

## **14 МЕТОДИ ОЦІНКИ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДИ**

1. Екологічні класифікації якості поверхневих вод суші (біотестування та біоіндикація).
2. Сапробність водних об'єктів та використання індексів сапробності для оцінки їх органічного забруднення.
3. Комплексна оцінка стану поверхневих вод за допомогою комбінованого індексу стану угруповань (КІСУ).

### **1. Екологічні класифікації якості поверхневих вод суші (біотестування та біоіндикація).**

Головна мета нормування якості води полягає у запобіганні її шкідливого (отруйного) впливу на організм людини, тобто на здоров'я населення. Основним завданням санітарної охорони водойм признається захист водокористувачів від можливих несприятливих наслідків забруднення водойми. Проте, як водокористувач, розглядаються тільки «зовнішні» по відношенню до гідроекосистеми споживачі (промисловість, сільське господарство, рекреація тощо); при цьому забуваються про «внутрішні» водокористувачі, якими є гідробіоти (мається на увазі не тільки риба, як об'єкт рибного господарства, але вся сукупність продуцентів, консументів і редуцентів). Між тим, саме від благополуччя гідробіотів залежить нормальне протікання у водній товщі процесів самоочищення: продуценти в процесі фотосинтезу виробляють кисень, необхідний для розкладення (окиснення) органіки; консументи відфільтровують з води різні механічні домішки; редуценти розкладають забруднювальні речовини на елементарні складові частини. При водогосподарському підході функціонування даних блоків гідроекосистеми не оцінюється. Тому нерідко якість води признається «зовнішнім» споживачем високою, хоча в дійсності в ній відбуваються негативні процеси, що спрямовані на деградацію біоти («внутрішнього» споживача).

Екологічний підхід, що базується на гідробіологічних показниках, дає можливість отримати уявлення про якість водойми (водотоку) як цілісної екосистеми, у якій протікають складні процеси, спрямовані на самоочищення водної товщі.

При застосуванні екологічного підходу можуть бути використані системи оцінок, що базуються на виділенні показникових (індикаторних) організмів (сапробіологічний аналіз), визначенні функціональних (продукційних) характеристик спільнот, аналізі комплексу структурних і функціональних показників стану біоти. Найбільш поширені оцінки якості водного середовища за показниковим (індикаторним) організмом або сапробіологічний аналіз.

Гідробіологічні показники дають можливість оцінити якість води за тваринним населенням і рослинністю водойм. Зміна видового складу водних екосистем може

відбуватися при такому слабкому забрудненні водних об'єктів, що його не можна виявити ніякими іншими методами. Тому гідробіологічні показники є найбільш чутливими. Існує кілька підходів до гідробіологічної оцінки якості води.

В залежності від значень екологічних показників якості поверхневі води відносять до певних класів і категорій якості води. Класи і категорії, що використовуються при екологічній класифікації якості води в Україні.

Під впливом забруднювальних речовин відбуваються зміни в якісному і кількісному складі біоценозів: одні види зникають, другі розвиваються у масових кількостях. Зміни видового складу відбуваються вже при такому слабкому забрудненні води, яке ще не може бути виявлене за допомогою хімічного методу. Так, наприклад, річкові раки покидають місця проживання при появі забруднювальних речовин у таких концентраціях, які практично неловимі для гідрохіміків. В залежності від характерних видів – індикаторів (або їх груп) і їх відносної кількості, водний об'єкт (водойма або водотік), що аналізується, може бути віднесений до певного класу. У найбільш широко розповсюдженій нині класифікації Вудівіса виділяється десять класів вод різної чистоти, яким відповідає певний «біотичний індекс», що визначається з табл. 1.

**Таблиця 1 – Визначення біотичного індексу прісноводних екосистем за донними безхребетними**

Ключові організми		Загальна кількість груп				
		0–1	2–5	6–10	11–15	16
		Біотичний індекс				
Личинки веснянок	Більше одного виду	–	7	8	9	10
	Тільки один вид	–	6	7	8	9
Личинки одnodенок	Більше одного виду	–	6	7	8	9
	Тільки один вид	–	5	6	7	8
Личинки волохокрильців	Більше одного виду	–	5	6	7	8
	Тільки один вид	4	4	5	6	7
Бокоплави	Інші види відсутні	3	4	5	6	7
Водяні віслюки	Інші види відсутні	2	3	4	5	6
Тубіфіциди / або червоні личинки хірономід	Інші види відсутні	1	2	3	4	–
Всі інші ключові групи відсутні	Деякі організми, які не потребують розчиненого кисню, можуть бути присутніми (личинки мух)	0	1	2	–	–

