

УДК 504.75:681.2.543

## ЕЛЕМЕНТИ МЕТОДОЛОГІЇ ВИМІРЮВАННЯ ГІДРОБІОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

О́ Наталія Луців<sup>1</sup>, Володимир Юзевич<sup>2</sup>, 2009

<sup>1</sup> Львівський інститут економіки і туризму, вул. Менцинського, 8, 79007, Львів, Україна

<sup>2</sup> Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, 79601, Львів, Україна

*Запропоновано рекомендації щодо вимірювання гідробіологічних характеристик в озерах на основі серії міжнародних стандартів ISO 14000, ISO/IEC 17025 з урахуванням математичної моделі оцінки параметрів водного режиму.*

*Предложены рекомендации относительно измерений гидробиологических характеристик в озерах на основе серии международных стандартов ISO 14000, ISO/IEC 17025 с учетом математической модели оценки параметров водного режима.*

*Recommendations concerning measurement of hydrobiological characteristics in lakes on the basis of a series of international standards ISO 14000, ISO/IEC 17025 in view of mathematical model of an estimation of parameters of water modes are offered.*

Проблема забруднення водоймищ – одна з основних у життєдіяльності екосистем. Надходження забруднень змінює трофічність і функціонування екосистеми. Змінюються потоки енергії і речовини, продуктивність, чисельність біологічних популяцій тощо. Необхідно розрізняти природні й антропогенні забруднення, які можуть мати фізичну, хімічну, біологічну природу. Фізичне забруднення пов'язане зі зміною фізичних параметрів: теплових, світлових, електромагнітних, радіаційних, звукових тощо.

Забруднення означає внесення людиною прямо чи побічно речовини й енергії у водне середовище, внаслідок чого виникають такі наслідки, як небезпека для живих ресурсів, небезпека для здоров'я людини, зміна корисних властивостей водного об'єкта (таке формулювання означено групою експертів з наукової проблеми глобального забруднення водного середовища при ООН).

До забруднень біосфери належать надходження і накопичення як стійких забруднювальних речовин, які майже не руйнуються в природних середовищах (наприклад, ДДТ), так і речовин, що мають природні механізми розмноження і засвоєння (наприклад, добрива) в кількостях, що перевищують можливості біосфери з їх переробки і порушують природні системи, що склалися в ході тривалої еволюції, а також зв'язки в біосфері й між природними компонентами, що знижують здатність до саморегуляції (за даними біологічного енциклопедичного словника).

Обмежимося розглядом нерівноважних біологічних процесів, які проходять у водному середовищі озер Шацького національного природного парку (ШНПП).

Новизна комплексної проблематики в тому, що у цій праці запропоновано елементи серії міжнародних стандартів ISO 14000 і ISO/IEC 17025 застосувати до удосконалення системи стандартів гідробіологічної лабораторії (як складового елемента екологічної лабораторії), в якій здійснюється визначення параметрів гідробіологічного й водного режимів озер ШНПП. При цьому розглянуто основні гідробіологічні параметри, які входять в математичну модель, що описує гідробіологічні, гідрохімічні та водні режими в акваторії озер ШНПП.

**Зв'язок проблеми з науковими та практичними завданнями.** Практичне завдання: З урахуванням міжнародних стандартів ISO 14000 і ISO/IEC 17025 необхідно дати рекомендації щодо якісного визначення гідробіологічних параметрів, які використовуються для дослідження озер ШНПП.

Наукове завдання. Необхідно удосконалити стандарти, інструкції, а також розробити нові методики і засоби екологічного моніторингу з метою раціональних експериментальних досліджень гідробіологічного й водного режимів озер ШНПП.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій з проблеми.** Елементи методології вимірювання гідро-

біологічних параметрів у водних системах розглядалися у працях [1, 2]. Методики аналізу елементів системи якості лабораторій з урахуванням міжнародних стандартів ISO 14000 (систем екологічного менеджменту) і ISO/IEC 17025 (вимог до випробувальних лабораторій) розглядалися у працях [3, 4]. Параметри гідробіологічного і водного режимів в акваторії озер треба вимірювати відповідно до математичної моделі, основи якої подано у монографії [5].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрих стосується стаття:** а) не розроблено методики експериментальних досліджень екологічної лабораторії ШНПП в гідробіологічному спрямуванні;

б) аналіз елементів системи якості гідробіологічних досліджень екологічної лабораторії для озер ШНПП (з урахуванням міжнародних стандартів ISO 14000 і ISO/IEC 17025) раніше не здійснювався.

