

УДК 631.67

СИСТЕМНА МОДЕЛЬ ЕКОЛОГІЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НА ПРИКЛАДІ р. ДЕСНА

П.І. КОВАЛЬЧУК, А.В. ГЕРУС, Р.Ю. КОВАЛЕНКО

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Запропоновано методологію просторово-часового екологічного оцінювання якості води в руслі р. Десна. Для оцінювання за екобасейновим принципом розроблено системну модель та адаптовано програмний комплекс.

Ключові слова: **якість води, екосистемне оцінювання, комплекс показників, ієрархічна схема, просторово-часовий аналіз, програмний комплекс**

© П.І. Ковальчук, А.В. Герус, Р.Ю. Коваленко, 2013

Меліорація і водне господарство, 2013. Вип. 100

Постановка завдання. При аналізі даних моніторингових спостережень є необхідність стислого подання їх та об'єктивного просторово-часового оцінювання якості води за системою показників. Це викликало розробку комплексних інтегральних оцінювань, які зводять усю сукупність даних до невеликого числа показників [1]. Методика екологічного оцінювання [2] дає змогу характеризувати якість води в окремій точці відбору проб. Ставиться завданням розробити екосистемний підхід у руслі р. Десна за екологічним оцінюванням [2], що дає змогу реалізувати важливий елемент екобасейнового принципу управління якістю водних ресурсів. Екосистемний підхід полягає у виборі взаємозв'язаної множини точок вимірювання в руслі ріки, що складають елементи системи. Потрібно розробити математичну модель та програмний комплекс, який автоматизовано проводить екосистемний просторово-часовий аналіз на множині елементів, порівняння зміни окремих і комплексних показників з графічною візуалізацією і табличним заданням оціночних функцій.

Методологія дослідження. Існують два основних екологічних оцінювання якості води у водному об'єкті – орієнтовне та ґрунтовне. Орієнтовне екологічне оцінювання необхідне для розроблення попередніх, орієнтовних висновків і рішень.

Ґрунтовне, узагальнювальне оцінювання потрібне для переконливих, відповідальних висновків [3].

Водночас неповне орієнтовне екологічне оцінювання якості води ґрунтується на аналізі величин окремих показників, одного чи кількох блоків залежно від специфіки поставленого завдання. Повне ж екологічне оцінювання ґрунтується на аналізі показників якості води, що належать до всіх трьох блоків: за критеріями сольового складу, за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) критеріями, за критеріями речовин токсичної і радіаційної дії. При розрахунках повного екологічного оцінювання в окремому пункті вимірювань застосовується системний підхід, що використовує часткові оцінки за гідрохімічними показниками, інтегровані оцінки по блоках та інтегровані оцінки за індексами трьох блоків.

Екосистемний підхід до екологічного оцінювання якості води в басейні середньої та великої річок здійснюється на множині пунктів вимірювання, що складають певну систему елементів, і методично вирішується на основі узагальненого алгоритму, який передбачає три етапи.

Етап 1. Формалізація методу розрахунку екологічного оцінювання якості води в одному пункті вимірювань.

Етап 2. Картографічне зображення басейну річки з нанесенням пунктів відбору проб.

Етап 3. Формалізація системної моделі прийняття рішень та розробка програмного комплексу екосистемного оцінювання в цілому по басейну або по руслу ріки. Послідовний розрахунок критеріїв і порівняння їх за множиною точок відбору проб на всіх рівнях ієрархії, вивід інформації на графіки та в таблиці системного оцінювання. Забезпечується можливість одночасної обробки і зіставлення результатів у пунктах вимірювань басейну, зображених на карті-схемі.

Для формалізації методу розрахунку зображено структуру алгоритму прийняття рішень. Системний підхід до оцінювання екологічного стану водних ресурсів в окремому пункті спостережень розкриває ієрархічна схема (рис. 1), орієнтована на послідовне прийняття рішень за рівнями ієрархії.

