

## МОДЕЛЬНА ОЦІНКА ВОДНО-ЯКІСНОЇ ПАРАМЕТРИЧНО-ІНТЕГРАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ МАЛИХ БАСЕЙНОВИХ ГЕОСИСТЕМ УРБАНІЗОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ

Обґрунтовані в наших працях [1-4] удосконалені теоретичні уявлення та прикладні підходи до моделювання стану малих басейнових геосистем урбанізованих ландшафтів (МУБГ) – тобто малих басейнових геосистем найбільшого за порядком урбанізованого ландшафту як елемента басейнової ЛТС, ядром якого є постійний русловий водотік з водозбором до 2 тис.км<sup>2</sup>, за умов територіальної приуроченості цього елемента до компонентів ландшафтно-урбанізаційної системи відповідного рангу – передбачають моделювання певних підтипів і видів фазової та параметричної стійкості МУБГ, зокрема виду, який був названий "водно-якісною параметрично-інтегральною стійкістю" (ВЯПИС). Можливість запровадження та визначення останньої зумовлено суттєвою детермінованістю якісних гідроекологічних показників головного водотоку МУБГ структурами та станом його водозбору та наслідковим істотним значенням цих показників як дійсно інтегральних характеристик рівня стану усієї МУБГ. Безпосередньо запропоновані підходи до числового моделювання інтегрального рівня стану МУБГ за ознаками її ВЯПИС полягають у тому, що:

1) було удосконалено критеріально покладені в основу моделювання категорії якості води згідно з методикою її екологічної оцінки за [7], в результаті чого було створено відповідну категорійно-класифікаційну схему (табл.1). При цьому, окрім необхідного упорядкування вихідної схеми за [7], у схему табл.1 було внесено змістовні зміни та доповнення, зумовлені:

а) визначенням параметрів логнормального розподілу (коефіцієнтів скошеності, асиметрії та варіації) "міжкатегорійних" квантилів кожного компонента якості води за табл.1 (тобто відшуканням набору так званих індивідуальних екофункцій таких квантилів згідно з [5-6]);

б) коригуванням певних категорійних інтервалів (позначених курсивом) шляхом узгодження вибірки квантилів кожного компонента якості води табл.1 з вимогами її "структурної" однорідності при логнормальному розподілі ([5]) та з огляду на інші дослідження з нормування якості води ([1-6, 8]) (для компонентів з позначкою застосовується обернений порядок квантилів);

2) було удосконалено способи власне модельної оцінки за схемою табл.1, передусім шляхом:

а) запровадження 4 критеріальних блоків – сольово-компонентного, трофо-сапробізаційного, екотоксифікаційного та радіонуклідного (назви – відповідно до видів процесів забруднення [6]), та, з огляду на [8], рівня стану МУБГ за 7 категоріями (табл.1) та 4 класами – відмінного (1 категорія), доброго (2 і 3), задовільного (4 і 5), незадовільного (6) та поганого (7) рівня стану;

б) використання при моделюванні, на основі базової моделі (1) довірчої оцінки за [4-6], набору індексів рівня стану МУБГ (нижніх, відповідних ймовірним найкращим категоріям рівня стану, середніх, відповідних категоріям за вибіркоvim середнім, та верхніх, відповідних ймовірним найгіршим категоріям, див. моделі (2)-(4)) за 3 варіантами такої оцінки для індексів: індивідуальних за показниками (компонентних), блокових (середньовиважених за компонентними, з урахуванням числа вимірів) та інтегральних (середньовиважених для блоків, з огляду на число вимірів, кількість розрахункових компонентів і їх усереднену варіабельність для блоків), тобто

$$x(t)^* (1 + \Phi_x(t)_{Pl} \cdot C_{v,x}(t) / n_x^{0,5}) \leq m_x(t) \leq x(t)^* (1 + \Phi_x(t)_{Pn} \cdot C_{v,x}(t) / n_x^{0,5}) , \quad (1)$$

