

УДК 681.3:519.711

## СИСТЕМНА ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЇ НА ОСНОВІ ПЕРСЕПТРОННИХ МОДЕЛЕЙ

П.І.Ковальчук, С.А.Шевчук, В.П.Ковальчук  
*Інститут гідротехніки і меліорації УААН України, Київ*

Запропонована методика системної оцінки та прогнозування підтоплення територій на основі персептронних моделей, що використовують числові та лінгвістичні оцінки. Розроблена інформаційна технологія на принципах індуктивного моделювання, модельний комплекс якої ідентифіковано та перевірено за даними досліджень в 2008-2010 роках смт Каланчак Херсонської області.

*Ключеві слова:* рівень ґрунтових вод, прогнозування, підтоплення, персептронні моделі, інформаційна технологія.

System assessment methodology and underflooding territories forecasting based on perceptron models which computational and linguistic assessments used were proposed. Information technology is worked out based on inductive modeling principle. Model complex of technology was identified and tested with researching dates in 2008-2010 Kherson region's Kalanchak.

*Keywords:* groundwater level, forecasting, underflooding, perceptron models, information technology.

Предложена методика системной оценки и прогнозирования подтопления территории на основе персептронных моделей, которые используют численные и лингвистические оценки. Разработана информационная технология на принципах индуктивного моделирования, модельный комплекс которой идентифицировано и проверено по данным исследований в 2008-2010 годах пгт Каланчак Херсонской области.

*Ключевые слова:* уровень грунтовых вод, прогнозирование, затопление, персептронные модели, информационная технология.

**Постановка задачі.** Підтоплення сільських територій на Півдні України є значною соціальною проблемою, що має негативні екологічні та економічні наслідки. Для боротьби з підтопленням важливо розробити інженерні заходи захисту, на основі яких здійснюється управління водним режимом території, зокрема системами горизонтального, вертикального та комбінованого дренажу [1]. При цьому, як і в [2], розрізняють кілька видів управління: управління поведінкою, тобто оптимальне управління роботою існуючих систем інженерного захисту території; управління структурою, в процесі якого проектується нові системи інженерного захисту, визначається структура заходів для покращення гідромеліоративного стану території; управління розвитком, що передбачає розробку і реалізацію планів соціально економічного та екологічного розвитку території, послідовності їх реалізації.

Для вирішення задач управління важливою ланкою є контроль за рівнем ґрунтових вод (РГВ) на основі їх вимірювань в спостережних свердловинах, побудова постійно діючих моделей аналізу та прогнозування в часі і просторі стану території. Вимірювання РГВ в певній мережі спостережних свердловин проводять гідро-геолого меліоративні експедиції, районні управління водного господарства та окремі дослідники. Використання цих даних та даних гідрометслужби дозволяє будувати адекватні математичні моделі системної

оцінки та прогнозування РГВ на принципах індуктивного моделювання [3], а саме з використанням основних ідей методу групового врахування аргументів (МГВА) [3], перцептронних моделей [4] розпізнавання ситуацій та прийняття рішень.

*Мета роботи* – розробка методології і відповідної інформаційної технології для оцінки стану та просторово-часового прогнозування підтоплення території на основі специфічної перцептронної моделі.

**Перцептронна модель як інформаційна технологія аналізу стану та прогнозування підтоплення.** Розглянемо деяку територію (рис. 1), яка періодично підтоплюється і на якій розміщені спостережені свердловини РГВ. В кожній свердловині РГВ характеризується деяким часовим рядом  $h_{РГВ}(t)$ , що залежить від впливу ряду антропогенних і природних факторів.