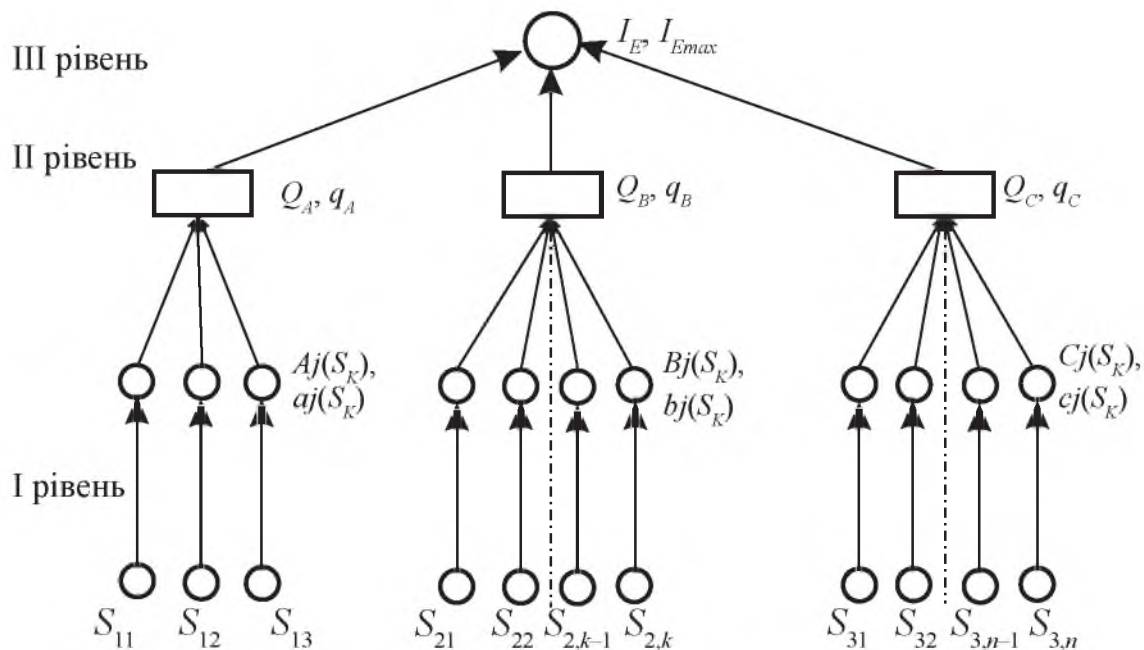


Рис. 1. Ієрархічна схема прийняття рішень для екологічного оцінювання якості води в пункті спостережень:

I рівень – класи і категорії окремих показників за даними концентрацій S_k ; II рівень – екологічне оцінювання якості води за групами показників (сольового складу, трофо-сапробіологічних (санітарно-епідеміологічних) та показників вмісту речовин токсичної та радіаційної дії); III рівень – узагальнений індекс якості водних ресурсів

На першому рівні ієрархії показники, або критерії якості води, представлені їхніми концентраціями S_{ij} : для сольового блоку (S_{11}, S_{12}, S_{13}); для трофо-сапробіологічного блоку ($S_{21}, \dots, S_{2,j}, \dots, S_{2,n2}$) для блоку критеріїв забруднення води специфічними речовинами токсичної і радіаційної дії ($S_{31}, \dots, S_{3,j}, \dots, S_{3,n3}$). По кожному показнику проводять графічне оцінювання його абсолютних значень, визначають класи та категорії за методикою [2].

На другому рівні ієрархії розраховують екологічну оцінку якості води за трьома блоками показників, зокрема для середніх значень та для значень показників, що характеризують найгірші умови.

Розрахунок проводять за формулами:

$$Q_{L,\text{ср.}} = \sum_{j=1}^{n_k} \alpha_j L^j / \sum_{j=1}^{n_k} \alpha_j, \quad q_{L,\text{ср.}} = \sum_{j=1}^{n_l} \alpha_j l^j / \sum_{j=1}^{n_l} \alpha_j, \quad (1)$$

$$Q_{L,\text{max}} = \max L^j, \quad q_{l,\text{max}} = \max l^j, \quad (2)$$

$$j = 1, 2, \dots, n_k, \quad j = 1, 2, \dots, n_l,$$

де $\alpha_j = \begin{cases} 1, & \text{якщо } L^j, l^j - \text{відомі;} \\ 0, & \text{якщо } L^j, l^j - \text{невідомі (дані відсутні);} \end{cases}$

L, l – поточні індекси за трьома блоками показників блоків ($L = A, B, C$) і класів ($l = a, b, c$); L^j, l^j – індекси I рівня ієрархії за трьома блоками для класів L і категорій l , одержані за даними концентрацій S_{kj} , $k = 1, 2, 3; j = 1, \dots, nk$, $Q_{L,\text{ср.}}, Q_{L,\text{max}}$ – середні та максимальні (найгірші) значення класів кожного з блоків; $q_{l,\text{ср.}}, q_{l,\text{max}}$ – середні та максимальні (найгірші) значення блокових індексів ($I_{L,\text{ср.}} = q_{l,\text{ср.}}, I_{L,\text{max}} = q_{l,\text{max}}$).