Метою експериментальних робіт є виконання натурних спостережень за гідробіологічними процесами в озерах засобами екологічної лабораторії, в яку входить гідробіологічний підрозділ (лабораторія).

Основними завданнями є розроблення нових методик і засобів моніторингу системи озер та експериментальні дослідження характеристик водного середовища озер ШНПП.

Об'єкт досліджень – біологічне різноманіття водних екосистем озер ШНПП та його зміни через антропогенне навантаження.

Предмет досліджень – методологія та методики оцінок гідробіологічних характеристики водного середовища озер ШНПП.

Основні досліджувані гідробіологічні процеси [5]: розвиток гідробіонтів; деструкція органічних речовин; поглинання біогенних елементів; нагромадження й виділення токсикантів. Гідробіонт – організм – постійний мешканець водного середовища. До гідробіонтів належать також організми, що живуть у воді частину життєвого циклу. Розглянемо “псевдовид” гідробіонтів, який об'єднує всі види і належить одному трофічному рівню.

Для опису процесів введемо досліджувані параметри [2, 5]:

1)  $B_{sk}^i$ ,  $M_{sk}^{ij}$  – біомаса  $k$ -го виду  $s$ -го псевдовиду гідробіонтів в  $i$ -му біотипі (камері) і маса нагромадженої в них  $j$ -ї речовини відповідно ( $B_{sk}^i$  – питома

(на одиницю об'єму) біомаса гідробіонтів;  $B_s^i = \sum_k B_{sk}^i$ );

2)  $c_{sk}^{ij}(t)$  – концентрація  $j$ -ї речовини, нагромадженої в  $k$ -му виді гідробіонтів  $s$ -го псевдовиду  $i$ -го біотипу (камери);

3)  $c_{sk}^{ij*}(t) = c_{sk}^{ij} / B_{sk}^i$  – питома або масова концентрація  $j$ -ї речовини в  $k$ -му виді гідробіонтів;

4)  $r_{sk}^i$  ( $k=1,2,\dots,N_s$ ) – коефіцієнт поїдання  $s$ -го псевдовиду, точніше частка  $k$ -го джерела живлення, що належить  $s$ -му трофічному рівню,  $N_s$  – кількість видів живлення;

5)  $a_{sk}$  – коефіцієнт засвоєння асимільованого продукту  $k$ -го виду  $s$ -го псевдовиду (трофічного рівня);

6)  $R_{s-1,k}^i$  – біомаса гідробіонтів  $(s-1)$ -го трофічного рівня, яка поїдається гідробіонтами  $s$ -го трофічного рівня за одиницю часу;

7)  $A_{sk}^i$  – швидкість асиміляції (загальна продуктивність) гідробіонтами  $s$ -го псевдовиду в  $i$ -му біотипі (камері) у грамах за добу або кілограмах за місяць;

8)  $c_{s-1,k}^{ij}$  – об'ємна концентрація  $j$ -ї речовини, нагромадженої в  $k$ -му джерелі живлення гідробіонтів  $(s-1)$ -го псевдовиду  $i$ -го біотипу (камери);

9)  $b_{sk}^j$  – коефіцієнт витягування  $j$ -ї речовини з  $k$ -го джерела живлення гідробіонтів з урахуванням процесу анаболізму;

10)  $v_s^i$ ,  $v_s^{i*} = v_s^i / B_s^i$  – швидкість і питома швидкість фільтрації води гідробіонтами при диханні відповідно;

11)  $d_s^j$  – коефіцієнт витягування  $j$ -ї речовини з води при диханні гідробіонтів;

12)  $m_{sk}^{ij}$ ,  $n_{sk}^{ij}$  – коефіцієнти нагромадження і виведення  $j$ -ї речовини в результаті адсорбції і десорбції через поверхню тіла гідробіонтів;

