

РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОЇ ПРОГНОЗНОЇ МОДЕЛІ КОМПЛЕКСНОЇ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНОЇ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Запропоновано аналітичну модель комплексної багатопараметричної оцінки екологічного стану поверхневих водних об'єктів на прикладі басейнів річок Житомирської області та доведено її адекватність рівням інтенсивності застосовуваних технологій виробництва сільськогосподарської продукції і показникам погодно-кліматичних умов регіону.

Один з найменш вивчених розділів гідродинаміки річок – динаміка їх забруднення, зумовлена стічними водами та твердим стоком із водозбірних басейнів. Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва передбачає застосування агрохімікатів, органіки та біопрепаратів, що, в свою чергу, призводить до забруднення природного середовища (у тому числі гідрологічних об'єктів) стоками з сільськогосподарських полів. Певну роль у цьому процесі відіграє гідромеліорація, зокрема осушення перезволожених земель, оскільки при функціонуванні меліоративних систем збільшується потенційна можливість виносу забруднюючих речовин за рахунок прискорення поверхневого та дренажного стоку, і як наслідок – підвищення їх концентрації у водоприймачі.

Як відомо, оцінку якості води певного водного об'єкту проводять, порівнюючи нормативні параметри з реальними показниками їх стану. Для оцінки якості води на перспективу застосовують різноманітні моделі діагностики та прогнозування [1]. Слід зазначити, що при оперативному прогнозуванні потрібно враховувати як погодно-кліматичні, так і антропогенні фактори впливу: коливання кількості опадів, середньодобових температур, рівень інтенсифікації сільськогосподарського виробництва тощо.

© О. М. Климчик, Б. А. Шелудченко, 2003

Меліорація і водне господарство. 2003. Вип.89

Ми поставили задачу розробити аналітичну модель для визначення адекватності якісного стану поверхневих водних об'єктів рівням інтенсивності технологій виробництва продукції рослинництва та погодно-кліматичним умовам.

В умовах обмеженості та розрізненості даних щодо якості поверхневих водних об'єктів, а також впливу на них природних та антропогенних чинників, збір та аналіз яких ускладнюється через досить велику кількість взаємопов'язаних параметрів реальних гідрологічних систем, виникає можливість отримання неадекватних оцінок. Саме тому важливою проблемою можна вважати створення прогностичних моделей екологічного стану поверхневих водних об'єктів на підставі тих даних, які значною мірою є найбільш повними, достатньо достовірними і узгодженими в часі. Такими є статистичні дані, узагальнені у чинних формах державної статистичної звітності.

На підставі даних спостережень за якісним станом поверхневих водойм, узагальнених у формах статистичної звітності №2-ТП (водгосп) «Звіт про використання води», ми запропонували комплексний інтегральний показник \bar{D} [2] екологічного стану поверхневих водних об'єктів Житомирської області по басейнах річок Тетерів, Ірша, Гуйва, Гнилоп'ять, Случ (таблиця 1), який відповідно до методів моделювання в теорії систем [3] визначається як:

$$\bar{D} = \sqrt[q]{D_1 \times D_2 \times \dots \times D_q}, \quad (1)$$

де D_j ($j = 1 \dots q$) – значення узагальненої багатопараметричної критеріальної оцінки екологічного стану певного оцінюваного об'єкту, обчислене за формулою:

$$D_j = \sqrt[q]{\prod_{i=1}^{i=q} [\exp - (\exp (- d_i))]}, \quad (2)$$

де d_i – величина індивідуального показника якості досліджуваного водного об'єкту.

При цьому, якість оцінюваного об'єкту є тим вищою, чим більшим є значення комплексної інтегральної оцінки \bar{D} , яке в загальному випадку коливається в межах $0 < D < 1$ [2].