де  $m_x(t)$  – функція дійсного середнього значення компонента;  $x(t)^*$  і  $C_{v,x}(t)$  – функції його вибіркового середнього значення та коефіцієнта варіації (скрізь приймався як середній);  $\Phi_x(t)_{Pl}$  і  $\Phi_x(t)_{Pn}$  – квантилі, відповідно, нижньої та верхньої межі довірчої ймовірності перевищення, що задаються в залежності від певних рівнів значущості (були прийняті за відповідними індивідуальними екофункціями конкретного компонента для 5% рівня значущості, тобто як  $\Phi_{x,95\%}$  і  $\Phi_{x,5\%}$ , див. табл.1);  $n_x$  – кількість вимірів компонента. Звідси спрощений запис (модель) компонентної оцінки рівня стану МУБГ (за діапазонами індексу  $I_x$ ) матиме вигляд

$$I_{x,95\%} \leq I_x^* \leq I_{x,5\%} \text{ або } I_x \equiv \{I_x^* [N_c^*]; I_{x,95\%} - I_{x,5\%} [N_{c,95\%} - N_{c,5\%}]\} , \quad (2)$$

де  $I_{x,95\%}$ ,  $I_x^*$  та  $I_{x,5\%}$  – назви нижнього (ймовірного найкращого, за лівою частиною (1)), середнього (за вибіркоvim середнім) та верхнього (можливого найгіршого за правою частиною (1)) компонентних індексів, адекватні  $N_{c,95\%}$ ,  $N_c^*$  і  $N_{c,5\%}$  – номерам категорій табл.1 як середнім

значенням цих індексів. Права частина (2) є повним "компонентним" визначенням рівня стану, тобто, наприклад, цей рівень певного об'єкта моделювання за компонентом "завислі речовини" кваліфікуватиметься як  $I_{3P} \equiv \{\text{задовільний } [4,00]; \text{ задовільний} - \text{ посередній } [4,00-5,00]\}$  тощо.

У свою чергу запис (модель) блокової оцінки рівня стану МУБГ (за  $I_{БЛ}$ ) матиме вигляд

$$I_{БЛ,95\%}^{**} \leq I_{БЛ}^{**} \leq I_{БЛ,5\%}^{**} \text{ чи } I_{БЛ} \equiv \{I_{БЛ}^{**} [N_{c,БЛ}^{**}]; I_{БЛ,95\%}^{**} - I_{БЛ,5\%}^{**} [N_{c,БЛ,95\%}^{**} - N_{c,БЛ,5\%}^{**}]; n_{БЛ,w}/n_{БЛ}\}, \quad (3)$$

де  $I_{БЛ,95\%}^{**}$ ,  $I_{БЛ}^{**}$  і  $I_{БЛ,5\%}^{**}$  – відповідно, назви нижнього, середнього та верхнього блокових індексів, визначені для кожного блоку за його компонентними індексами-складниками вже як середньовиважені за значеннями цих індексів і числом вимірів кожного компонента ( $n_x$ ), прийнятого при цьому у розрахунок, та адекватні  $N_{c,БЛ,95\%}^{**}$ ,  $N_{c,БЛ}^{**}$  і  $N_{c,БЛ,5\%}^{**}$  – середньовиваженим щойно зазначеним способом числовим значенням цих індексів, поданим з точністю до сотих;  $n_{БЛ,w}/n_{БЛ}$  – відношення числа найгірших компонентних індексів у блоці, що маркують категорії незадовільного і поганого рівнів стану, до загального числа блокових модельних компонентів. За таких умов повне "блокове" визначення рівня стану певного об'єкта може звучати, наприклад, за трофо-сапробізаційним блоком як  $I_{ТС} \equiv \{\text{посередній } [4,66]; \text{ задовільний} - \text{ посередній } [4,48-4,93]; 7/12\}$ .

