

УДК 631.432.1:551.50:626.862

## ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЇ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ

---

С.А. ШЕВЧУК

Інститут водних проблем і меліорації НААН

*Запропоновано методику системної оцінки та прогнозування підтоплення територій на основі перцептронних моделей, що використовують числові та лінгвістичні оцінки. Розроблено інформаційну технологію на принципах індуктивного моделювання, модельний комплекс якої ідентифіковано та перевірено за даними досліджень у 2008–2010 рр. смт Каланчак Херсонської області.*

**Ключові слова:** рівень ґрунтових вод, прогнозування, підтоплення, перцептронні моделі, інформаційна технологія

**Підтоплення сільських територій** на півдні України є значною соціальною проблемою, що має негативні екологічні та економічні наслідки, вимагає оцінки впливу різних чинників

© С.А. Шевчук, 2011

Меліорація і водне господарство. 2011. Вип. 99

на процесі підтоплення, прогнозування їхнього впливу та прийняття рішень щодо покращання ситуації.

За походженням фактори підтоплення поділяють [1] на *природні*, які діють незалежно від господарської діяльності людини, та *штучні* (техногенні), що з'являються під впливом господарської діяльності людини. Техногенні причини викликані різними джерелами (водосховища, канали, ставки та інші водойми, зрошувані землі, в тому числі рисові системи, живлення з напірних водоносних горизонтів).

Для дослідження впливу випадання аномальної та нерівномірної кількості атмосферних опадів на рівні ґрунтових вод (РГВ) важливою ланкою є контроль за РГВ на основі їхніх вимірювань у спостережних свердловинах, побудова постійно діючих моделей аналізу та прогнозування в часі і просторі стану території. Вимірювання РГВ у певній мережі спостережних свердловин проводять гідрогеолого-меліоративні експедиції, районні управління водних ресурсів та окремі дослідники. Використання цих даних та даних гідрометеослужби (опади, температура, дефіцит вологості повітря) дає змогу будувати адекватні математичні моделі РГВ залежно від впливу чинників на принципах індуктивного моделювання [2], а саме з використанням основних ідей методу групового врахування аргументів (МГВА) [2], перцептронних моделей [3], розпізнавання ситуацій та прийняття рішень у ситуаційному моделюванні [4].

Перцептрон – математична та комп'ютерна модель сприйняття інформації мозком (кібернетична модель мозку) [3, 5] – стала однією з перших моделей нейромереж. Не зважаючи на свою простоту, перцептрон здатний навчатися і вирішувати досить складні завдання. Складається з трьох типів елементів, а саме: сенсорних, асоціативних та реагуючих. Сигнали, що надходять від сенсорних елементів передаються асоціативним, а потім реагуючим елементам. Таким чином, перцептрони дають змогу створити набір «асоціацій» між вхідними стимулами і необхідною реакцією на виході. Відповідно до сучасної термінології перцептрони можуть бути класифіковані як штучні нейронні мережі.

Розглянемо деяку територію (*рис. 1*) [6], яка періодично підтоплюється і на якій розміщено спостережні свердловини

