

Ковальчук С. В. [1; ORCID ID: 0009-0006-2546-8349],

к.с.-г.н., голова циклової комісії,

Калько А. Д. [1; ORCID ID: 0000-0003-4526-5929],

д.геогр.н., професор

Рибак В.В. [2; ORCID ID: 0000-0003-3430-2704],

к.с.-г.н., доцент

¹ ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж НУВГП», м. Рівне

² Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ ТА КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ЕКОСИСТЕМИ ШЕЛЬФОВОЇ ЗОНИ МОРЯ

Сьогодення показує нам, що водні екосистеми Атлантичного океану перебувають у кризовому стані через недостатньо ефективне очищення стічних і зливових вод з урбанізованих територій та агротехнічних систем. Біоценози водного середовища Атлантики скоротилися удвічі. Виникла реальна загроза Балтійському морю, яке звичайно є меншим за Атлантичний океан у 15 тисяч разів. Наразі Балтика працює, як відстійник, куди скидають свої забруднені води прибережні країни. При цьому, насправді, Балтика дає біля 12% світового вилову риби. Є такі види, як салака, шпроти, тріска, а також лосось і вугор, що мігрує у річки України з далекого Саргасового моря.

Процеси, що супроводжують екологічні зміни у шельфовій зоні Балтійського моря прямо залежать від інтенсивності водообміну температури та кількості забруднених вод. Одним із об'єктів впливу на формування екологічної ситуації Балтійського моря є річка Західний Буг, яка протікає через території таких країн, як Польща, Україна та Білорусь і впадає до річки Вісла. Водоприймач Західного Бугу - Балтійське море має ознаки застійної водойми. Дно тут має ряд котловин, що розділені греблями. По вертикалі формується стратифікація за солоністю води, вмісту розчиненого кисню та наявністю сірководню, токсичного для ікри і молодих риб. Проблема визначення токсичності поверхневих вод залишається актуальною і дискусійною, оскільки залежить від багатьох чинників чисельності і концентрації домішок, їх токсичності та синергізму, жорсткості води та її мінералізації, газового режиму, радіусу потенціалу.

На сьогодні, згідно із прийнятими нормативними визначеннями якості води при оцінці стану іхтіоекологічної ситуації приймається рівень перевищення гранично допустимих концентрацій одного із переважаючих токсичних додатків (йонів важких металів, фенолів,



отрутохімікатів, СПАР, нафтопродуктів тощо), за якими визначається індекс токсичності. В роботі пропонується методика оцінки токсичності водного середовища за відношенням перевищень суми токсичних домішок до регламентованих величин. Коефіцієнт закислення можна вирахувати за відношенням суми хлоридних і сульфатних йонів, визначених при гідрохімічних зйомках до їх реперних характеристик. За узгодженими даними у створі села Литовеж у водах річки Західного Бугу спостерігаємо значні перевищення за токсичністю по десятиох позиціях. У чотири та більше разів.

Ключові слова: екосистема, Атлантичний океан, Балтійське море, Західний Буг, іхтіофауна, токсичні домішки, антропогенне навантаження, зміни клімату, біотропи, забруднення, стічні води, самоочищення.

Постановка проблеми. У 1973 р. у Гданську була прийнята Міжнародна конвенція по боротьбі з забрудненням Балтійського моря, що стало значним кроком для збереження екосистеми з низькою самоочисною здатністю, слабким зв'язком зі Світовим Океаном, незначним водообміном і надмірним антропогенним навантаженням.

До берегів моря прилягає сім країн з високорозвиненою промисловістю, транспортом, агропромисловою і комунальною сферами. У портових містах мешкає більше вісьмох мільйонів осіб, а одна із основних складових навантаження на шельфову зону Балтійського моря - це надзвичайно густа річкова мережа, більше двохсот річкових русел, що несуть з поверхневим стоком недоочищені води урбанізованих територій.

