

УДК 574.4:504.455

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2024-2.05>

Йосип ГРИБ

доктор біологічних наук, професор, професор кафедри водних біоресурсів, Національний університет водного господарства та природокористування

y.v.hryb@nuwm.edu.ua

ORCID: 0009-0006-2546-8349

Сергій КОВАЛЬЧУК

кандидат сільськогосподарських наук, голова циклової комісії, Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський технічний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування»

s.v.kovalchuk@nuwm.edu.ua

ORCID: 0009-0006-2546-8349

Андрій КАЛЬКО

доктор географічних наук, професор, голова циклової комісії, Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський технічний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування»

edissey@meta.ua

ORCID: 0000-0003-4526-5929

Михайло МИХАЛЬЧУК

старший викладач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства, Національний університет водного господарства та природокористування

m.a.mykhalchuk@nuwm.edu.ua

ORCID: 0009-0006-2546-8349

ФОРМУВАННЯ ТА ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНИЙ СТАН РІЧКОВОЇ МЕРЕЖІ УКРАЇНИ

Анотація. Метою статті є спроба на основі теоретичних викладок експериментально довести наявність різних за характером забруднення і складом домішок впливів на водні ресурси стоків басейнів річок природних зон Полісся і Лісостепу та визначити показники екологічної стійкості основних водних екосистем України на основі даних про коефіцієнти їх якісного стану. Дослідження проводилося на прикладі річок Тетерів і Ворскла. **Методологія роботи** містила загальноприйнятій для природничих наук операційний інструментарій, який, зокрема, включав рекомендовані для гідроекологічних досліджень річкових басейнів спостереження, узагальнення, експеримент та порівняння статистичних даних. **Наукова новизна** роботи полягає в тому, що вперше з точки зору нагальної необхідності у виправленні складної екологічної ситуації у річкових басейнах, спричиненої стічними процесами та наслідками закислення води за участю йонів хлоридів і сульфатів і збільшення її токсичності через присутність важких металів, було запропоновано шляхом визначення джерел забруднення водотоків низку конкретних заходів з відновлення стану водних ресурсів. Величину розрахунку екологічного індексу пропонується визначати як пряму пропорцію до добутку коефіцієнтів буферності водного середовища та коефіцієнта самоочищення, поділеного на добуток коефіцієнтів закислення і коефіцієнтів токсичності. Розрахунок проводиться з метою оцінки стану екологічної стійкості водного середовища та визначення його здатності витримувати або адаптуватися до зовнішніх впливів. Цей індекс запропонований для об'єктивного визначення рівня екологічної стабільності водної екосистеми. Результатом розрахунку екологічного індексу є числове значення, яке дозволяє порівнювати різні водні екосистеми, визначаючи їхню екологічну стабільність і вразливість до різноманітних зовнішніх впливів.

Визначено, що для річки Тетерів є характерним наявність високого вмісту органічного вуглецю, мінеральних форм фосфору, азоту амонійного та завислих речовин у стічних водах. Натомість для Ворскли спостерігається подібна ситуація, але за іншої динаміки впливу. Твердий стік зливових вод має великий вміст зависів і за аналогією з річкою Тетерів характеризується значними об'ємами забруднень.

Висновки. За екологічною стійкістю основних водних екосистем України до першого класу найвищого за рівнем якості води віднесені річки Горинь, Десна та Тетерів. Річки Прип'ять, Стир і гирлова ділянка Західного Бугу визнані у другому та третьому класі як такі, що мають добрий стан. Натомість, річки Устя та Когильник віднесені за якістю води до категорії незадовільного стану екосистем. Через надзвичайно невпорядковану систему внесення пестицидів, мінеральних добрив та інших засобів захисту рослин у сільському господарстві, що є суттєвим чинником забруднення водою прилеглих до угідь, для захисту водних екотонів необхідно посилити контроль за дотриманням усіх регламентів із ведення виробництва задля збереження та відновлення біорізноманіття.

Ключові слова: річкові басейни, завислі речовини, стічні води, водні екосистеми, забруднення, токсичність.