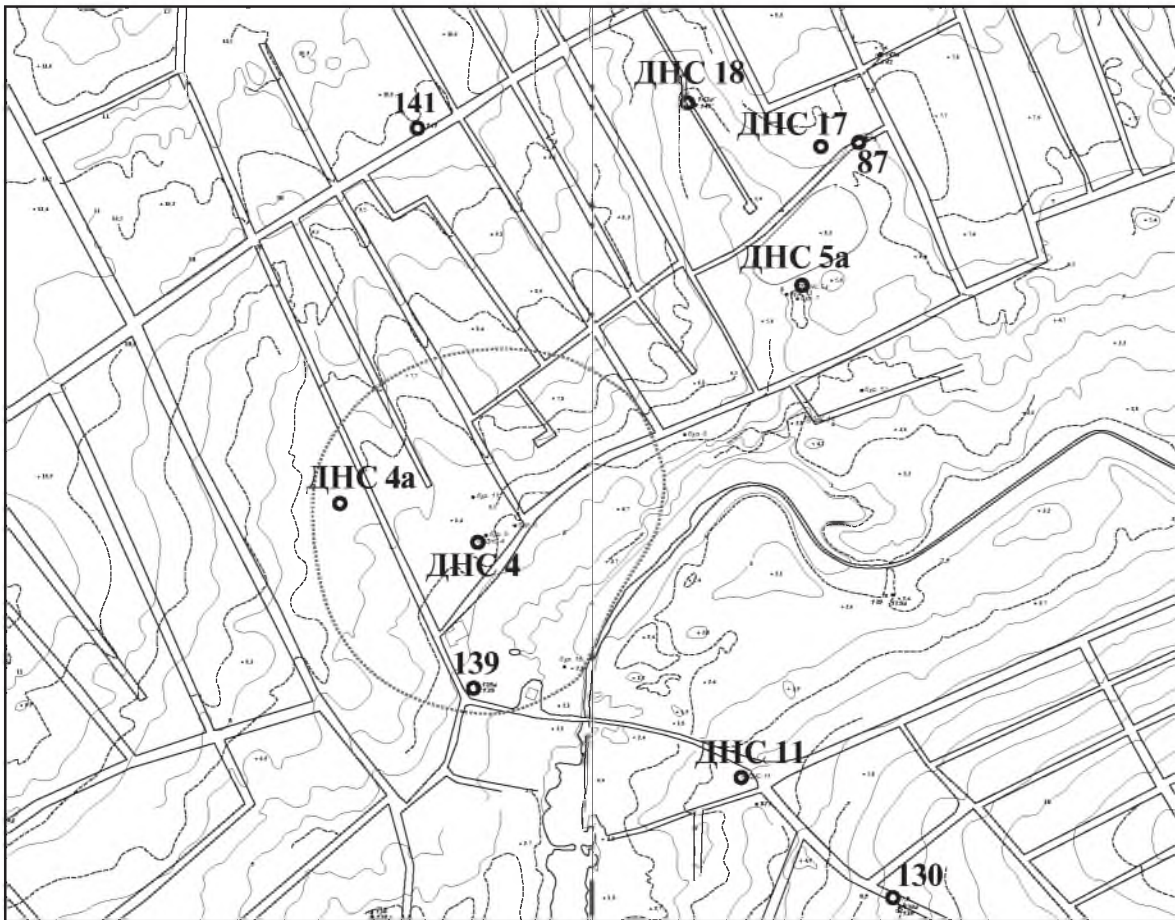


Рис. 1. Карта-схема смт Каланчак для розрахунку впливу дренажних насосних станцій (ДНС 4 та ДНС 17)

РГВ. У кожній свердловині РГВ характеризується деяким часовим рядом  $h_{\text{РГВ}}(t)$ , що залежить від впливу низки антропогенних і природних чинників. Персептронна багаторівнева модель дає змогу 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.

Кожну спостережну свердловину в природно-технічній системі можна розглядати як деякий природний «нейрон» території, вихідним сигналом якого є РГВ, а вхідними сигналами  $x_i$  — домінуючі фактори (природні та антропогенні), що впливають на РГВ.

**За проведеними дослідженнями**, спостережні свердловини можна поділити на три групи:

- свердловини, в яких РГВ залежить в основному від дії природних та природно-кліматичних факторів (геологічна будова території, опади, температура, дефіцит вологості повітря, дефіцит вологості ґрунту тощо);

- свердловини, в яких на РГВ домінуючий вплив мають антропогенні чинники, пов'язані з підтопленням від водних джерел, каналів, ставків, рисових чеків, нераціональне водокористування при зрошенні;

- свердловини, РГВ в яких залежить від часу функціонування та потужності відкачки дренажних насосних станцій вертикального дренажу.

Крім того, наявні спостережні свердловини з комбінованим впливом вищеназваних чинників на формування процесів підтоплення.

Для кожної з цих точок спостережень (спостережних свердловин) будується залежність рівня ґрунтових вод від антропогенних та природних факторів впливу, тобто створюється модельний комплекс для аналізу і прогнозування рівня ґрунтових вод у системі спостережних точок на території.

Загальний якісний стан території в цілому визначається на основі ГІС у результаті побудови карт рівнів ґрунтових вод. Для цього приведено дані аналізу та перевірки одержаних моделей у кожній точці за період спостережень з 2008–2010 рр.

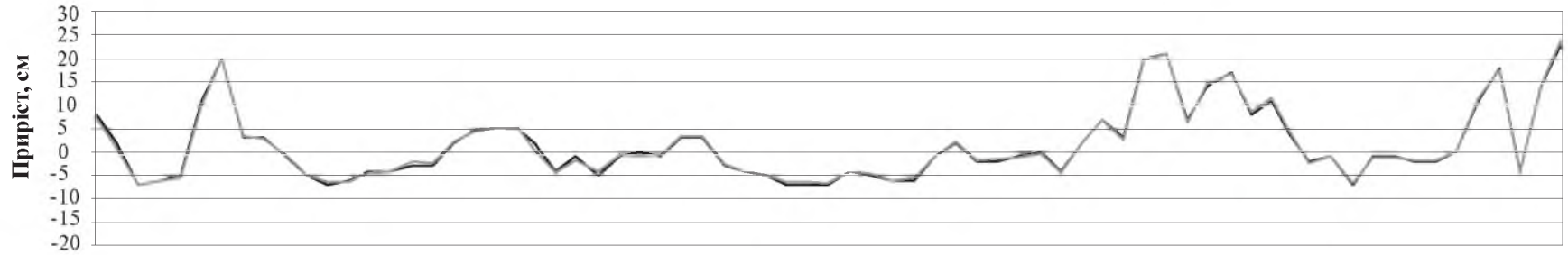
**Модель регресійної залежності** відповідає певній свердловині і пропонується у вигляді для:

- прогнозування в умовах впливу антропогенних чинників
$$h_{xy}(t+1) = h_{xy}(t) + \Delta h_{xy}(x_1(t), x_1(t) + x_1(t-1), x_2(t)); \quad (1)$$