Значення блокових індексів можуть бути дробовими числами. Це дає змогу диференціювати оцінювання якості води, зробити його точнішим і гнучкішим для визначення субкатегорій якості води, що відповідають середнім значенням блокових індексів, за якими виконують вербальний опис якості води [3].

Крім кількісного оцінювання класу і категорії, методика передбачає словесний (вербальний) опис системи показників, їхніх класів, категорій і субкатегорій.

На III рівні ієрархії обчислюють інтегральний, або екологічний, індекс (I_E) та проводять визначення об'єднаної оцінки якості води. Визначення об'єднаної екологічної оцінки якості води здійснюють за формулою:

$$I_E = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}, \quad (3)$$

де I_1 – індекс забруднення компонентами сольового складу; I_2 – індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників; I_3 – індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

Екологічний індекс якості води, як і блокові індекси, обчислюють для середніх і найгірших (у разі ґрунтового екологічного оцінювання) значень категорій окремо: $I_{E_{\text{ср.}}}$ та $I_{E_{\text{найгірш.}}}$ може бути дробовим числом. Субкатегорії якості води на підставі I_E визначаються аналогічно, як і для блокових індексів.

На другому етапі як елемент візуалізації процесу екологічного оцінювання розробляється карта-схема басейну з нанесенням пунктів відбору проб.

На третьому етапі проводиться адаптація математичної моделі системного екологічного оцінювання в басейні ріки. З використанням системи прийняття рішень за алгоритмом розрахунку виконують одночасно на множині точок обробку вхідних даних, вибірку максимальних та середніх значень даних кожного показника за певний період часу (місяць, декада, рік). Наступним кроком екосистемного розрахунку є розподіл досліджуваних елементів за відповідними блоками та встановлення відповідного класу і категорії кожного середнього й максимального значення показника; встановлюються середні та максимальні значення блокових індексів для подальшого визначення екологічних індексів.

Результатом екосистемних досліджень за програмним комплексом є як проміжні, так і кінцеві значення екологічних індексів, що відображаються графічно і у табличній формі. Крім кількісних оцінок, подається вербальний опис стану якості води за узагальненим абсолютним значенням показника, класом, категорією та відповідною субкатегорією якості води.

Результати системного екологічного оцінювання якості води (на прикладі р. Десна). Для екосистемного оцінювання розроблено карту-схему (рис. 2) просторового розміщення пунктів спостережень за якістю води вздовж р. Десна. Опрацювання даних Міністерства екології та природних ресурсів України за період 2009–2011 рр. [4] дало змогу провести просторово-часові оцінювання за середніми та найгіршими значеннями. Найгірші значення показників на першому етапі обробки прийнято рівними середнім значенням. Розроблено екосистемну модель, алгоритм та програму, тобто систему підтримки прийняття рішень, яку апробовано на прикладі русла р. Десна. Аналіз отриманих результатів, розрахованих програмним

комплексом, засвідчує стабільний екологічний стан водного середовища р. Десна протягом досліджуваного періоду.

