

Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 631.675.4:631.674.6
(477.7)

© 2016

*М.І. Ромащенко,
академік НААН,
доктор технічних наук*

А.П. Шатковський,

О.В. Журавльов,

*кандидати сільсько-
господарських наук*

*Інститут водних
проблем і меліорації НААН*

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ «PENMAN – MONTEITH» В УМОВАХ КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ СТЕПУ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ ЗЕРНОВОЇ КУКУРУДЗИ)

Мета. Дослідити особливості та адаптувати розрахунковий метод визначення сумарного випаровування «Penman-Monteith» до умов краплинного зрошення Степу України.

Методи. Польові короткотермінові досліді, загальноприйняті аналітичні методи дослідження, використано дисперсійний, кореляційний, регресійний і варіаційний аналізи.

Результати. З використанням сучасного інструментарію (інтернет-метеостанції iMetos®, станції вологості ґрунту iMetos® SM/ECHO/TNS/ECOD2) визначено еталонне ET₀, розрахункове і фактичне значення сумарного випаровування ET_c. На основі результатів польового експерименту проведено коригування коефіцієнта культури K_c за фазами розвитку рослин кукурудзи з використанням відхилень від стандартних умов.

Висновки. Доведено, що значення фактичного коефіцієнта культури K_c для кукурудзи на зерно в умовах краплинного зрошення Степу України відрізняються від типового K_c (FAO). З урахуванням чіткої кореляції K_c (FAO) і K_c (пр.) для визначення фактичної евапотранспірації (ET_c) рослин кукурудзи рекомендовано використовувати скориговані значення K_c.

Ключові слова: евапотранспірація, коефіцієнт культури, зрошувальна норма, краплинне зрошення, зернова кукурудза.

Біологічною основою режиму зрошення є сумарне водоспоживання рослин або евапотранспірація (ET_c). Під ET_c розуміють загальний об'єм води, який випаровується впродовж вегетаційного періоду з поверхні ґрунту і рослин (фізичне випаровування — K_e), інфільтрується в нижчі горизонти ґрунту та витрачається рослинами на транспірацію (K_{cb}).

Визначальними факторами, які впливають на величину ET_c, є клімат зони і погодні умови поточного чи розрахункового вегетаційного періодів їх вирощування.

Визначення водоспоживання сільськогосподарських культур — ключове питання, від вирішення якого залежать величини норм поливу, ефективність та екологічні наслідки

від зрошення. У практиці зрошуваного землеробства водоспоживання розраховують за допомогою різних методів: за даними спеціальних дослідів, коефіцієнтами транспірації та водоспоживання, на основі рівнянь водного балансу тощо.

Нині є багато методів, за якими сумарне випаровування визначають на основі метеорологічних параметрів і біологічних особливостей сільськогосподарських культур. У зрошуваних умовах Степової зони України в різний час практичне застосування отримали такі методи: біокліматичний метод А.М. Алпатьєва [1], пізніше вдосконалений С.М. Алпатьєвим [2] та В.П. Остапчиком [3], біофізичний метод Д.А. Штойко [4], М.М. Іванова [5] та ін.

У світі тривалий час поширеними були методи Penman [6] та Blaney-Criddle [7]. З урахуванням певної неточності цих методів у 1990 р. рада експертів при FAO рекомендувала затвердити комбінований метод «Penman-Monteith» як стандарт для розрахунку еталонного сумарного випаровування (ЕТо). Методом передбачено визначення ЕТо гіпотетичної культури висотою 0,12 м, опором поверхні 70 см^{-1} і альбедо 0,23, подібної до газонної трави однієї висоти у фазі активної вегетації і достатньо зволоженої. Розрахункове рівняння Penman-Monteith виведено з рівняння енергетичного балансу поверхні ґрунту, а залежність ЕТс від ЕТо відображає коефіцієнт культури K_c , який характеризує відмінності між типовою сільськогосподарською культурою та еталонною газонною травою [8–10]. Значення K_c є типовими величинами, очікуваними для середнього K_c у стандартних кліматичних умовах, які визначено як субгумідний клімат (різновид степового клімату, найбільш забезпеченого опадами) за середньодобової мінімальної вологості повітря $RH_{\min} \approx 45\%$ та середньої швидкості вітру 2 м/с. Посушливіший клімат і більша швидкість вітру зумовлюють збільшення значень K_c [8, 11, 12]. Кліматичні умови Степу Сухого ($RH_{\min} \approx 3\%$, $v \approx 3$ м/с) відрізняються від типових FAO, тому для практичного використання методу «Penman-Monteith» необхідне коригування K_c з урахуванням відхилень від стандартних умов [13].