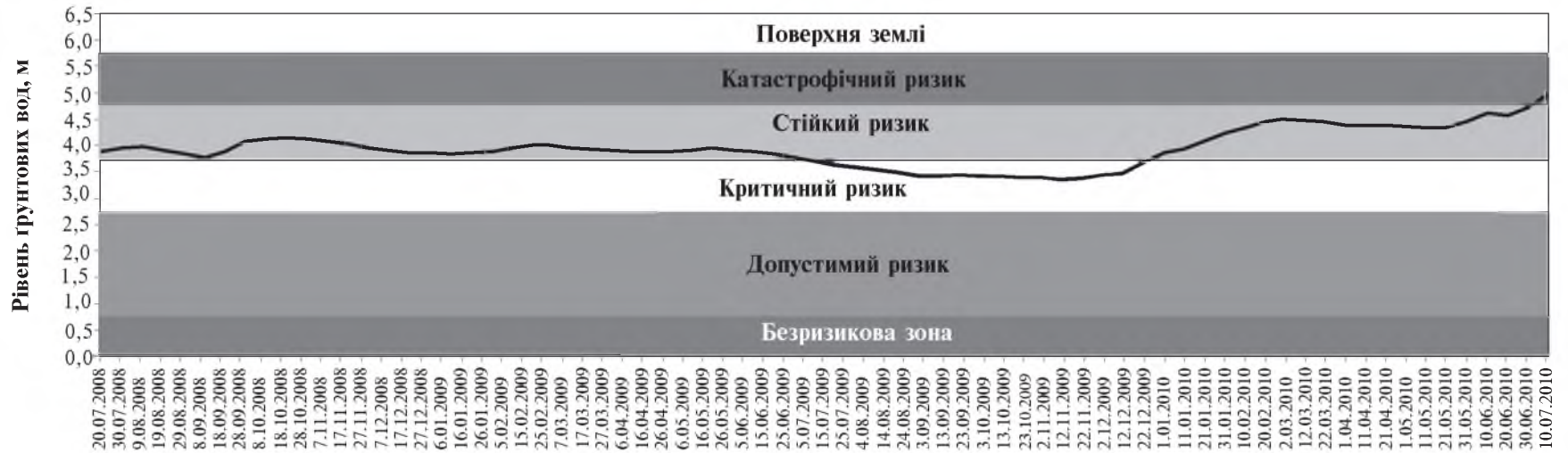
- аналізу еколого-меліоративного стану
$$h_{xy}(t) = h_{xy}(t-1) + \Delta h_{xy}(x_1(t-1), x_1(t-1) + x_1(t-2), x_2(t)), \quad (2)$$

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.

Для ідентифікації моделей позначимо через  $\bar{X}$  вхідні сигнали, а через  $h_{xy}(t)$  – вихідну змінну. Тоді ідентифікація залежності (2), а саме



*a*



*б*

Рис. 2. Прогнозовані та фактичні значення РГВ св. 137а залежно від опадів та дефіциту вологості ґрунту:  
*a* –  $\Delta h_{xy}(t)$  – приросту, см (зміна РГВ); *б* –  $h_{xy}(t)$  траєкторії РГВ, м

$$\Delta h_{xy}(t) = f(\bar{x}) \quad (3)$$

виконується за експериментальними даними спостережень зміни РГВ у 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. У подальшому вибирається краща залежність за критерієм точності – оцінкою точності прогнозування на всій послідовності даних або тільки на перевіірочній послідовності за критерієм модуля середньої абсолютної та відносної похибки.

Як приклад розрахунку для моделювання вибрано  $h_{xy}(t)$  траєкторію спостережень у 2008–2010 рр. рівня ґрунтових вод (у метрах над рівнем моря) у свердловині № 137а смт Каланчак Херсонської області.

Для одержання залежності  $\Delta h_{xy}$  від величини опадів та декадних дефіцитів здійснено перебір моделей у деякому класі поліномів, оцінка точності яких перевірялась за відносними та абсолютними похибками. 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:

$$h(t+1) = h(t) + \begin{cases} 1,2679 - 0,7609 x_1(t) - 0,0028 x_1^2(t) + t 0,3126 (x_1(t) + x_1(t-1)) - 0,7412 x_2(t), \\ \text{У холодний період року (листопад - березень) ;} \\ 0,4782 - 0,1851 x_1(t) + 5,4569 E - 0,5 x_1^2(t) + 0,1808 (x_1(t) + x_2(t-1)) - 0,1068 x_2(t), \\ \text{У теплий період року (квітень - жовтень).} \end{cases} \quad (4)$$

Графік прогнозованих і фактичних значень  $h_{xy}(t)$  (рис. 2, а) та прогнозованих і фактичних значень приросту  $\Delta h_{xy}$  (рис. 2, б) показує істотну залежність РГВ від випадання аномальної та нерівномірної кількості атмосферних опадів на рівні ґрунтових вод та високу точність прогнозування.