13)  $d_{sk}^{ij}$  – коефіцієнт виведення речовини в процесі катаболізму;

14)  $c_{sk}^{ij}$ ,  $c_{GB}^{ij}$  – концентрація  $j$ -ї речовини (хімічних елементів, солей, токсикантів, гідробіонтів (індекс “ГБ”)) в  $i$ -й камері;

15)  $F^{ij}(c_{sk}^{ij}, c_{GB}^{ij}, t)$  – функція, що враховує масообмін  $j$ -ї речовини, концентрація якої  $c_{sk}^{ij}$ , між водним середовищем і гідробіонтами  $i$ -ї камері;

16)  $t$  – час у годинах, добах (або в місяцях, сезонах).

Рівняння динамічного балансу  $j$ -ї речовини в організмах  $s$ -го псевдовиду гідробіонтів має вигляд:

$$\frac{dM_{sk}^{ij}}{dt} = f(x_{sk}^{ij}, x_{sk}^j, x_s^i, a_{sk}, t), \quad (1)$$

де  $x_{sk}^{ij}, x_{sk}^j, x_s^i$  – узагальнені позначення наведених вище параметрів ( $B_{sk}^i, c_{sk}^{ij}(t), r_{sk}^i, a_{sk}, R_{s-1,k}^i, A_{sk}^i, \dots, d_{sk}^{ij}$ );  $f()$  – символ функціональної залежності.

Для того, щоб врахувати накопичення і виведення речовин (токсикантів) гідробіонтами на якість води, необхідно в балансових рівняннях для маси  $c^{ij}$  [6] врахувати функціональну залежність  $f(x_{sk}^{ij}, x_{sk}^j, x_s^i, a_{sk}, t)$  (1).

Прибережні смуги багатьох озер (особливо в літній період) інтенсивно забруднюються різними антропогенними агентами, які чинять негативний вплив на рекреаційні якості водного середовища і доброякісність харчових гідробіонтів. У зв'язку з вищезгаданим треба вживати необхідних запобіжних й охоронних заходів, щоб запобігти негативним антропогенним ситуаціям, які могли б погіршити екологічну обстановку.

Відбір проб для аналізу біологічних характеристик водного середовища озер слід здійснювати згідно з вимогами відомих методик [7], а також стандартів ISO 14000 і ISO/IEC 17025 [3, 4].

Розроблення імітаційної математичної моделі, яка описуватиме міграційні процеси біологічних та хімічних елементів в озерах, буде ґрунтуватись на усередненні процесів і складанні балансових рівнянь у деякій виділеній області  $G$  [5]. Якщо область  $G$  доволі велика порівняно з масштабами тих процесів, що в ній відбуваються, і в ній  $G$  спостерігається значна неоднорідність розподілу значень досліджуваних показників (наприклад, концентрація міді), то у цьому випадку вся область (ділянка)  $G$  розділяється на підобласті  $G^i$  ( $i=1,2,3,\dots,n$ ) і кожна підобласть  $G^i$  приймається за окрему «камеру» (реактор) [5]. Зв'язок між цими камерами, як правило, описується через водообмін та масообмін. Внаслідок побудови таких багатокамерних моделей з достатньою для практики точністю можна математично описувати поширення і трансформацію гідробіонтів та речовин у просторі й часі, причому в просторі – дискретно, а в часі – неперервно [5].

У співвідношенні (1) необхідно враховувати деяку кількість  $j$ -ї речовини, яка виводиться за одиницю часу з організму гідробіонтів при екстрекції, катаболізмі та інших біохімічних процесах, які нейтралізують нагромаджені в організмах токсичні речовини. Враховують також швидкості процесів сорбції і десорбції через поверхню тіла гідробіонтів, а також кількість їжі, яка засвоюється чи не засвоюється відповідними організмами в різні пори року.

З використанням вимірних гідробіологічних та гідрохімічних величин і параметрів ( $B_{sk}^i, M_{sk}^{ij}, c_{sk}^{ij}(t), r_{sk}^i, a_{sk}, \dots, F^{ij}(c^{ij}, c_{ГБ}^{ij}, t)$ ) формують комплексні показники якості озерних екосистем, які одночасно характеризують комплексні набори параметрів і властивостей водних режимів. Для оцінки комплексних показників якості систем параметрів застосовують методи оптимізації.