Інтегральна оцінка рівня стану МУБГ (за  $I_{\Sigma}$ ), яку загалом доцільно застосовувати більшою мірою для порівняння рівня стану різних об'єктів моделювання з метою визначення першочергових для екологічної реабілітації МУБГ, базується на записі (моделі)

$$I_{\Sigma,95\%}^{**} \leq I_{\Sigma}^{**} \leq I_{\Sigma,5\%}^{**} \text{ або } I_{\Sigma} \equiv \{I_{\Sigma}^{**} [N_{c,\Sigma}^{**}; N_{c,\Sigma,95\%}^{**} - N_{c,\Sigma,5\%}^{**}]; I_{\Sigma,БЛ,95\%} - I_{\Sigma,БЛ,5\%}; n_{\Sigma,w}/n_{\Sigma}\}, \quad (4)$$

де  $I_{\Sigma,95\%}^{**}$ ,  $I_{\Sigma}^{**}$  і  $I_{\Sigma,5\%}^{**}$  – назви нижнього, середнього і верхнього інтегральних індексів, визначені для кожного об'єкта за його блоковими індексами-складниками як середньовиважені за виразом  $n_{x,\Sigma,БЛ} \cdot n_{БЛ} / C_{v,БЛ}^{*2}$ , де  $n_{x,\Sigma,БЛ}$  – сумарне число вимірів всіх компонентів у блоці,  $n_{БЛ}$  – кількість таких компонентів,  $C_{v,БЛ}$  – середні  $C_v$  усереднених розподілів компонентів кожного блоку ("блокових" екофункцій, [5]), які були визначені за повним набором компонентів табл.1 для першого блоку як 0,290, для другого – як 0,325, для третього – як 0,555 та для четвертого – як 0,625;  $N_{c,\Sigma,95\%}^{**}$ ,  $N_{c,\Sigma}^{**}$  і  $N_{c,\Sigma,5\%}^{**}$  – числові значення індексів  $I_{\Sigma,95\%}^{**}$ ,  $I_{\Sigma}^{**}$  і  $I_{\Sigma,5\%}^{**}$ ;  $I_{\Sigma,БЛ,95\%}$  і  $I_{\Sigma,БЛ,5\%}$  – назви найкращого і найгіршого блокового індексу для об'єкта;  $n_{\Sigma,w}/n_{\Sigma}$  – відношення числа всіх найгірших компонентних індексів (6 і 7 категорії) до загального використаного їх числа. Перевірка таких підходів для 5 МУБГ річок Києва дозволила отримати такі інтегральні оцінки їх рівня стану:  $I_{\Sigma,ГОРЕНКА} \equiv \{\text{добрий } [2,75; 2,27-3,37]; \text{ відмінний} - \text{ задовільний}; 0/16\}$ ;  $I_{\Sigma,ВИТА} \equiv \{\text{задовільний } [4,04; 3,77-4,16]; \text{ задовільний} - \text{ посередній}; 7/26\}$ ;  $I_{\Sigma,НИВКА} \equiv \{\text{задовільний } [4,29; 4,04-4,67]; \text{ вельми добрий} - \text{ посередній}; 8/26\}$ ;  $I_{\Sigma,СИРЕЦЬ} \equiv \{\text{посередній } [4,75; 4,58-5,01]; \text{ задовільний} - \text{ незадовільний}; 14/26\}$ ;  $I_{\Sigma,ЛИБІДЬ} \equiv \{\text{незадовільний } [5,76; 5,52-5,93]; \text{ добрий} - \text{ поганий}; 15/23\}$ .

Насамкінець зазначимо, що відпрацювання і тестування всіх запропонованих вище підходів для МУБГ Києва засвідчило, по-перше, їх правомірність і більш об'єктивний рівень моделювання, по-друге, необхідність домінантного інтервального врахування, крім компонентних, саме блокових індексів рівня стану з початковою орієнтацією при плануванні екорекреаційних заходів на об'єкти вже із задовільним і посереднім рівнем їх стану (а не тільки на незадовільний і поганий рівень), по-третє, застосовність щойно викладених підходів до модельної модифікації категорійної оцінки якості поверхневих вод у цілому.