**Проводився вибір та визначався вплив кожного з чинників** для прогнозування РГВ завдяки встановленню фізичного зв'язку та зменшенню похибки. Розподіл на зимовий та літній інтервал розрахунку дефіцитів вологозапасів показав наступні результати: абсолютна похибка для неперервних розрахунків –

0,227 м ( $\max=0,526$  м); відносна похибка для неперервних розрахунків – 3,80% ( $\max=8,65$  %). З поділом на зимові та літні інтервали: абсолютна похибка – 0,02 м ( $\max=0,05$  м); відносна похибка – 0,34% ( $\max=0,86$ %). Встановлення впливу роботи дренажних насосних станцій на зміну РГВ мав наступні результати. Без урахування впливу ДНС абсолютна похибка – 0,174 м ( $\max=0,372$  м); відносна похибка – 5,94% ( $\max = =13,94$ %). З урахуванням впливу ДНС 4 та 4а: абсолютна похибка – 0,024 м ( $\max=0,074$  м); відносна похибка – 0,83% ( $\max=2,84$ %).

Для дослідження ефективності роботи свердловин вертикального дренажу, розглянемо одержувану емпіричну інформацію, необхідну для побудови математичної моделі контролю та управління процесом відкачування з дренажної свердловини з метою збереження задовільного еколого-меліоративного стану.

Як показав аналіз, смт Каланчак захищено 19 свердловинами вертикального дренажу, з них Каховською ГГМЕ для захисту від підтоплення рекомендовано до роботи 18. Внаслідок спрацювання обладнання і відсутності лімітів електроенергії максимальна кількість свердловин, що працюють одночасно, не перевищувала 11 (*рис. 3*). Під час проведення польових досліджень (з 14.07.2008 р. по 20.07.2010 р.) постійно та майже безперервно працювало всього чотири ДНС (№ 4, 5а, 10, 11).

Управління структурою систем захисту території за результатами багатьох спостережень  $h_{xy}(t)$  – траєкторій полягає у визначенні строків та тривалості роботи ДНС, визначенні необхідності реконструкції чи модернізації дренажних насосних станцій, ефективності роботи горизонтального дренажу, реконструкції каналів, зрошувальних систем, застосуванні сучасних режимів зрошення тощо на територіях, що зазнають підтоплення.

**Важливим чинником впливу на процеси підтоплення є випадання опадів.** Дослідження процесів коливання РГВ показало, що воно тісно пов'язано з випаданням аномальної та нерівномірної кількості атмосферних опадів. Цей вплив проявляється як у багаторічному, так і у річному розрізі проведених нами спостережень.

Як показав аналіз експериментальних даних, у сухий 2009 р.

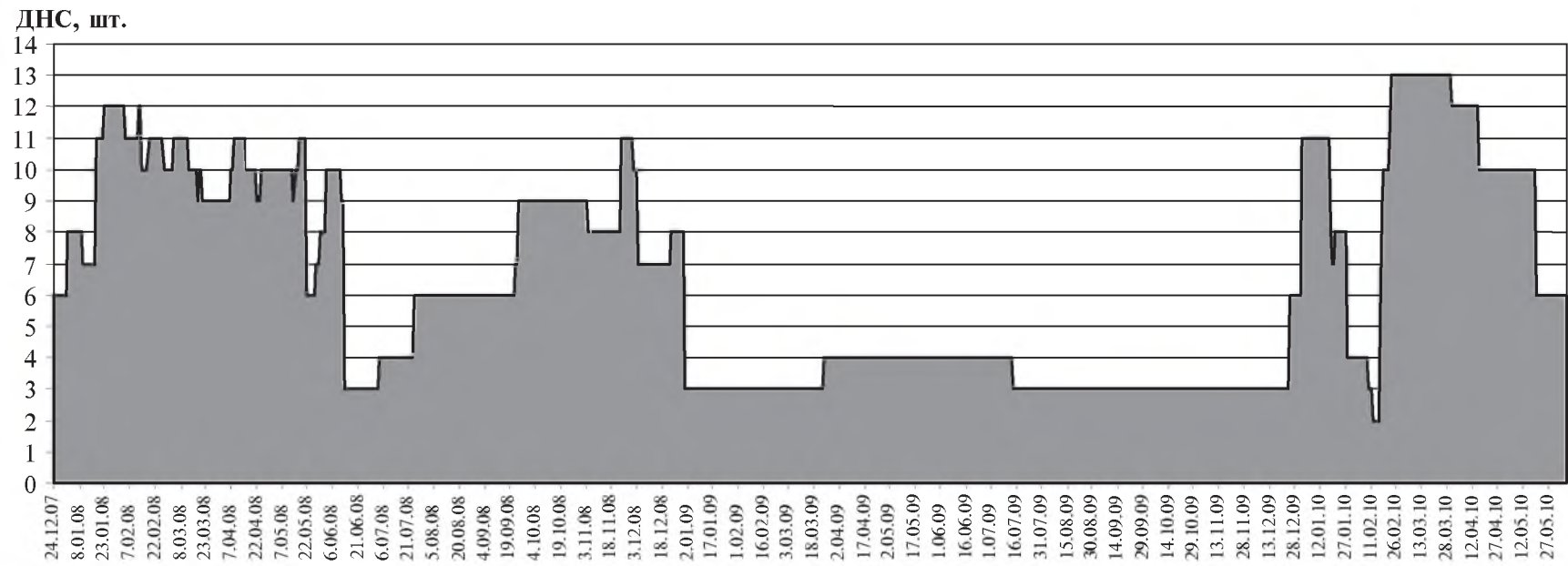


Рис. 3. Кількість одночасно працюючих ДНС у смт Каланчак з 24.12. 2007 р. по 7.06. 2010 р.

