

СИСТЕМНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВОДИ ДЛЯ ЗРОШЕННЯ В БАСЕЙНІ Р. ІНГУЛЕЦЬ

П.І. КОВАЛЬЧУК, Г.А. БАЛИХІНА, Р.Ю. КОВАЛЕНКО

Інститут водних проблем і меліорацій НААН

Запропоновано модель нейронної мережі, що дозволяє проводити екосистемне оцінювання якості води для зрошення. Модель апробована в басейні р. Інгулець для оцінювання і графічного співставлення класів якості води за окремими екологічними та агрономічними показниками. Досліджена зміна та придатність води для зрошення в окремих пунктах вимірювань вздовж русла та в окремі роки.

Ключові слова: нейронна мережа, класи якості води для зрошення, екосистемне оцінювання, графічний аналіз, системна модель

Постановка задачі. Оцінювання води як джерела зрошення є обов'язковим елементом виробничих меліоративних досліджень. Кількість і якість зрошувальної води є потужним фактором, який суттєво впливає на стан агроладшафту і родючість ґрунтів у процесі багаторічної експлуатації зрошувальної системи.

У басейні Інгульця знаходиться Криворізький залізорудний басейн. Крім водопостачання Кривого Рогу, вода подається в дві зрошувальні системи – Інгулецьку та Явкінську [1]. При оцінюванні якості води для зрошення необхідно розглянути її формування в басейні. Екосистемний підхід [2] на прикладі басейну р. Інгулець полягає в одночасній обробці і співставленні результатів у вибраних пунктах вимірювань у просторі і часі (рис. 1).

Суть задачі полягає у розробці екосистемної моделі та алгоритму системи підтримки прийняття рішень, які слід апробувати на прикладі формування та розрахунку якості води для зрошення в басейні р. Інгулець, автоматизовано проводити необхідний екосистемний просторово-часовий аналіз.

Формалізація системної моделі. Для формалізації системної моделі прийняття рішень найбільш адекватною представляється модель нейронної мережі [3], особливістю якої є ансамбль формальних нейронів, що взаємодіють на рівні басейну.

При оцінюванні якості зрошувальної води виділяють три класи: I – «придатна»; II – «обмежено придатна»; III – «непридатна».

Враховуючи, що якість води для зрошення характеризується, згідно з нормативними документами за екологічними [4] та агрономічними критеріями [5], а класи визначаються на основі обмежень у вигляді нерівностей (порогових елементів), логіко-математичну модель нейрона для разових концентрацій показника можна представити:

$$A(S_{ij}) = \begin{cases} I \text{ клас - "придатна", якщо } P_{ij}^1 \leq S_{ij} \leq P_{ij}^2 \\ II \text{ клас - "обмежено придатна", якщо } P_{ij}^2 \leq S_{ij} \leq P_{ij}^3 \\ III \text{ клас - "непридатна", якщо } P_{ij}^3 \leq S_{ij} \leq P_{ij}^4, \end{cases} \quad (1)$$

де $A(S_{ij})$ – визначає клас показника; $i = 1, 2$ оцінки відповідно за екологічними або агрономічними критеріями; $j \in [1; n_1] \cup [1; n_2]$ – порядковий номер екологічних або агрономічних критеріїв; n_1, n_2 відповідна їх кількість; $P_{ij}^1, \dots, P_{ij}^4$ – обмеження для класифікації показників.

Взаємодія S - та A -елементів між собою в межах нейронної мережі (рис. 1) реалізує інтегровані оцінки якості води (числові, графічні, логіко-лінгвістичні).

Згідно із структурною схемою нейронної мережі (рис. 1), на першому рівні ієрархії пред'являються гідрохімічні показники якості, представлені вектором їх концентрацій: для екологічних показників $(S_{11}, \dots, S_{1n_1})$; для агрономічних показників $(S_{21}, \dots, S_{2n_2})$. На основі сенсорних елементів кожної точки вимірювань визначається вектор класів нейронної мережі $A(S)$ для $S - A$ зв'язків в N точках (пунктах) вимірювань. Вимірювання проводиться для $m = n_1 + n_2$ показників.

