

УДК631.67:63.001.5:63.001.57

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ БАСЕЙНІВ МАЛИХ РІЧОК

О.С. Демчук

Національний університет водного господарства і природокористування

ldem1997@ukr.net

Запропоновано інформаційну технологію оцінювання та прогнозування екологічного стану басейнів малих річок на основі вдосконаленої системної логіко-ієрархічної моделі. Розроблену технологію апробовано на прикладі комплексного оцінювання стану басейну річки Жовтої, лівої притоки Інгульця (басейн Дніпра). Вдосконалення методів та розробка інформаційних технологій оцінювання і прогнозування екологічного стану басейнів малих річок дає змогу підвищити ефективність управління ними.

Ключові слова: басейн малої річки, системна модель, удосконалення, інформаційна технологія, комплексне оцінювання, прогнозування.

Предложена информационная технология оценивания и прогнозирования экологического состояния бассейнов малых рек на основе усовершенствованной системной логико-иерархической модели. Разработанная технология апробирована на примере комплексного оценивания состояния бассейна реки Желтой, левой притоки Ингульца (басейн Днепра). Усовершенствование методов и разработка информационных технологий оценивания и прогнозирования экологического состояния бассейнов малых рек дает возможность повысить эффективность управления ими.

Ключевые слова: бассейн малой реки, системна модель, совершенствование, информационная технология, комплексное оценивание, прогнозирование.

An informational technology evaluation and prediction of small river's basins ecological state on the basis of an improved system logical hierarchical model is offered. The developed technology has been tested on the example of comprehensive evaluation of the Yellow River basin state, Inhulets left branch (Dnieper basin). Improvement of methods and development of informational technology evaluation and prediction of small river's basins ecological state make it possible to increase the efficiency of management.

Key words: small river basin, system model, improvement, informational technology, comprehensive evaluation, prediction.

1. Постановка задачі

Внаслідок зростаючого негативного впливу комплексу природних та антропогенних факторів останнім часом значно погіршилась якість води в річках Жовта та Інгулець за рядом показників, в тому числі сумарна β -активність. Одним із головних таких чинників є безконтрольне затоплення вироблених горизонтів шахти «Нова» в м. Жовті Води, з якої видобуваються уранова, залізна та комплексні руди. У випадку повного затоплення шахти стає реальною загроза радіохімічного забруднення р. Жовта, а це в свою чергу, може призвести до забруднення Карачунівського водосховища – основного джерела водопостачання цілого регіону, в тому числі м. Кривий Ріг.

Для прийняття завчасних управлінських рішень щодо експлуатації водозабору на р. Жовта та Карачунівському водосховищі та поліпшення якісного стану вод необхідно вдосконалювати систему моніторингу і на основі використання екосистемного підходу здійснювати комплексну оцінку екологічного стану води, повітря та ґрунтів басейну малої річки. Ефективність та оперативність ведення моніторингу підвищить використання сучасних інформаційних технологій.

2. Вдосконалена системна модель оцінювання екологічного стану басейнів малих річок

Системна логіко-математична модель оцінки антропогенного навантаження і класифікації стану малих річок [1, 2] вдосконалена за рахунок розробки моделей нових підсистем [5] та методів і критеріїв прийняття рішень в існуючих підсистемах [3,4].

Зокрема, оцінювання якості води в межах кожного з трьох блоків (сольового складу, трофо-сапробіологічних речовин та специфічних речовин токсичної дії) запропоновано проводити з використанням універсального комплексного критерію, який, на відміну від існуючих, дає змогу враховувати як середні, так і найгірші значення показників, а також співвідношення між ними (на прикладі блоку трофо-сапробіологічних речовин):

$$b_{\text{зваж}}^i = \lambda \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_j^i \right) + (1 - \lambda) \max_{j=1,n} \{ b_j^i \}, \quad \text{де} \quad \lambda = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \max_{j=1,n} \{ b_j^i \} \leq 3; \\ \frac{1}{2}, & \text{якщо } 3 < \max_{j=1,n} \{ b_j^i \} \leq 5; \\ \frac{1}{3}, & \text{якщо } \max_{j=1,n} \{ b_j^i \} \geq 5, \end{cases} \quad (1)$$

де b_j^i – категорія якості води j -го вимірювання i -го показника даного блоку; n – кількість вимірювань.

Тоді загальну оцінку якості води за всією множиною показників блоку трофо-сапробіологічних речовин запропоновано розраховувати на підставі визначення зваженого значення блокового індексу за такою рівністю:

$$I_{\text{зваж}} = \frac{\sum_{i=1}^m \beta_i \cdot b_{\text{зваж}}^i}{\sum_{i=1}^m \beta_i}, \quad \text{де} \quad \beta_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо значення } b_j^i (b_{\text{зваж}}^i) \text{ відомі;} \\ 0, & \text{якщо } b_j^i (b_{\text{зваж}}^i) \text{ невідомі (дані відсутні),} \end{cases} \quad (2)$$

де m – кількість показників другого блоку.