Yosip HRYB

Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor at The Department Of Water Bioresources, The National University of Water and Environmental Engineering

y.v.hryb@nuwm.edu.ua

ORCID: 0009-0006-2546-8349

Sergii KOVALCHUK

Candidate of Agricultural Sciences, Chairman of the Cycle Commission, Separate structural unit "Rivne technical college of the National University of Water and Environmental Engineering"

s.v.kovalchuk@nuwm.edu.ua

ORCID: 0009-0006-2546-8349

Andrii KALKO

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Chairman of the Cycle Commission, Separate structural unit "Rivne technical college of the National University of Water and Environmental Engineering"

edissey@meta.ua

ORCID: 0000-0003-4526-5929

Mykhailo MYHALCHUK

Senior Lecturer of The Department of Ecology, Technology of Environmental Protection and Forestry, The National University of Water and Environmental Engineering

m.a.mykhalchuk@nuwm.edu.ua

ORCID: 0009-0006-2546-8349

FORMATION AND ENVIRONMENTAL-TOXICOLOGICAL STATE OF THE RIVER NETWORK OF UKRAINE

Abstract. The aim of the article is an attempt, based on theoretical explanations, to experimentally prove the existence of different effects on the water resources of the river basins of the Polissia and Forest Steppe natural zones by the nature of pollution and the composition of impurities, and to determine indicators of ecological sustainability of the main water ecosystems of Ukraine based on data on the coefficients of their quality state. The study was conducted on the example of the Teteriv and Vorskla rivers. **The methodology** of the work included operational tools generally accepted for natural sciences, which, in particular, included observations, generalizations, experiments and comparison of statistical data recommended for hydroecological studies of river basins. **The scientific novelty** of the work lies in the fact that for the first time, from the point of view of the urgent need to correct the complex ecological situation in river basins caused by sewage processes and the consequences of water acidification involving chloride and sulfate ions and increasing its toxicity due to the presence of heavy metals, it was proposed by determining the sources pollution of watercourses, a number of specific measures to restore the state of water resources. It is proposed to determine the value of the calculation of the environmental index as a direct proportion to the product of the buffering coefficients of the water environment and the self-cleaning coefficient, divided by the product of the acidification coefficients and toxicity coefficients. The calculation is carried out in order to assess the state of ecological stability of the aquatic environment and determine its ability to withstand or adapt to external influences. This index is proposed to objectively determine the level of ecological stability of the aquatic ecosystem. The result of the ecological index calculation is a numerical value that allows you to compare different water ecosystems, determining their ecological stability and vulnerability to various external influences. It was determined that the Teteriv river is characterized by a high content of organic carbon, mineral forms of phosphorus, ammonium nitrogen and suspended substances in wastewater. On the other hand, a similar situation is observed for Vorskla, but with different dynamics of influence. The solid flow of stormwater has a large content of suspensions and, by analogy with the Teteriv river, is characterized by significant volumes of pollution.

Conclusions. According to the ecological stability of the main water ecosystems of Ukraine, the Horyn, Desna and Teteriv rivers are included in the first class with the highest level of water quality. The rivers Pripjat, Styr and the estuary of the Western Bug are recognized in the second and third class as having a good condition. On the other hand, the Ustya and Kogylnyk rivers are categorized as having an unsatisfactory state of ecosystems in terms of water quality. Due to the extremely disorderly system of applying pesticides, mineral fertilizers and other means of plant protection in agriculture, which is a significant factor in the pollution of water bodies adjacent to land, in order to protect water ecotones, it is necessary to strengthen control over compliance with all production regulations in order to preserve and restore biodiversity.

Key words: river basins, suspended matter, wastewater, water ecosystems, pollution, toxicity.

Постановка проблеми. Водне середовище річкової системи України перебуває у складній екологічній ситуації, що визначається кількома ключовими факторами. Серед них:

- забрудненням недостатньо-очищеними стоками нижче урбанізованих територій;
- трансформацією русел і заплави;
- зниженням чисельності проміжних еко-тонів;
- погіршенням природної кормової бази за фітопланктоном і бентосними організмами;
- замуленням русел;
- ліквідацією зимувальних ям і погіршенням шляхів кормових і нерестових міграцій [1].

Крім того, водне середовище України також стикається із серйозним викликом через викиди з урбанізованих і сільськогосподарських територій, які значно впливають на якість води в річках та інших водоймах. Згідно з даними, близько 70% домішок, які потрапляють у водойми, походять від комунальних і зливових стічних вод з урбанізованих територій, а 20% – надходять із сільськогосподарських угідь. Така ситуація створює важливу проблему, яка вимагає поточного контролю та ефективних стратегій для вирішення [4].

Аналіз джерел та останніх досліджень. У Національній доповіді про стан навколишнього природного середовища України у 2021 р. зазначається про цей обурливий факт забруднення річок, проте говориться і про відсутність конкретних заходів для відновлення стану водних ресурсів [6]. Нові стратегії відродження та охорони річкової мережі потребують наукового обґрунтування і системних заходів, що враховують специфіку кожного регіону.