Відповідно до схеми, ансамблем нейронів формуються вирішуючі функції (R - функції) у вигляді векторів: $R_{j1}^{(1)} = (S_{j1}, \dots, S_{jN}), j = 1, \dots, n_1$ – вектор абсолютних значень j -го екологічного показника; $R_{k1}^{(1)} = (S_{k1}, \dots, S_{kN}), k = n_1 + 1, \dots, m$ – вектор абсолютних значень k -го агрономічного показника; $R_{j1}^{(2)} = (A(S_{j1}), \dots, A(S_{jN})), R_{k2}^{(2)} = (A(S_{k1}), \dots, A(S_{kN})), j = 1, \dots,$

$n_1, k = n_{l+1}, \dots, m$ – відповідні вектори значень класів за екологічними та агрономічними показниками. Кожний вектор зображується графічно і дає можливість системно оцінити значення показника вздовж русла річки в певній послідовності.

Результати оцінювання якості води для зрошення (на прикладі р. Інгулець). Опрацювання даних моніторингу Міністерства екології та природних ресурсів України [6] за період з 2006 по 2010 рр. дозволили провести просторово-часові оцінки за середньорічними значеннями якості води вздовж річки Інгулець.

Системний просторово-часовий аналіз якості води для зрошення за ансамблем нейронів графічними методами дає можливість виявити найбільш перспективні напрямки прийняття рішень щодо покращання цієї якості в басейнах річок.

Якість води для зрошення за екологічними критеріями. Найнебезпечнішими із забруднювачів навколишнього природного середовища є важкі метали, які, потрапивши в річку, переносяться і поступово осідають в донні відклади. За даним моніторингу Держводагентства, вимірюються лише такі показники: залізо (Fe); марганець (Mn); цинк (Zn); мідь (Cu); нікель (Ni); хром (Cr^{3+}); кобальт (Co); свинець (Pb); кадмій (Cd).

Системне дослідження в басейні ріки починають, як правило, з дослідження зміни в часі елементів в окремих точках вимірювань. Такі дослідження, проведені в басейні р. Інгулець в характерних точках (окремих нейронах) (рис. 2), показують, що за концентраціями заліза (Fe) вода належить до першого класу, тобто є «придатною». За показником концентрації міді (Cu) вода в початковій точці в межах Олександрійського водосховища та в кінцевій точці м. Снігурівка (перед забором в Інгулецьку зрошувальну систему) належить до третього класу, тобто є «непридатною» для зрошення; за концентраціями цинку (Zn) вода в цих точках належить відповідно до другого та третього класу, тобто є «обмежено придатною» та «непридатною».

1. Кіровоградська область, вище м. Олександрія, в межах Олександрійського водосховища;
2. Кіровоградська область, вище м. Олександрія, 0,5 км вище скиду очисних споруд КП «Олександрія водоканал»;
3. Кіровоградська область, нижче міста, в межах с. Звенигородка, 0,5 км нижче скиду очисних споруд КП «Олександрія водоканал»;
4. Кіровоградська область, с. Новий Стародуб;
5. Кіровоградська область, смт Петрово (міст);
6. Кіровоградська область, с. Іскровка, 0,5 км вище впадіння р. Жовта;
7. Кіровоградська область, 0,5 км нижче впадіння р. Жовта, на кордоні Дніпропетровської і Кіровоградської областей;
8. Кіровоградська область, р. Жовта, с. Іскровка, 0,5 км вище гирла р. Жовта;
9. Дніпропетровська область, с. Іскровка, в межах н.п., 200 м нижче греблі Іскрівського водосховища;
10. Дніпропетровська область, 500 метрів нижче впадіння р. Жовта;
11. Дніпропетровська область, с. Лозуватка, в межах н.п.;
12. м. Кривий Ріг, Гребля Карачунівського водосховища в межах міста;
13. м. Кривий Ріг в межах міста, 500 м нижче впадіння р. Саксагань;
14. м. Кривий Ріг в межах міста, вище скидів по б. Грушовата;
15. м. Кривий Ріг в межах міста, нижче скидів по б. Грушовата;
16. м. Кривий Ріг, с. Андріївка, в межах н.п.;
17. Херсонська область, с. Калінінське;
18. Миколаївська область, с. Євгенівка (перед впадінням р. Висунь в р. Інгулець, в районі автомобільного мосту);
19. Миколаївська область, м. Снігурівка (вище міста, в районі автомобільного мосту);
20. Херсонська область, с. Заградівка;
21. Херсонська область, смт В. Олександрівка;
22. Херсонська область, с. Дар'івка;
23. Херсонська область, с. Садове.