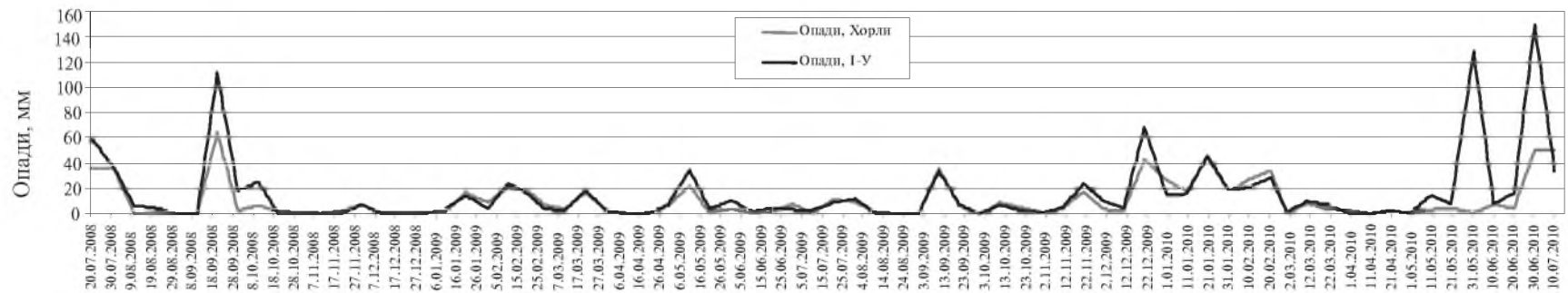


Рис. 4. Атмосферні опади за метеостанцією Хорли та смт Каланчак (2008–2010 рр.)