Мета — дослідити особливості та адаптувати розрахунковий метод визначення сумарного випаровування «Penman-Monteith» до умов краплинного зрошення Степу України.

Матеріали і методи досліджень. Польові експерименти проведено на землях ДП «ДГ

«Брилівське» Інституту водних проблем і меліорації НААН (підзона Степу Сухого — клімат помірно континентальний, дуже посушливий), географічні координати — $46^{\circ}40'$ пн.ш., $33^{\circ}12'$ сх.д., висота над рівнем моря — 17 м. Ґрунт — темно-каштановий залишково-солонцюватий легкосуглинковий. Досліди проводили в 2013–2015 рр. на зерновій кукурудзі (гібрид DKC 5276 DEKALB®, FAO 460, «Monsanto»). Для фіксування метеорологічних параметрів використано інтернет-метеостанцію iMetos®, розміщену безпосередньо на дослідній ділянці. ЕТо визначали за допомогою програми CropWat 8.0. Фактичне сумарне випаровування ЕТс — за допомогою інтернет-станції вологості ґрунту iMetos®SM/ECHO/TNS/ECOD2, яку було обладнано сенсорами вологості ґрунту типу Watermark 200SS на різних глибинах ґрунтового профілю і відстані від точки водоподачі.

Оскільки K_c фактично залежить від фази розвитку культури, вегетаційний період кукурудзи було розділено на 3 умовні частини: початкову, серединну та прикінцеву фази.

Результати досліджень. Установлено, що в умовах 2013 р. фактичне середньодобове випаровування ЕТс відрізняється від евапотранспірації ЕТс (FAO), розрахованої з використанням коефіцієнта культури K_c (FAO) (рис. 1). Так, у період «сходи — викидання волоті» (I декада травня — III червня) та від фази молочної стиглості до збирання (II декада липня — I декада вересня) ЕТс (FAO) перевищує фактичне середньодобове випаровування відповідно на 20 та 28 $\text{м}^3/\text{га}$. Від викидання волоті до молочної стиглості (III декада червня — II липня) ЕТс (FAO) менше за фактичне випаровування в середньому на 10 $\text{м}^3/\text{га}$. На час сходів кукурудзи K_c (FAO) становив 0,65, що в умовах 2013 р. у 4,7 раза

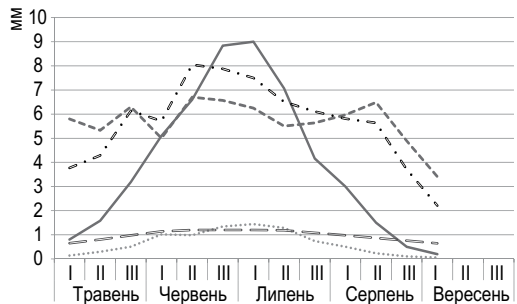


Рис. 1. Евапотранспірація та K_c кукурудзи у 2013 р.: — ЕТс, мм; --- ЕТо, мм; — K_c ; — — K_c (FAO); - · - · ЕТс (FAO), мм (для рис. 1–3)

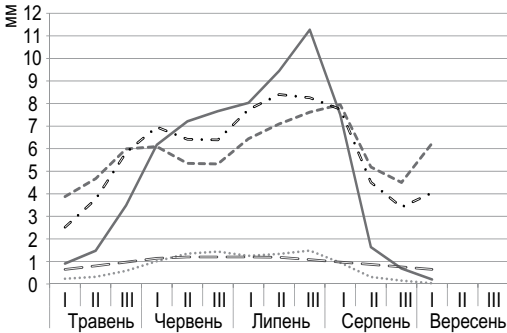


Рис. 2. Евапотранспірація та Кс кукурудзи у 2014 р.