### Література

1.Самойленко В.М., Івашкевич К.О. Поліпшення екологічного стану басейнових геосистем малих річок Києва // *Гідр., гідрох. і гідроекологія.* – 2005. – Т.7. – С.243-251. 2.Івашкевич К.О. Геоекологічні проблеми малих річок Києва // *Фіз. географія та геоморф.* – 2005. – Т.49. – С.254-258. 3.Верес К.О. Зіставлення інтегральних оцінок якості води малих річок сильно урбанізованих територій за різними методиками // *Гідр., гідрох. і гідроекологія.* – 2005. – Т.8. – С.48-54. 4.Самойленко В.М., Верес К.О. Теоретично-прикладні аспекти моделювання стану малих басейнових геосистем урбанізованих ландшафтів // *Гідр., гідрох. і гідроекологія.* – 2006. – Т.11. – С.330-338. 5.Самойленко В.М. Ймовірнісні математичні методи в геоекології. – К.: Ніка-Центр, 2002. – 404 с. 6.Самойленко В.М. Математичне моделювання в геоекології. – К.: "Київський у-т", 2003. – 199 с. 7.Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. В.Д.Романенко та ін., – К.: СИМВОЛ-Т, 1998. – 28 с. 8.Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. – К., 2006. – 240 с.

Табл.1 – Категорійно-класифікаційна схема для моделювання рівнів стану МУБГ за ознаками її водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості (варіант компонентних індексів) (на основі [7] з нашими упорядкуваннями, змінами і доповненнями)