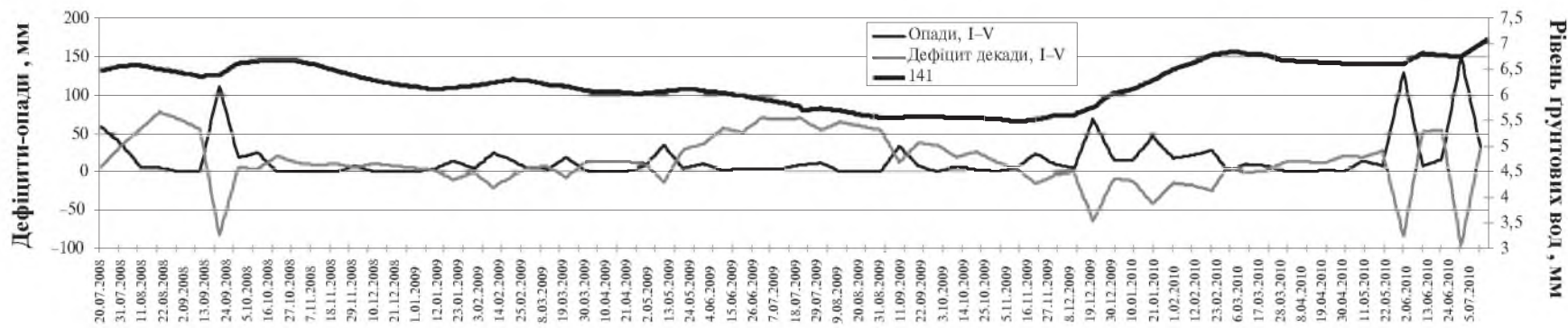


Рис. 5. Зіставлення дефіцитів і опадів з коливанням РГВ у свердловині № 141

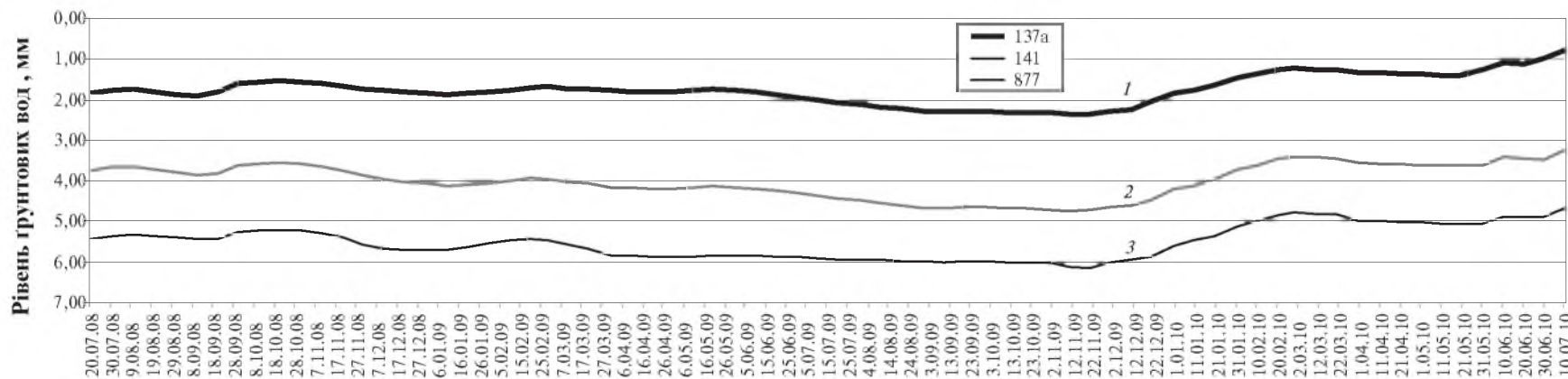
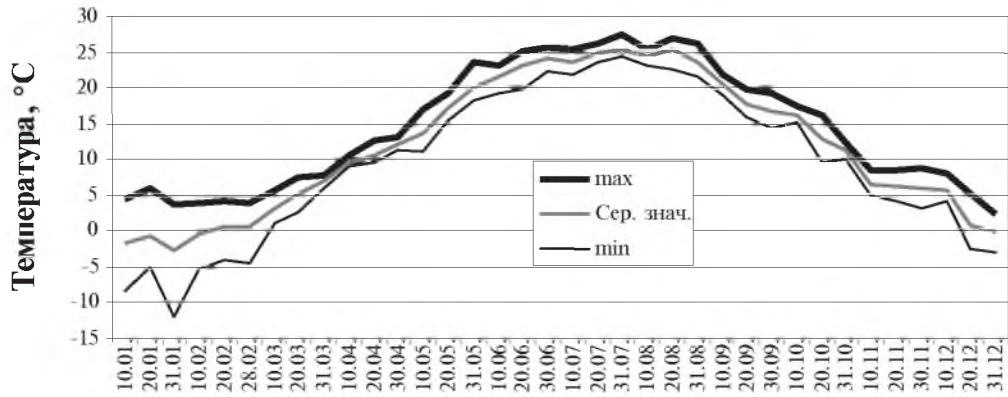
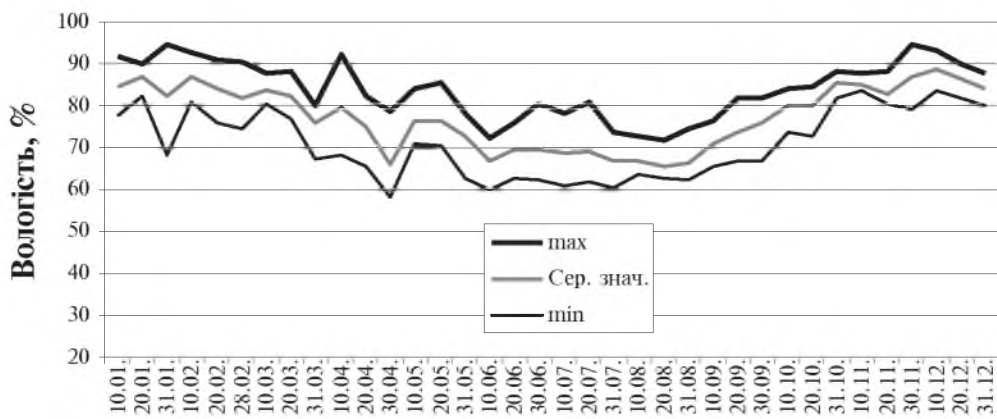


Рис. 6. Характерний гідравлічний зв'язок у свердловинах № 877 (1), 141 (2), 137а (3).