Серйозний вплив на екосистему шельфу Балтійського моря створює глобальне потепління, наслідком якого є зміна річкового стоку через зростання кількості опадів і паводків, що підсилює надходження прісної води та поживних речовин, що призводить до опріснення, посилення стратифікації, евтрофікації та дефіциту кисню, змінюючи структуру й стійкість морських біоценозів.

За даними наукових досліджень біоценози водного середовища Атлантичного океану скоротилися удвічі. Виникає питання: чи є загроза Балтійському морю, яке менше Атлантики у 15 тисяч разів. Фактично, море працює, як відстійник, куди скидають свої забруднені води прибережні країни.

Необхідно врахувати, що Балтика дає біля 12% світового вилову риби. Є такі види, як салака, шпроти, тріска, а також лосось і вугор, що мігрує у річки України з далекого Саргасового моря.

Антропогенне забруднення поділяють на дві групи відповідно до транспортування і маршруту: викиди зі стічних вод очисних споруд, фабрик або муніципальної каналізації та із сільськогосподарського ландшафту з атмосферними опадами (25% азотного забруднення).

Як відомо, стан води шельфової зони Балтійського моря залежить від багатьох факторів, таких як зміна клімату, скидання стічних вод, забруднення промисловими скидами підприємств, несанкціоновані стоки із фермерських господарств, що потрапляють до моря річковою мережею. Останніми роками Балтійське море перебуває під великим антропогенним тиском, внаслідок якого, спостерігається накопичення на його дні значної кількості шкідливих речовин і токсичних речовин, що загрожують екологічній безпеці регіону. Це може призвести до зниження біопродуктивності кормової бази, знищення основних промислових видів риб, зміни якості води та ін. Процеси, що супроводжують екологічні зміни в шельфовій зоні Балтійського моря прямо залежать від інтенсивності водообміну та кількості забруднених вод. Одним із об'єктів впливу на формування екологічної ситуації моря є річка Західний Буг, яка протікає через території Польщі, України та Білорусі і впадає до річки Вісла.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з останніми оцінками, води Балтійського моря містять підвищені рівні азоту та фосфатів, що призводить до їх евтрофікації (збільшення кількості водоростей та інших рослинних організмів) і часткового кисневого дефіциту (гіпоксія).

Проблемою неконтрольованого антропогенного навантаження на річкові системи басейну Балтійського моря, а також в цілому морської акваторії присвячено ряд публікацій, як вітчизняних, так і зарубіжних науковців. Зокрема, Гриба Й. В. [1, 2], Клименка М. О., Сондака В. В. [2], Забокрицької М. Р. [3, 7], Хільчевського В. К. [7], Монченко А. П. [7], Бєдункової О. О., Edyta K. [4], Bricker S. [5], Conley D. [6, 8], Howarth R. [8], Ducrotoy J. [10].

Мета і завдання досліджень. Визначити екологічне значення та фактори утворення поверхневого стоку як чинника формування екосистеми шельфової зони моря на прикладі Балтики.

Виклад основного матеріалу досліджень. На даний час евтрофікація вважається найбільшою екологічною проблемою сьогодення для поверхневих вод і для всього Балтійського моря, що в свою чергу посилюється зростанням кількості опадів в результаті глобального потепління. Висока концентрація забруднюючих речовин стимулює і призводить до погіршення якості води, що відображається на екстенсивному цвітінню потенційно токсичних



синьо-зелених водоростей (ціанобактерій), які є загрозою іхтіофауни шельфової зони Балтійського моря [7-10].

Водоприймач Західного Бугу - Балтійське море має ознаки застійної водойми. Дно тут має ряд котловин, що розділені греблями. По вертикалі формується стратифікація за солоністю води, вмісту розчиненого кисню та наявністю сірководню, токсичного для ікри і молодих риб. Дрифт органічних домішок із річкової мережі у літні періоди веде до їх накопичення, витрат розчиненого кисню на окислення та концентрації сірководню.

