

УДК 504.75:681.2.543

СИСТЕМА ЗБАЛАНСОВАНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГІДРОБІОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

© Володимир Юзевич¹, Наталія Луців², 2010¹Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, 79601, Львів, Україна²Львівський інститут економіки і туризму, вул. Менцинського, 8, 79007, Львів, Україна

Запропоновано рекомендації щодо вибору збалансованих показників для оцінки параметрів водного режиму і вимірювання гідробіологічних характеристик в озерах.

Предложены рекомендации относительно выбора сбалансированных показателей для оценки параметров водного режима и измерения гидробиологических характеристик в озерах.

The recommendation in relation to the choice of the balanced indexes for the estimation of parameters of the water mode and measuring of hydrobiological characteristics in lakes are offered.

Визначення якості води Шацьких озер має важливе значення для оцінки екологічної ситуації басейну рік Західний Буг і Прип'яті, основних напрямів водохоронної діяльності для оздоровлення екологічного стану кожного водного об'єкта, встановлення екологічних нормативів якості води.

Обмежимося розглядом нерівноважних фізико-хімічних та гідробіологічних процесів, які проходять у водному середовищі озер Шацького національного природного парку (ШНПП).

Новизна комплексної проблематики в тому, що у цій праці запропоновано рекомендації щодо вибору збалансованих показників для оцінки параметрів водного режиму і вимірювання гідробіологічних характеристик в озерах.

Зв'язок проблеми з науковими та практичними завданнями. Практичне завдання: з урахуванням міжнародних стандартів ISO 14000 і ISO/IEC 17025 слід дати рекомендації щодо достовірної оцінки параметрів водного режиму і гідробіологічних параметрів, які використовуються для екологічних досліджень. Наукове завдання: необхідно удосконалити стандарти, інструкції, а також розробити нові методики і засоби екологічного моніторингу з метою встановлення меж зміни параметрів відновлювальних процесів у лімнології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з цієї проблеми. Елементи методології вимірювання гідробіологічних параметрів у водних системах розглядалися у праці [1]. Вимірювання параметрів гідро-

біологічного і водного режимів в акваторії озер доцільно виконувати відповідно до математичної моделі, основи якої подано у [2].

На підставі розрахунків екологічної оцінки водного середовища Шацьких озер встановлено якісні висновки [3]:

1) за сольовим складом, критерієм специфічних речовин токсичної та радіаційної дії якість води озер відповідає I класу, "відмінна" за станом, "дуже чиста" за ступенем чистоти;

2) за еколого-санітарним блоком поверхневі води озер оцінені II–III класами якості, "задовільні" за станом, "забруднені" за ступенем чистоти;

3) інтегральний екологічний індекс якості води дає підставу зарахувати водойми озер до I класу, що відповідає назві класу "відмінна", "добра" за станом, "дуже чиста" та "чиста" за ступенем чистоти.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрих стосується стаття: не розроблено достатньо обґрунтованих методик експериментальних досліджень для аналізу відновлювальних процесів у водних системах озер.

Основними завданнями є розроблення нових методик і засобів моніторингу для аналізу відновлювальних процесів.

Об'єкт досліджень – фізико-хімічні характеристики та біологічне різноманіття водних екосистем озер ШНПП і їх зміни при реалізації відновлювальних процесів.

Предмет досліджень – методологія та методики оцінок фізико-хімічних та гідробіологічних характеристик водного середовища озер ШНПП.

Основна частина. Для кількісного аналізу відновлювальних процесів у лімнології слід запропонувати швидкості зміни параметрів $V_{C(j)}$ (концентрацій неконсервативних речовин):

$$V_{C(j)} = \frac{C_2 - C_1}{C_s} = \frac{2(C_2 - C_1)}{C_2 + C_1}, \quad C_s = \frac{C_2 + C_1}{2}, \quad (1)$$

де C_1 – початкова концентрація; C_2 – кінцева концентрація; C_s – середня концентрація. Значення швидкості $V_{C(j)} > 0$, якщо переважає антропологічне навантаження, і $V_{C(j)} < 0$ для відновлювальних процесів.