Крім того, уточнено модель оцінювання показників стану та використання земель у випадку ймовірнісного та нечіткого задання вхідних показників. Запропоновані методи прийняття рішень в умовах невизначеності дають змогу більш адекватно і комплексно оцінити стан басейну малої річки як по кожному окремому показнику, так і по всій підсистемі. Невизначеність у

системі спостережень виникає, по-перше, за наявності значної кількості вимірювань деякого показника.

Для її розкриття запропоновано нові узагальнені критерії, які враховують як вагові коефіцієнти кожного показника, так і статистичні ймовірності появи логічних альтернатив якісних станів:

$$H_i = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^5 \alpha_k p_j^k \varphi_k(U_j)}{\sum_{k=1}^n \alpha_k \sum_{j=1}^5 p_j^k}, \quad H_i^{(-)} = \frac{\sum_{k=1}^{n_k} \sum_{j=1}^5 \alpha_k p_j^k \varphi_k^{(-)}(U_j)}{\sum_{k=1}^{n_k} \alpha_k \sum_{j=1}^5 p_j^k}, \quad (3)$$

де n – загальна кількість наявних показників (із позитивними і негативними значеннями функцій мір); n_k – кількість показників з їх негативними значеннями; α_k – ваговий коефіцієнт k -го показника, який відображає важливість останнього залежно від природно-сільськогосподарської зони і провінції; p_j^k – ймовірності того, що значення показника попадає в заданий інтервал $[\lambda_j^k; \lambda_{j+1}^k]$ і приймає відповідне значення U_j якісної шкали; $\varphi_k(U_j)$ – функція міри; i – номер річки.

По-друге, у випадку, коли деякі якісні характеристики (лісистість, ступінь природного стану, еродованість тощо) є нечіткими, розмитими за своєю природою, для прийняття рішень в умовах невизначеності доцільно застосовувати апарат теорії нечітких множин. Для кожного k -го показника вводиться деяка нечітка множина $A_k = \{U, \mu_{A_k}(U)\}_{u \in U}, k = 1, \dots, n$, яка задає міру того, що його значення попадає в заданий інтервал $[\lambda_j^k; \lambda_{j+1}^k]$. Таким чином, приналежність k -го показника до того чи іншого інтервалу визначається множиною поточних значень мір: $\mu_{A_k}(U_1) = \mu_1^k, \dots, \mu_{A_k}(U_5) = \mu_5^k$.

Для розкриття такої невизначеності нами розроблено та рекомендовано до використання критерії:

$$H_i = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^5 \alpha_k \mu_j^k \varphi_k(U_j)}{\sum_{k=1}^n \alpha_k \sum_{j=1}^5 \mu_j^k}, \quad H_i^{(-)} = \frac{\sum_{k=1}^{n_k} \sum_{j=1}^5 \alpha_k \mu_j^k \varphi_k^{(-)}(U_j)}{\sum_{k=1}^{n_k} \alpha_k \sum_{j=1}^5 \mu_j^k}, \quad (4)$$

де μ_j^k – функція приналежності k -го показника інтервалу $[\lambda_j^k; \lambda_{j+1}^k]$, U_j – відповідне значення якісної шкали.

Для комплексного оцінювання параметрів забруднення повітря та ґрунтів у басейні малої річки удосконалено методи і розроблено багатокритеріальну модель, яка дає змогу визначати зони ризику виникнення земель. Через $F^i = \{f_{jk}^i\}_{j=1, n, k=1, m}$ позначено матрицю концентрацій забруднень повітря за i -им показником у точці спостереження $x_k \in X$ в момент часу $\theta_j \in \theta$, тобто $f_{jk}^i = f^i(\theta_j, x_k)$. Ситуація прийняття рішень у цілому характеризується системою матриць $F^i, i = \overline{1, l}$ де l –

кількість забруднюючих речовин.

На першому етапі розкриття невизначеності зводимо багатокритеріальну задачу до однокритеріальної на основі застосування критерію згортки та врахування пріоритетів безпосередньо до елементів матриць:

$$U_{\varepsilon} = K_1 \frac{U_1}{ГДК_1} + K_2 \frac{U_2}{ГДК_2} + \dots + K_l \frac{U_l}{ГДК_l}, \quad (5)$$

де U_{ε} – сумарна відносна концентрація; U_1, \dots, U_l ; $ГДК_1, \dots, ГДК_l$ – виявлені концентрації та їхні $ГДК$; K_i – ваговий коефіцієнт i -го інгредієнта забруднення.