Системи з оптимізацією забезпечують оптимальне значення параметрів якості при усіх можливих умовах системи. Функціонал якості для такої водної екологічної системи (озера) задамо у вигляді [6]:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} f(\bar{g}, \bar{u}, \bar{s}) dt, \quad (2)$$

де  $\bar{g}$  – вектор заданих впливів ( $g_i$  – параметри системи);  $\bar{u}$  – вектор керувань;  $\bar{s}$  – вектор невизначених збурень;  $[t_0, t_k]$  – інтервал часу, в якому розглядається процес (зокрема, формування критеріального співвідношення для екосистеми ШНПП);  $f(\bar{g}, \bar{u}, \bar{s})$  – функція, що відображає показник якості.

Розглянемо елементи методології експериментальних досліджень для оцінки гідробіологічних параметрів і характеристик водного середовища з погляду системного аналізу і співвідношень (1), (2).

1. Постановка завдання і його оцінка ступеня його складності. Як тільки існування проблеми усвідомлене, потрібно спростити завдання настільки, щоб вони мали, за можливістю, в граничних випадках аналітичні рішення, зберігаючи водночас всі ті елементи, які допускають змістовну практичну інтерпретацію. Це характерно для будь-якого системного дослідження, під час якого успіх чи невдача багато в чому залежать від рівноваги між спрощенням і ускладненням, – рівноваги, при якій збережені всі істотні зв'язки з початковою проблемою. При цьому важливо отримати аналітичне рішення, що піддається якісному аналізу і має наочну інтерпретацію.

2. Встановлення ієрархії цілей і завдань. Цілі і завдання утворюють ієрархію за ступенями їх можливостей. При цьому виконують декомпозицію основних завдань на декілька простіших. Проте тут треба мати на увазі, що завдання, важливі з погляду отримання наукової екологічної інформації, іноді доволі слабо впливають на характер рішень, які змогли б удосконалити збереження екосистеми на прийнятному рівні й управляти нею. Тому встановлення пріоритетності тих чи інших завдань в ієрархічній послідовності – одна з центральних проблем системного аналізу. Особливо це проявляється за ситуації, коли дослідник свідомо обмежений певними формами управління і концентрує максимум зусиль на завданнях, безпосередньо пов'язаних переважно з аналізом екологічних процесів.

3. Вибір шляхів виконання завдань. На сучасному етапі можна вибрати декілька шляхів вирішення завдань проблеми. У загальному випадку природно користуватись найзагальнішими аналітичними співвідношеннями, на основі яких треба провадити експериментальні дослідження, оскільки це дасть змогу максимально використовувати результати дослідження аналогічних завдань і відповідний математичний апарат. При цьому вибір сім'ї, у межах якої ведуть пошук аналітичного рішення, багато в чому залежить від фахівців у сфері системного аналізу. Як правило, аналітик розробляє декілька альтернативних рішень і вибирає з них те, яке краще підходить для досліджуваного завдання.

4. Моделювання. Після того, як проаналізовані відповідні альтернативи, розпочинають важливий етап моделювання складних динамічних взаємозв'язків між різними аспектами проблеми. Тут слід зазначити, що модельованим процесам, а також механізмам зворотного зв'язку притаманна внутрішня невизначеність, що значно ускладнює розуміння як самої системи, так і можливостей управління нею.

5. Оцінка можливих стратегій. Як тільки моделювання доведене до стадії, на якій модель можна (принаймні заздалегідь) використовувати в експерименті, починається етап оцінки потенційних стратегій, отриманих з моделі. В ході оцінок досліджується чутливість результатів щодо допущень, зроблених при побудові моделі. Якщо виявиться, що основні допущення некоректні, можливо, доведеться повернутися до етапу моделювання і скоректувати модель. Зазвичай це пов'язано з дослідженням моделі на "чутливість" до тих аспектів проблеми, які були виключені з

формального аналізу на другому етапі, коли ставилося завдання і обмежувався ступінь його складності.