а

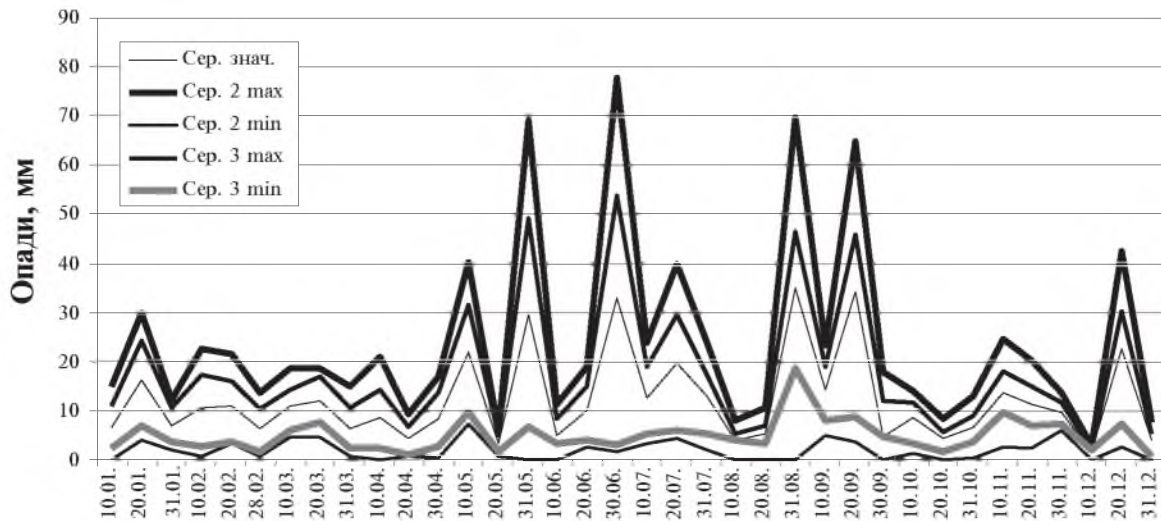


б



в

загальна тенденція РГВ спрямована до зниження, а у вологий 2010 р. опади спричинили синхронне підняття РГВ аж до підтоплення в районі спостережних свердловин (рис. 2, 4–6).



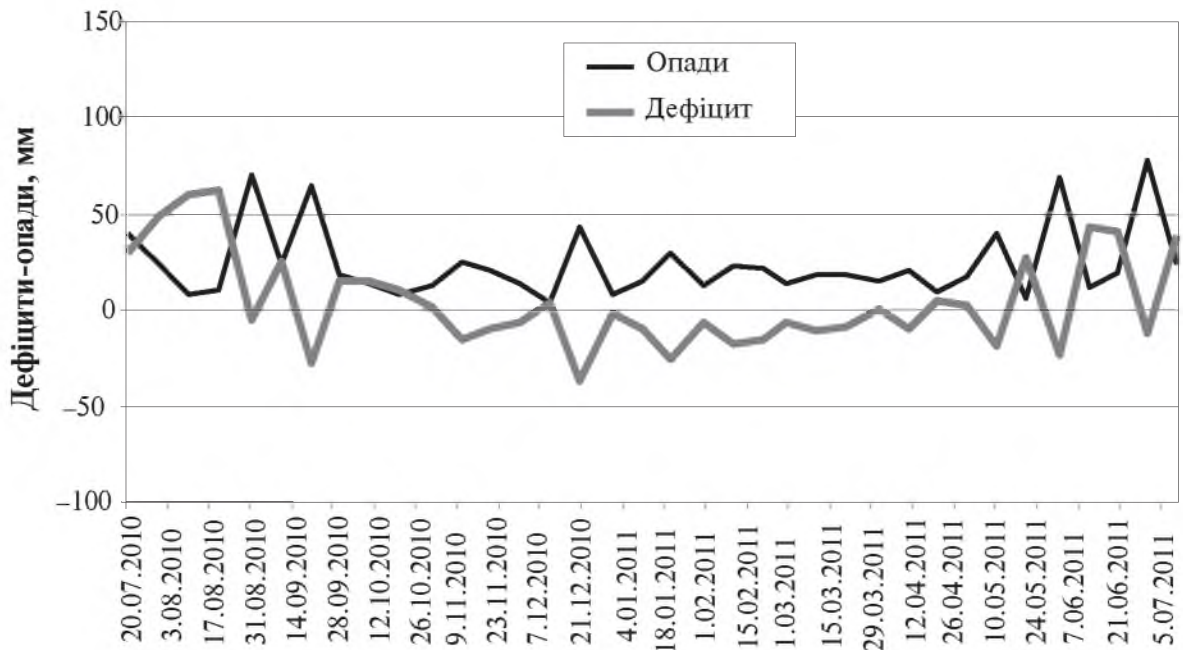
г

Рис. 7. Мінімальне, середнє та максимальне річне значення кліматичних показників у 2006–2010 рр. за даними метеостанції Хорли та смт Каланчак Херсонської області: *a* – температура повітря, °С; *б* – відносна вологість повітря, %; *в* – сумарне випаровування, мм; *г* – атмосферні опади, мм