Значення параметрів D_j обчислено за такими показниками: d_1 - біохімічне споживання кисню (БСК_{повне}), d_2 - зважені речовини, d_3 - сухий залишок, d_4 - сульфати (SO_4^{2-}), d_5 - хлориди (Cl), d_6 - азот амонійний (NH_4), d_7 - нітрати (NO_3), d_8 - нітрити (NO_2), d_9 - сполуки заліза (Fe^{3+}), вміст яких у поверхневих водах визначено за період 1993-1999 рр.

Значення узагальненої оцінки D_j екологічного стану поверхневих водних об'єктів (у розрізі басейнів) та відповідний територіальний комплексний інтегральний показник \bar{D}

Басейни річок	Значення D_j по роках						
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Тетерів	0,00072	0,00303	0,23908	0,76991	0,10882	0,83172	0,40907
Ірша	0,05010	0,02701	0,02415	0,66317	0,17808	0,22336	0,10204
Гуйва	0,00846	0,53115	0,03756	0,01194	0,00655	0,09882	0,68392
Уж	0,00173	0,15841	0,77667	0,55993	0,08547	0,10059	0,80904
Случ	0,00039	0,60297	0,63442	0,50388	0,00678	0,94195	0,90137
Гнилоп'ять	0,09201	0,05183	0,08313	0,50070	0,92502	0,93806	0,95004
\bar{D}	0,00515	0,07735	0,14400	0,30770	0,06384	0,34238	0,51936

Перевірку адекватності комплексної багатопараметричної оцінки екологічного стану поверхневих водних об'єктів щодо рівня інтенсивності технологій сільськогосподарського виробництва та погодно-кліматичних умов виконували за такими варіантами:

1. Варіант D_1 : температура повітря середньодобова річна $t^\circ\text{C}$; річна сума опадів W_Σ ; загальний обсяг засобів хімізації, застосовуваних у сільськогосподарському виробництві I .

2. Варіант D_2 : температура повітря середньодобова за чотири місяці (травень-серпень) $t_4^\circ\text{C}$; сума опадів за чотири місяці $W_{\Sigma 4}$; загальний обсяг засобів хімізації, застосовуваних у сільськогосподарському виробництві I .

3. Варіант D_3 : температура повітря середньодобова за чотири місяці (травень-серпень) $t_4^\circ\text{C}$; середньомісячна сума опадів за період травень-серпень $W_{\Sigma 4}$; загальний обсяг засобів хімізації, застосовуваних у сільськогосподарському виробництві I .

4. Варіант D_4 : температура повітря середньодобова річна $t^\circ\text{C}$; середньорічна сума опадів \overline{W}_Σ ; загальний обсяг засобів хімізації, застосовуваних у сільськогосподарському виробництві I .

5. Варіант D_5 : максимальна добова температура повітря протягом року t_{\max}^0 ; річна сума опадів W_Σ ; загальний обсяг засобів хімізації, застосовуваних у сільськогосподарському виробництві I .

Динаміку екологічного стану оцінюваних поверхневих водних об'єктів D_i , визначено за досліджуваний період часу по кожному з зазначених варіантів, наведено на рис. 1.

Відповідно даних щодо погодно-кліматичних умов та рівнів інтенсифікації сільськогосподарського виробництва по кожному з розглядуваних варіантів визначено емпіричний коефіцієнт кореляції kr за формулою [4]:

$$kr = \frac{m_{XY}}{s_X s_Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

де x_i, y_i - значення відповідних параметрів; m_{XY} - емпірична коваріація, яку визначаємо за формулою:

