

**Попович В. Ф., с.н.с.** (Кримський науково-дослідний центр Інституту гідротехніки і меліорації НААН)

## **ВИКОРИСТАННЯ АГРОГІДРОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЩОДО ОЦІНКИ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ЗРОШУВАЛЬНИХ МОДУЛІВ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ**

**Наведено принципову схему оцінки водозабезпеченості зрошувальних масивів на основі поєднання можливостей агрогідрологічного моделювання та геоінформаційної моделі зрошувальної системи.**

**Ключові слова:** модель, водозабезпеченість, зрошення, оцінка, ГІС, реконструкція.

Аналіз роботи водогосподарських систем в границях річкових басейнів має суттєві переваги, оскільки це дає змогу більш ефективно оцінювати окремі статті приходної та витратної частин балансового рівняння у межах водозбірної площі (особливо у випадках, коли басейни поверхневих та підземних вод співпадають або не суттєво різняться). Використання геоінформаційних систем (ГІС) дозволяє поєднати у цьому випадку точкові балансові моделі процесів надходження та витрат вологи з 3-вимірною моделлю поверхні, що у сукупності визначає напрямки та кількість переміщення вологи та водних потоків. У той же час, для вирішення цілої низки завдань водогосподарського аналізу та планування, застосування суто басейнового підходу є проблематичним або навіть зовсім не придатним. Це може бути обумовлено як рівнем (масштабом) завдань, що розглядаються, суттєвою різницею у формуванні поверхневого та підземного басейнів та їх взаємодії або наявністю значної кількості додаткових водних ресурсів, які генеруються за межами гідрологічного басейну, що розглядається. У цьому випадку як вітчизняними, так і закордонними вченими запропоновано застосування басейново-територіальних або територіальних принципів.

І якщо методологія використання басейнового підходу в системі інтегрованого управління водними ресурсами є досить розповсюдженою з суттєвими напрацюваннями, у тому числі з використанням цифрових аналітичних моделей та геоінформаційних технологій, то

для застосування територіальних та басейново-територіальних принципів, особливо у Криму, де більша частина водних ресурсів надходить зовні інфраструктурою Північно-Кримського каналу, актуальною є розробка та створення процедур оцінки наявного водоресурсного потенціалу території на базі цих принципів і підходів. Це дає змогу використовувати, залежно від рівня деталізації, різні аналітичні моделі, які характеризують систему взагалі або тільки її частину з організаційної, техніко-технологічної та часової точок зору. Дослідженню в даному випадку підлягає так названий “індивідуальний” техніко-технологічний або економічний суб’єкт (наприклад, точка водовиділу та підкомандна зрошувана площа), що представляє собою деякий первинний (неподільний) елемент господарської системи, який неможливо розбити на частини без втрати ним техніко-технологічної цілості. У випадку інформаційної системи це може бути визначено як зрошуваний модуль, для якого є доступним необхідний об’єм інформації, наприклад, даних щодо вимірюного об’єму водоподачі.

Наявні напрацювання у цьому напрямку (MWSWAT [1], WEAP [2] та ін.) створюють передумови для розробки моделей та процедур автоматизації обчислень щодо оцінки водозабезпеченості та методів управління водними ресурсами в умовах, де застосування басейново-територіальних або територіальних принципів є більш адекватним. На рис. 1 наведено блок-схему балансової моделі системи оцінки наявного водоресурсного потенціалу сільських територій, в якій поєднано використання територіального (“А”) та басейнового (“Б”) принципів.

Концепція цієї спрощеної моделі заснована на розподілі балансу на дві частини: “суто басейнову”, з використанням у базисі однієї з агрогідрологічних моделей, та “територіальну” – засновану на використанні однієї або сукупності аналітичних моделей, які характеризують просторові та техніко-технологічні параметри зрошуваної системи (якщо має місце надходження додаткових водних ресурсів на територію або їх перерозподіл).