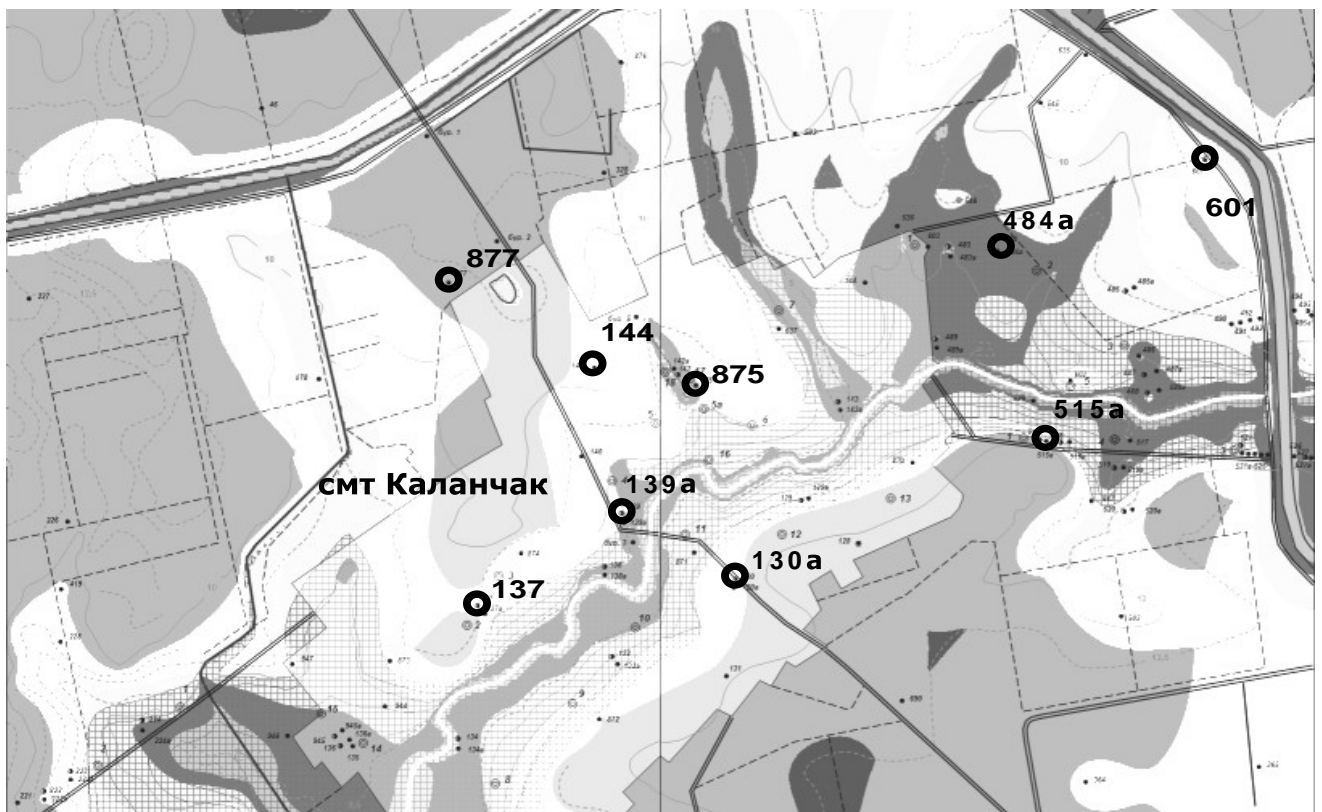


Рис. 1. Карта глибини залягання першого від поверхні водоносного горизонту в сmt Каланчак та прилеглих територій станом на 20.07.2008.

0,0м–0,5 м   
  0,5м–1,5 м   
  1,5м–3,0 м   
  3,0м–5,0 м   
  5,0м–8,0 м   
  біл. 8,0 м  
 - розповсюдження п'езометричного напору пліоценового водоносного горизонту над поверхнею землі.

За нашими дослідженнями, спостережені свердловини можна поділити на три групи: свердловини, в яких РГВ залежить в основному від дії природних та природнокліматичних факторів (геологічна будова території, опади, температура, дефіцит вологості повітря, дефіцит вологості ґрунту, тощо); свердловини, в яких на РГВ домінуючий вплив мають антропогенні фактори, пов'язані з підтопленням від водних джерел, каналів, ставків, рисових чеків, нерациональне водокористування при зрошенні; спостережені свердловини в яких

РГВ залежить від часу функціонування та об'єму відкачки дренажних насосних станцій вертикального дренажу.

Для розпізнавання прогнозованого стану підтоплення територій пропонується перцептронна модель розпізнавання ситуації (рис. 2).