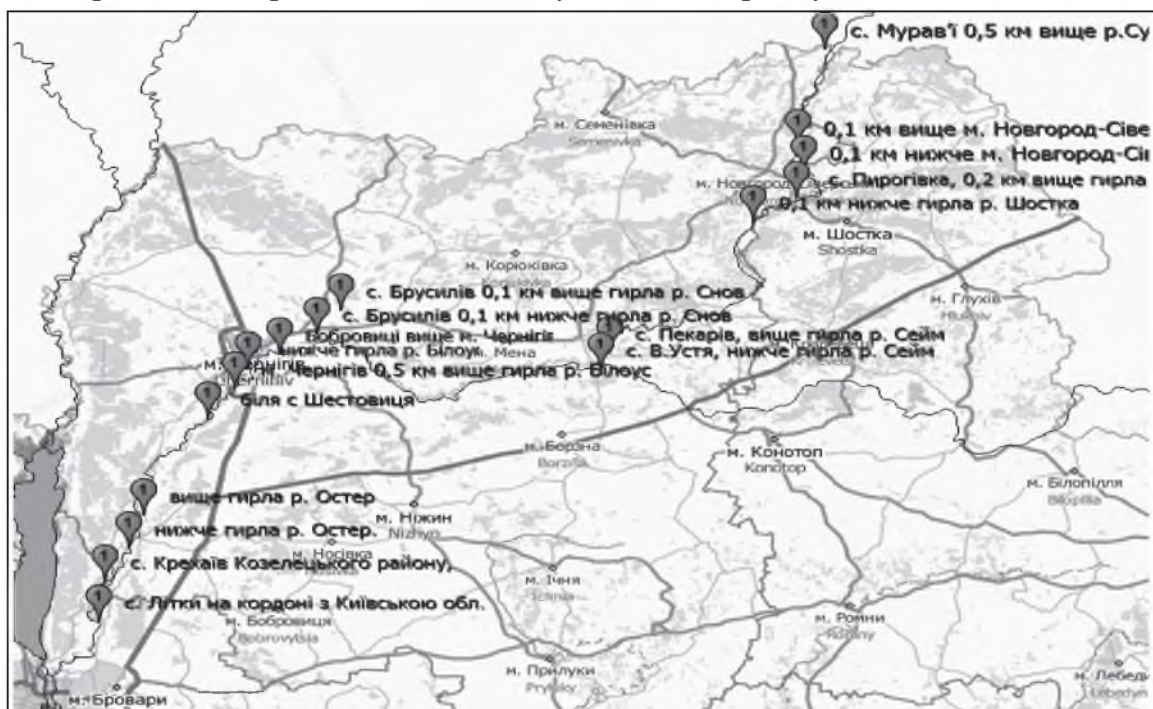
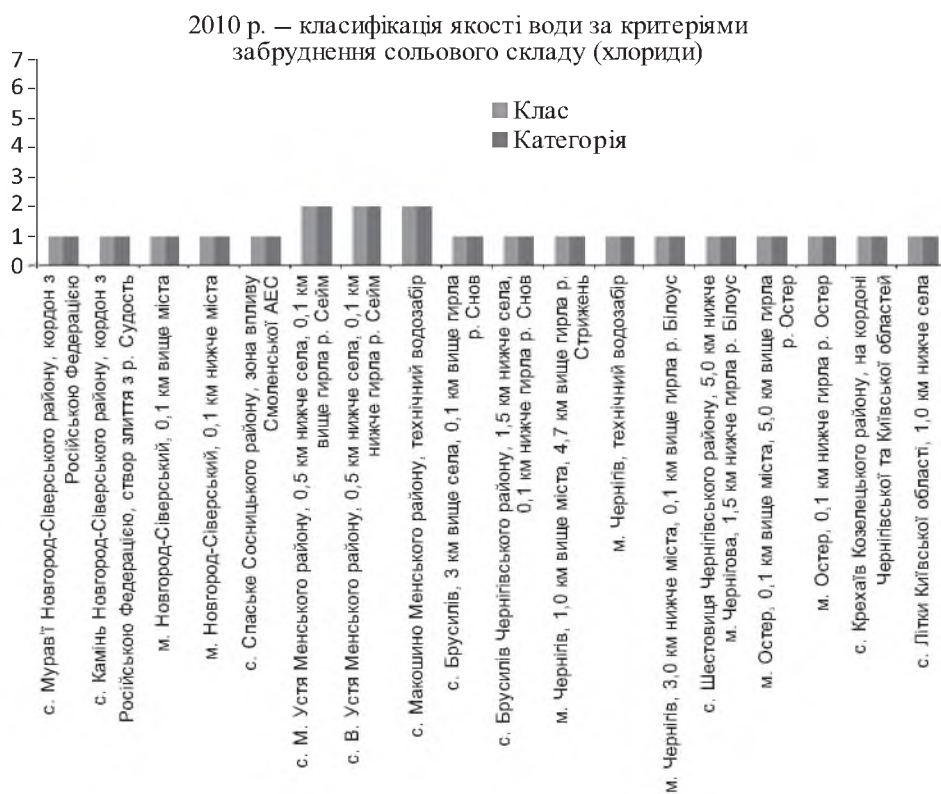


Рис. 2. Просторове розміщення пунктів відбору проб Міністерства екології та природних ресурсів України у створі р. Десна станом на 2011 р.