Розглянемо дані [3], в яких загальна мінералізація, сульфати і хлориди виділені в один блок (блок “А”). Їм відповідає індекс забруднення води компонентами сольового складу I_A (I_A – загальна мінералізація, сульфати і хлориди, електропровідність, водневий показник рН). Для озера Світязь відновлювальний процес спостерігається тільки для хлоридів (хл). Зокрема, для 2006–2007 рр. $V_{C(xl)} = -0,352$, для 2005–2006 рр.

$V_{C(xl)\beta} = 0,255$. Завдяки тому, що $|-0,352| > |0,255|$, концентрація хлоридів в озері в 2007 році була менша порівняно з 2005 р. Цю ситуацію характеризуватиме різниця:

$$\Delta V_{C(xl)} = |V_{C(xl)\alpha}| - |V_{C(xl)\beta}| = 0,097. \quad (2)$$

Для озера Люцимер відновлювальні процеси спостерігаються для хлоридів (хл) і загальної мінералізації (мін). Для періоду 2006–2007 рр. $V_{C(xl)} = -1,25$; $V_{C(мін)} = -0,627$. Для озера Пісочне відновлювальні процеси також спостерігаються для хлоридів (хл) і загальної мінералізації (мін): в 2006–2007 рр. $V_{C(xl)} = -1,052$;

$V_{C(мін)} = -0,844$. І для озера Перемут відновлювальні процеси спостерігаються для хлоридів (хл) та

загальної мінералізації (мін): в 2006–2007 рр. $V_{C(xl)} = -0,667$; $V_{C(мін)} = -0,88$.

Для озера Велике Чорне відновлювальні процеси відзначаються для хлоридів (хл), сульфатів (сф) і загальної мінералізації (мін): в 2006–2007 рр. $V_{C(xl)} = -1,302$; $V_{C(сф)} = -0,337$; $V_{C(мін)} = -0,759$. Відповідні швидкості мають від’ємний знак.

Для параметра I_A введемо швидкість $V_{C(IA)}$ і на основі [3] отримаємо дані, наведені в табл. 1.

У табл. 1 значення $\Delta V_{C(IA)}$ розраховано тільки у разі $V_{C(IA)\alpha} < 0$, $V_{C(IA)\beta} > 0$. Якщо $\Delta V_{C(IA)} > 0$ (зокрема, для озера Люцимер), то самоочищувальна здатність переважає вплив антропологічного навантаження і параметр I_A в 2007 р. є меншим порівняно з 2005 р. Якщо $\Delta V_{C(IA)} < 0$ (для озер Пісочне та В. Чорне), то самоочищувальна здатність не переважає впливу антропологічного навантаження і параметр I_A в 2007 р. є більшим порівняно з 2005 р. Для озера Перемут $\Delta V_{C(IA)} = -0,658$ ($V_{C(IA)\alpha} < 0$, $V_{C(IA)\beta} < 0$), $\Delta V_{C(IA)}$ характеризує зменшення темпів самоочищувальної здатності. Для озера Світязь $\Delta V_{C(IA)} = 0,133$ ($V_{C(IA)\alpha} > 0$, $V_{C(IA)\beta} = 0$), $\Delta V_{C(IA)}$ характеризує зростання темпів антропологічного навантаження.

Для параметра I_B (завислі речовини, біологічне споживання кисню (БСК), нітрати, нітрити, фосфати) введемо швидкість $V_{C(IB)}$ і на основі [3] отримаємо дані, наведені в табл. 2.

Для параметра I_C (залізо, хром, марганець, нікель) введемо швидкість $V_{C(IC)}$ і на основі [3] одержимо дані, наведені в табл. 3.

Для параметра I_E (інтегрального екологічного індексу, який є середнім арифметичним від трьох факторних індексів I_A , I_B , I_C) введемо швидкість $V_{C(IE)}$ і на основі [3] отримаємо дані, наведені в табл. 4.