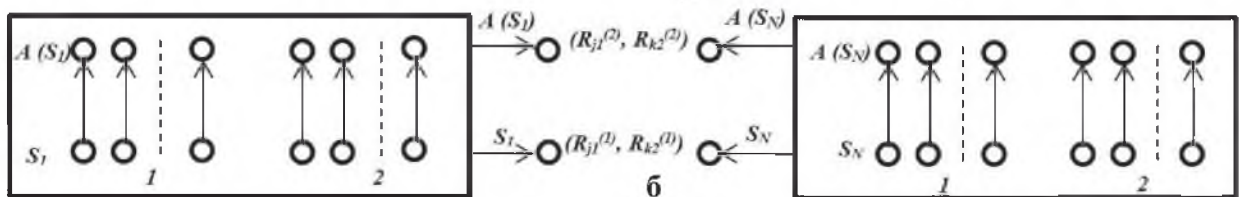


Рис. 1. Схема розміщення точок відбору проб (а) в р. Інгулець та екологічних оцінок якості води для зрошення за ансамблем нейронів (б): 1 – за агрономічними критеріями; 2 – за екологічними критеріями

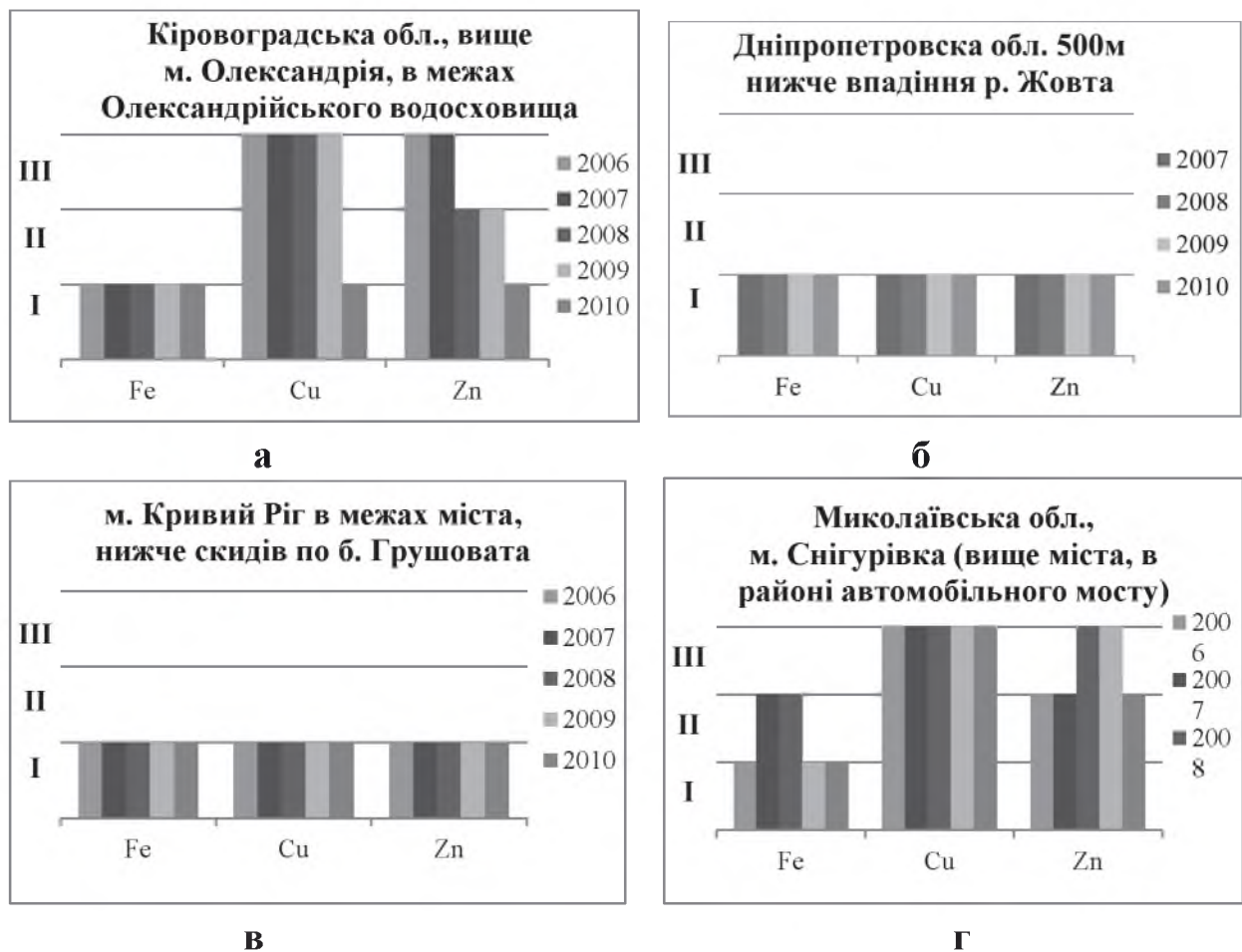


Рис. 2. Значення класу якості води для зрошення за середньорічними показниками заліза (Fe), цинку (Zn), міді (Cu) в басейні р. Інгулець, в різні роки та в вибраних пунктах відбору проб вздовж русла ріки: а – Кіровоградська обл., вище м. Олександрія, в межах Олександрійського водосховища, б – Дніпропетровська обл., 500 м нижче впадіння р. Жовта; в – м. Кривий Ріг в межах міста, нижче скидів по б. Грушовата; г – Миколаївська обл., м. Снігурівка (вище міста, в районі автомобільного мосту)

Аналіз концентрації забруднень у точці дозволяє прослідкувати зміни якості води в часі, проте виникає необхідність більш детальної графічної зміни показників у просторі. Отже, необхідно проводити системний аналіз нейронів за певною послідовністю в точках вимірювання вздовж русла ріки.

Системне оцінювання показує (рис. 3): за вмістом заліза якість води практично завжди відповідає першому класу; за вмістом цинку – має тенденцію до покращання в останні роки, переважно є «придатною» для

зрошення, а в початкових та в кінцевих пунктах вимірювання є «обмежено придатною»; за показником міді в початкових пунктах відбору та м. Снігурівка Миколаївської обл. вода є «непридатною» для зрошення. У результаті промивок у 2010 р. спостерігається покращання якості води (перший клас).