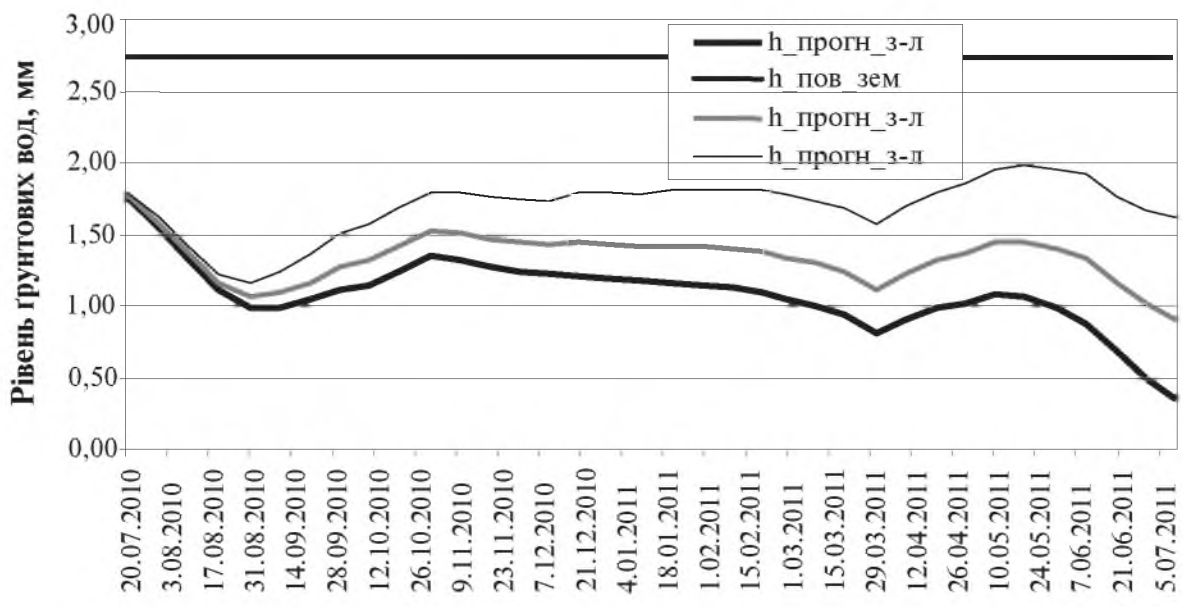
Річна динаміка РГВ засвідчує зростання рівнів при накопиченні осінньо-зимових опадів, що в окремі періоди призводить до підтоплення. Найчастіше підтоплення, при значних опадах, спостерігається у лютому–березні.

Для розрахунків прогнозного рівня ґрунтових вод (короткострокового – 10, 20, 30 діб; довгострокового – 6, 12 місяців) з використанням програмного забезпечення необхідне значення наступних величин (рис. 7): початковий рівень ґрунтових вод; температура повітря; відносна вологість повітря; величини атмосферних опадів. Розраховується величина сумарного випаровування та визначається декадний дефіцит вологозапасів, виходячи з прогнозних значень. При цьому визначається вплив роботи ДНС на РГВ у результаті тривалості їхньої роботи (рис. 8).

Прогнозування рівнів ґрунтових вод та відповідного еколого-меліоративного стану може здійснюватися на 10, 20, 30 днів та 6–12 місяців з відповідною точністю, з якою встановлюються кліматичні показники. Крім того, можуть бути вибрані типові роки-аналоги (максимально вологий, вологий, се-



*a*



*б*

Рис. 8. Динаміка максимальних опадів (865 мм) та відповідних дефіцитів вологості ґрунту з 20.07. 2010 р. по 5.07. 2011 р. (а) та прогноз рівня ґрунтових вод для трьох варіантів величини атмосферних опадів (435, 637, 865 мм) у спостережній свердловині № 134а з урахуванням роботи ДНС 8 (б)

редній, сухий та ін.) з їхніми погодними умовами, на які може бути послідовно проведене прогнозування динаміки РГВ

у кожній точці та оцінені можливі рівні ґрунтових вод на вибраній території і побудовані відповідні карти РГВ.

**Висновок.** Аналіз стану території та прогностичні оцінки на основі інформаційної технології дають змогу здійснювати системне управління територією, як сукупністю інженерних заходів для запобігання або зменшення шкідливої дії вод. На рівні управління роботою ДНС це допоможе визначити необхідність додаткового попереджувального включення дренажних насосних станцій з метою зменшення ризиків виникнення катастрофічного підтоплення.

### *Література*

1. *Методические рекомендации по расчётам защиты территорий от подтопления в зоне орошения* / под ред. А.Я. Олейника. — К.: Укрґипроводхоз, 1986. — 392 с.

2. *Ивахненко А.Г.* Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. — К.: Наук. думка, 1984. — 296 с.

3. *Перцептрон* — система распознавания образов / под ред. А.Г. Ивахненко. — К.: Наук. думка, 1975. — 432 с.

4. *Поспелов Г.С.* Искусственный интеллект — основа новой информационной технологии. — М.: Наука, 1988. — 280 с.

5. *Ковальчук П.І., Шевчук С.А., Ковальчук В.П.* Системна оцінка та прогнозування підтоплення території на основі перцептронних моделей // Індуктивне моделювання складних систем. — 2010. — Вип. 2. — С. 82–89.

6. *Ковальчук П.І., Шевчук С. А., Ковальчук В.П., Кузьменко В.Д., Марків О.М.* Системне дослідження та наукове обґрунтування заходів для захисту від підтоплення смт Каланчак Херсонської області// Водне господарство України. — 2010. — № 2. — С. 21–26.

*Предложена методика системной оценки и прогнозирования подтопления территории на основе перцептронных моделей, которые используют численные и лингвистические оценки. Разработана информационная технология на принципах индуктивного моделирования, модельный комплекс которой идентифицирован и проверен по данным исследований в 2008–2010 гг. пгт Каланчак Херсонской области.*

*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.*