На сучасному етапі розвитку систем територіального планування та управління водоресурсним потенціалом територій з використанням ГІС технологій все більш суттєву роль починають відігравати відкриті програмні засоби, у т.ч. агрогідрологічні моделі, побудовані на базі тієї ж ідеології. При цьому моделювання роботи об’єктів, котрі зв’язані з водними ресурсами та мають просторовий вимір, звичайно здійснюється з використанням точкових та просторових моделей.

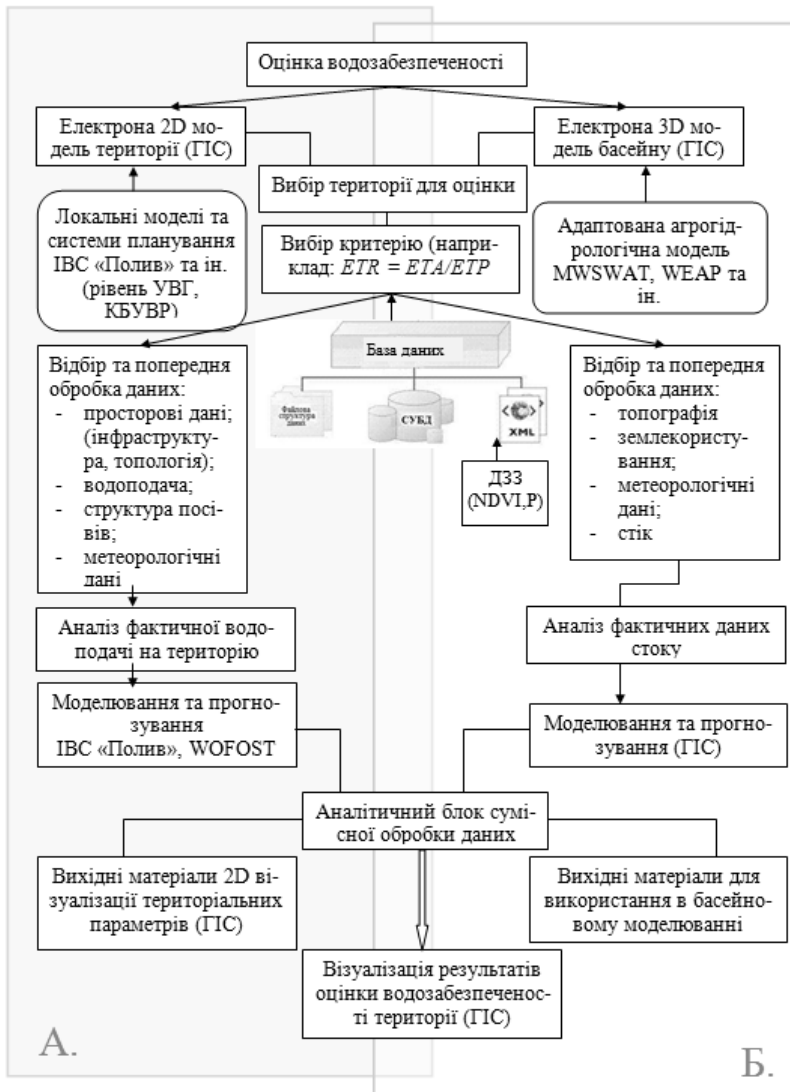


Рис. 1. Блок-схема балансової моделі системи оцінки наявного водоресурсного потенціалу території

Точкові числові моделі широко використовуються як корисні ін-

струментальні засоби, для того, щоб вникнути у суть процесів, які відбуваються в цих складних системах, а також для аналізу можливих сценаріїв управління водним режимом (наприклад SWAP [3], WOFOST [4] та ін.).

Просторові та тривимірні моделі також досить поширені і представлені як досить простими [5, 6], так і достатньо складними моделями, які дозволяють виконувати моделювання на рівні гідрологічних басейнів чи цілих регіонів.