Наприклад, щодо питного водопостачання великих міст, таких як Київ, існує обґрунтований ризик використання через військові дії чи аварійні ситуації в електромережі лише одного водозабору, наприклад, Деснянського. Це може призвести до перевантаження і надмірного використання водних ресурсів і підвищення

вразливості системи у випадку кризових ситуацій [2].

У міських агломераціях формуються біологічні бар'єри домішок, які стають причиною гарячих точок забруднень. Особливо це стосується солей важких металів, органічних і біогенних домішок, а також нафтопродуктів. Україна стикається з важливим негативним фактором в управлінні водними ресурсами: відсутністю систематичного очищення зливових вод міських поселень від забруднюючих речовин. Це є серйозним викликом для збереження якості води та екологічного здоров'я річкових систем [5].

Зрозуміло, що постійне очищення зливових вод є ключовим елементом в ефективному управлінні водними ресурсами та забезпеченні їх сталого використання.

Метою дослідження є спроба на основі теоретичних викладок експериментально довести наявність різних за характером забруднення та складом домішок впливів на водні ресурси стоків басейнів річок природних зон Полісся і Лісостепу.

Виклад основного матеріалу. Отож, на підставі таких припущень, нами було проведено аналіз складу домішок у стічних водах басейнів низки річкових водойм, зокрема річок Тетерів і Ворскла (табл. 1), у результаті чого виявлено відмінності в характері забруднення та впливу домішок на водні ресурси обох басейнів. Для річки Тетерів є характерним високий вміст органічного вуглецю, мінеральних форм фосфору, азоту амонійного та завислих речовин у стічних водах. Важливим аспектом є те, що питома вага впливу домішок річки Тетерів визначається наступним чином: за рахунок стічних вод цей вплив становить 28%, тоді як зливі води дають найбільший внесок у 53%. Варто відзначити, що поверхнево-схилловий стік із сільськогосподарських угідь також сприяє забрудненню водотоків, причому його питома вага складає аж 18%. Зазначимо, що твердий стік зливових

Таблиця 1

Формування складу домішок річкової води поліських і лісостепових районів України

Лімітуюче забруднення та джерела їх надходження	Складові поверхневого та річкового стоку, питома вага			
	Стічні води	Зливі води з урбанізованих територій	Поверхнево-схилловий стік	
			з с.-г. угідь	з непорушених територій
Полісся, басейн р. Тетерів				
Річний стік води, млн. м ³ /рік	106,8	44,8	118,10	90,1
Органічний вуглець, питома вага, $C_{орг}$	0,034	0,913	0,048	0,005
Фосфор мінеральний, P	0,386	0,324	0,256	0,032
Азот амонійний, NH_4	0,784	0,040	0,173	0,004
Завислі речовини	0,030	0,631	0,332	0,070
Загальна питома вага внесення домішок	0,280	0,528	0,184	0,010
Лісостеп, басейн р. Ворскла				
Річний стік води, млн. м ³ /рік	82,0	94,5	482,8	76,3
Органічний вуглець, питома вага, $C_{орг}$	0,172	0,400	0,407	0,020
Фосфор мінеральний, P	0,360	0,210	0,425	0,006
Азот амонійний, NH_4	0,010	0,710	0,200	0,003
Завислі речовини	0,040	0,634	0,341	0,30
Загальна питома вага внесення домішок	0,270	0,380	0,336	0,017

вод характерний великим вмістом зависів, який становить біля 96%.

Щодо басейну річки Ворскла, то тут спостерігається подібна ситуація, хоча й з іншою динамікою впливу. За рахунок стічних вод цей вплив становить 27% і він аналогічно річці Тетерів характеризується значними об'ємами забруднень. Результати проведеного аналізу підкреслюють необхідність впровадження ефективних заходів для зменшення викидів і покращення якості водних ресурсів у досліджених річкових басейнах.

Натомість, важко переоцінити вплив зливових вод з урбанізованих територій, що є значно меншим і складає всього 38% домішок. А наразі, величезного вкладу до загальної концентрації забруднюючих речовин додають потокові води атмосферних опадів із сільськогосподарських угідь (33,6%). Варто відзначити, що природний стік домішок виявився відносно невеликим, складаючи лише кілька відсотків.

Розуміння загальної екологічної ситуації в річковій мережі потребує аналізу кількох ключових факторів [8]. Буферні властивості водного середовища, закислення, спричинене сольовим фоном, та токсичність, викликана йонами важких металів, взаємодіють, формуючи складний образ екологічних умов. Також важливо враховувати процеси самоочищення водойм, оскільки вони впливають

на загальну стабільність екосистем і якість водних ресурсів.