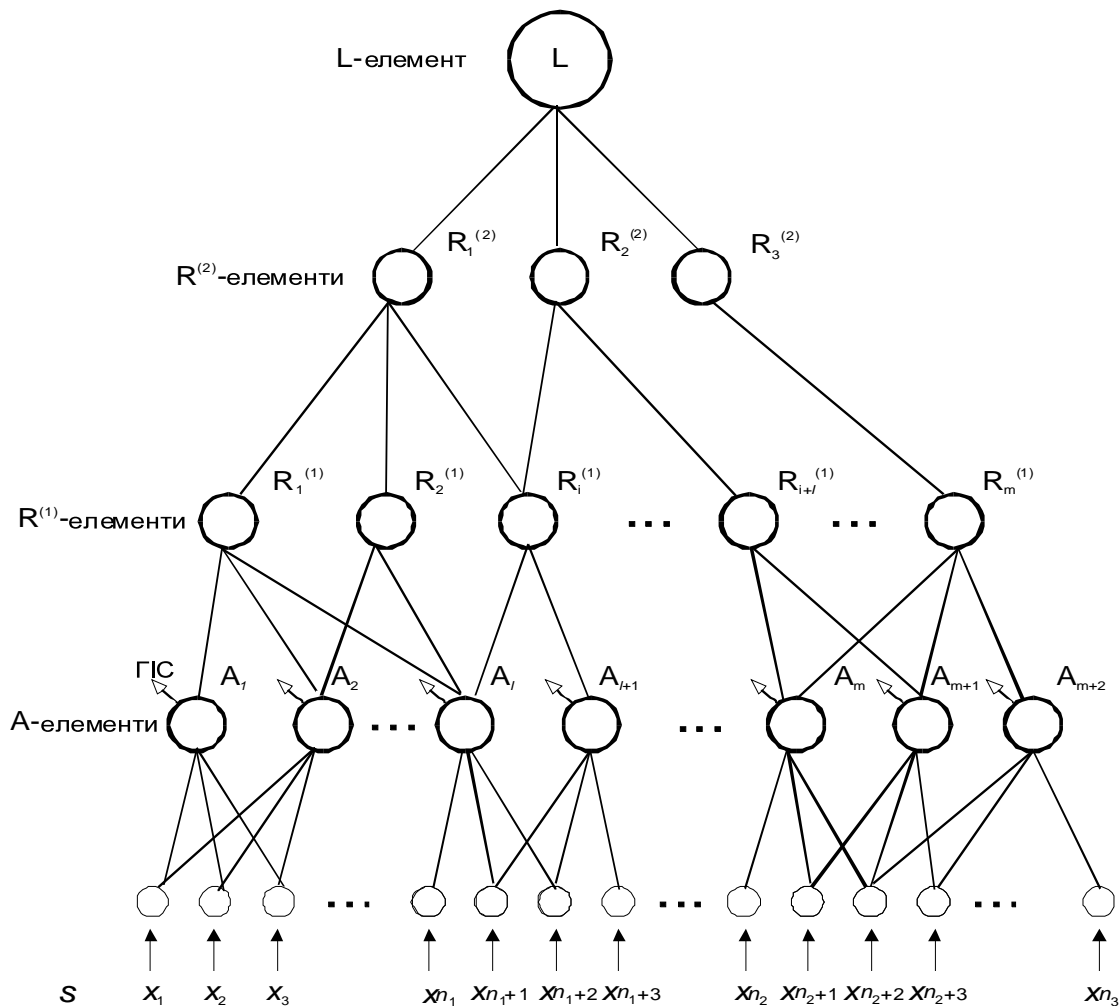


Рис. 2. Схема перцептронної моделі оцінки та прогнозування стану підтоплення території

На відміну від моделей прогнозування РГВ за допомогою кліткових автоматів [5], перцептронна модель дозволяє оцінювати гідромеліоративну ситуацію як в окремій точці за РГВ, так і проводити просторово-часове прогнозування ситуації в кожному вузлі моделі за елементами території та здійснювати оцінку ситуації на території в цілому.