Спрощені схеми зрошуваної інфраструктури ряду управлінь водного господарства (УВГ) АР Криму створені з застосуванням програмних засобів, які можуть бути безпосередньо використані у середовищі відкритих ГІС. Деякі з баз даних цієї інфраструктури поєднані з відповідним шаром геопросторової інформації, наприклад дані щодо інфраструктури зрошувальної мережі, використовуються як нормативно-довідкова інформація. Приклад векторної моделі інфраструктури зрошувальної мережі однієї з ділянок Красногвардійського управління водного господарства наведено на рис. 2.

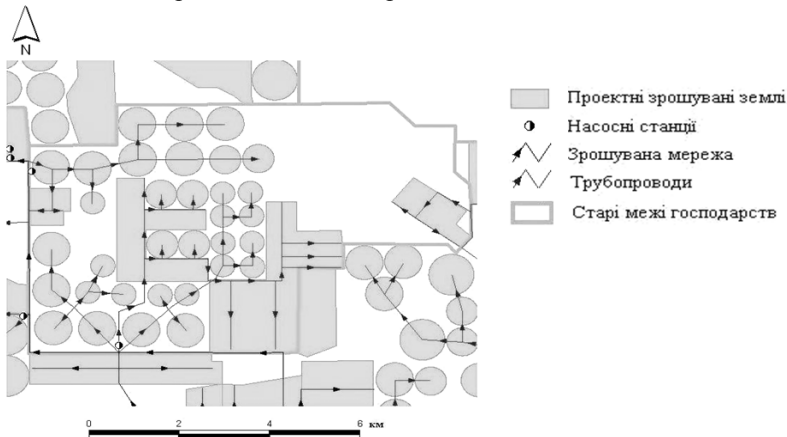


Рис. 2. Векторна структура зрошувальної мережі однієї з ділянок (Красногвардійське МУВГ)

Алгоритм оцінки наявності та ефективності використання водоресурсного потенціалу території базується на поєднанні результатів агрогідрологічної моделі території та моделі ГІС структури УВГ і містить наступні, перераховані нижче, кроки.

А. Організація підтримки та доступу до баз даних:

- просторової інформації (географічна прив'язка території з класифікацією об'єктів та типів землекористування та ін.);

- водно-фізичних характеристик ґрунтів;
- метеорологічної інформації (опад, температура та вологість повітря, швидкість вітру та ін.);
- характеристик зрошувальної та дренажної інфраструктури;
- даних щодо водозабору/водоподачі на зрошувані ділянки, сівозміни та даних щодо динаміки дренажного стоку;
- динаміки місцевого стоку, режимів роботи водосховищ.

Б. Вибір типу критерію щодо оцінки водозабезпеченості залежно від зони розташування та площі (адміністративного рівня) території, що розглядається.

В. Проведення балансових розрахунків з отриманням наступних видів інформації, зокрема:

- елементів водного балансу території, що розглядається, включаючи потенційне та актуальне сумарне випаровування;
- потенційного та актуального врожаю (для с.-г. земель) або біомаси;
- інших показників в разі необхідності.

Г. Проведення розрахунків параметрів рівня використання водних ресурсів у роки різної водозабезпеченості.

Д. Розрахунок критеріїв та візуалізація значень оцінки водозабезпеченості по території (та/або інтегральних показників) та формулювання висновків щодо забезпеченості.

Залежно від зони розташування та площі (адміністративного рівня) території, що розглядається, можуть використовуватися різні типи критеріїв щодо оцінки її водозабезпеченості. Розглянемо можливість визначення показника відносного сумарного випаровування (*ETR*), що є одним з базових критеріїв з низки запропонованих у рамках досліджень міжнародного проекту IPAT [7], який дозволяє провести оцінку рівня використання водних ресурсів, починаючи зі зрошуваної ділянки і вище, та розраховується як співвідношення фактичного сумарного випаровування до потенційного

$$ETR = \frac{ETA}{ETP}, \quad (1)$$

де *ETR* – відносне сумарне випаровування;

*ETA* – фактичне (актуальне) сумарне випаровування, мм;

*ETP* – потенційне сумарне випаровування, мм.