Тобто сума навіть незначних домішок у воді веде до забруднення моря і кризи у відстійниках риб, хоча основа база - це відтворення гирлових ділянок річок, що впадають у море. ЮНЕСКО так визначило термін «забруднення»: «пряме або пасивне внесення речовин або енергії до морського середовища, включаючи прибережні або гирлові райони, які призводять до шкідливих наслідків для живих організмів і здоров'я людини, не допускаючи розвитку активної людської життєдіяльності, в тому числі рибальства, спричиняючи зміни якості морської води і завдаючи збитку господарству».

Проблема визначення токсичності поверхневих вод залишається актуальною і дискусійною, оскільки залежить від багатьох чинників чисельності і концентрації домішок, їх токсичності та синергізму, жорсткості води та її мінералізації, газового режиму, радіусу потенціалу.

На сьогодні, згідно із прийнятими нормативними визначеннями якості води при оцінці стану іхтіоекологічної ситуації приймається рівень перевищення гранично допустимих концентрацій одного з переважаючих токсичних додатків (йонів важких металів, фенолів, отрутохімікатів, СПАР, нафтопродуктів тощо), за якими визначається індекс токсичності $I_{\text{ТОК}}$.

На нашу думку, з досвіду практичної гідрохімії, цей підхід хоч і є практичним, однак не дуже вдалим, оскільки рівень формування токсичної ситуації визначає сумарний вплив домішок та чинників, при цьому не дається оцінка процесу самоочищення біотою води, самоочищення органічних домішок, інтенсивності біосинтезу фіто- та зоопланктону.

Для оцінки токсичності водного середовища можна використати формулу:

$$I_e = \left[\left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i0}} \right) : n \right] \alpha_1 \alpha_2 \quad (1)$$

де $\sum_{n+1}^n \frac{C_i}{C_{io}}$ - відношення перевищень суми токсичних домішок до регламентованих величин;

n - чисельність токсичних домішок;

α_1 - коефіцієнт самоочищення водного середовища від органічних домішок за відношенням маси органічного вуглецю до величини BCK_5 (масу органічного вуглецю можна прийняти за перманганатну окисленість);

α_2 - вплив величини мінералізації на токсичність середовища (очевидно за добутком розчинності солей).

В подальшому необхідно звернути увагу на процес закислення водного середовища. При оцінці результатів досліджень сольового складу мінералізації води давалась оцінка загальної маси, при цьому не зверталася увага на процеси закислення. Коефіцієнт закислення можна вирахувати за відношенням суми хлоридних і сульфатних йонів, визначених при гідрохімічних зйомках до їх реперних характеристик (за Г. Д. Коненко). Таким чином:

$$\alpha_1 = \frac{(Cl^- + SO_4^{2-})_{\text{факт}}}{(Cl^- + SO_4^{2-})_{\text{реп}}} \quad (2)$$

Для прикладу приведемо оцінку екологічної ситуації у водному середовищі річки Західний Буг у створі нижче м. Сокаль за усередненими даними межені (власні дані) за вмістом токсичних домішок (табл. 1).

Таблиця 1

Токсичність води річки Західний Буг за домішками у створі нижче м. Сокаль, мкг/дм³

№ п/п	Види домішок	Регламентовані величини	Фактичні значення	Перевищення ГДК
1	Ртуть	0,02 - 0,05	-	-
2	Калій	0,1	-	-
3	Мідь	1,0	54,0	54,0
4	Цинк	10,0 - 15,0	8,0	2,0
5	Свинець	2,0 - 5,0	11,0	2,0
6	Хром заг.	2,0 - 3,0	4,0	1,3
7	Нікель	1,0 - 5,0	2,0	0,5
8	Миш'як	1,0 - 3,0	-	-
9	Залізо заг.	50,0 - 70,0	100,0	2,0
10	Марганець	10,0 - 25,0	50,0	2,0

продовження табл. 1

11	Фториди	100,0 - 125,0	20,0	-
12	Ціаніди	1,0 - 5,0	-	-
13	Нафтопродукти	10,0 - 25,0	20,0	-
14	СПАР	<10,0	20,0	2,0
Сумарне перевищення за іонами металів				65,0

Примітка: Індекс токсичності за іонами переважаючих домішок склав $65 / 5 = 13$.