Враховуючи проведений аналіз і запропоновану формулу розрахунку екологічного індексу, можна визначити його величину як пряму пропорцію до добутку коефіцієнтів буферності водного середовища та коефіцієнта самоочищення, поділеного на добуток коефіцієнтів закислення і коефіцієнтів токсичності:

$$I_e = \frac{K_{буф} \cdot K_{самооч}}{K_{закисл} \cdot K_{токс}}, \quad (1)$$

де $K_{буф}$ – коефіцієнт буферності забруднюючої речовини, який здатний зберігати постійну концентрацію йонів гідрогену, тобто значення pH середовища, визначається за формулою:

$$K_{буф} = \frac{Mg^+}{Ca^{2+}} \quad (2)$$

$K_{самооч}$ – коефіцієнт самоочищення, що показує на скільки середовище може протистояти антропогенному тиску;

$K_{закис}$ – коефіцієнт закислення, показує зміну кислотного балансу водного середовища, визначається співвідношенням:

$$K_{закис} = \frac{Cl^- + SO_4^{2-}(\text{фон})}{Cl^- + SO_4^{2-}(\text{факт})} \quad (3)$$

$K_{токс}$ – коефіцієнт токсичності, наявність у водному середовищі токсичних елементів (важкі метали).

Розрахунок проводиться з метою оцінки стану екологічної стійкості водного середовища та визначення його здатності витримувати або адаптуватися до зовнішніх впливів. Цей індекс запропонований для об'єктивного визначення рівня екологічної стабільності водної екосистеми. Результатом розрахунку екологічного індексу є числове значення, яке дозволяє порівнювати різні водні екосистеми, визначаючи їхню екологічну стабільність і вразливість до різноманітних зовнішніх впливів.

Для проведення розрахунків екологічної стійкості використано відомості про коефіцієнти якісного стану основних водних екосистем України [7], наведені в табл. 2. Ці дані стали основою для оцінки ступеня стійкості водних екосистем і визначення їхньої здатності витримувати зовнішнє антропогенне навантаження.

Для встановлення екологічної стійкості основних водних екосистем України було враховано різноманітність річкових басейнів та показники якості води у них [3]. Проведений аналіз визначив класифікацію річок залежно від якості їхнього стану.

До першого класу, що характеризується найвищим рівнем якості води, віднесені річки Горинь, Десна та Тетерів. Річки Прип'ять, Стир і гирлова ділянка Західного Бугу визнані

у другому та третьому класі як такі, що мають добрий стан. Натомість, річки Устя та Когильник віднесені за якістю води до категорії незадовільного стану екосистем.

Основними чинниками, які визначають екологічну ситуацію, є процеси закислення води за участю йонів хлоридів і сульфатів, а також токсичність води через присутність важких металів.

Основним напрямком покращення незадовільного екологічного стану річкової мережі України є припинення надходжень несанкціонованих, більше того – незаконних скидів стічних та неочищених зливових вод і необхідність залучення державного фінансування з метою будівництва і реконструкції очисних споруд для очищення стічних комунальних і зливових вод [2].

Висновки. Надзвичайно невпорядкованою є система внесення пестицидів, мінеральних добрив та інших засобів захисту рослин у сільському господарстві, що є суттєвим чинником забруднення водойм прилеглих до угідь. Для захисту водних екотонів від впливу неконтрольованого ведення сільського господарства необхідно посилити контроль за дотриманням усіх регламентів із ведення сільського виробництва задля збереження та відновлення біорізноманіття.

Таблиця 2

Екологічна ситуація у річковій мережі України за функціональними характеристиками (у гирлових ділянках)

Річка	Мінералізація, мг/дм ³	Буферність, $K_{буф}$	Закислення $K_{зак}$	Самоочищення, $K_{самооч}$	Токсичність за важкими металами, $K_{токс}$	Екологічний індекс, I_e	Якість, класи
Прип'ять	406,0	0,12	0,61	2,3	3,0	0,110	III
Горинь	650,0	0,17	1,66	1,85	11,0	0,017	I
Стир	390,0	0,13	1,40	2,0	9,0	0,21	IV
Случ	412,0	0,37	1,50	4,4	6,0	0,180	III
Устя	690,0	4,0	1,66	2,03	11,0	0,440	V
Західний Буг	650,0	0,19	0,25	2,1	12,0	0,130	III
Десна	390,0	0,32	4,0	0,38	5,0	0,010	I
Тетерів	960,0	0,50	1,5	0,65	10,0	0,020	I
Рось	814,0	0,29	0,36	2,85	11,0	0,210	IV
Ворскла	974,0	0,21	0,60	0,72	6,0	0,040	I
Когильник	7134,0	0,92	0,86	3,18	8,0	0,420	V
Сарата	3407,0	1,50	2,05	2,58	11,0	0,170	IV