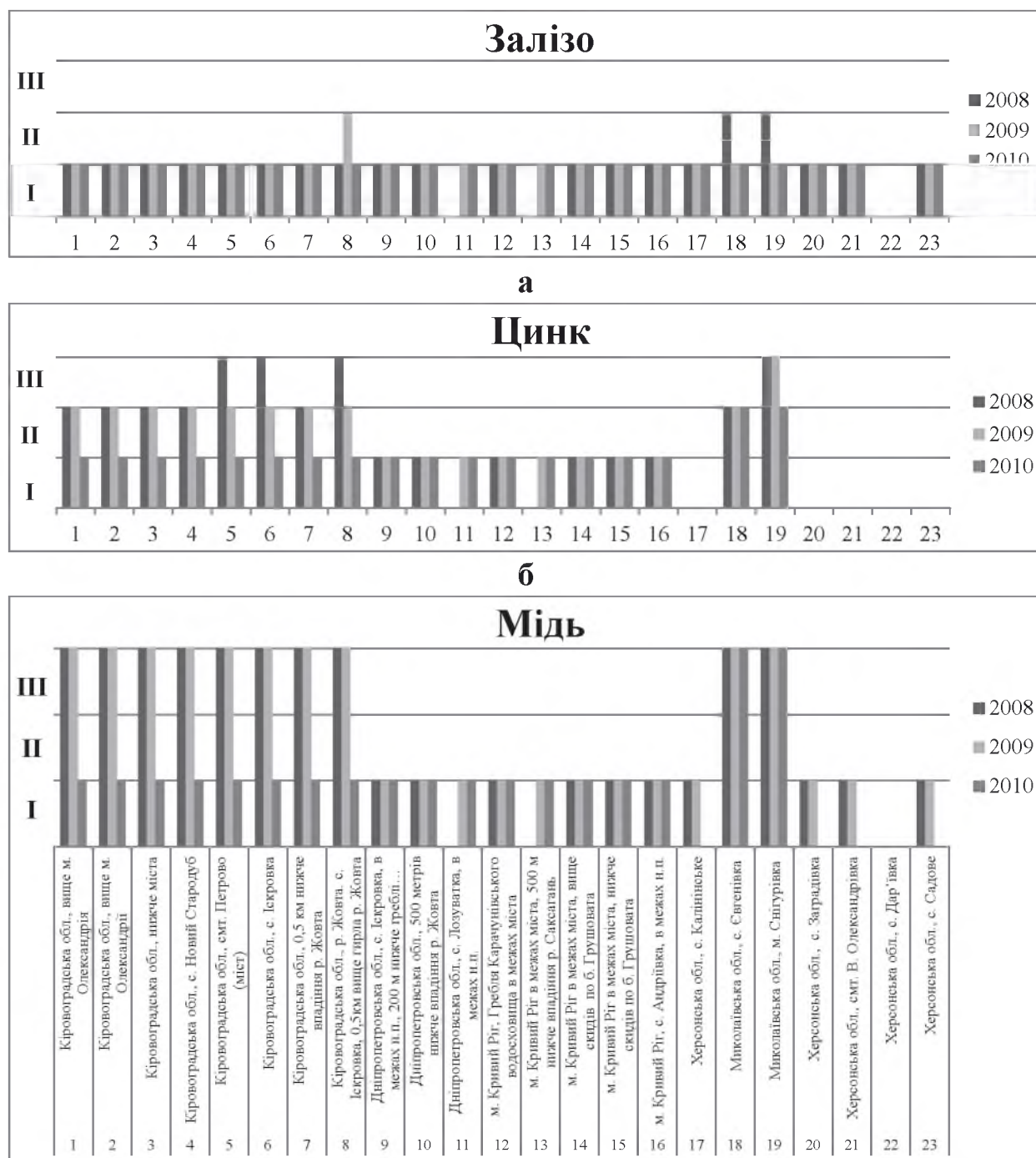


Рис. 3. Значення класу якості води для зрошення за середньорічними показниками в басейні р. Інгулець, у вибраних пунктах відбору проб вздовж русла та в різні роки: а – заліза (Fe); б – цинку (Zn); в – міді (Cu)

Якість води для зрошення за агрономічними критеріями. За моніторингом Міністерства екології та природних ресурсів України спостереження проводяться лише за трьома показниками: водневий показник (pH), гідрокарбонат-аніон (HCO_3^-), аніон хлору (Cl^-).

Роль окремих елементів у формуванні меліоративних умов різна: з одного боку, вони сприяють підвищенню родючості ґрунтів, з другого – їх значне перевищення може призвести до погіршення основних властивостей ґрунтів у результаті вторинного засолення і осолонцювання [7].

Аналіз динаміки цих показників у часі і просторі вздовж русла р. Інгулець показує, що за вмістом гідрокарбонат-аніону (HCO_3^-), водневим показником (pH) вода є «придатною» та, в основному, «обмежено придатною» для зрошення. За вмістом аніон хлору (Cl^-) якість води вздовж русла суттєво погіршується, а біля забору води в Інгулецьку зрошувальну систему (ІЗС) стає «непридатною» (рис. 4). Більш детально просторово-часова трансформація води за вказаними показниками прослідковується на основі нейронної мережі за сукупністю всіх точок вимірювань вздовж русла.