Коефіцієнт самоочищення за відношеннями маси органічного вуглецю до величини біохімічного споживання кисню за 5 діб: $28,0 / 4,0 = 7,0$. Рівень токсичності у створі спостережень буде складати: $I_c = 13 \times 7 = 91$, тобто стан водного середовища за п'ятим класом якості, води брудні. Токсичні домішки впливають на стан самоочищення за величиною $БСК_5$, тому її значення можна прийняти за створом, що знаходиться вище місця забруднення.

За даними досліджень вчених з польської сторони у створі с. Литовеж спостерігаємо перевищення за вмістом іонів міді, цинку, хрому, заліза, нафтопродуктів, СПАР (табл. 2).

Таблиця 2

Токсичність води річки Західного Бугу за домішками у створі
с. Литовеж, мг/дм³

№ п/п	Види домішок	Регламентовані значення	Фактичне значення	Коефіцієнт перевищення значень
1	Нікель	1,0	40,0	40,0
2	Свинець	2,0 - 5,0	30,0	6,0
3	Калій	0,1	5,0	50,0
4	Мідь	1,0	18,0	18,0
5	Миш'як	1,0 - 3,0	Не визн.	0
6	Цинк	10,0 - 15,0	487,0	32,0
7	Ртуть	0,02 - 0,05	0,2	4,4
8	Хром	2,0 - 3,0	10,0	3,3
9	Алюміній	10,0	Не визн.	0
10	Марганець	1,0 - 3,0	0,17	0
11	Залізо заг.	50,0 - 70,0	522,0	10,0
12	Феноли леткі	1,0	3,0	3,0
13	СПАР	10,0	209,0	21,0
14	Нафтопродукти	10 - 25	60,0	2,0
15	Хлориди, мг/дм ³	50,0	116,0	2,3

продовження табл. 2

16	Сульфати	10,0	128,0	13,0
17	Органічна речовина, C_{org}	7,0	30,0	4,3
18	БСК ₅ , г O ₂ / дм ³	2,0	18,0	9,0
Прийняте сумарне перевищення за іонами металів				163,0

Примітка: З польської сторони за еталон прийняті дані другого класу якості вод.

За узгодженими даними у створі с. Литовеж у водах річки Західного Бугу спостерігаємо значні перевищення за токсичністю по десятих позиціях, що дає усереднені значення:

$$I_e = 163,0 / 10 = 16,3.$$

Коефіцієнт самоочищення матиме величину (табл. 3):

$$D = C_{org} / БСК_5 = 30 : 18 = 1,6.$$

Коефіцієнт самоочищення водного об'єкта, розрахований як відношення концентрації органічних речовин до показника БСК₅, становить $D = 1,6$, що свідчить про обмежену здатність води до природного самоочищення та вказує на наявність помірного органічного навантаження.

Таблиця 3

Питома вага компонентів річкового стоку за внесенням домішок на території України

Складові елементи річкового стоку	Значення фактичних коефіцієнтів						Усереднені значення, α
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	
Стічні води	0,81	0,54	0,47	0,50	0,07	0,34	0,466
Поверхнево-схилний стік з непорушених територій	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,10	0,028
Поверхнево-схилний стік з с/г угідь	0,12	0,44	0,48	0,22	0,17	0,38	0,300
Зливовий стік з урбанізованих територій	0,07	0,02	0,04	0,24	0,75	0,19	0,216
Всього	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Примітка: α_1 – внесення азоту амонійного; α_2 – внесення азоту загального; α_3 – внесення фосфору мінерального; α_4 – внесення органічного вуглецю; α_5 – внесення завислих речовин; α_6 – внесення токсичних домішок.