перевищувало фактичний Кс. Упродовж травня та I–II декад червня Кс (FAO) відповідно був у 3,1 та 1,2 раза більшим за фактичне значення Кс. Від викидання волоті до молочної стиглості (критичний період щодо водоспоживання) Кс (FAO) був на 10% нижчим за фактичний Кс. У період дозрівання (від молочної до повної стиглості зерна) Кс (FAO) знову перевищував фактичне значення у 1,5 раза, а у I декаді вересня — в 11 разів.

За вегетаційний період кукурудзи (травень — вересень) у 2013 р. випало 138 мм опадів (середньопосушливий). За призначення поливів інструментальним методом було проведено 30 вегетаційних поливів зрошувальною нормою 4500 м³/га, сумарне водоспоживання становило 5949 м³/га. Нижче ЕТс (факт.) у 2013 р. (порівняно з 2014–2015 рр.) пов'язане з низьким температурним режимом і дощовою погодою в липні, коли ЕТ₀=5,79 мм/добу (у 2014–2015 рр. — 7,37–7,35 мм/добу). Призначення поливів за методом «Penman-Monteith» потребувало проведення 5-ти додаткових вегетаційних поливів, що збільшило зрошувальну норму та сумарне водоспоживання на 750 та 712 м³/га відповідно. Урожайність зерна (14% вологості)

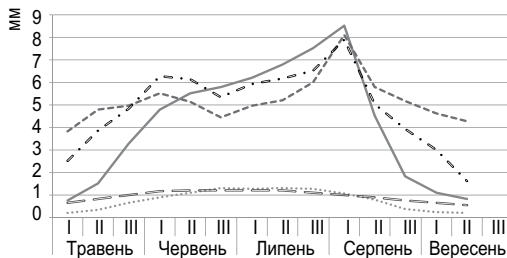


Рис. 3. Евапотранспірація та Кс кукурудзи у 2015 р.

за різних методів призначення строків поливу становила 16,8–17,1 т/га (за $HIP_{0.5 \text{ т/га}}=0,7 \text{ т/га}$).

За методом «Penman-Monteith» у 2014 р. від сходів до I декади червня та від I декади серпня до збирання сумарне середньодобове випаровування перевищувало фактичне відповідно на 20 та 30 м³/га (рис. 2). При цьому з II декади червня по III декаду липня, навпаки, знижувало середньодобове випаровування на 20 м³/га. Кс (FAO) на початковій та прикінцевій фазах розвитку культури перевищував фактичний відповідно на 65 та 85%, а в середині сезону, навпаки, був нижчим на 20%.

За вегетаційний період у 2014 р. випало 145,6 мм опадів (середньопосушливий). За призначення поливів інструментальним методом провели 38 вегетаційних поливів зрошувальною нормою 5700 м³/га, сумарне водоспоживання становило 7369 м³/га. Призначення поливів за методом «Penman-Monteith» потребувало проведення 4-х додаткових вегетаційних поливів, що збільшило зрошувальну норму та сумарне водоспоживання на 600 та 544 м³/га відповідно. Урожайність зерна за різних методів призначення строків поливу становила 17,1–17,5 т/га (за $HIP_{0.5 \text{ т/га}}=0,6 \text{ т/га}$).

За методом «Penman-Monteith» у 2015 р. від сходів до I декади червня та з II декади серпня до збирання сумарне середньодобове випаровування перевищувало фактичне на 20 м³/га (рис. 3). Водночас із II декади червня по I декаду липня, навпаки, знижувало середньодобове випаровування на 10 м³/га. Кс (FAO) на початковій та прикінцевій фазах розвитку культури перевищував фактичний відповідно на 75 та 80%, а в середині сезону, навпаки, був нижчим на 10%.