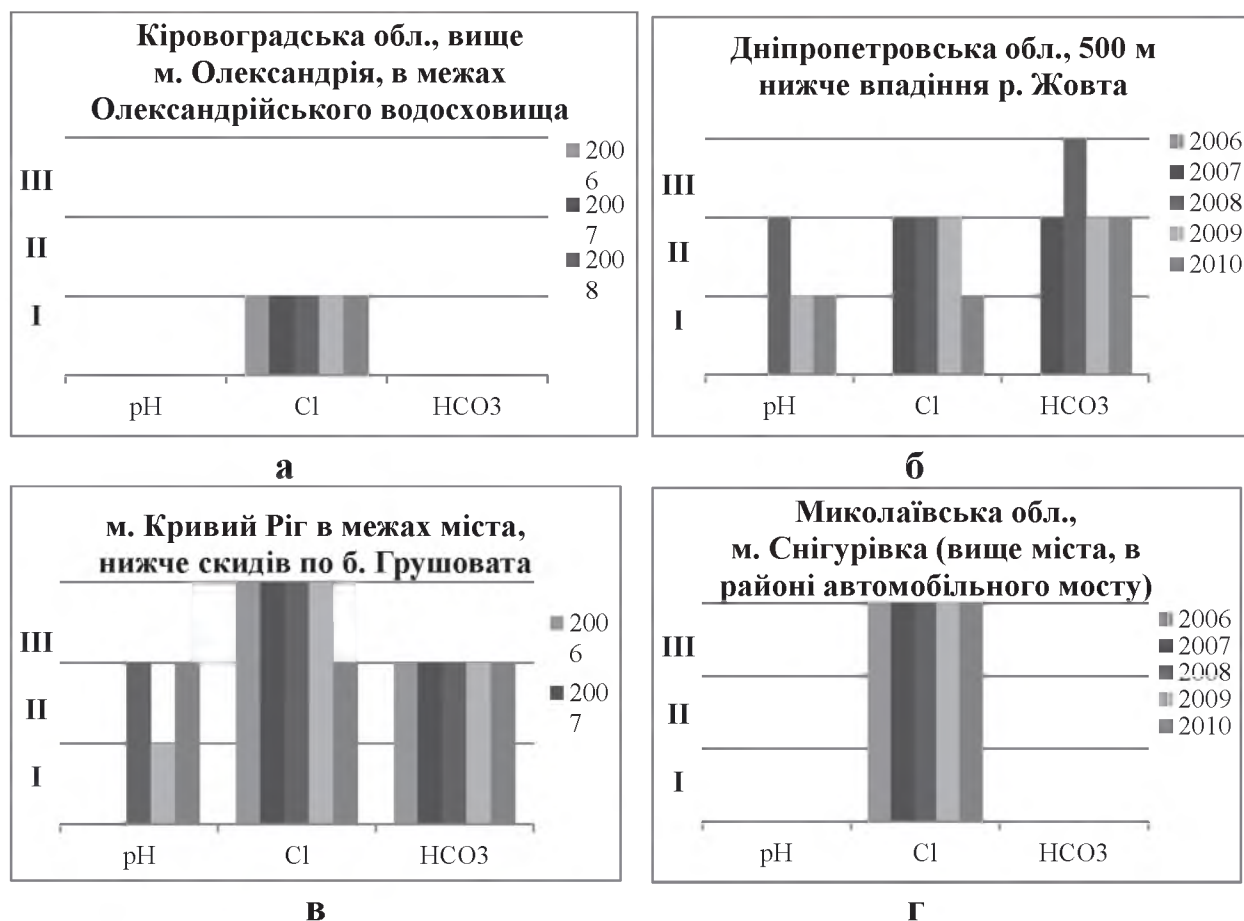


Рис. 4. Значення класу якості води для зрошення за середньорічними показниками водню (pH), аніон хлору (Cl^-) та гідрокарбонат-аніону (HCO_3^-) в басейні р. Інгулець, в різні роки та в вибраних пунктах відбору проб вздовж русла ріки:

а – Кіровоградська обл., вище м. Олександрія, в межах Олександрійського водосховища, б – Дніпропетровська обл., 500 м нижче впадіння р. Жовта; в – м. Кривий Ріг, в межах міста, нижче скидів по б. Грушовата; г – Миколаївська обл., м. Снігурівка (вище міста, в районі автомобільного мосту)

Особливо небезпечним при формуванні якості води вздовж русла є аніон хлору (Cl^-), за вмістом якого виявляється негативний вплив викидів промислових підприємств. Так, вода в початковій точці (м. Олександрія) є придатною для зрошення, по мірі ж впливу промислових викидів якість води тяжіє до другого класу (Дніпропетровська обл), а в точках вимірювань поблизу і після забору на зрошення вода стає «непридатною» (рис. 4). Це свідчить про необхідність управління якістю води на основі промивок, відпрацювання такого регламенту, який би забезпечив покращання води для зрошення при її подачі в ІЗС.