Використання агрогідрологічної моделі SWAT [8] (розробленої Джеффом Арнольдом для визначення оцінки впливу методів управління земельними ресурсами на великих і складних водозборах) дає

можливість отримати практично всі необхідні розрахункові показники. Базовим принципом алгоритму моделі є розділ основного басейну на суббасейни та далі – на гідрологічно-характерні одиниці (ГХО), що надає моделі можливість відобразити різницю між евапотранспірацією різних культур та ґрунтів. Стік та ґрунтові процеси моделюються окремо для кожної ГХО, що підвищує точність розрахунків та більш відповідає фізичному змісту рівняння водного балансу.

Гідрологічний цикл цієї моделі ґрунтується на наступному рівнянні водного балансу, яке розраховується з добовим часовим інтервалом [8] (адаптовано)

$$Q = P - E + I - \frac{d}{dt} [SP + SW + W_{\text{бгв}} + W_{\text{гпв}} + R] \text{ , мм, (2)}$$

де  $P$  – кількість опадів, мм;

$E$  – евапотранспірація, мм;

$I$  – зрошення, мм;

$SP$  – сніговий покрив, мм;

$SW$  – вологість ґрунту, мм;

$W_{\text{бгв}}$  та  $W_{\text{гпв}}$  – вологообмін з близькими та глибокими підземними водами відповідно, мм;

$R$  – зміна об'єму накопичення води у водоймах (цей параметр не враховується при розрахунку окремої ГХО та є у більшості випадків окремим об'єктом моделі).

Проведення розрахунків з використанням модельного комплексу MWSWAT на базі відкритої ГІС MapWindow дозволяє отримати практично всі необхідні параметри для розрахунків індикаторів оцінки рівня використання водних ресурсів, включаючи елементи водного балансу території, що розглядається:  $P$ ,  $I$  (виміряні);  $ETP$ ,  $ETA$  та навіть оцінки потенційного та обмеженого за водними ресурсами врожаю.

Критичним для  $ETR$  є значення біля 0,7 для зрошуваних сільськогосподарських культур впродовж вегетаційного періоду. Оцінка цього показника може бути одним з критеріїв визначення необхідності проведення модернізації або реконструкції зрошувальної системи або її частини.

На рис. 3 наведено приклад використання показника відносного сумарного випаровування ( $ETR$ ) щодо оцінки стану використання водних ресурсів на різних рівнях (від поля до сівозміни та частини управління водного господарства). Аналогічна оцінка може бути отримана з використанням даних агрогідрологічного моделювання.

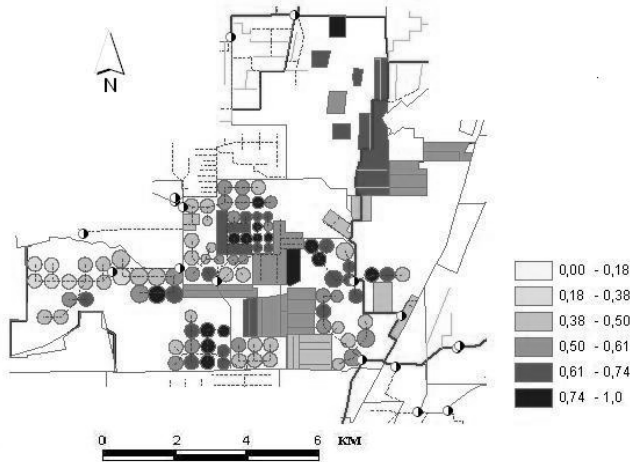


Рис. 3. Візуалізація значень відносного сумарного випаровування *ETR* для ряду водокористувачів Красногвардійського МУВГ (оцінка отримана з використанням даних міжнародного проекту IPAT [7])

Причому необхідно відмітити, що застосування відносних показників, особливо з використанням у співвідношеннях дійсного та потенційного сумарного випаровування (*ETA* та *ETP*), пов'язаних з співвідношенням фактичного та потенційного врожаїв (цей показник найбільш відповідає запропонованим О.М. Костяковим [10]), та ряду інших має суттєві обмеження у випадку значної частки участі ґрунтових вод або суттєвої різниці у вологозапасах ґрунтів у початку та наприкінці розрахунків.