За вегетаційний період у 2015 р. випало 335,2 мм опадів (середньовологий). З призначенням поливів інструментальним методом

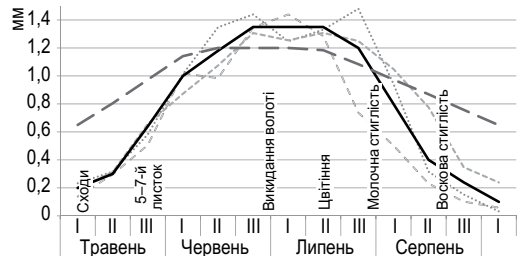


Рис. 4. Динаміка змін упродовж вегетації кукурудзи та співвідношення Кс (FAO) і Кс (пр.): - - - - Кс (2013); Кс (2014); - - - - Кс (2015); — — Кс (пр.); — — Кс (FAO)

1. Середньодекадні значення коефіцієнта Кс для кукурудзи

Травень			Червень			Липень			Серпень			Вересень
I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I
0,20	0,30	0,64	1,0	1,18	1,35	1,35	1,35	1,2	0,8	0,4	0,24	0,10

2. Коефіцієнт Кс для кукурудзи за умовними фазами розвитку

Умовна фаза розвитку рослин	Дата	Кс
Початкова	05 травня	0,20
Початок серединної	25 червня	1,35
Кінець серединної	25 липня	1,35
Прикінцева	05 вересня	0,10

провели 25 поливів зрошувальною нормою 3750 м³/га, а сумарне водоспоживання становило 7841 м³/га. Призначення поливів за методом «Penman-Monteith» потребувало проведення 7-ми додаткових поливів, що збільшило зрошувальну норму та сумарне водоспоживання на 1050 та 1035 м³/га відповідно. Урожайність сухого зерна за різних методів призначення строків поливу була 16,8–17,0 т/га (за НІР_{05 т/га}=0,8 т/га).

Отже, за 3 роки досліджень Кс-фактичний хоч і був дещо різним, проте його співвідношення до Кс (FAO) чітко корелює в часі, що дає можливість з метою подальших розрахунків середньодобового випаровування за методом «Penman-Monteith» прийняти

середнє значення Кс-прийнятий (Кс (пр.) (рис. 4). Констатуємо, що значення Кс (пр.) для культури кукурудзи в умовах Степу відрізняється від типового Кс (FAO). Так, на початковій стадії розвитку кукурудзи Кс (FAO) перевищує Кс (пр.) на 20–225%, що, як показують розрахунки, є наслідком переполіву в цей період близько 1000 м³/га. У середині сезону (II декада червня — III декада липня), коли в кукурудзи настає критичний період щодо водоспоживання, Кс (FAO), навпаки, є на 10–15% нижчим за Кс (пр.), що спричиняє дефіцит вологи в межах 400–500 м³/га. Від початку прикінцевої фази до збирання зерна Кс (FAO) знову перевищує Кс (пр.) на 20–215%, що спричиняє переполів 500–600 м³/га.

Для визначення ЕТс кукурудзи на зерно потрібні ЕТо, розраховані за методом «Penman-Monteith» (у програмі «ЕТо Calculator» або іншій) за окремий проміжок часу (добу чи декаду), помножити на відповідне середнє декадне значення коефіцієнта культури Кс (пр.) (табл. 1).

За використання програмного забезпечення CropWat [14], iMetos (додаток «Irrimet») зручно користуватися даними табл. 2.

Висновки

За результатами досліджень встановлено, що значення фактичного коефіцієнта культури Кс для кукурудзи на зерно в умовах краплинного зрошення Степу України відрізняється від типового Кс (FAO). На початковій та прикінцевій стадіях розвитку рослин кукурудзи Кс (FAO) завищує фактичне значення випаровування на 20–225%, а в середині сезону, навпаки — занижує на 10–15%.

Це призводить до переполіву на початку та наприкінці вегетації кукурудзи і дефіциту вологостасів у критичний період розвитку рослин. З урахуванням чіткої кореляції Кс (FAO) і Кс (пр.) для визначення фактичної евапотранспірації (ЕТс) рослин кукурудзи на зерно в умовах краплинного зрошення Степу України рекомендовано використовувати скориговані значення Кс (див. табл. 1, 2).

Бібліографія

- Алатьев А.М. Влагообороты в природе и их преобразования/А.М. Алпатьев. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 322 с.
- Алпатьев С.М. О поливных режимах сельскохозяйственных культур/С.М. Алпатьев//Орошаемое

земледелие в европейской части СССР. — М., 1965. — С. 185–190.