Висновки. Одним із основних чинників ефективного зрошення є якість зрошувальної води, яка характеризує стан даного об'єкта і необхідність подальшого його покращання.

Запропонований екосистемний підхід, що базується на використанні нейронних мереж, дозволяє співставляти результати спостережень якості поверхневих вод для зрошення в різних пунктах, проводити просторово-часовий контроль стану водних ресурсів у системі моніторингу якості поверхневих вод. Розроблена екосистемна модель та програма дозволяють оцінити якість води для зрошення за екологічними та агрономічними критеріями в басейні р. Інгулець.

Проведене дослідження якості води для зрошення за вмістом мікроелементів та важких металів за період 2008–2010 рр. показує зменшення вмісту цих елементів, зокрема за вмістом заліза вода відповідає першому класу та є «придатною» для зрошення. Проте за вмістом цинку і міді в окремих точках спостережень вода відноситься до другого та третього класу, тобто є «обмежено придатною» та «непридатною» для зрошення. Це пов'язано зі скидами стічних вод підприємств у межах м. Олександрія Кіровоградської області та в межах м. Снігурівка Миколаївської області.

За агрономічними критеріями (водневим показником, аніоном хлору та гідрокарбонат-аніоном) вздовж русла р. Інгулець виявлено, що на ділянці від споруд КП «Олександрія–водоканал» м. Олександрія

Кіровоградської області до м. Кривий Ріг вода відноситься до другого класу і є «обмежено придатною». А на ділянці р. Інгулець за межами м. Кривий Ріг вода відноситься до третього класу і є «непридатною» для зрошення. Це вимагає заходів щодо покращання якості води.

1. *Ладики М.М.* / Меліорація води і агроландшафтів в басейні р. Інгулець: монографія / За наук. ред.: член. кор.. НААНУ В.А. Сташука, проф. В.В. Морозова, доц. М.М. Ладики. – Херсон: Вид-во «Айлант», 2010. – 329 с.

2. *Ковальчук П.І.* Екосистемний підхід до формування якості води для зрошення в басейні р. Інгулець / П.І. Ковальчук, Р.Ю. Коваленко // Водні ресурси України та меліорація земель (матеріали міжнародної науково-практичної конференції 22 березня 2013 р). – К. – С. 44–45.

3. *P. Kovalchuk, A. Gerus, V Kovalchuk* Perceptron Model of System Environmental Assessment of Water Quality in River Basins / 4 International conference on inductive modeling September 16–20, 2013, Kyiv (ICIM-2013).

4. *ДСТУ 7286:2012* Якість природної води для зрошення. Екологічні критерії. – К.: Мінекономрозвитку України, 2013. – 14 с.

5. *ДСТУ 2730-94* Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. – К.: Держстандарт України, 1994. – 14 с.

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

7. *Морозов В.В.* / Ландшафтні меліорації. Навчальний посібник. / В.В. Морозов. – Херсон: Видавництво ХДУ, 2007. – 224 с.

Предложена модель нейронной сети, что позволяет проводить экосистемную оценку качества воды для орошения. Модель прошла апробацию в бассейне р. Ингулец для оценки и графического сопоставления классов качества воды за отдельными экологическими и агрономическими показателями. Исследовано изменение и пригодность воды для орошения в отдельных пунктах измерений вдоль русла и в отдельные годы.

A neural network model that allows making an ecosystem assessment of water quality for irrigation is proposed. The model has been tested in the basin of Ingulets river for evaluation and graphical comparison of water quality classes by some environmental and agronomic indices. The change of water quality and suitability for irrigation needs were studied in some measurement points along the river-bed in some years.