Результати оцінки та прогнозу РГВ на першому рівні ієрархії – рівні А-елементів – передаються на ГІС [6], яка в автоматизованому режимі будує карту рівнів ґрунтових вод. Інформаційна технологія, реалізована на основі перцептронної моделі, передбачає якісні логіко-лінгвістичні оцінки на всіх рівнях ієрархії, за якими в кожному вузлі А, R чи L прогнозується стан в окремих точках, на частині території, на всій території. Це забезпечує системне прогнозування підтоплення території, розглядуваної як певна природно-технічна система [7]. Прогнозна інформація в такій системі може бути використана для

системного управління [2]. Кожну спостережну свердловину в природно-технічній системі можна розглядати як деякий природній „нейрон” території, вихідним сигналом якого є РГВ, а вхідними сигналами  $x_i$  – домінуючі фактори (природні та антропогенні), що впливають на РГВ. Природному нейрону відповідає А-елемент – модель залежності РГВ (в кількісному числовому вимірі та за допомогою лінгвістичних змінних) від впливаючих факторів. Модель А-елемента відповідає певній свердловині і задається в вигляді деякої логічної функції [4] або регресійної залежності [4]. Для аналізу і прогнозування стану території в окремій точці  $(x,y)$  модель А-елемента пропонується нами у вигляді:

для прогнозування в умовах незначного впливу антропогенних факторів –

$$h_{xy}(t+1) = h_{xy}(t) + \Delta h_{xy}(x_1(t), x_1(t) + x_1(t-1), x_2(t)); \quad (1)$$

для аналізу гідромеліоративного стану –

$$h_{xy}(t) = h_{xy}(t-1) + \Delta h_{xy}(x_1(t-1), x_1(t-1) + x_1(t-2), x_2(t)), \quad (2)$$

де  $x_1(t)$  – сума опадів за минулу декаду,  $t \in [t; t+1]$ ;  $x_1(t) + x_1(t-1)$  – сума опадів за минулу та позаминулу декаду.  $x_2(t)$  – декадні дефіцити вологозапасів, розраховані за методикою Штойко [8].

Для одержання прогнозних оцінок підтоплення  $h_{xy}(t)$  – траєкторії (рис. 3) для А-елементів будується порогова функція числової міри та лінгвістичних оцінок, що характеризують різні рівні підтоплення і відповідні їм еколого-економічні збитки:

$$\varphi(h_{xy}(t)) = \begin{cases} \alpha_1, & \text{"допустимого ризику",} & \text{якщо} & h_{xy}(t) \leq l_1 \\ \alpha_2, & \text{"критичного ризику",} & \text{якщо} & l_1 < h_{xy}(t) \leq l_2 \\ \alpha_3, & \text{"стійкого ризику",} & \text{якщо} & l_2 < h_{xy}(t) \leq l_3 \\ \alpha_4, & \text{"катастрофічного ризику",} & \text{якщо} & h_{xy}(t) > l_3 \end{cases} \quad (3)$$

Величини  $\alpha$  – деякі точкові прототипи (числові значення міри), що характеризують класи ризикових ситуацій підтоплення;  $l_i$  – порогові значення в класі.

Модель А-елемента може змінюватись як в середині кожної групи нейронів, так і між групами, в зв'язку зі зміною характеру антропогенних впливів, а отже і комплексу впливаючих факторів.

Виходом моделей А-елементів є числові значення РГВ, які використовуються в ГІС технології для побудови карт. Логічні значення виходів А-елементів об'єднуються в R-елементах для лінгвістичної оцінки стану РГВ на певній території. На основі моделі  $R^{(1)}$ -елементів прогнозується ситуація за прототипами  $\alpha$ . При цьому кожен  $R_i^{(1)}$ -елемент об'єднує „близькі” А-елементи як територіально, так і за характеристиками антропогенних і природних впливів. Модель  $R^{(2)}$  елементів об'єднує  $R_i^{(1)}$ -елементи, що близькі тільки за характеристиками антропогенних і природних впливів. L-елемент оцінює системно ситуацію за лінгвістичними змінами.

**Ідентифікація моделей А-елементів.** Позначимо через  $\bar{X}$  вхідні сигнали, а через  $h_{xy}(t)$  – виходи А-елемента. Тоді ідентифікація залежності (2), а саме

$$\Delta h_{xy}(t) = f(\bar{x}), \tag{4}$$

виконується за експериментальними даними спостережень зміни РГВ в свердловинах, антропогенними та природними факторами  $\bar{X}$ .