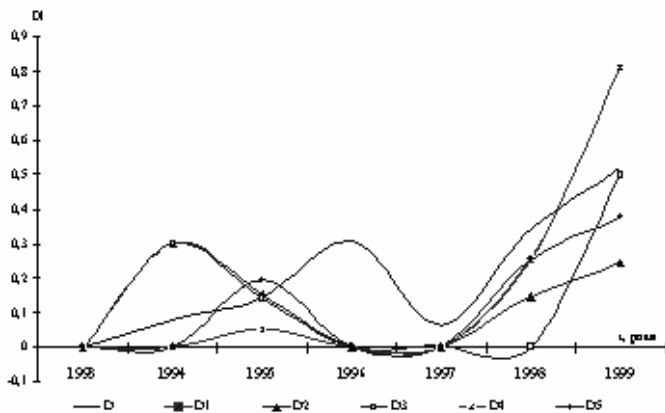


Рис. 1. Динаміка екологічного стану поверхневих водних об'єктів, визначена за параметрами погодно-кліматичних умов і рівнем інтенсифікації сільськогосподарського виробництва

$$m_{XY} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \quad (4)$$

s^2X , s^2Y - емпірична дисперсія вибірки (x_1, \dots, x_n) та (y_1, \dots, y_n) визначаємо за

$$s^2X = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad s^2Y = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (5)$$

\bar{x} , \bar{y} - середні значення величин x_i , y_i визначаємо за

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i. \quad (6)$$

Після визначення коефіцієнтів кореляції kr по зазначених варіантах за формулами (3) - (6) аналіз отриманих результатів свідчить, що застосування вибіркових показників погодно-кліматичних умов не є достатньою мірою достовірним, оскільки вибірка екстремальних показників згладжується протягом року, що дає слабку кореляцію з комплексною критеріальною оцінкою екологічного стану поверхневих водних об'єктів: для варіантів розрахунку D_2 та D_3 одержано значення коефіцієнтів кореляції відповідно 0,455 та 0,499. При цьому простежується достатньо щільна кореляція з комплексною критеріальною оцінкою, розрахована за варіантами D_1 , D_4 , D_5 - коефіцієнти кореляції kr_1 , kr_3 , kr_5 мають значення близьке до одиниці: відповідно 0,899, 0,900, 0,807. Отже, екологічний стан поверхневих водних об'єктів доцільно оцінювати за середньорічними показниками або за сумою річних показників.

Таким чином, для розробки прогнозної моделі оцінки екологічного стану поверхневих водних об'єктів можуть бути використані варіанти 1, 4, 5, матрична модель яких має вигляд:

$$\Phi_{D_1} = D_{\tau=T} = \begin{vmatrix} \tau_1 & \tau_2 \dots \tau_n \\ t_1^\circ C & t_2^\circ C \dots t_n^\circ C \\ W_{\Sigma_1} & W_{\Sigma_2} \dots W_{\Sigma_n} \\ I_1 & I_2 \dots I_n \end{vmatrix}, \quad (7)$$

$$\Phi_{D_4} = D_{\tau=T} = \left| \begin{array}{cc} \tau_1 & \tau_2 \dots \tau_n \\ t_1^{\circ C} & t_2^{\circ C} \dots t_n^{\circ C} \\ \overline{W}_{\Sigma_1} & \overline{W}_{\Sigma_2} \dots \overline{W}_{\Sigma_n} \\ I_1 & I_2 \dots I_n \end{array} \right|, \quad (8)$$

$$\Phi_{D_5} = D_{\tau=T} = \left| \begin{array}{cc} \tau_1 & \tau_2 \dots \tau_n \\ t_1^{\circ C} & t_{2\max}^{\circ C} \dots t_{n\max}^{\circ C} \\ W_{\Sigma_1} & W_{\Sigma_2} \dots W_{\Sigma_n} \\ I_1 & I_2 \dots I_n \end{array} \right|, \quad (9)$$

де $t_1^{\circ C}$ - середньодобова температура, річна; $t_{\max}^{\circ C}$ - максимальна добова температура протягом року; W_{Σ} - річна сума опадів, мм; \overline{W}_{Σ} - середньорічна сума опадів, мм; I - інтенсивність технологій сільськогосподарського виробництва; Φ_{D_n} - визначник прогнозування за відповідним варіантом; D - оцінка наприкінці періоду прогнозування; τ_n - базовий період оцінки параметрів: $t^{\circ C}$, W_{Σ} , I ; T - період прогнозування.