Як видно з даної табл. 1, біотичний індекс може приймати значення від 1 до 10; чим він вищий, тим вища якість води. Під терміном «група», що використаний у таблиці, розуміють спільноти, які легко визначаються: плоскі черви, п'явки, водні

кліщі, молюски, ракоподібні, личинки веснянок тощо. Величина індексу залежить від видової різноманітності (числа присутніх «груп») і складу населення. Наприклад, якщо проба містить 2 – 5 «груп», але серед них є личинка веснянок, то індекс дорівнює 6 – 7. Якщо при такій самій кількості «груп» населення обмежене тубіфіцидами і хірономідами, то індекс дорівнює двом.

Даний метод досить простий, не вимагає участі багатьох фахівців, не специфічний по відношенню до забруднень різного типу, досить чутливий і об'єктивний. Дані, що отримані методом Вудівіса, досить адекватно відображають реальну ситуацію у водоймах і водотоках різного типу. Розраховані значення біотичного індексу добре корелюють з такими показниками, як кількість розчиненого у воді кисню, БСК<sub>5</sub>, перманганатна і біхроматна окиснюваність, вміст біогенів.

При екологічному підході до оцінки якості вод можливе використання різних систем аналізу, побудованих на різних принципах і способах оцінки. Для всіх способів аналізу характерний системний підхід – на рівні організму, популяції або біоценозу. Очевидно, що застосування гідробіологічних показників і індексів сприяє найбільш об'єктивній оцінці якості вод з урахуванням як «зовнішніх», так і «внутрішніх» споживачів.

Проте для задач стратегічного плану (організація моніторингу, складання водного кадастру, прогнозування змін якості вод при гідротехнічному перетворенні водойм і водотоків) застосування лише гідробіологічних показників може виявитись недостатнім. Найбільш повні, комплексні класифікації повинні враховувати як біотичні, так і абіотичні компоненти. Нині спроби комплексної класифікації поверхневих вод зроблені в США, Литві, Чехії (виділено 4 класи вод), Франції (виділено 5 класів), Угорщині і Німеччині (9 класів). В Росії запропоновано 9 градацій якості вод, вірніше станів водних екосистем, на основі аналізу якісного і кількісного складу гідробіоценозів, а також за гідрофізичними і гідрохімічними показниками. При цьому багато із останніх (рН, О<sub>2</sub>, БСК<sub>5</sub>, перманганатна і біхроматна окиснюваність, вміст біогенів) є продуктами життєдіяльності спільнот. Що до гідробіологічних показників, то у системі, що розглядається, використовуються два структурних показники (біотичний індекс Вудівіса та індекс сапробності) і один функціональний показник (*P/R*).

Певні складнощі при користуванні пропонованою схемою обумовлені тим, що різні показники (біотичні і абіотичні) однієї і тієї самої гідроекосистеми нерідко потрапляють у різні класи якості вод. Більше того, співпадання класів (розрядів) за різними показниками у більшості випадків неможливе; значення показників не завжди жорстко спряжені між собою, так як відображають різні аспекти якості води. Прагнути до повного або максимального співпадання, мабуть не слід, оскільки задача комплексної класифікації вод – зафіксувати весь діапазон мінливості показників, що спостерігається у водних об'єктах. У більшості випадків необхідне не однозначне визначення класу, а його детальна характеристика, тому що в межах класу неминуче варіювання.

Для комплексної характеристики якості води кожен показник важливий сам по собі; тому висхідна інформація повинна бути досить повною. З цієї причини, як правило, не потрібне ранжування таблиці по горизонталі. Можливість ранжування виникає у випадках корелювання окремих показників між собою. Однак, залежно від типу водного об'єкта, кореляції можуть змінювати свій характер, проявлятися з різною силою і навіть зникати.

«Згорнута» у процесі різних математичних перетворень комплексна характеристика якості води втрачає наочність та інформативність. При вираженні якості води одним числом класового індексу основна частина зібраної екологічної інформації пропадає.