Для ідентифікації визначається множина змінних  $\bar{X}$ , структура залежності визначається за алгоритмами МГВА або іншими методами перебору рівнянь регресії. В подальшому вибирається краща залежність за критерієм точності – оцінкою точності прогнозування на всій послідовності даних або тільки на перевіірчній послідовності за критерієм модуля середньої абсолютної похибки:

$$\Delta h^j(h_{\text{факт}}, h_{\text{розра}}) = |h_{\text{факт}}^j - h_{\text{розра}}^j|$$

$$M[\Delta h^j]_{\text{абс}} = \frac{\sum_{j=1}^n |h_{\text{факт}}^j - h_{\text{розра}}^j|}{n}, \tag{5}$$

де  $\Delta h^j$  – модуль абсолютної похибки в  $j$ -й точці;  $h_{\text{факт}}^j$  – фактичне значення  $h_{xy}$  траєкторії в  $j$ -й точці;  $h_{\text{розра}}^j$  – розрахункове прогнозоване значення  $h_{xy}(t)$  в  $j$ -й точці за розробленим методом;  $n$  – число розрахункових точок при прогнозуванні в  $h_{xy}(t)$  – траєкторії РГВ в часі.

Використовується також критерій середньої відносної похибки:

$$M[\Delta h^j]_{\text{відн}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{|h_{\text{факт}}^j - h_{\text{розра}}^j|}{|h_{\text{факт}}^j|} \cdot 100\% \tag{6}$$

**Приклад розрахунку.** Як приклад розрахунку для моделювання вибрана  $h_{xy}(t)$  траєкторія спостережень в 2008–2010 роках рівня ґрунтових вод (в м. над рівнем моря) в свердловині №137а смт Каланчак Херсонської області. Розроблена її лінгвістична оцінка за зонами ризику підтоплення (таблиця 1).

Таблиця 1

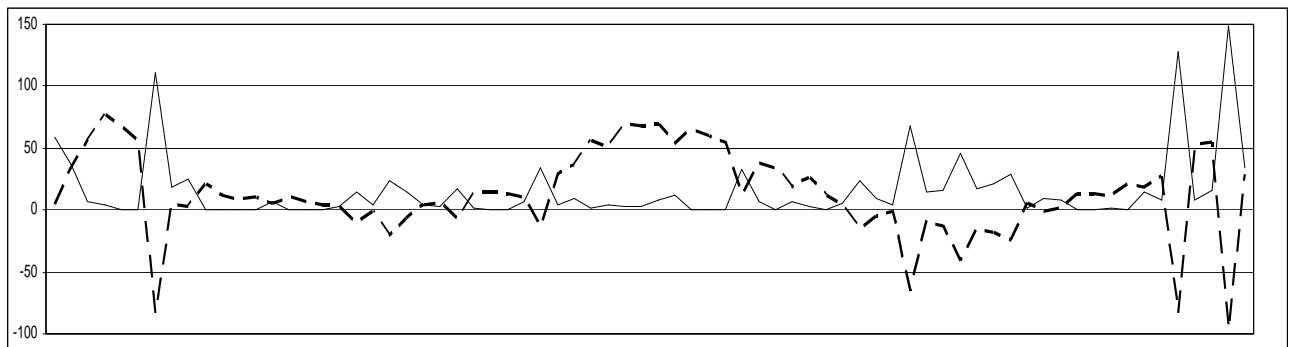
Кількісна та лінгвістична оцінки підтоплення за даними свердловини

| Кількісна (порогова) шкала класів за РГВ $h_{xy}(t)$ , м | Лінгвістичні оцінки підтоплення за зонами ризику | Логічна функція оцінок класів за прототипами $\alpha$ |
|--|--|---|
| $h_{xy}(t) \leq l_1$                                     | Допустимий ризик                                 | $\alpha_1$  |
| $l_1 < h_{xy}(t) \leq l_2$                               | Критичний ризик                                  | $\alpha_2$  |
| $l_2 < h_{xy}(t) \leq l_3$                               | Стійкий ризик                                    | $\alpha_3$  |
| $h_{xy}(t) > l_3$  | Катастрофічний ризик                             | $\alpha_4$  |