| Категорія рівня стану<br>Компоненти якості води                      | Відмінний (1) | Вельми добрий (2) | Добрий (3)    | Задовільний (4) | Посередній (5) | Незадовільний (6) | Погааний (7) | $C_{s,x}$ | $C_{v,x}^*$ | $\Phi_{x,95\%}$ | $\Phi_{x,5\%}$ |
|--|---------------|-------------------|---------------|-----------------|----------------|-------------------|--------------|-----------|-------------|-----------------|----------------|
| 1.1. Сума іонів, мг/дм <sup>3</sup>                                  | ≤500          | (500-750]         | (750-1000]    | (1000-1250]     | (1250-1500]    | (1500-2000]       | >2000        | 0,863     | 0,141       | -1,380          | 1,834          |
| 1.2. Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>                                     | ≤20           | (20-30]           | (30-75]       | (75-150]        | (150-200]      | (200-300]         | >300         | 5,992     | 0,644       | -0,680          | 1,641          |
| 1.3. Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>                                    | ≤50           | (50-75]           | (75-100]      | (100-150]       | (150-200]      | (200-300]         | >300         | 2,200     | 0,323       | -1,054          | 1,888          |
| 2.1. Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>                            | ≤5            | (5-10]            | (10-20]       | (20-30]         | (30-50]        | (50-100]          | >100         | 5,998     | 0,644       | -0,680          | 1,640          |
| 2.2. Прозорість, м   | >1,50         | [1,50-0,95)       | [0,95-0,60)   | [0,60-0,45)     | [0,45-0,30)    | [0,30-0,15)       | ≤0,15        | 2,340     | 0,339       | -1,032          | 1,878          |
| 2.3.1. рН (1) "  | [7,0-6,8)     | [6,8-6,6)         | [6,6-6,4)     | [6,4-6,2)       | [6,2-6,0)      | [6,0-5,8)         | ≤5,8         | 0,305     | 0,051       | -1,559          | 1,721          |
| 2.3.2. рН (2)  | (7,0-7,5]     | (7,5-7,9]         | (7,9-8,1]     | (8,1-8,3]       | (8,3-8,5]      | (8,5-8,7]         | >8,7         | 0,305     | 0,051       | -1,559          | 1,721          |
| 2.4. Азот амонійний, мгN /дм <sup>3</sup>                            | ≤0,10         | (0,10-0,20]       | (0,20-0,30]   | (0,30-0,50]     | (0,50-1,00]    | (1,00-1,50]       | >1,50        | 4,384     | 0,531       | -0,789          | 1,757          |
| 2.5. Азот нітритний, мгN /дм <sup>3</sup>                            | ≤0,002        | (0,002-0,005]     | (0,005-0,010] | (0,010-0,020]   | (0,020-0,050]  | (0,050-0,070]     | >0,070       | 5,955     | 0,641       | -0,682          | 1,643          |
| 2.6. Азот нітратний, мгN /дм <sup>3</sup>                            | ≤0,20         | (0,20-0,30]       | (0,30-0,50]   | (0,50-0,70]     | (0,70-1,00]    | (1,00-2,00]       | >2,00        | 5,679     | 0,624       | -0,697          | 1,660          |
| 2.7. Фосфор фосфатів, мгP /дм <sup>3</sup>                           | ≤0,015        | (0,015-0,030]     | (0,030-0,050] | (0,050-0,100]   | (0,100-0,200]  | (0,201-0,300]     | >0,300       | 4,959     | 0,575       | -0,742          | 1,713          |
| 2.8. Розчинений кисень, мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> "          | >8,0          | [8,0-7,5)         | [7,5-7,0)     | [7,0-6,0)       | [6,0-5,0)      | [5,0-3,9)         | ≤3,9         | 0,018     | 0,003       | -1,637          | 1,644          |
| 2.9.1. Насиченість води киснем (1), % "                              | [100-96)      | [96-90)           | [90-80)       | [80-70)         | [70-60)        | [60-39)           | ≤39          | 0,018     | 0,003       | -1,637          | 1,644          |
| 2.9.2. Насиченість води киснем (2), %                                | (100-105]     | (105-110]         | (110-120]     | (120-130]       | (130-140]      | (140-150]         | >150         | 0,018     | 0,003       | -1,637          | 1,644          |
| 2.10. Перманганатна окиснюваність, мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | ≤3,0          | (3,0-5,0]         | (5,0-8,0]     | (8,0-10,0]      | (10,0-15,0]    | (15,0-20,0]       | >20,0        | 1,407     | 0,221       | -1,226          | 1,881          |
| 2.11. Біхроматна окиснюваність, мгO/дм <sup>3</sup>                  | ≤9            | (9-15]            | (15-25]       | (25-30]         | (30-40]        | (40-60]           | >60          | 1,562     | 0,242       | -1,191          | 1,890          |
| 2.12. БСК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>           | ≤1,0          | (1,0-1,6]         | (1,6-2,1]     | (2,1-4,0]       | (4,0-7,0]      | (7,0-11,0]        | >11,0        | 5,540     | 0,615       | -0,705          | 1,670          |
| 2.13. Біомаса фітопланктону, мг/дм <sup>3</sup>                      | ≤0,5          | (0,5-1,0]         | (1,0-2,0]     | (2,0-5,0]       | (5,0-10,0]     | (10,0-15,0]       | >15,0        | 5,968     | 0,642       | -0,681          | 1,642          |
| 2.14. Чис. бактеріопланктону, млн.кл./см <sup>3</sup>                | ≤0,5          | (0,5-1,5]         | (1,5-2,5]     | (2,5-5,0]       | (5,0-7,0]      | (7,0-10,0]        | >10,0        | 1,668     | 0,256       | -1,177          | 1,890          |