Найважливішою особливістю комплексної характеристики якості води є те, що вона проводиться з урахуванням всього діапазону мінливості значень показників, що аналізуються, а не тільки за середніми або максимальними значеннями, як у водогосподарській оцінці, при якій ці значення порівнюються з ГДК. Це дає можливість перейти від описуваної експертної оцінки на рівні «гірше – краще» до кількісної оцінки, оскільки дозволяє зафіксувати варіювання у межах одного класу або зміщення в інші класи.

## **2. Сапробність водних об'єктів та використання індексів сапробності для оцінки їх органічного забруднення.**

Ступінь забруднення водних об'єктів органічними речовинами визначає їх сапробність, а розділ гідроекології, що вивчає такі забруднення, називається сапробіологія.

Якість води оцінюють за рівнем сапробності, тобто за ступеню насичення води органічними речовинами (водні об'єкти або їх ділянки в залежності від вмісту органічних речовин поділяють на полісапробні,  $\alpha$ -мезасапробні,  $\beta$ -мезасапробні та олігосапробні; найбільш забрудненими є полісапробні водні об'єкти).

Кожному рівню сапробності відповідає свій набір індикаторних організмів-сапробіонтів. На основі індикаторної значимості організмів і їх кількості визначають індекс та відповідний йому рівень сапробності. Зі збільшенням ступеня забруднення водних об'єктів їх видова різноманітність, як правило, знижується. Тому зміна видової різноманітності є показником зміни якості води. Оцінку видової різноманітності здійснюють на основі індексів різноманітності. Оцінка якості води за функціональними характеристиками водного об'єкта полягає в тому, що про її якість судять комплексно по величині первинної продукції, інтенсивності деструкції і деяких інших показниках.

За ступенем забруднення вод органічними речовинами їх поділяють на *ксеносапробні*, *олігосапробні*, *бета-мезосапробні*, *альфа-мезосапробні* та *полісапробні* води.

### ***Ксеносапробні води.***

Це особливо чисті води, вони перенасичені киснем, у них відсутні діоксид вуглецю і сірководень. Показник біохімічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) дуже низький, що свідчить про мінімальний вміст органічних речовин.

Біохімічне споживання кисню – це кількість кисню, що витрачається за певний проміжок часу на аеробне біохімічне окиснення (розкладання) нестійких органічних сполук, які містяться у воді. БСК визначають для різних проміжків часу: 5 діб БСК<sub>5</sub>.

#### ***Олігосапробні води.***

Води малозабруднених водойм в яких відбувається інтенсивна мінералізація органічних речовин. У таких водних об'єктах внаслідок високої концентрації розчиненого кисню переважають окисні процеси. Із сполук азоту містяться нітрати, мало вугільної кислоти і відсутній сірководень. Показник біохімічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) не перевищує 1,6 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, що свідчить про дуже низький вміст органічних речовин у воді.

#### ***Бета-мезосапробні води.***

Води бета-мезосапробної зони характеризуються наявністю аміаку, нітритів, але переважають за вмістом нітрати. Сірководень виявляється лише у слідових концентраціях. Відчувається деякий дефіцит кисню у воді, але він виражений слабо. Органічні речовини мінералізуються в наслідок їх повного окиснення. Показники біохімічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) в середньому коливаються у межах від 1,7–4,0 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

#### ***Альфа-мезосапробні води.***

У альфа-мезосапробних водах у значно більшій кількості зустрічається амонійний і нітритний азот, а також зустрічаються амідно- і амінокислоти. Кисневі умови напіванаеробні, тому мінералізація органічної речовини у таких водах відбувається за рахунок аеробного окиснення головним чином за участю бактерій. Показник біохімічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) для таких вод становить приблизно 4–12 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

#### ***Полісапробні води.***

Полісапробні води характеризуються наявністю значної кількості білків, поліпептидів, вуглеводів, а також лише слідовими концентраціями кисню та накопиченням у воді діоксиду вуглецю, сірководню і метану. Для таких вод типовим є відновний характер біохімічних процесів. Показник біохімічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) у таких водах становить близько 40,0 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Гідробіонти різних систематичних груп виявляють неоднакову чутливість до вмісту у воді органічних речовин і продуктів їх розкладу. Можливість пристосування водних організмів до існування у середовищі з різним рівнем органічного забруднення зумовлюється комплексом фізіолого-біохімічних процесів, які постійно протікають у їх організмі. Гідробіонти, які живуть у забруднених органічними речовинами водах і приймають участь у процесах їх розкладу, називаються сапробіонтами, або

сапротрофами. Вони є важливим ланцюгом у біологічному кругообігу речовини і енергії.

