

- растений / Ничипорович А. А. // Физиология фотосинтеза.- М.: Наука, 1982. – С. 7-33
3. Ничипорович А. А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / Ничипорович А. А.- М.: Изд-во АН СССР, 1961.- 133 с.
  4. Лымарь А. О. Экологические основы систем орошаемого земледелия / Лымарь А. О.- К.: Аграрна наука – 1997. – 397 с.
  5. Малярчук М. П. Система основного обробітку ґрунту для зрошуваних сівозмін / М. П. Малярчук, С. Б. Котов // Актуальні проблеми ефективного використання зрошуваних земель / Збірник наукових статей. – Херсон – 1997. – С. 33-42
  6. Орлюк А. П. Принципы трансгрессивной селекции пшеницы / А. П. Орлюк, В. В. Базалий .- Херсон: Наддніпряньська правда, 1998. – 274 с.
  7. Ушкаренко В. О. Зрошуване землеробство / Ушкаренко В. О.- К.: Урожай, 1994. – 328 с.
  8. Федорчук М. И. Шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.) (эколого-биологические особенности и хозяйственно-ценные признаки) / Федорчук М. И., Работягов В. Д., Кутько С. П.- Херсон: Айлант – 2007.- 212 с., илл.
  9. Федоров А.А., Артюшенко З.Т. Атлас по описательной морфологии высших растений. Соцветие . – Л.: Наука – 1979. – 294 с.
  10. Ценопопуляция растений. (Основные понятия и структура).- М.: Наука – 1976. – 216 с.
  11. Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ.- Новосибирск: Наука – 1974. – 156 с.

УДК: 631.6 : 001.17(477.72)

## **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПЕНМАНА-МОНТЕЙТА ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЕВАПОТРАНСПІРАЦІЇ В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ ПІВДНЯ УКРАЇНИ**

**КОКОВІХІН С.В.** – к.с.-г.н., с.н.с.

**Інституту землеробства південного регіону НААН  
України**

**Постановка проблеми.** Планування штучного зволоження визначено як процес передбачення оптимальної кількості й розподілу в часі поливної води за окремими масивами, полями та ділянками. Прогнозування зрошення дозволяє вирішити задачі щодо подачі необхідної кількості поливної води на окремі поля сівозмін, а також для задоволення господарств в цілому. Головна

мета оптимізованого штучного зволоження – максимізувати ефективність зрошення за допомогою подачі необхідної кількості води, яка подолає дефіцит водоспоживання й дозволить рослинам повною мірою реалізувати свій генетичний потенціал.

**Стан вивчення проблеми.** Оптимізація зрошення заощаджує поливну воду, енергоносії, технічні засоби, трудові ресурси, сприяє підвищенню врожаю, забезпечує економічну ефективність та екологічну безпеку землеробства на поливних землях. Важливою проблемою, яка в останні 10-15 років дуже часто зустрічається у виробничих умовах південного Степу України, є відсутність дійових методів і засобів встановлення норм та строків поливів сільськогосподарських культур на рівні господарств різних розмірів і спеціалізації. Через це агровиробники проводять поливи з використанням застарілих рекомендацій, а іноді визначають дати і норми поливів окомірно з великими похибками без врахування фактичних і прогнозованих вологозапасів ґрунту, величини добового випаровування (евапотранспірації), кількості опадів, біологічних потреб с.-г. культур тощо [1-3].