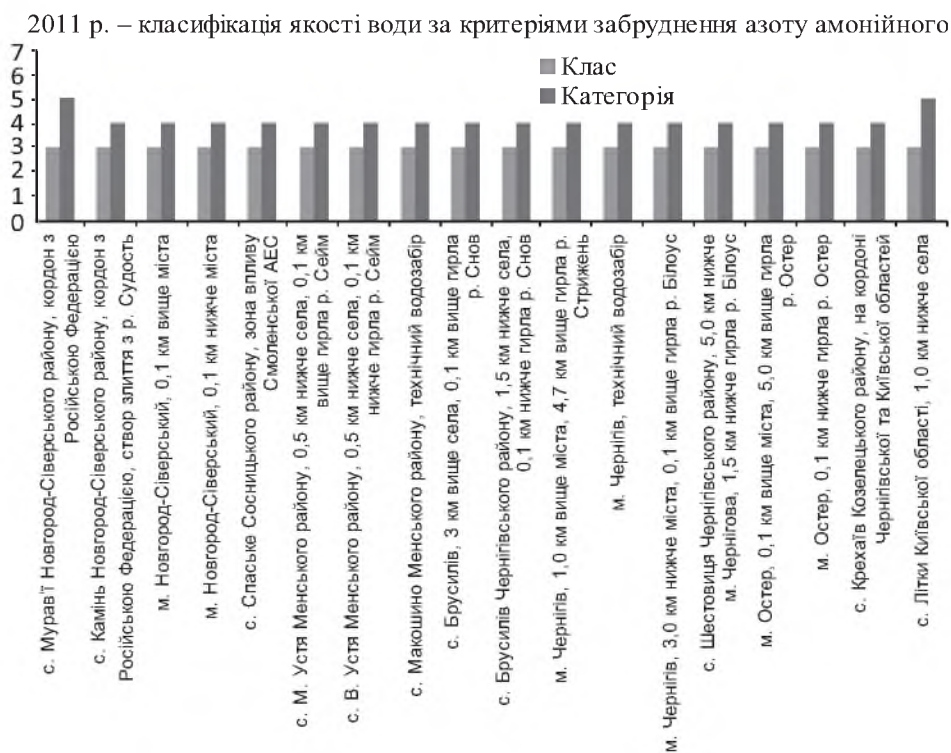
Так, оцінка за першим блоком (показники: сума іонів, хлориди, сульфати), розрахунок за індексами сольового складу ($I_{\text{сер.}}$, I_{max}) показали, що вода в створі р. Десна за середніми і найгіршими величинами I_1 перебуває в межах ($1,0 \leq I_1 \leq 2,0$) та належить до 1-го класу і 1-ї категорії якості, а в деяких випадках – 2-го класу 2-ї категорії.

Води характеризуються як «відмінні», «дуже чисті» води за $I_{\text{сер.}}$ та «дуже добрі», «чисті» за I_{max} . Найгірші значення блокових індексів сольового складу із встановленим значенням ($I_{\text{max}}=2$) зафіксовано в 2009–2010 рр. в окремих пунктах спостережень (с. М. Устя Менського району, 0,5 км нижче села, 0,1 км вище гирла р. Сейм; с. В. Устя Менського району, 0,5 км нижче села, 0,1 км нижче гирла р. Сейм та ін.). При цьому найгіршими виявилися значення показника хлоридів, величини яких коливаються в межах від 6 до 23,7 мг/дм³.

Екосистемне графічне відображення показників, розрахованих за допомогою адаптованого програмного комплексу, наведено на рис. 3. Результати досліджень показали, що за середніми значеннями блокових індексів й за якістю води найбільш несприятливим є блок трофо-сапробіологічних показників.



а



б

Рис. 3. Класифікація якості води за класами і категоріями у пунктах відбору проб: а – за показниками хлоридів (2010 р.); б – за показниками азоту амонійного (2011 р.)

За класифікацією [2] води р. Десна практично у всіх пунктах спостережень належать до 3-го класу, що визначає їх як евтрофні, перехідні за якістю від «добрих», «досить чистих» до «задовільних», «слабко забруднених». Найгірші значення за трофо-сапробіологічними показниками було зафіксовано у 2011 р. за показником азоту амонійного (рис. 3).