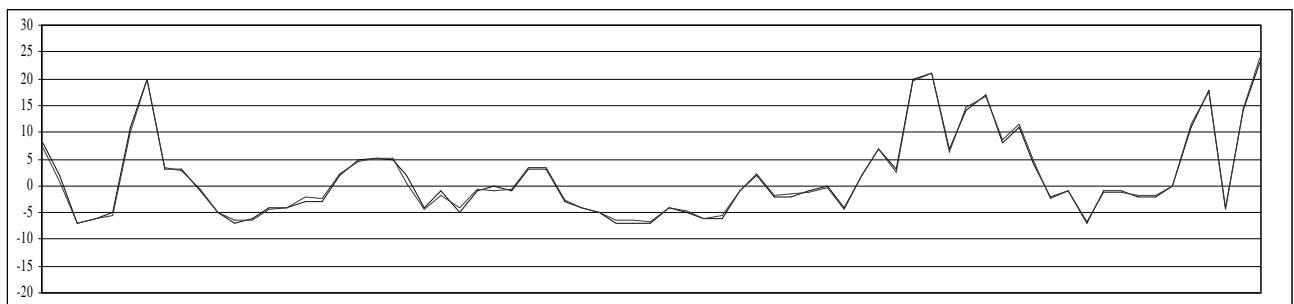
Для одержання залежності  $\Delta h_{xy}$  від величини опадів та декадних дефіцитів здійснено перебір моделей в деякому класі поліномів, оцінка точності яких перевірялась за критерієм (5). Краща модель одержана як прогнозна залежність приросту ґрунтових вод  $\Delta h_{xy}$  від опадів за минулу декаду, суми опадів за минулу та позаминулу декади та дефіциту вологості ґрунту у вигляді:

$$h(t+1) = h(t) + \begin{cases} 1,2679 - 0,7609x_1(t) - 0,0028x_1^2(t) + t \cdot 0,3126(x_1(t) + x_1(t-1)) - 0,7412x_2(t), \\ \text{в холодний період року (листопад - березень);} \\ 0,4782 - 0,1851x_1(t) + 5,4569E - 0,5x_1^2(t) + 0,1808(x_1(t) + x_2(t-1)) - 0,1068x_2(t), \\ \text{в теплий період року (квітень - жовтень).} \end{cases} \quad (7)$$

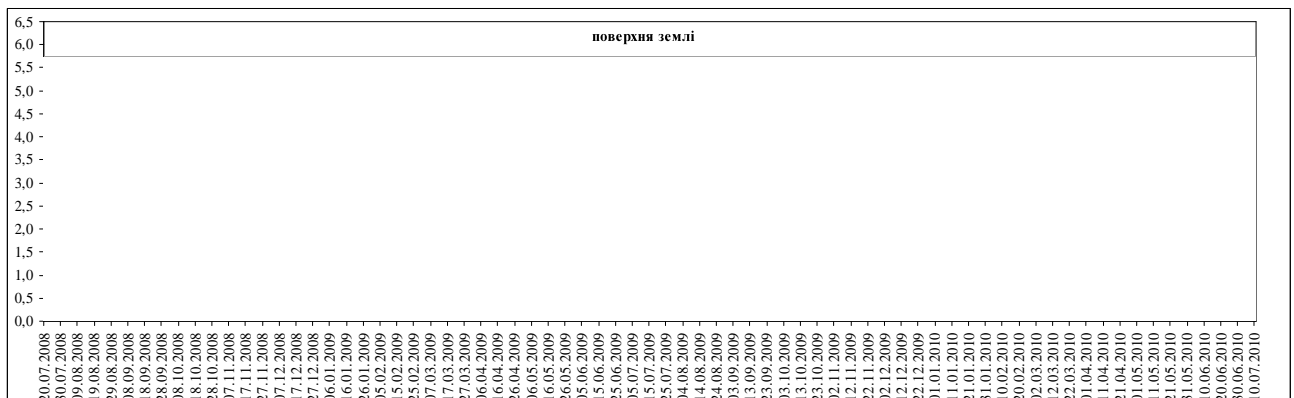
На рис. 3в наведено прогнозовані і фактичні значення рівня ґрунтових вод.



а



б



в

Рис. 3. Прогнозовані та фактичні значення РГВ в залежності від опадів та дефіцитів вологості ґрунту:

а – динаміка опадів (—) та дефіцитів вологості ґрунту (- - - - -);

б -  $\Delta h_{xy}(t)$  – приросту (зміни РГВ); в -  $h_{xy}(t)$  траєкторії РГВ.

Графік прогнозованих і фактичних значень  $h_{xy}(t)$  (рис. 3в) та приросту  $\Delta h_{xy}$  (рис. 3б) показує високу точність прогнозування.