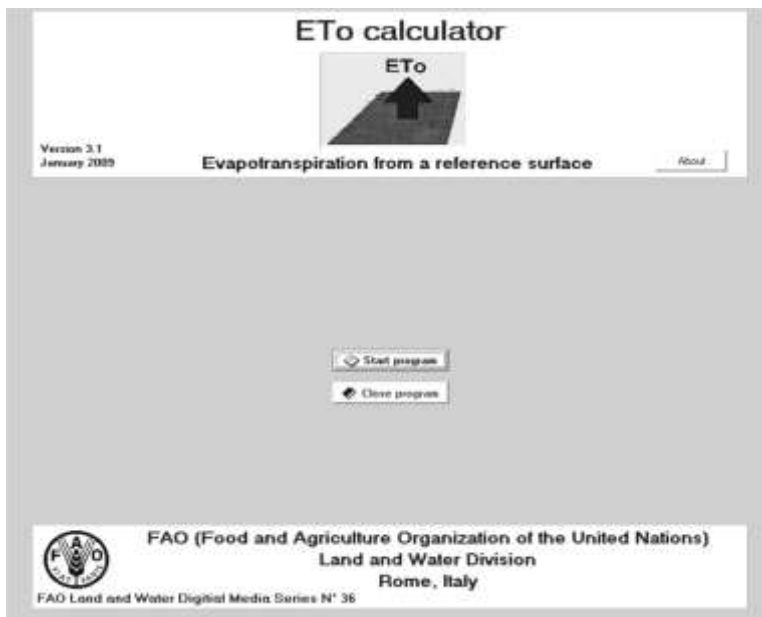
**Завдання і методика досліджень.** Завданням проведених досліджень було розробити сучасні заходи контролю за показниками евапотранспірації з використанням інформаційних технологій та сучасних світових розробок.

Для досліджень використано програму ET calculator версії 3.1, яка створена ФАО ООН в січні 2009 р. Програма доступна англійською мовою і розповсюджується Агенцією земельних і водних ресурсів Digital Media. Вона включає довідкове меню, яке пояснює використання цієї комп'ютерної програми [4].

Дослідження з цього напрямку проведені з використанням спеціальних методик із застосування інформаційних технологій в сільському господарстві [5-6].

**Результати досліджень.** Програмне забезпечення ET calculator розроблено Відділом земельних і водних ресурсів ФАО ООН. Його основною функцією є можливість встановлення показників евапотранспірації (випаровування) згідно зі стандартами ФАО та найбільш розповсюджених світових методів контролю за вологообміном в ґрунті.

ET calculator дозволяє встановити евапотранспірацію залежно від особливостей метеорологічних умов та стану поверхні ґрунту (рис. 1).



**Рисунок 1. Головна сторінка програми ET calculator**

Програма дозволяє одержати показники евапотранспірації за допомогою автономних електронних розрахунків за методом Пенмана-Монтейта. За результатами порівняння моделей евапотранспірації за даними лізіметрів з 11 станцій у всьому світі в різних кліматичних умовах ця залежність була визнана кращою для всіх зон і погодних умов [7]. У переважній більшості країн світу ця модель є стандартом розрахунку потенційної евапотранспірації, оскільки вона якнайповніше відображає фізичні процеси, обумовлені сонячною радіацією, аеродинамікою і транспірацією рослин. Середньодобове випаровування встановлюється за формулою (1).

$$\lambda_w ET_p = \frac{10^{-4} \Delta_v (R_n - G) + 8.6410^6 \rho_{air} C_{air} (e_{sat} - e_{act}) \frac{1}{r_{air}}}{\Delta_v + \gamma_{air} \left( 1 + \frac{r_{crop}}{r_{air}} \right)}, \quad (1)$$

де  $\lambda_w$  – енергія пароутворення (Дж/гр);  
 $ET_p$  – потенційна евапотранспірація (см/доб.);  
 $\Delta_v$  – нахил кривої тиску пару (кПа/°C);  
 $R_n$  – надходження сонячної радіації (Дж м<sup>-2</sup> доб.<sup>-1</sup>);

$G$  – надходження ґрунтового тепла (Дж м<sup>-2</sup> доб.<sup>-1</sup>);  
 $\rho_{\text{air}}$  – щільність повітря (г/см<sup>3</sup>);  
 $C_{\text{air}}$  – теплоємність повітря (Дж гр<sup>-2</sup> °С<sup>-1</sup>);  
 $e_{\text{sat}}$  – тиск насиченої пари (кПа);  
 $e_{\text{act}}$  – фактичний тиск пари (кПа);  
 $r_{\text{crop}}$  – опір листової поверхні (с/м);  
 $r_{\text{air}}$  – аеродинамічний опір (с/м);  
 $\gamma_{\text{air}}$  – психометрична константа (кПа °С<sup>-1</sup>)

Опір листової поверхні залежить від швидкості вітру та висоти рослин. Цей показник можна знайти за формулою (2).