Таблиця 1

Швидкість відновлюваних процесів $V_{C(IB)}$ для параметра I_A (загальна мінералізація, сульфати і хлориди)

Озеро	Світязь	Люцимер	Пісочне	Перемут	В. Чорне
$V_{C(IA)\alpha}$, 2006–2007 рр.	0,133	-0,6	-0,8	-0,667	-0,857
$V_{C(IA)\beta}$, 2005–2006 рр.	0	0,476	0,947	-1,325	1,158
$\Delta V_{C(IA)} = V_{C(IA)\alpha} - V_{C(IA)\beta} $		0,124	-0,147	-0,658	-0,301

Таблиця 2

Швидкість відновлюваних процесів $V_{C(IB)}$ для параметра I_B (завислі речовини, біологічне споживання кисню (БСК), нітрати, нітрити, фосфати)

Озеро	Світязь	Люцимер	Пісочне	Перемут	В. Чорне
$V_{C(IB)\alpha}$, 2006–2007 рр.	-0,4	-0,243	-0,533	-0,557	-1,111
$V_{C(IB)\beta}$, 2005–2006 рр.	0,016	-0,298	0,088	0,406	0,471
$\Delta V_{C(IB)} = V_{C(IB)\alpha} - V_{C(IB)\beta} $	0,384	-0,055	0,445	0,151	0,641

Таблиця 3

Швидкість відновлюваних процесів $V_{C(IC)}$ для параметра I_C (залізо, хром, марганець, нікель)

Озеро	Світязь	Люцимер	Пісочне	Перемут	В. Чорне
$V_{C(IC)a}$, 2006–2007 рр.	0,5454	0,857	– 0,286	0,296	– 0,090
$V_{C(IC)b}$, 2005–2006 рр.	0,909	– 1,186	– 0,933	– 0,230	– 0,272
$\Delta V_{C(IC)} = V_{C(IC)a} - V_{C(IC)b} $	– 0,364	– 0,329	– 0,648	0,066	– 0,182

Таблиця 4

Швидкість відновлюваних процесів $V_{C(IE)}$ для параметра I_E (який усереднює три факторні індекси I_A, I_B, I_C)

Озеро	Світязь	Люцимер	Пісочне	Перемут	В. Чорне
$V_{C(IE)a}$, 2006–2007 рр.	– 0,213	– 0,087	– 0,451	– 0,478	– 0,862
$V_{C(IE)b}$, 2005–2006 рр.	0,08	– 0,4	– 0,101	0,014	0,355
$\Delta V_{C(IE)} = V_{C(IE)a} - V_{C(IE)b} $	0,133	– 0,313	0,440	0,463	0,508

Якщо усереднити перший рядок у табл. 4, то отримаємо

$$V_{C(IE)a(s)} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 V_{C(IE)a(s)i} = -0,436. \quad (3)$$

Це значення (3) можна трактувати як усереднене значення інтенсивності відновлювальних процесів системи озер (Світязь, Люцимер, Пісочне, Перемут, В. Чорне) у період 2006–2007 рр.

Екологічний стан водних систем визначається також значенням водневого показника pH . Для озер ШНПП pH близький до 1 [4], тому вода в них має лужний характер.

Для озера Світязь за даними [4] відновлювальні процеси спостерігались для pH тільки в деякі роки:

$V_{C(pH)} = - 0,236$ (1974–1978 рр.; $pH=[1,22;0,96]$),
 $V_{C(pH)} = - 0,0388$ (1984–1989 рр. $pH=[1,05;1,01]$),
 $V_{C(pH)} = - 0,0612$ (1989–1991 рр. $pH=[1,01; 0,95]$). Ці дані суперечать даним праці [8], згідно з якими $V_{C(pH)} = - 0,076$ (2004–2005 рр. $pH=[8,2; 7,6]$),
 $V_{C(pH)} = - 0,01976$ (2007–2008 рр. $pH=[7,9; 7,75]$). Крім того, зазначимо, що у праці [4] значення pH дещо завищені (якщо порівняти з аналогічними даними [5]).

Для озера Світязь виконаємо аналіз фосфатів за даними [4] ($C = 0,02$ мг/л (2007)), а також [6]

($C = 0,068$ мг/л (2008)). Гранична концентрація $C_T = 0,2$ мг/л для рибних господарств і її можна досягти при збереженні темпів зростання за 4 роки.