Видова структура угруповань гідробіонтів в залежності від їх чутливості до органічного забруднення водою чітко виявлена на біоценотичному рівні. Виходячи з цього, у 1908 році німецькі дослідники Кольквітц і Марссон запропонували оцінювати інтенсивність забруднення водою органічними речовинами за наявністю у водоймах представників окремих систематичних груп гідробіонтів з різним ступенем гетеротрофності та оксифільності – показових, індикаторних організмів, або біоіндикаторів сапробності. Так для кожної зони сапробності запропоновано перелік найбільш характерних організмів-індикаторів. Зараз переліки видів-індикаторів сапробності нараховують близько 2500 видів рослин і тварин. І вони продовжуються розширюватись та уточнюватись у зв'язку з тим, що екологічна валентність видів може суттєво варіювати для окремих географічних широт.

Багато видів-індикаторів часто зустрічаються у двох і навіть трьох зонах сапробності (полісапробній, альфа-мезосапробній і бета-мезосапробній) і це є причиною багатьох неточностей при встановленні середньої сапробності біоценозу. Для уточнення сапробіологічної оцінки Зелінка і Марван ввели поняття сапробної валентності. Спробна валентність показує у якій мірі вид характерний для того чи іншого ступеня сапробності. Сапробні валентності виражають однією або декількома цифрами, сума яких для виду дорівнює 10.

Для підвищення ролі видів, які характерні для певного ступеня сапробності у порівнянні з видами, які зустрічаються у різних зонах з різною сапробністю також було введено поняття індикаторної ваги (значимості) виду, яке оцінюється для кожного виду в балах від 1 до 5 і яке показує наскільки високе індикаторне значення окремого виду.

Наведемо приклад розрахунку індексу сапробності на конкретному прикладі. Наприклад, у складі донного угруповання було виявлено п'ять видів (*Agrion virgo*, *Tanytarsus gr. gregarious*, *Aechna grandis*, *Hydropsyche sp.*, *Caenis macrura*), які мали відповідну чисельність: 50, 30, 90, 160 та 80 екз/м<sup>2</sup>.

### **3. Комплексна оцінка стану поверхневих вод за допомогою комбінованого індексу стану угруповань (КІСУ).**

Для проведення комплексної оцінки екологічного стану водних об'єктів останнім часом широко використовують різні структурні характеристики угруповань організмів разом з іншими екологічними індексами, об'єднавши їх результати у вигляді комбінованого інтегрального показника. Для об'єднання різнорідних показників та заміни їх одним числом використовують «комбінований індекс стану угруповань» (КІСУ), який розраховується за загальною методикою інтегральних рангових показників.

Цей інтегральний показник був запропонований для дослідження зообентосу верхньої Волги (Баканов, Флеров, 1998). Автори використовували наступні показники макрозообентосу:

1) *чисельність* (N);

2) *біомасу* (B);

3) *кількість видів* (S);

4) *видове різноманіття за індексом Шеннона* (H);

5) *середню сапробність* (CC), що розраховуються як середньозважена сапробність трьох перших за чисельністю видів бентосних організмів.

Оскільки всі структурні показники характеризують стан угруповань макрозообентосу з різних сторін, то застосовують наступний спосіб узагальнення даних.

Так, кожному показнику надавали певну «вагу» враховуючи, величину кореляційного зв'язку між окремими індексами і суттєвими характеристиками середовища (концентрацією забруднюючих речовин, вмістом розчиненого кисню, прозорістю). Причому до уваги приймали тільки достовірні коефіцієнти кореляції при рівні значимості 0,05. Індексам які мають низку кореляцію (до 0,5), надавали вагу 1, середню (до 0,7) – 1,5, високу (більше 0,7) – 2.

Так, як середня сапробність (CC) більше залежить від забруднення (органічного), то її «вагу» приймали за 2, «вагу» біомаси (B) приймали за 1,5. «Вагу» інших показників – чисельності (N), кількості видів (S) та індексу видового різноманіття (H) приймали за 1.

Потім всі станції ранжували за кожним із п'яти показників. Ранжування проводили таким чином, що *ранг 1* надавався станції у випадку максимальних значень чисельності, біомаси, кількості видів, видового різноманіття Шеннона та мінімального значення середньої сапробності. Якщо значення будь-якого показника були однакові на кількох станціях, то їх характеризували *одним середнім рангом*.