Щодо показників специфічних речовин токсичної дії, які досліджувались (залізо загальне, марганець, нафтопродукти), то їхні значення є в межах норми і вода у р. Десна протягом досліджуваного періоду за третім блоком належить до 1-го класу 1-ї категорії (табл. 1).

1. Екосистемний розрахунок середніх і максимальних блокових індексів та значення екологічних індексів вздовж русла р. Десна

Місце відбору проби	ІЕ max	ІЕ сер.	Індекс забруднення компонентами сольового складу		Індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників		Індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії	
			І1сер.	І1 max	І2 сер.	І2 max	І3 сер.	І3 max
1	2	3	4	5	6	7	8	9
с. Мурав'ї Новгород-Сіверського району, кордон з Російською Федерацією	2,33	1,83	1	1	3,5	5	1	1
с. Камінь Новгород-Сіверського району, кордон з Російською Федерацією, створ злиття з р. Судость	2	1,67	1	1	3	4	1	1
м. Новгород-Сіверський, 0,1 км вище міста	2	1,67	1	1	3	4	1	1
м. Новгород-Сіверський, 0,1 км нижче міста	2	1,67	1	1	3	4	1	1

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
с. Спаське Сосницького району, зона впливу Смолен- ської АЕС	2	1,67	1	1	3	4	1	1
с. М. Устя Мен- ського району, 0,5 км нижче села, 0,1 км вище гирла р. Сейм	2	1,67	1	1	3	4	1	1
с. В. Устя Мен- ського району, 0,5 км нижче села, 0,1 км нижче гирла р. Сейм	2	1,67	1	1	3	4	1	1
с. Макошино Менського ра- йону, технічний водозабір	2	1,67	1	1	3	4	1	1
с. Брусилів, 3 км вище села, 0,1 км вище гирла р. Снов	2	1,67	1	1	3	4	1	1
с. Брусилів Чернігівського району, 1,5 км нижче села, 0,1 км нижче гирла р. Снов	2	1,67	1	1	3	4	1	1
м. Чернігів, 1,0 км вище міс- та, 4,7 км вище гирла р. Стри- жень	2	1,67	1	1	3	4	1	1
м. Чернігів, технічний водо- забір	2	1,67	1	1	3	4	1	1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
м. Чернігів, 3,0 км нижче міста, 0,1 км вище гирла р. Білоус	2	1,67	1	1	3	4	1	1
с. Шестовиця Чернігівського району, 5,0 км нижче м. Чер- нігова, 1,5 км нижче гирла р. Білоус	2	1,67	1	1	3	4	1	1
м. Остер, 0,1 км вище міста, 5,0 км вище гирла р. Остер	2	1,67	1	1	3	4	1	1
м. Остер, 0,1 км нижче гирла р. Остер	2	1,67	1	1	3	4	1	1
с. Крехаїв Козелецького району, на корд. Чернігівської та Київської областей	2	1,67	1	1	3	4	1	1
с. Літки Київ- ської області, 1,0 км нижче села	2,33	1,83	1	1	3,5	5	1	1

Аналіз результатів показав, що якість води за трьома блоками показників є досить стабільною протягом багатьох років. Найгірше значення показників було зафіксовано за показником азоту амонійного у с. Літки Київської області, 1,0 км нижче села (0,52 мг/л), що належить до другого блоку (трофо-сапробіологічні показники) і до 3-го класу 5-ї категорії.

Приклад проміжного розрахунку середніх і максимальних блокових індексів та значення відповідних екологічних індексів наведено в табл. 2.