Для озера Світязь виконаємо аналіз мінералізації за даними [3,6] ($C = 200$ мг/л (2007)) [3], а також

($C = 247,2$ мг/л (2008) [6]). Гранична концентрація $C_T = 1000$ мг/л і її можна досягти при збереженні темпів зростання за 13 років.

Для озера Світязь виконаємо аналіз хлоридів [3, 6] ($C = 15,2$ мг/л (2007)) [3], а також ($C = 32,3$ мг/л (2008)

[6]). Гранична концентрація $C_T = 300$ мг/л для рибних господарств і її можна досягнути при збереженні темпів зростання за 16 років.

Для озера Світязь виконаємо аналіз сульфатів [3, 6] ($C = 27,63$ мг/л (2007 р.) [3], а також ($C = 91,2$ мг/л (2008) [6]). Гранична концентрація $C_T = 100$ мг/л для рибних господарств і її можна досягнути при збереженні темпів зростання за один рік.

Відповідно до вимог глобальної системи моніторингу стану навколишнього середовища (ГСМОС/ GEMS) в програми обов'язкових спостережень за складом природних вод введено визначення змісту нітрит- і нітрат-іонів, а також загального фосфору (розчиненого і зваженого, у вигляді органічних і мінеральних сполук) [1]. Азот і фосфор є найважливішими показниками ступеня забруднення і трофічного статусу природних водоймищ.

Рекомендацією для озер заповідних територій (в першому наближенні) може бути виділення ГДК (C_{jg}) для основних концентрацій блоків А, В, С, які характерні для рибних господарств (озер, ставків).

Кількісно слід запропонувати процедуру оцінки відхилень параметрів C_j (фактичних концентрацій речовин, зокрема, біогенних) від C_{jg} :

$$\Delta C_{jg} = \frac{C_j - C_{jg}}{C_{jg}} = \frac{2(C_j - C_{jg})}{C_j + C_{jg}}, \quad C_{Sj} = \frac{C_j + C_{jg}}{2}. \quad (4)$$

Наступна рекомендація – внести водневий показник (pH), а також електропровідність у блок А (разом з загальною мінералізацією, сульфатами, хлоридами) ($pH_g = 7$), а в блок С – мідь. Мідь (Cu) входить до життєво важливих біогенних мікроелементів [7]. Атоми Cu беруть участь в процесі фотосинтезу і засвоєнні рослинами азоту, сприяють синтезу цукру, білків, крохмалю, вітамінів [7]. У малих дозах мідь необхідна всім живим організмам.

Для чотирьох параметрів блока А слід ввести інтегральний показник відхилення

$$g_{IA} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\Delta C_{jg})^2}, \quad n = 1, 2, 3, 4, \quad (5)$$

де $\Delta C_{jg} = 2(pH - pH_g) / (pH + pH_g)$.

Для озера Світязь $pH = 7,8$ [5,8] і водневий показник не повинен виходити за межі $pH = [6,5 \div 8,5]$ [5]. Тобто $pH_g = 8,5$. Використовуючи для озера Світязь дані блока "А" [3], за формулою (5) отримаємо $g_{IA} = 2,4$.

На основі значення $g_{IA} = 2,4$ і методик монографії [9] для озера Світязь (2007) сформуємо градації ризику, які подано в табл. 5.

Аналогічні градації ризику сформовано для факторних індексів I_B, I_C також для озера Світязь.

На основі співвідношення (5) з використанням даних [3] для озера Світязь (2007 р., блок "В") отримано значення $g_{IB} = 3,6$ (5 параметрів).

Перетворимо відповідне значення g_{IB} для чотирьох параметрів $g_{IB} = 3,6 \cdot 0,8 = 2,9$ і градації ризику запишемо в табл. 6.

На основі співвідношення (5) з використанням даних [3] для озера Світязь (2007 р., блок "С") одержано значення $g_{IC} = 2,78$ і градації ризику подано в табл. 7.

Аналогічні значення отримано для озер Пісочне – $g_{IB} = 2,97$, $g_{IC} = 2,79$ і Велике Чорне – $g_{IB} = 2,85$, $g_{IC} = 3,02$ (2007 р., блоки "В", "С"). Ці значення, як видно з табл. 6 і 7, відповідають мінімальному ризику.