**Ідентифікація моделей R-елементів.** На першому ряду  $R_i^{(1)}$ -елементів аналізується вихід A-елементів, що відповідають певній ділянці території, передається в лінгвістичних оцінках та величиною міри  $\alpha$  на вхід деякого R-елемента, де визначається „близькість” до певного класу за формулою:

$$k^* = \arg \min_K \left| \frac{\sum_{i=1}^p \alpha_i}{p} - \alpha_K \right|, k^* \in \{k_1, k_2, \dots, k_p\}, \quad (8)$$

де  $\frac{\sum_{i=1}^p \alpha_i}{p}$  – середнє значення міри A-елементів, що відповідають певній ділянці

території;  $\alpha_k$  – прототип k – го класу;  $k^*$  – оптимальне значення класу, що виражає лінгвістичну оцінку величини ризику підтоплення та його міра  $\alpha^*$ .

На основі R<sup>(2)</sup>-елементів приймаються рішення стосовно нинішнього або прогнозованого стану на трьох групах елементів території ( $R_2^2$ - інтегрований аналіз елементів території, на яких незначний вплив антропогенних факторів;  $R_2^2$  – аналіз територій, на яких суттєвий вплив антропогенних факторів;  $R_3^2$  – аналіз елементів території, на які поширюється відкачка дренажних насосних станцій).

**Ідентифікація L-елемента прийняття рішень.** Прогнозування підтоплення територій на основі перцептронної моделі передбачає на L-рівні розпізнавання і формулювання з використанням наявної інформації і експертних оцінок різних варіантів семантичних виразів, як наприклад: прогноз стану території в цілому показав „задовільну роботу дренажних насосних станцій – допустимий ризик, стійкий ризик підтоплення від Північно-Кримського каналу; катастрофічний ризик підтоплення на територіях з незначним впливом антропогенних факторів”.

**Використання прогнозів для системного управління.** Аналіз стану території та прогнозні оцінки на основі інформаційної технології дозволяють здійснювати системне управління територією, як сукупність інженерних заходів (дій) для запобігання або зменшення шкідливої дії вод.

На рівні управління поведінкою визначають необхідність додаткового попереджувального включення дренажних насосних станцій з метою зменшення ризиків.

Управління структурою за результатами багатьох спостережень  $h_{xy}(t)$  – траєкторій полягає в визначенні необхідності реконструкції чи модернізації дренажних насосних станцій, реконструкції каналів, зрошувальних систем, застосування сучасних режимів зрошення тощо. Управління розвитком передбачає послідовне будівництво нових дренажних станцій, розробки

ефективних рішень перспективного планування захистом території від підтоплення.

### **Висновки**

Інформаційна технологія оцінки стану та просторово-часового прогнозування підтоплення територій на основі перцептронної моделі дозволяє оцінювати РГВ в окремих свердловинах та будувати карти РГВ на основі ГІС-технологій. Прогноз за логіко-лінгвістичними змінними дає можливість прогнозувати якісний стан території і використовувати результати прогнозування для системного управління з метою запобігання шкідливій дії вод.

### **Література**

1. Олейник А.Я. Фильтрационные расчеты вертикального дренажа. – К.: Наукова думка, 1978. –224с.
2. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу. – К.: Видавнича група ВНУ, 2007. – 544 с.
3. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – К.: Наукова думка, 1984, –296 с.
4. Перцептрон – система распознавания образов. Под ред. А.Г.Ивахненка– К.: Наукова думка, 1975. – 432 с.
5. Логинова О.А., Сарычева Л.В. Прогнозирование уровня грунтовых вод с применением клеточных автоматов. Институт кибернетики им.Глушкова В.М., НАНУ: Управляющие системы и машины, 2009, № 1, с. 86–92.
6. Ковальчук П.І., Шевчук С. А., Ковальчук В.П., Кузьменко В.Д., Марків О.М. Моделювання підтоплення територій за даними натурних спостережень з використанням ГІС-технологій // Таврійський науковий вісник. Вип. 61. – Херсон: ТОВ “Айлант”. – 2008. – С. 208 – 217.
7. Рациональное использование водных ресурсов бассейна Азовского моря: Математические модели /Под редакцией И.И.Воровича.-М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. –360 с.
8. Методичні рекомендації з оперативного планування режимів зрошення.- УААН, ІГіМ УААН, ІЗПР.-Київ, 2004. –50с.