$$r_{\text{crop}} = \frac{\ln\left(\frac{z_m - d}{z_{om}}\right) \ln\left(\frac{z_h - d}{z_{oh}}\right)}{k_{vk}^2 u}, \quad (2)$$

$z_m$  – висота точки виміру швидкості вітру (м);  
 $z_h$  – висота точки виміру температури та тиску (м);  
 $d$  – точка відліку профілю вітру (м);  
 $z_{om}$  – коефіцієнт неточності для імпульсу (м);  
 $z_{oh}$  – коефіцієнт неточності для тепла та тиску (м);  
 $K_{vk}$  – константа фон Кармана = 0,41;  
 $u$  – швидкість вітру на висоті  $z_m$  (м/с)

Параметри  $d$ ,  $z_{om}$  и  $z_{oh}$  визначаються за формулами (3-5).

$$d = \frac{2}{3} h_{\text{crop}}, \quad (3)$$

$$z_{om} = 0,123 h_{\text{crop}}, \quad (4)$$

$$z_{oh} = 0,1 z_{om}, \quad (5)$$

де  $h_{\text{crop}}$  – висота рослин (м).

Для розрахунку аеродинамічного опору використовується формула (2), при цьому висота рослин приймається рівною 1 мм.

Як бачимо, розрахунки за розглянутим вище методом дуже складні та мають багато вхідних показників. Проте, основною вхідною інформацією для розрахунку за формулою Пенмана-Монтейта є середньодобова температура повітря, сонячна радіація, швидкість вітру й атмосферний тиск.

Для прискорення й полегшення розрахунку евапотранспірації за допомогою програми ET calculator необхідно сформувати файл первинної інформації "Create a new file", який може відображати різні сукупності вхідних даних (рис. 2).

Програма може обробляти щоденні, щодакдні та щомісячні метеорологічні дані. Вхідна інформація може містити широкий спектр даних і показників, які використовуються в кліматології, а також інших галузях. Коли деякі вхідні дані відсутні, програма проводить автоматичне їх встановлення за допомогою методики ФАО, яка узагальнює дослідження багатьох вчених різних країн світу. Мінімальними вхідними даними є максимальна і мінімальна температура повітря, які приймаються для електронного розрахунку показників евапотранспірації за певні періоди часу. Слід зауважити, що чим більша кількість вхідних показників буде введена в активні вікна програми, тим вищеа буде точність встановлення евапотранспірації.

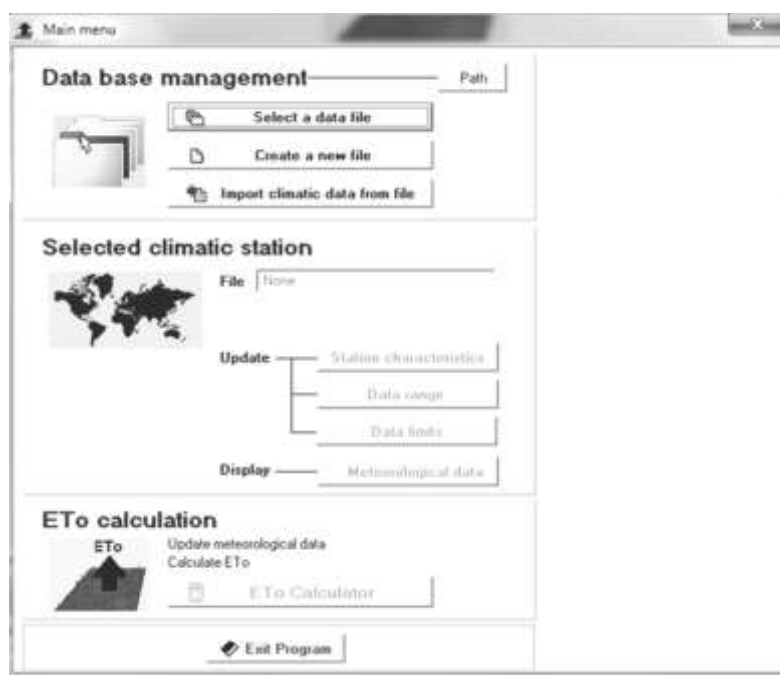


Рисунок 2. Формування бази вхідних даних програми ET calculator

Вхідні кліматичні дані можуть бути експортовані з інших спеціальних програм (наприклад AquaCrop) або з баз даних Інтернет (рис. 3). Як недолік програми, слід вказати на неможливість прямого копіювання цифрових даних з буферу обміну Microsoft Office (Excel, Word, Access), що створює труднощі введення вхідної інформації.