Висновки. Таким чином, токсичність води ріки Західний Буг у створі с. Литовеж складатиме:

$$I_c = 16,3 \times 1,6 = 22,1$$

За переважаючими видами токсичних домішок (коефіцієнт α більше 10,0). Екологічний індекс токсичності складатиме:

$$I_e = 28,3 \times 1,6 = 45,0$$

1. Гриб В. Й., Ковальчук С. В., Калько А. Д. До питання визначення токсичності поверхневих вод. «Екологія. Людина. Суспільство». Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції, 5 червня 2024 р. Київ : КПІ імені Ігоря Сікорського, 2024. С. 118-121. DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.303421>. 2. Гриб Й. В., Сондак В. В. Антропогенна трансформація і шляхи омолодження озер Волині. *Українське Полісся: вчора, сьогодні, завтра*: зб. наук. праць. Луцьк: Надстир'я, 1998. С. 172-174. 3. Забокрицька М. Р. Міждержавне співробітництво з моніторингу та управління водними ресурсами р. Західний Буг. Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія. 2011. №2. С. 142-147. 4. Edyta K., Marcin K., Magdalena U. and other. Point sources of nutrient pollution in the lowland river catchment in the context of the Baltic Sea eutrophication. *Ecological Engineering* 70 (2014) 337–348. 5. Bricker, S., Longstaff, B., Dennison, W., Jones, A., Boicourt, K., Wicks, C., 2007. Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: a decade of change. In: NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 26. National Centers for Coastal Ocean Science. Silver Spring, MD. 6. Vahtera, E., Conley, D. J., Gustafsson, B. G., 2007. Internal ecosystem feedbacks enhance nitrogen-fixing cyanobacteria blooms and complicate management in the Baltic Sea. *Ambio* 36 (2–3), 186–194. 7. 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. 8. Conley, D.J., Humborg, C., Rahm, L., Savchuk, O. P., Wulff, F., 2002. Hypoxia in the Baltic Sea and basin-scale changes in phosphorus biogeochemistry. *Environ. Sci. Technol.* 36 (24), 5315–5320. 9. Diaz, R. J., Rosenberg, R., 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science* 321, 926. 10. Ducrotoy, J.-P., Elliott, M., 2008. The science and management of the North Sea and the Baltic Sea: natural history, present threats and future challenges. *Mar. Pollut. Bull.* 57, 8–21.

REFERENCES:

1. Hryb Y. V., Kovalchuk S. V., Kalko A. D. Do pitannya viznachennya toksichnosti poverhnevih vol. «*Ekologiya. Lyudina. Suspilstvo*». *Materiali XXIV Mignarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii, 5 chervnya 2024 r.* Kiiv : KPI imeni Igorya Sikorsrogo, 2024. S. 118-121. DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.303421>. 2. Hryb Y. V., Sondak V. V. Antropogenna transformaciya i shlyahi omolodgennya ozer Volini. *Ukrainske Polissya: vchora, sodaynii, zavtra*: zb. nauk. prac. Luck: Nadstirya, 1998. S. 172-174. 3. Zabokricka M. R. Migdergavne spirobitnictvo z monitoringu ta upravlinnya vodnimi resursami r. Zahidnii Bug. *Hidrologiya, hidrochimiya i hidroekologiya*. 2011. №2. S. 142-147. 4. Edyta K., Marcin K., Magdalena U. and other. Point sources of nutrient pollution in the lowland river catchment in the context of the Baltic Sea eutrophication. *Ecological Engineering* 70 (2014) 337–348. 5. Bricker, S., Longstaff, B., Dennison, W., Jones, A., Boicourt, K., Wicks, C., 2007. Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: a decade of change. In: NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 26. National Centers for Coastal Ocean Science. Silver Spring, MD. 6. Vahtera,