Таблиця 5

Градації ризику для озера Світязь (факторний індекс I_A)

№	g_{IA}	Градація ризику	№	g_{IA}	Градація ризику
1	2,4–2,16	Мінімальний	4	1,44–0,96	Високий
2	2,16–1,68	Малий	5	0,96–0,48	Максимальний
3	1,68–1,44	Середній	6	0,48–0	Критичний

Таблиця 6

Градації ризику для озера Світязь (факторний індекс I_B)

№	g_{IB}	Градація ризику	№	g_{IB}	Градація ризику
1	2,9–2,61	Мінімальний	4	1,74–1,16	Високий
2	2,61–2,03	Малий	5	1,16–0,58	Максимальний
3	2,03–1,74	Середній	6	0,58–0	Критичний

Таблиця 7

Градації ризику для озера Світязь (факторний індекс I_C)

№	g_{IC}	Градація ризику	№	g_{IC}	Градація ризику
1	2,78–2,502	Мінімальний	4	1,668–1,112	Високий
2	2,502–1,946	Малий	5	1,112–0,556	Максимальний
3	1,946–1,668	Середній	6	0,556–0	Критичний

Результати і висновки. Доцільно запропонувати блоки чинників, яким відповідають чотири факторні індекси I_A, I_B, I_C, I_D і які характеризують якість водного середовища озер. З їх допомогою можна ефективно оцінити параметри, що характеризують відновлювальні процеси (пов'язані з біогенними елементами) в озерах та їх швидкість. Суть факторних індексів: I_A – загальна мінералізація, сульфати і хлориди, електропровідність, водневий показник рН; I_B – завислі речовини, біологічне споживання кисню (БСК), нітрати, нітрити, фосфати; I_C – залізо, хром, марганець, нікель, мідь; I_D – про-

дуктивність планктону, характеристики зоопланктону, бентосу, риби, параметр біорізноманіття.

У перспективі з використанням накопичених на основі експериментальних досліджень даних можна буде розробити систему управління якістю для гідробіологічної лабораторії, що ефективно та якісно функціонує згідно із вимогами стандартів ISO/IEC 17025 та ISO 14000.

1. Менишуткин В.В. Имитационное моделирование водных экологических систем. – СПб: Наука, 1993. –

- 158 с. 2. Луців Н. Елементи математичного моделювання гідробіологічних характеристик водних екосистем / Н. Луців, В. Юзевич // Комп'ютерні науки та інформаційні технології. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Львів: Вид. НУ "Львівська політехніка", 2009. – № 650. – С. 134–140. 3. Нетробчук І. М. Аналіз якісного стану води Шацьких озер / І. М. Нетробчук // Науковий вісник Волинського Національного університету імені Лесі Українки. – 2009. – № 1. – С. 51–56. 4. Моніторинг біогенних компонентів природних вод Шацького національного природного парку / Г. П. Рябцева, О. В. Цвєтова, О. В. Тураєва, Н. В. Хомік // Науковий вісник Волинського Національного університету імені Лесі Українки. – 2009. – № 1. – С. 184–188. 5. Погребенник В. Д. Гідрохімічні дослідження Шацьких озер / В. Д. Погребенник. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2007. – 62 с. 6. Морозова А. О. Гідрохімічний стан та оцінка якості води водоєм Шацького національного природного парку / А. О. Морозова // Науковий вісник Волинського Національного університету імені Лесі Українки. – 2009. – № 1. – С. 47–51. 7. Биологический энциклопедический словарь / Редкол.: А. А. Басв, Г. Г. Винберг, Г. А. Заварин [и др.]; гл. ред. М. С. Гиляров. – М. : Сов. энциклопедия, 1986. – 831 с. 8. Фізико-хімічні дослідження водного середовища озера Світязь / П. М. Сопрунюк, М. М. Мельник, В. М. Юзевич [та ін.] // Науковий вісник Волинського Національного університету імені Лесі Українки. – 2009. – № 1. – С. 61–68. 9. Кузьмін О. Є. Управління ризиками в інноваційній діяльності / Кузьмін О. Є., Подольчак Н. Ю., Подольчак Н. І. – Львів: В-во НУ "Львівська політехніка", 2009. – 176 с.