**2. Оцінювання класів, категорій та субкатегорій якості води,
її вербальне екологічне оцінювання за середнім значенням
блокових індексів**

Місце відбору проби	Абсолютне значення показника ІЕ max	Клас якості води	Категорії якості води	Середні значення блокових індексів	Позначення відповідної субкатегорії якості води	Лінгвістична характеристика субкатегорій якості води
1	2	3	4	5	6	7
с. Мурав'ї Новгород-Сіверського району, кордон з Російською Федерацією	2,33	2	2	2,26–2,5	2(3)	Дуже добрі, «чисті» води з тенденцією наближення до категорії «добрих», «досить чистих»
с. Камінь Новгород-Сіверського району, кордон з Російською Федерацією, створ злиття з р. Судость	2,00	2	2	2,00–2,25	2	Дуже добрі, «чисті» води
м. Новгород-Сіверський, 0,1 км вище міста	2,00	2	2	2,00–2,25	2	Те саме
м. Новгород-Сіверський, 0,1 км нижче міста	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
с. Спаське Сосниць- кого ра- йону, зона впливу Смолен- ської АЕС	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»
с. М. Устя Менського району, 0,5 км нижче села, 0,1 км вище гирла р. Сейм	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»
с. В. Устя Менського району, 0,5 км нижче села, 0,1 км нижче гирла р. Сейм	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»
с. Мако- шино Менського району, технічний водозабір	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»
с. Бруси- лів, 3 км вище села, 0,1 км вище гир- ла р. Снов	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
с. Брусилів Чернігівського району, 1,5 км нижче села, 0,1 км нижче гирла р. Снов	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»
м. Чернігів, 1,0 км вище міста, 4,7 км вище гирла р. Стрижень	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»
м. Чернігів, технічний водозабір	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»
м. Чернігів, 3,0 км нижче міста, 0,1 км вище гирла р. Білоус	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»
с. Шестовиця Чернігівського району, 5,0 км нижче м. Чернігова, 1,5 км нижче гирла р. Білоус	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»

1	2	3	4	5	6	7
м. Остер, 0,1 км вище міс- та, 5,0 км вище гирла р. Остер	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»
м. Остер, 0,1 км нижче гир- ла р. Остер	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»
с. Крехаїв Козе- лецького району, на кордоні Чернігів- ської та Київської областей	2,00	2	2	2,00–2,25	2	»
с. Літки Київської області, 1,0 км нижче села	2,33	2	2	2,26–2,5	2(3)	Дуже добрі, «чисті» води з тенденцією наближення до категорії «добрих», «досить чистих»

Висновки. Розроблено екосистемну модель, алгоритм та програму, тобто систему підтримки прийняття рішень, яку апробовано на прикладі русла р. Десна. Апробація програмного комплексу з екологічного оцінювання якості води показала можливість реалізації екосистемного підходу для великих і середніх річок, який полягає в одночасній обробці і зіставленні результатів у вибраних пунктах вимірювань.

Проведені розрахунки індексів класів та категорій за окремими показниками, блокових індексів та об'єднані інтегральні оцінки

якості води за класами, категоріями та субкатегоріями дають змогу на підставі лінгвістичних оцінок охарактеризувати якість води.

Аналіз якості води за середніми значеннями блокових індексів показав, що за показниками першого і третього блоків вода належить до 1-го класу 1-ї категорії і характеризується як «відмінна», «дуже чиста». За середнім значенням показників другого блоку води відносять до 3-го класу 5-ї категорії і характеризують як перехідні за якістю від «добрих», «досить чистих» до «задовільних», «слабко забруднених».

У цілому ж за показниками екологічного індексу води р. Десна характеризуються як перехідні за якістю від «відмінних», «дуже чистих» до «дуже добрих», «чистих» та в деяких точках відбору проб як «дуже добрі», «чисті води» з ухилом до категорії «відмінних», «дуже чистих».

1. *Вербецька К.Ю.* Порівняльний аналіз методик оцінки якості поверхневих вод (на прикладі типової р. Губісцкалі) / Вербецька К.Ю. // Вісн. нац. ун-ту водного господарства та природокористування. – Рівне, 2011. – Вип. 3(55). – С. 91–99.

2. *Романенко В.Д.* Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / [В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк та ін.]. – К.: Символ-Т, 1988. – 28 с.

3. *Яцик А.В.* Д70 Досвід використання «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» (пояснення, застереження, приклади) / [А.В. Яцик, В.М. Жукинський, А.П. Чернявська, І.С. Єзловецька]. – К.: Оріяни, 2006. – 60 с.

4. <http://www.ecobank.org.ua>.

Предложена методология пространственно-временной экологической оценки качества воды в бассейнах средних и больших рек. Для оценок по бассейновому принципу разработана системная модель и адаптирован программный комплекс.

A methodology for space-time ecological assessment of water quality in pools of medium to large rivers. Estimates for the basin principle developed system model and adapted software package.