Примітка: Класи $I_e = 0,01-0,049(I)$; $I_e = 0,05-0,1(II)$; $I_e = 0,11-0,2(III)$; $I_e = 0,21-0,3(IV)$, $I_e > 0,31(V)$; Якісний стан – дуже добрий, добрий, задовільний, поганий, дуже поганий.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гриб Й. В. Екологічна оцінка стану річкових басейнів рівнинної частини території України (охорона, відновлення, управління). Рівне. 2000. 405 с.
2. Гриб Й. В., Клименко М. О., Сондак В. В., Войтишина Д. Й. Моніторинг природокористування та стратегія реабілітації порушених річок і озерних екосистем. Рівне. Вісник НУВГП. 2015. 424 с.
3. Забокрицька М. Р., Хільчевський В. К., Манченко А. П. Гідроекологічний стан басейну річки Західного Бугу на території України: монографія. К.: Ніка Центр. 2006. 184 с.
4. Кривцова В., Куклінська М., Красінська О., Йоргенсен С. Річкові екосистеми під антропогенним тиском: ідеї для відновлення та управління. *Екологічна інженерія*. 2016. № 91. С. 640–652. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.01.068.
5. Левківський С. С., Падун М. М. Раціональне використання і охорона водних ресурсів. К.: Либідь. 2006. 280 с.
6. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища України у 2021 р. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (дата звернення: 18.07.2024).
7. Хімко Р. В., Мережко О. І., Бабко Р. В. Малі річки – дослідження охорона, відновлення. К.: Інститут екології. 2003. 378 с.
8. Яцик А. В., Бишовець Л. Б., Богатов Є. О. Малі річки України: Довідник. К.: Урожай. 1991. 259 с.

REFERENCES:

1. Hryb, Y.V. (2000). *Ekologichna ocinka stanu richkovich baseiniv rivninnoi chastini teritorii Ukraini (ohorona, vidnovlennya, upravlinnya)* [Ecological assessment of the state of river basins in the plain part of the territory of Ukraine (protection, restoration, management)]. Rivne. 405 p. [in Ukrainian].
2. Hryb, Y.V., Klimentko, M.O., Sondak, V.V., & Voitishina, D.Y. (2015). *Monitoring prirodokoristuvannya ta strategiya rehabilitacii porushenih richok i ozernih ekosistem* [Monitoring of nature use and rehabilitation strategy of disturbed rivers and lake ecosystems]. Rivne. Visnik NUWM. 424 h. [in Ukrainian].
3. Zabokricka, M.R., Hilchevski, V.K., & Manchenko, A.P. (2006). *Hidekologichnii stan baseynu richki Zahidnogo Bugu na teritorii Ukraini: monografiya* [Hydro-ecological state of the Western Bug River basin on the territory of Ukraine: monograph]. Kiiv: Nika Centr. 184 p. [in Ukrainian].
4. Krivcova, V., Kuklinska, M., Krasinska, O., & Yorgensen, S. (2016). Richcovi ekosistemi pid antropogenim tiskom: idei dlya vidnovlennya ta upravlinnya [River ecosystems under anthropogenic pressure: ideas for restoration and management]. *Environmental engineering*. 91, 640–652. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.01.068 [in Ukrainian].
5. Levkivskii, S.S., & Padun, M.M. (2006). *Racionalne vikoristannya i ohorona vodnih resursiv* [Rational use and protection of water resources]. Kiiv: Libid. 280 p. [in Ukrainian].
6. *Nacionalna dopovid pro stan navkolishnyogo prirodnogo seredovishcha Ukraini u 2021 r.* [National report on the state of the natural environment of Ukraine in 2021] (2021). Retrieved from: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (data zvernennya: 18.07.2024) [in Ukrainian].
7. Himko, R.V., Meregko, O.I., & Babko, R.V. (2003). *Mali richki – doslidgennya ohorona, vidnovlennya* [Small rivers – research, protection, restoration]. Kiiv: Institut ekologii. 378 p. [in Ukrainian].
8. Yacik, A.V., Dishovec, L.B., & Bogatov, E.O. (1991). *Mali richki Ukraini: Dovidnik* [Small rivers of Ukraine: Handbook]. Kiyv: Uroжай. 259 p. [in Ukrainian].