| 2.15. Чис. сапрофітних бактерій, тис.кл./см <sup>3</sup>             | ≤1,0          | (1,0-3,0]         | (3,0-5,0]     | (5,0-10,0]      | (10,0-25,0]    | (25,0-36,0]       | >36,0        | 5,955     | 0,641       | -0,682          | 1,643          |
| 2.16. Індекс сапробності за Пантле-Буком                             | ≤1,0          | (1,0-1,5]         | (1,5-2,0]     | (2,0-2,5]       | (2,5-3,0]      | (3,0-3,5]         | >3,5         | 0,018     | 0,003       | -1,637          | 1,644          |
| 2.17. Індекс сапробності за Гуднайтом-Уггелсом                       | [1-20]        | (20-45]           | (45-60]       | (60-70]         | (70-80]        | (80-90]           | (90-100]     | 0,018     | 0,003       | -1,637          | 1,644          |
| 3.1. Ртуть, мкг/дм <sup>3</sup>                                      | ≤0,02         | (0,02-0,05]       | (0,05-0,20]   | (0,20-0,50]     | (0,50-1,00]    | (1,00-1,50]       | >1,50        | 5,169     | 0,589       | -0,728          | 1,696          |
| 3.2. Кадмій, мкг/дм <sup>3</sup>                                     | ≤0,10         | (0,10-0,15]       | (0,15-0,25]   | (0,25-0,50]     | (0,50-1,30]    | (1,30-2,00]       | >2,00        | 5,955     | 0,641       | -0,682          | 1,643          |
| 3.3. Мідь, мкг/дм <sup>3</sup>                                       | ≤1,0          | (1,0-1,5]         | (1,5-2,5]     | (2,5-10,0]      | (10,0-15,0]    | (15,0-25,0]       | >25,0        | 6,088     | 0,650       | -0,674          | 1,633          |
| 3.4. Цинк, мкг/дм <sup>3</sup>                                       | ≤10           | (10-15]           | (15-20]       | (20-50]         | (50-100]       | (100-130]         | >130         | 5,277     | 0,597       | -0,722          | 1,690          |
| 3.5. Свинець, мкг/дм <sup>3</sup>                                    | ≤2            | (2-5]             | (5-10]        | (10-20]         | (20-50]        | (50-70]           | >70          | 5,932     | 0,640       | -0,683          | 1,644          |
| 3.6. Хром, мкг/дм <sup>3</sup>                                       | ≤2            | (2-3]             | (3-5]         | (5-10]          | (10-25]        | (25-30]           | >30          | 5,444     | 0,608       | -0,711          | 1,677          |
| 3.7. Нікель, мкг/дм <sup>3</sup>                                     | ≤1            | (1-5]             | (5-10]        | (10-20]         | (20-50]        | (50-75]           | >75          | 5,921     | 0,639       | -0,685          | 1,646          |
| 3.8. Миш'як, мкг/дм <sup>3</sup>                                     | ≤1            | (1-3]             | (3-5]         | (5-15]          | (15-25]        | (25-35]           | >35          | 3,148     | 0,424       | -0,906          | 1,842          |
| 3.9. Залізо загальне, мкг/дм <sup>3</sup>                            | <50           | (50-70]           | (70-100]      | (100-500]       | (500-1000]     | (1000-1200]       | >1200        | 5,921     | 0,639       | -0,685          | 1,646          |
| 3.10. Марганець, мкг/дм <sup>3</sup>                                 | ≤10           | (10-25]           | (25-50]       | (50-100]        | (100-200]      | (200-300]         | >300         | 4,400     | 0,533       | -0,788          | 1,756          |
| 3.11. Фтор, мкг/дм <sup>3</sup>                                      | ≤100          | (100-125]         | (125-150]     | (150-200]       | (200-300]      | (300-400]         | >400         | 3,109     | 0,420       | -0,912          | 1,843          |
| 3.12. Ціаніди, мкг/дм <sup>3</sup>                                   | 0             | (1-5]             | (5-10]        | (10-25]         | (25-50]        | (50-75]           | >75          | 4,446     | 0,536       | -0,784          | 1,753          |
| 3.13. Нафтопродукти, мкг/дм <sup>3</sup>                             | ≤10           | (10-25]           | (25-50]       | (50-100]        | (100-200]      | (200-300]         | >300         | 4,420     | 0,534       | -0,786          | 1,755          |
| 3.14. Феноли леткі, мкг/дм <sup>3</sup>                              | 0             | (0,1-0,5]         | (0,5-1,0]     | (1,0-2,0]       | (2,0-3,0]      | (3,0-5,0]         | >5,0         | 2,700     | 0,378       | -0,970          | 1,870          |
| 3.15. СПАР, мкг/дм <sup>3</sup>                                      | 0             | (1-10]            | (10-20]       | (20-50]         | (50-100]       | (100-150]         | >150         | 4,267     | 0,522       | -0,797          | 1,760          |
| 4.1. <sup>90</sup> Sr, Бк/дм <sup>3</sup>                            | ≤0,01         | (0,01-0,03]       | (0,03-0,05]   | (0,05-0,50]     | (0,50-1,00]    | (1,00-1,20]       | >1,20        | 5,679     | 0,624       | -0,697          | 1,660          |
| 4.2. <sup>137</sup> Cs, Бк/дм <sup>3</sup>                           | ≤0,04         | (0,04-0,10]       | (0,10-0,15]   | (0,15-1,00]     | (1,00-2,00]    | (2,00-2,50]       | >2,50        | 5,726     | 0,627       | -0,694          | 1,657          |