На другому етапі стохастична однокритеріальна задача зводиться до детермінованої на основі застосування середніх, максимальних та зважених за критерієм Ходжеса-Лемана значень U_{ε} .

В залежності від системної оцінки U_{ε} за множиною показників запропоновано виділити чотири зони ризику, які характеризують санітарно-гігієнічну ситуацію в якісно-кількісній шкалі:

$$g(U_{\varepsilon}) = \begin{cases} 1 - \text{надзвичайно небезпечна ситуація, якщо } U_{\varepsilon} \geq 2; \\ 2 - \text{небезпечна ситуація, якщо } 1 \leq U_{\varepsilon} < 2; \\ 3 - \text{малонебезпечна ситуація, якщо } 0,3 \leq U_{\varepsilon} < 1; \\ 4 - \text{безпечна ситуація, якщо } U_{\varepsilon} < 0,3. \end{cases} \quad (6)$$

На основі даних вимірювань забруднення повітря і ґрунтів пропонується визначати зони ризику забруднення ґрунтів за допомогою сучасних геоінформаційних технологій. Якісна класифікація стану забруднення повітря і ґрунтів у басейні річки визначається множиною логічних альтернатив $P_i \in P, i = \overline{1,5}$: стан „надзвичайно забруднений” ($S_{U_{\varepsilon}>1} \geq 55\%S_{\text{бас}}$), „сильно забруднений” ($40\%S_{\text{бас}} \leq S_{U_{\varepsilon}>1} < 55\%S_{\text{бас}}$), „забруднений” ($25\%S_{\text{бас}} \leq S_{U_{\varepsilon}>1} < 40\%S_{\text{бас}}$), „слабо забруднений” ($10\%S_{\text{бас}} \leq S_{U_{\varepsilon}>1} < 25\%S_{\text{бас}}$), „не забруднений” ($S_{U_{\varepsilon}>1} < 10\%S_{\text{бас}}$).

Крім якісної, пропонується кількісна оцінка стану підсистеми на множині альтернатив P шляхом введення логічної функції міри $\varphi(P)$:

$$\varphi(P) = \begin{cases} -10, \text{ якщо } P = P_1; \\ -7, \text{ якщо } P = P_2; \\ -4, \text{ якщо } P = P_3; \\ -1, \text{ якщо } P = P_4; \\ 0, \text{ якщо } P = P_5, \end{cases} \quad (7)$$

де $S_{\text{бас}}$ – площа всього басейну річки; $S_{U_{\varepsilon}>1}$ – сумарна площа земель, що відноситься до небезпечної та надзвичайно небезпечної зон.

Якщо сумарний відсоток площ, що відносяться до зон небезпечної та надзвичайно небезпечної ситуації, становить більше 10% від загальної площі басейну ($S_{U_{\varepsilon}>1} \geq 10\%S_{\text{бас}}$), то функція міри даної підсистеми має бути врахована в

координуючому алгоритмі взаємодії підсистем і стан басейну оцінюємо за формулою:

$$\varphi(K_n) = 0,3 \cdot \varphi(L_n) + 0,2 \cdot \varphi(W_n) + 0,4 \cdot \varphi(Q_n) + 0,1 \cdot \varphi(P_n), \quad (8)$$

де L_n , W_n , Q_n , P_n – поточні класи станів підсистем “Використання земель”, “Використання річкового стоку”, “Якість води”, “Оцінювання забруднення повітря і ґрунтів” відповідно; K_n – клас всієї системи басейну річки.

3. Інформаційна технологія оцінювання динаміки та прогнозування екологічного стану басейнів малих річок

Вдосконалена системна модель реалізована на практиці у вигляді програмного комплексу “Інформаційно-аналітична система комплексного оцінювання стану басейнів малих річок” [6], що автоматизує процес розрахунку антропогенного навантаження і класифікації стану басейнів малих річок.



Рис. 1. Структурна схема інформаційної технології оцінювання динаміки та прогнозування екологічного стану басейнів малих річок

Результати вимірювань значень первинних показників 5-ти підсистем в динаміці заносяться в базу даних інформаційно-аналітичної системи, після чого

автоматизовано проводиться оцінювання стану басейну малої річки. Програмний комплекс також дає можливість проводити пошукове прогнозування – визначення майбутніх станів підсистем і басейну річки в цілому на основі розрахунку варіантів антропогенних та природних впливів із метою пошуку та виділення оптимальних або прогнозних із заданою якістю станів та нормативне прогнозування – визначення варіантів, шляхів досягнення можливих станів показників підсистем, що задовольняють нормативним обмеженням.