В цілому сумісне використання агрогідрологічних моделей, ГІС та інформації ДЗЗ створює нові додаткові можливості щодо аналізу рівня технології зрошення, але потребує створення регіональної нормативно-довідкової бази та ретельного аналізу умов застосування [11, 12].

Потенційно, для більшої частини степової зони АР Крим, в умовах, коли можна знехтувати елементом підґрунтового перетоку між поливними ділянками, у якості базових можуть використовуватися точкові моделі, у тому числі такі, як SWAP та WOFOST.

**Висновки.** Для вирішення цілої низки завдань водогосподарського аналізу та планування, застосування суто басейнового підходу є проблематичним або навіть зовсім непридатним. Це може бути обумовлено як рівнем (масштабом) завдань, що розглядаються, суттєвою різницею у формуванні поверхневого та підземного басейнів та їх взаємодії, або

наявністю суттєвої кількості додаткових водних ресурсів, які генеруються за межами гідрологічного басейну, що розглядається. У цьому випадку необхідно застосування басейново-територіальних або територіальних принципів. Найбільш придатним у цьому випадку є поєднання агрогідрологічного моделювання з використанням басейнового підходу (суттєво не обмежуючим детальність аналізу на відокремлених гідрологічних ділянках) з територіальним підходом (який може бути представлений як сукупність територіально-прив'язаної інфраструктури та векторної структури об'єктів певного типу) для реалізації басейново-територіальних принципів аналізу та планування.

1. Luis F. L. Step by Step Geo-Processing and Set-up of the Required Watershed Data for MWSWAT (MapWindow SWAT), 2007. – 34 p. – Режим доступу за URL: <http://www.waterbase.org/documents.html>
2. Sieber J., Swartz C., Huber-Lee A. USER GUIDE for WEAP21. 2005. Stockholm Environment Institute. 176 pp. – Режим доступу за URL: <http://www.weap21.org/index.asp?action=208>
3. Reference Manual SWAP version 3.0.3 / Eds.: J. G. Kroes, J. C. Van Dam. – Wageningen: Alterra, Green World Research, 2003. – 211 p.
4. System Description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS (Volume 1: Theory and Algorithms) / Eds.: I. Supit, A. A. Hooijer, C. A. van Diepen. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1994. – 146 p.
5. Smith M. 1992. CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper 49. – Rome: FAO.
6. Bos M. G., J. Vos and R. A. Feddes. 1996. CRIWAR 2.0: A simulation model on crop irrigation water requirements. Publication 46. – Wageningen, Netherlands: International Land Reclamation Institute.
7. Roerink G. J., Noordman E. J. M. Irrigation performance Assessment Tool (IPAT). – Wageningen, Alterra, 2007. – 80 p.
8. Neitsch S. L., Arnold J. G., Kiniry J. R., Williams J. R. Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation. Version 2009. – Texas Agricultural Experiment Station, 2011. – 647 p. – Режим доступу за URL: <http://swatmodel.tamu.edu/>
9. Luis F. Leon. MapWindow Interface for SWAT (MWSWAT). Version 1.5. – 2009. – 70 p.
10. Костяков А. Н. Основы мелиораций / А. Н. Костяков. – 6-е изд-е. – М. : Сельхозгиз, 1960. – 622 с.
11. Контроль площ та стану озимих культур за допомогою знімків MODIS/TERRA та SPOT XI (на прикладі Київської області) / Лялько В. І., Сахацький О. І., Жолобак Г. М., Греков Л. Д. // Доповіді Національної академії наук України. – Київ, 2007. – № 3. – С. 122-127.
12. Дистанционная оценка площадей зерновых в Казахстане по данным гиперспектрального радиометра MODIS / Спивак Л. Ф., Архипкин О. П., Нургалиев С. Г., Шагарова Л. В. // Исследование Земли из Космоса. – 2003. – № 2. – С. 80-84.

Рецензент: доктор геогр. наук, професор Будз М. Д. (НУБГП)