- Информационно-советующая система управления орошением; под ред. В.П. Остапчика. — К.: Урожай, 1989. — 248 с.

Бібліографія

4. *Розрахункові методи визначення сумарного випаровування і строків поливу сільськогосподарських культур*/Д.А. Штойко, В.А. Писаренко, О.С. Бичко, Л.І. Єлаженко//Зрошуване землеробство. — К.: Урожай, 1977. — Вип. 22. — С. 3–11.

5. *Иванов Н.Н.* Об определении величин испаряемости/Н.Н. Иванов//Известия ВГО. — 1954. — № 2, Т. 86. — С. 189–196.

6. *Penman H.L.* Evaporation. An Introductory Survey/H.L. Penman//Neth. J. Agr. Sci., 1956. — V. 4. — P. 9–29.

7. *Blaney H.F.* Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatologically and Irrigation Data/H.F. Blaney, W.D. Criddle//US Soil Cons. Serv. SCS-TR-96, 1950. — 48 p.

8. *Crop evapotranspiration — Guidelines for computing crop water requirements*/R.G. Allen, L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith//FAO Irrigation and drainage paper 56//Food and Agriculture Organization of the United Nations. — Rome, 1998.

9. *Blanson B.* Crop Coefficients/B. Hanson. — Davis, University of California, 2008. — 54 p.

10. *Allen R.G.* Penman-Monteith Evapotranspiration Calculations: Reference ET and Crop Coefficients/

R.G. Allen//Colorado Evapotranspiration Workshop March 12. — 2010. — 124 p.

11. *Utility of Penman-Monteith, Priestley-Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration*/D.M. Sumnera, Jennifer J.M.//J. of Hydrology. — 2005. — № 308. — P. 81–104.

12 *Estimation of Evapotranspiration ETc and Crop Coefficient Kc of Wheat, in south Nile Delta of Egypt Using integrated FAO-56 approach and remote sensing data*/ E. Farg, S.M. Arafat, M.S. Abd El-Wahed, A.M. El-Gindy// The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. — 2012. — № 15. — P. 83–89.

13. *Коковіхін С.В.* Перспективи використання методу Пенмана-Монтейта для встановлення евапотранспірації в умовах зрошення Півдня України/С.В. Коковіхін//Зрошуване землеробство. — 2010. Вип. 54. — С. 280–286.

14. *Коковіхін С.В.* Прогнозування водопотреби сільськогосподарських культур та формування графіків поливів з використанням програми «CropWat»/С.В. Коковіхін//Зрошуване землеробство. — 2011. — Вип. 55. — С. 298–303.

Надійшла 1.03.2015.

ОГОЛОШЕННЯ

Національна академія аграрних наук України

оголошує конкурс на зайняття посади директора Асканійської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України (Херсонська обл., Каховський р-н, с. Тавричанка, вул. 40-річчя Перемоги)

У конкурсі можуть брати участь громадяни України, які вільно володіють українською мовою, мають науковий ступінь доктора наук або доктора філософії (кандидата наук), стаж роботи за фахом не менше 10-ти років, наукової або науково-організаційної роботи не менше 5-ти років.

Строк подання заяв — 2 міс. з дня опублікування оголошення Академією.

Особи, які бажають взяти участь у конкурсі, мають подати такі документи:

- заяву;
- особовий листок з обліку кадрів з фотокарткою;
- автобіографію;
- копії документів про вищу освіту, наукові ступені та вчені звання;
- перелік наукових здобутків;
- довідку про наявність або відсутність судимості;
- витяг з Єдиного державного реєстру осіб, які вчинили корупційні правопорушення;
- копію паспорта, засвідчену претендентом;
- копію трудової книжки;
- письмову згоду на збір та обробку персональних даних.

Копії документів, подані претендентом (крім копії паспорта), мають бути засвідчені за місцем роботи претендента або нотаріально. Відповідальність за недостовірність документів несе претендент.

Документи надсилати на адресу:

м. Київ-010, вул. Суворова, 9, Національна академія аграрних наук України.

У разі неподання повного пакета документів претендент не допускатиметься до участі у конкурсі.

Телефон для довідок: **(044) 521-92-91.**