Таким чином, автоматизоване оцінювання стану басейну малої річки в динаміці та його прогнозування дозволить сформулювати своєчасні рекомендації щодо ефективного управління ним.

4. Застосування розробленої інформаційної технології для оцінювання екологічного стану басейну річки Жовта

Спочатку визначено стан радіоактивного забруднення земель басейну р. Жовта, який за трьома наявними показниками системної моделі (цезій, стронцій, плутоній) визнано “задовільним”.

Оцінювання стану підсистеми “Використання земель” здійснювалось на основі нечіткої логічної моделі. Через неповноту вхідних даних для визначення таких параметрів використання земель як лісистість, урбанізація, ступінь природного стану, запропоновано використовувати картографічний метод: за допомогою ГІС ArcMap 10.0 побудовано карту водозбору басейну річки Жовта, а за допомогою MapInfo Professional 11.5 обчислено сумарні площі, що займають ліси, населені пункти тощо. Інші параметри (сільськогосподарська освоєність, розораність, еродованість) визначались на основі даних офіційної звітності. Наприклад, такий параметр, як сільськогосподарська освоєність, в моделі представлений нечітко: в частині басейну річки ($\approx 71\%$) значення даного показника вище норми, а в іншій ($\approx 29\%$) – низького рівня.

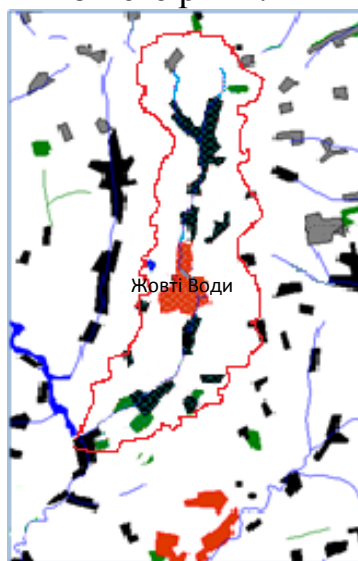


Рис.2. Карта басейну р. Жовта, виконана засобами MapInfo Professional 11.5, де ■ - міста; ■ - селища; ■ - ліси.

В результаті стан підсистеми "Використання земель" визнано "незадовільним". Далі на основі статистичних даних визначено стан підсистеми "Використання річкового стоку" як "добрий". В підсистемі "Якість води", де оцінювання здійснювалось за трьома блоками показників, значення інтегрального екологічного індексу становило 3,6, що відповідає категорії води «чисті», перехідні за якістю від «досить чистих» до «задовільних», «слабко забруднених» (субкатегорія якості води 3-4).

Висновки

1. За отриманим значенням $ІКАН=-0,1$ в результаті проведеного оцінювання екологічний стан басейну р. Жовта визнано "задовільним" за умови, що не брались до уваги показники загального радіоактивного фону та радіоактивного забруднення донних відкладень, які місцями перевищували ГДК.

2. Розробка методів, моделей та інформаційних технологій комплексного оцінювання і прогнозування параметрів екологічного стану басейнів малих річок дає змогу підвищити ефективність використання їх водних та земельних ресурсів і, разом з тим, запобігти їх екологічній деградації.

Список використаної літератури

1. Методика розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України / А. В. Яцик, Л. Б. Бишовець, О. М. Петрук, А. П. Чернявська. – К., 2007, – 71 с.
2. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, А.В. Яцик та ін., – К.:СИМВОЛ-Т, 1998. – 28 с.
3. Ковальчук П. І.. Система аналізу антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану малих річок. України / П. І. Ковальчук, О.С. Демчук, О. М. Стаднічук. // Вісник НУВГП.– Рівне. – 2005. – Вип. 3 (31).– С. 36-43.
4. Ковальчук П. І. Прийняття рішень в підсистемі "Використання земель" інформаційно-аналітичної системи оцінки екологічного стану малих річок в умовах невизначеності та ризику / П. І. Ковальчук, О. С. Демчук, О. В. Бобер. // Вісник НУВГП. – Рівне.– 2007. – Вип. 4(40) (присвячений 85-річчю НУВГП). Ч.1. – С. 265-270.
5. Ковальчук П. І. Методи оцінки ризиків в інформаційній системі аналізу оцінки екологічного стану басейну малої ріки / П. І. Ковальчук, О. С. Демчук. // Математичне та комп'ютерне моделювання: зб. наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія: технічні науки. – Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет ім. Івана Огієнка. – 2012. – Вип. 7. – С. 69-76.
6. Демчук О. С. Інформаційно-аналітична система оцінювання екологічного стану басейнів малих річок / О.С. Демчук // Меліорація і водне господарство. – К.,2012. – Вип. 99. – С. 257-266.