Рисунок 3. Імпорт вхідних даних до активних вікон

Після введення вхідних даних необхідно перейти до активного вікна "Meteorological data and ETo" (рис. 4). В цьому вікні відображаються показники евапотранспірації в мм, які можна використовувати для коригування строків і норм поливів, програмування врожаю тощо.

Data and ETo menu							
Station	Fremont		Country	Ukraine		File	Fremont.DTA
Input data description	Meteorological data and ETo			Plot data	Export results		
Day	1	2	3	4	5	6	7
Month	May	May	May	May	May	May	May
Year	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010
Tmean	°C	25.2	25.9	26.2	27.5	28.9	28.7
Tmax	°C	19.4	22.1	20.9	17.4	18.1	17.5
Tmin	°C	14.7	16.4	17.1	15.7	13.7	14.0
Pftmax	%	62.9	63.0	59.1	62.7	57.4	61.5
(d2)	mm/sec	4.30	5.90	6.80	2.10	1.90	5.70
n	hour/day	7.20	6.40	6.40	5.30	7.40	6.90
ETo	mm/day	6.8	5.4	6.2	4.1	4.2	5.6

Рисунок 4. Розрахунок показників евапотранспірації за допомогою електронного моделювання програми ET calculator

Одержані дані також можна вносити до спеціального програмного забезпечення програмно-інформаційного комплексу "Іригація", а також імпортувати у файли баз даних інших спеціальних програм FAO, наприклад CLIMWAT і FAOCLIM.

**Висновки та пропозиції.** Програмне забезпечення ET

calculator призначене для встановлення показників евапотранспірації і може бути використано в науково-дослідних цілях, умовах виробництва. Використання спеціального програмного забезпечення забезпечує можливість оперативного контролю за середньодобовим випаровуванням, коригування строків і норм вегетаційних поливів. Врахування витратної частини водного балансу забезпечує оптимізацію продукційних процесів рослин, підвищує рівень урожайності й якості продукції, має економічний, енергетичний і екологічний ефект.

**Перспектива подальших досліджень.** Враховуючи переваги використання методу Пенмана-Монтейта, який був вибраний фахівцями ФАО як базовий, оскільки найбільш точно відображає процеси транспірації рослин та випаровування, включає метеорологічні, фізіологічні й аеродинамічних параметри, існує необхідність детальної перевірки його точності для умов південного Степу України, а також порівняння з іншими загальноприйнятими розрахунковими методами (біокліматичний, біофізичний, середньодобового випаровування та ін.). Для цього можна використовувати програмне забезпечення ET calculator та програмно-інформаційний комплекс "Іригація".

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Сучасний стан, основні проблеми водних меліорацій та шляхи їх вирішення / Коваленко П.І., Собко О.О., Писаренко В.А. та ін. – К.: Аграрна наука, 2001. – 274 с.
2. Інтернет-ресурс: <http://raduga.ener.ru/rus/devel/10.html>
3. Інтернет-ресурс: <http://www.uaseed.com/oroshenie/707.html>
4. Інтернет-ресурс: <http://www.fao.org/nr/water/ETo.html>
5. Харченко О.В. Основи програмування врожаїв сільськогосподарських культур: Навчальний посібник / За рад. академіка УААН В.А. Ушкаренка. – 2-е вид., перероб. і доп.– Суми: Університетська книга, 2003. – 296 с.
6. Ушкаренко В.О., Нікішенко В.Л, Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: Навчальний посібник. – Херсон: Айлант, 2008. – 272 с.
7. Ромко А.В. Создание интегрированной модели агрогеоценоза на мелиорированных землях // Матер. межд. конф. "Наукоёмкие технологии в мелиорации". – М.: ГНУ ВНИИГиМ, 2005. – С. 385-389.