117

E., Conley, D. J., Gustafsson, B. G., 2007. Internal ecosystem feedbacks enhance nitrogen-fixing cyanobacteria blooms and complicate management in the Baltic Sea. *Ambio* 36 (2–3), 186–194. **7.** Zabokricka M. R., Hilchevskii V. K., Manchenko A. P. *Hiroekologichni stan baseinu richki Zahidnogo Budu na teritorii Ukraini: monografiya*. K.: Nika Centr, 2006. 184 s. **8.** Conley, D.J., Humborg, C., Rahm, L., Savchuk, O. P., Wulff, F., 2002. Hypoxia in the Baltic Sea and basin-scale changes in phosphorus biogeochemistry. *Environ. Sci. Technol.* 36 (24), 5315–5320. **9.** Diaz, R. J., Rosenberg, R., 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science* 321, 926. **10.** Ducrotoy, J.-P., Elliott, M., 2008. The science and management of the North Sea and the Baltic Sea: natural history, present threats and future challenges. *Mar. Pollut. Bull.* 57, 8–21.

Kovalchuk S. V. [1; ORCID ID: 0009-0006-2546-8349],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.),

Chairman of the Cycle Commission,

Kalko A. D. [1; ORCID ID: 0000-0003-4526-5929],

Doctor of Geographical Sciences, Professor

Rybak V. V. [2; ORCID ID: 0009-0003-3430-2704],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.),

¹SSU «Rivne Technical Professional College of NUWEE», Rivne

²Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi

INFLUENCE OF SURFACE RUN AND CLIMATIC FACTORS ON THE FORMATION OF THE ECOSYSTEM OF THE SEA SHELF ZONE

Today shows us that the aquatic ecosystems of the Atlantic Ocean are in a state of crisis due to insufficiently effective treatment of wastewater and stormwater from urban areas and agricultural systems. The biocenoses of the Atlantic aquatic environment have decreased by half. A real threat has arisen to the Baltic Sea, which is usually 15 thousand times smaller than the Atlantic Ocean. Currently, the Baltic Sea works as a settling tank, where coastal countries dump their polluted waters. In fact, the Baltic Sea provides about 12% of the world's fish catch. There are such species as herring, sprat, cod, as well as salmon and eel, which migrate to the rivers of Ukraine from the distant Sargasso Sea.

The processes that accompany ecological changes in the shelf zone of the Baltic Sea directly depend on the intensity of water exchange, temperature and the amount of polluted water. One of the objects of influence on the formation of the ecological situation of the Baltic Sea is the Western Bug River, which flows through the territories of such countries as Poland, Ukraine and Belarus and flows into the Vistula River. The water intake of the Western Bug - the Baltic Sea has the characteristics of a stagnant reservoir. The bottom here has a number of basins separated by

dams. Vertical stratification is formed by water salinity, dissolved oxygen content and the presence of hydrogen sulfide, toxic to caviar and young fish. The problem of determining the toxicity of surface waters remains relevant and debatable, since it depends on many factors: the number and concentration of impurities, their toxicity and synergism, water hardness and its mineralization, gas regime, potential radius.

Today, according to the accepted normative definitions of water quality, when assessing the state of the ichthyological situation, the level of exceeding the maximum permissible concentrations of one of the predominant toxic additives (heavy metal ions, phenols, toxic chemicals, SPAR, petroleum products, etc.) is taken, by which the toxicity index is determined. The paper proposes a method for assessing the toxicity of the aquatic environment based on the ratio of excesses of the sum of toxic impurities to regulated values. It is necessary to pay attention to the process of acidification of the aquatic environment. When assessing the results of studies of the salt composition of water mineralization, an estimate of the total mass was given, while no attention was paid to the acidification processes. The acidification coefficient can be calculated by the ratio of the sum of chloride and sulfate ions determined during hydrochemical surveys to their reference characteristics. According to the agreed data, in the area of the village of Lytovezh in the waters of the Western Bug River, we observe significant excesses in toxicity in ten positions by four or more times, and the state of the aquatic environment can be characterized by the fifth quality class, that is, the water is dirty.

Keywords: ecosystem; Atlantic Ocean; Baltic Sea; Western Bug; ichthyofauna; toxic impurities; anthropogenic load; climate change biotopes; pollution; wastewater; self-purification.

Отримано/ Received: 25.02.2026

Прийнято до друку / Accepted: 13.03.2026

Опубліковано/ Published: 27.03.2026

