювальних речовин за рахунок збільшення водності також можливе, але регулюється виключно режимом роботи водогосподарських комплексів, розташованих вище за течією річки.

Головні висновки. Результати дослідження дозволяють рекомендувати метод інтегральної оцінки для оцінки якості води р. Південний Буг у процесі розроблення довгострокових заходів та прийняття стратегічних рішень з оздоровлення водного об'єкта. Аналіз кількісних показників демонструє незадовільний екологічний стан річки Південний Буг і визначає потребу в проведенні природоохоронних заходів у гідроекосистемі, направлених на відновлення здатності водного об'єкта до саморегуляції та самоочищення.

Перспективи використання результатів дослідження. Глобальні кліматичні змінення доволі складні. Існує достатньо велика кількість сценаріїв розвитку ситуації, за яких (унаслідок глобального потепління) клімат Півдня України стане більш сухим і теплим. Тому наразі необхідним є створення водогосподарських комплексів, які забезпечать раціональне використання, збереження і відновлення водних ресурсів.

Отримані результати досліджень можуть бути підґрунтям під час визначення тенденцій просторово-часових змінень стану поверхневих прісних вод під впливом природних і антропогенних факторів, під час обґрунтування довгострокових заходів, спрямованих на раціональне використання водного об'єкта, особливо в умовах змінення клімату.

Література

- Шахман І.О., Лобода Н.С. Обґрунтування стратегії водогосподарських заходів на території Нижнього Подніпров'я в умовах глобального потепління. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2010. № 6. С. 210–216.
- Gudans on Water and Climate Adaption. UNECE: Sustainable development goals URL: <https://www.unece.org/index.php?id=11658> (дата звернення: 24.09.2020).
- Iryna Shakhman, Anastasiia Bystriantseva Water Quality Assessment of the Surface Water of the Southern Bug River Basin by Complex Indices. *Journal of Ecological Engineering*. Volume 22, Issue 1, P. 195–205.
- Лобода Н.С., Шахман І.О. Функції відклику водогосподарських систем Нижнього Подніпров'я на зрошення сільськогосподарських масивів водами Дніпра. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2006. Вип. 3. С. 175–181.
- Шахман І.О., Лобода Н.С. Обґрунтування стратегії водогосподарських заходів на території Нижнього Подніпров'я в умовах глобального потепління. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2010. № 6. С. 210–216.

6. Шахман І.О., Лобода Н.С. Оцінка якості води у створі р. Інгулець – м. Снігурівка за гідрохімічними показниками. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. № 17. С. 123–136.
7. Iryna Shakhman, Anastasiia Bystriantseva Environmental approach to assessment of the response of hydroecosystems to anthropogenic load. New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries: monograph / edited by authors. 7th ed. Riga, Latvia: “Baltija Publishing”. 2019. P. 281–301.
8. Shakhman, I.A., Bystriantseva, A.N. Assessment of ecological state and ecological reliability of the Lower section of the Dnieper River 18th International Multidisciplinary scientific Geoconference SGEM (2–8.07. 2018, Albena). Albena, 2018. Vol. 18, pp. 113–119.
9. Шахман І.О. Оцінка екологічного стану та екологічної надійності пониззя річки Дніпро. *Екологічні науки*. 2019. № 1(24). Т. 1. С. 117–120.
10. Водогосподарська обстановка. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://www.davr.gov.ua/vodogospodarska-obstanovka/page-10> (дата звернення: 21.04.2020).
11. Український гідрометеорологічний центр. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33345/hydrology/hydr_vodopillya/ (дата звернення: 25.05.2020).
12. Стан підземних вод України: щорічник. Київ: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2020. 34 іл. 127 с.
13. Резолюція семінару «Урядова Програма розвитку гідроенергетики на період до 2026 року: регіональний рівень (басейн Південного Бугу) – точка зору експертів та громад». Миколаїв, 15.09.2017 р. 6 с.
14. Шахман І.О. Екологічна оцінка якості води середньої течії річки Південний Буг за гідрохімічними показниками. *Тарійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2020. Вип. 113. С. 260–266.
15. Афанасьєв С.О., Васильчук Т.О., Летицька О.М., Білоус О.П. Оцінка екологічного стану річки Південний Буг у відповідності до вимог Водної Рамкової Директиви ЄС. Київ : ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2012. 29 с.
16. Магась Н.І., Трохименко А.Г. Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн річки Південний Буг. *Екологічна безпека*. 2013. № 2 (16). С. 48–52.
17. Єзловецька І.С., Шунков В.С., Буланюк С.М. Оцінка якості води Південного Бугу в місцях потужних питних водозаборів Вінницької області. *Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті*. 2015. № 2 (17). С. 22–39.
18. Басейнове управління водних ресурсів річки Південний Буг. URL: <https://buvrpb.davr.gov.ua/vodni-resursy/analiz-zabezpechennia-vodnuyu-resursamy-naselennia-i-haluzei-ekonomiky> (дата звернення: 07.02.2021).
19. Регіональний офіс водних ресурсів в Миколаївській області. URL: https://mk-vodres.davr.gov.ua/water_resources (дата звернення: 07.02.2021).
20. Южно-Українська АЕС // Офіційний сайт Южно-Українського енергокомплексу. URL: <https://www.sunpp.mk.ua> (дата звернення: 08.04.2020).
21. Гігієна та екологія / За ред. Бардова В.Г. Вінниця: Нова Книга, 2006. 720 с.