б. Впровадження результатів. Завершальним етапом системного аналізу є застосування на практиці результатів, отриманих на попередніх етапах. Якщо дослідження здійснювалося на основі описаної вище схеми, то кроки, які для цього необхідно зробити, будуть достатньо очевидні. Водночас якраз на останньому етапі може виявитися неповнота тих чи інших стадій або необхідність їх перегляду, внаслідок чого доведеться скоректувати модель і знову пройти деякі вже завершені етапи.

В останні роки стратегічний напрям розвитку сучасного менеджменту на рівні випробувальних лабораторій – розроблення та впровадження систем управління якістю (СУЯ), побудованих відповідно до вимог сучасних міжнародних стандартів, зокрема стандартів ISO/IEC 17025 та ISO 14000. Впровадження стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025 в методику гідробіологічних досліджень дасть змогу визначити необхідну кількість документів (інструкцій, методик і процедур) для забезпечення функціонування системи якості гідробіологічної лабораторії [3].

Основним предметом ISO 14000 є система екологічного менеджменту (EMS) [4]. Типові положення відповідних стандартів полягають в тому, що в організації (лабораторії) повинні бути введені і дотримуватися певні процедури, а також повинна бути підготована певна документація і повинен бути призначений відповідальний за певну сферу діяльності. Основний документ серії – ISO 14001 (Специфікації і керівництво щодо використання систем екологічного менеджменту) не містить ніяких "абсолютних" вимог до дії організації на довкілля, за винятком того, що організація в спеціальному документі повинна оголосити про своє прагнення узгоджувати свою діяльність з національними стандартами. Передбачається, що система стандартів ISO 14000 забезпечуватиме зменшення несприятливих дій на довкілля на трьох рівнях: організаційному, національному, міжнародному [4].

### Результати і висновки

1. Об'єкти досліджень для гідробіологічної лабораторії – біологічне різноманіття водних екосистем озер та зміни, які відбуваються з гідробіонтами в процесі антропогенного навантаження. Основними завданнями є розроблення нових методик і засобів

моніторингу водних екосистем, а також виконання якісних та ефективних експериментальних досліджень гідробіологічних характеристик.

2. Сформовано основні параметри для експериментальних досліджень і побудови імітаційної математичної моделі, яка описуватиме гідробіологічний та водний режими в акваторії озер Шацького національного природного парку.

3. Впровадження стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025 дасть змогу визначити необхідну кількість документів (інструкцій, методик і процедур) для забезпечення функціонування системи якості гідробіологічної лабораторії.

4. Основним принципом організації спостережень та експериментальних екологічних досліджень є їх комплексність та системність, яка передбачає узгоджену програму робіт гідробіологічної лабораторії на основі серії міжнародних стандартів ISO 14000 та ISO/IEC 17025.

У перспективі з використанням накопичених на основі експериментальних досліджень даних можна буде розробити систему управління якістю для гідро-

біологічної лабораторії, яка ефективно і якісно функціонує згідно із вимогами стандартів ISO/IEC 17025 та ISO 14000.

1. Зорі А. А., Коренєв В. Д., Хламов М.Г. *Методи, засоби, системи вимірювання і контролю параметрів водних середовищ.* – Донецьк: РВА ДонДТУ, 2000. – 368 с. 2. Мениуткин В.В. *Имитационное моделирование водных экологических систем.* – СПб: Наука, 1993. – 158с. 3. Новіков В. *Основи управління якістю в лабораторіях // Стандартизація, сертифікація, якість.* – 2004. – № 2. – С. 50–57. 4. [http://www.iso.org/iso/iso\\_14000\\_essentials](http://www.iso.org/iso/iso_14000_essentials). 5. Лаврик В. И., Никифорович Н.А. *Математическое моделирование в гидроэкологических исследованиях.* – К.: Фитосоциоцентр, 1998. – 288 с. 6. Сопрунюк П.М., Юзевич В.М., Луців Н.В. *Математична модель забруднень озера неконсервативними речовинами // Відбір і обробка інформації.* – 2008. – Вип. № 29 (105). – С. 6–72. 7. Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. *Методы исследования качества воды водоемов / Под ред А.П. Шицковой.* – М.: Медицина, 1990. – 400 с.