Отже, розробка прогнозної моделі екологічного стану поверхневих водних об'єктів зводиться до описання одномірної нестационарної системи з одним входом D_i , яка в символічній (операторній) формі матиме вигляд:

$$D(t^{\circ C}, W, I) = D_i(t^{\circ C}, W, I) \cdot g(\tau), \quad (10)$$

де $g(\tau)$ - визначений період прогнозування (лінійний оператор терміну прогнозування).

Якщо визначати, відповідно до характеру динаміки екологічного стану поверхневих водних об'єктів (рис. 1), величину $g(\tau) = 0,5$ року, як термін прогнозування, то за варіантами D_1 , D_4 , D_5 щільність кореляції поміж реальним та прогнозованим станом поверхневих водних об'єктів визначається величинами kr' : $kr_1' = 0,879$, $kr_4' = 0,878$, $kr_5' = 0,848$.

Аналіз отриманих результатів за критерієм Ст'юдента St свідчить про те, що найкращий прогноз можна отримати за

варіантом D_5 (показники: максимальна добова температура повітря протягом року $t_{\max}^{\circ}\text{C}$; річна сума опадів W_{Σ} ; загальний обсяг засобів хімізації, застосовуваних у сільськогосподарському виробництві I), для якого отримано коефіцієнт кореляції $kr_5 = 0,848$, що також підтверджується графічно (рис. 2).

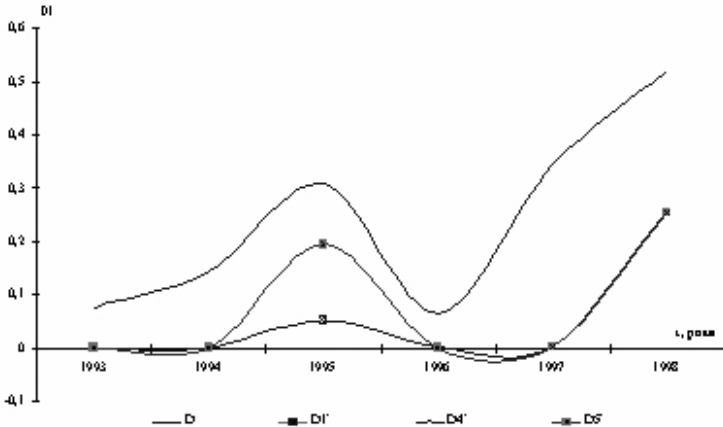


Рис. 2. Прогнозна динаміка екологічного стану поверхневих водних об'єктів, визначена за параметрами погодних умов і рівнями інтенсифікації сільськогосподарського виробництва

Висновок. Доведена адекватність розробленої аналітичної моделі якісного стану поверхневих водних об'єктів рівням інтенсивності застосовуваних технологій виробництва сільськогосподарської продукції та показникам погодно-кліматичних умов конкретного регіону. Запропонована модель дає змогу з достатньо високою ймовірністю спрогнозувати якісний стан поверхневих водних об'єктів регіону на визначений період.

1. Дружинин Н.И., Шишкин А.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. - Л.: Гидрометеоздат, 1989. - 390 с.

2. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. - М.: Машиностроение, 1980. - 304 с.

3. Казанцев Э.Ф. Технологии исследования биосистем. - М.: Машиностроение, 1999. - 177 с.

4. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. - М.: Наук. - 1981. - 720 с.

Предложена аналитическая модель комплексной многопараметрической оценки экологического состояния поверхностных водных объектов на примере бассейнов рек Житомирской области и доказана его адекватность уровням интенсивности применяемых технологий производства сельскохозяйственной продукции и показателям погодно-климатических условий региона.

The analytical model of a complex multiparametrical estimation of an ecological condition of superficial water objects on an example of pools of the rivers of Zhitomir area is offered and its adequacy to levels of intensity of the used "know-how" of agricultural production and parameters of weather-climatic conditions of region is proved.