

УДК 631.675.4:631.674.6:633.63(477.7)
© 2017

А.П. ШАТКОВСЬКИЙ,
доктор сільськогосподарських наук

О.В. ЖУРАВЛІОВ,
кандидат сільськогосподарських наук

Інститут водних проблем і меліорації
НААН України
E-mail: andriy-1804@ukr.net
вул. Васильківська, 37, м. Київ

ДІАГНОСТИКА ПОЛИВІВ
БУРЯКУ ЦУКРОВОГО
ЗА МЕТОДОМ
“PENMAN-MONTEITH” В УМОВАХ
КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ
СТЕПУ УКРАЇНИ

На основі використання інтернет-метеостанції iMetos® та станції вологості ґрунту iMetos®SM/ECHO/TNS/ECOD2 визначено еталонне ETo, розрахункове і фактичне значення сумарного водоспоживання ETc буряку цукрового. Проведено корегування коефіцієнта культури Kc за фазами розвитку рослин з використанням відхилень від стандартних умов. Встановлено, що значення фактичного коефіцієнта культури Kc для умов краплинного зрошення Степу України відрізняються від типових Kc-FAO: на початку та в кінці вегетації буряку цукрового Kc-FAO завищує фактичне значення ETc відповідно на 22–35 та 57–70 %, а в середині вегетації, навпаки – занижує на 8–10 %. Враховуючи чітку кореляцію Kc-FAO і Kc (факт.) для визначення фактичної ETc рослин буряку цукрового рекомендовано використовувати скореговані значення Kc (пр.).

Ключові слова: сумарне водоспоживання, коефіцієнт культури, зрошувальна норма, краплинне зрошення, метод “Penman-Monteith”, буряк цукровий.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні вирощуванням буряку цукрового на зрошенні займається обмежена кількість суб'єктів господарювання на загальній площі до 5 тис. га [1]. Поряд з цим, як показують дослідження, проведені в Білоцерківському національному аграрному університеті [2], на сьогодні навіть у зоні нестійкого зволоження лімітуючим чинником продуктивності рослин буряку є вологозабезпечення. Відомо багато заходів, які спрямовані на мінімізацію негативного впливу посух, проте найефективнішими є зрошення. Серед поширених способів поливу (поверхневе, дощування), з точки зору питомих витрат на формування одиниці врожаю, є краплинне зрошення.

Перші дослідження в колишньому СРСР з питань розробки технології поверхневого краплинного зрошення буряку цукрового було проведено в Одеській області

В.В. Ізюмовим та П.А. Морозом у 1975–1978 рр. [3]. В останні роки різним аспектам вирощування буряку цукрового в умовах краплинного зрошення присвячено праці Н.Г. Гізбулліна, В.М. Бутова, Г.П. Опанасенка, П.В. Писаренка, В.Г. Пілярського, Р. Торак, J. Held [4–9]. Однак, для умов краплинного зрошення не досліджено діагностику поливів з використанням розрахункового методу “Penman-Monteith”, який рекомендовано FAO як стандарт для визначення еталонного водоспоживання.

Метод “Penman-Monteith” базується на рівнянні енергетичного балансу поверхні ґрунту, а залежність ETc від ETo відображає коефіцієнт культури Kc, який характеризує відмінності між сільськогосподарською культурою та еталонною газонною травою [10–12]. Значення Kc є типовими величинами, очікуваними для середнього Kc в стандартних кліматичних умовах, які визначено

як субгумідний клімат за середньодобової мінімальної вологості повітря $RH_{min} \approx 45\%$ та середньої швидкості вітру 2 м/с. Посушливіший клімат та вища швидкість вітру обумовлюють збільшення значень K_c [10, 13, 14]. Кліматичні умови Степу Сухого ($RH_{min} \approx 3\%$, $v \approx 3$ м/с) відрізняються від типів ФАО, тому для практичного використання методу "Penman-Monteith" необхідно корегування K_c з урахуванням відхилень від стандартних умов [15].

Мета дослідження полягала в установленні особливостей та адаптації розрахункового методу визначення водоспоживання "Penman-Monteith" до умов краплинного зрошення Степу України (на прикладі буряку цукрового).

Матеріали, методи та схема досліджень. Польові експерименти проведено на землях ДП "ДГ "Брилівське" ІВПіМ НААН (Олешківський район Херсонської області). Ґрунт – темно-каштановий залишково-солонцюватий легкосуглинковий. Досліди проводили у 2013–2015 рр. з буряком цукровим гібрида компанії "KWS SAAT AG" Светлана KBC^{Rz} тип NZ. Для фіксування метеопараметрів використано інтернет-метеостанцію iMetos®, ETo визначали за допомогою програми StopWat 8.0. Фактичне сумарне випаровування E_{Tc} визначали за допомогою інтернет-станції вологості ґрунту iMetos®SM/ECHO/TNS/ECOD2, яку обладнано 20 сенсорами вологості ґрунту типу Echo Probe (EC-5), встановлених на різних глибинах ґрунтового профілю і відстані від точки водоподачі.

Коефіцієнт культури K_c (пр.) розраховували як відношення фактичного водоспоживання E_{Tc} до еталонного сумарного водоспоживання ETo :

$$K_c(np.) = \frac{E_{Tc}}{ETo}, (1)$$

де E_{Tc} – фактичне сумарне водоспоживання, мм;
 ETo – еталонне сумарне водоспоживання, мм.

Оскільки коефіцієнт культури K_c фактично залежить від фази розвитку рослин, то вегетаційний період буряку цукрового було розділено на три умовні частини: початкову (I), серединну (II) та кінцеву (III).

Схема польового дослідження складалась із двох варіантів призначення вегетаційних поливів:

1) за розрахунковим методом "Penman-Monteith" – черговий полив за сумарного E_{Tc} , 17 мм;

2) за допомогою інтернет-станції вологості ґрунту (СВГ) iMetos®SM/ECHO/TNS/ECOD2 – черговий полив за зниження вологості в шарі ґрунту 0–50 см до 22,4 % від об'ємної вологості ґрунту (80 % від НВ), норма поливу становила 17 мм (контроль).

Результати досліджень та їх обговорення. На першому етапі для коректної роботи датчиків вологості ґрунту Echo Probe (EC-5) провели їх тарування (калібрування) та експериментально встановили залежність показників сенсору від об'ємної вологості ґрунту $Ps = f(W)$, яка має вигляд

$$Y = 8,7e^{0,035x},$$

де Y – об'ємна вологість ґрунту, %;

x – показник вихідного сигналу датчика Echo Probe (EC-5), %;

1. Кількість вегетаційних поливів буряку цукрового за фазами розвитку залежно від методу призначення строків поливу по роках

Фаза розвитку рослин	Kc – ФАО				Контроль – СВГ			
	2013	2014	2015	C*	2013	2014	2015	C*
До сходів культури	1	0	0	0	1	0	0	0
Сходи–змикання листків	14	11	6	10	12	8	4	8
Змикання листків–пожовтіння нижнього листка	19	22	18	20	20	24	19	21
Пожовтіння нижнього листка–збирання	4	6	5	5	1	2	2	2
Всього:	38	39	29	35	34	34	25	31

*Тут і далі: C – середнє значення за 2013–2015 рр.

2. Баланс сумарного водоспоживання за вегетаційний період рослин буряку цукрового залежно від методу призначення строків поливу, мм

Варіант досліджу	Рік	Зрошувальна норма	Опади (>5 мм)	Запаси ґрунтової вологи	Сумарне водоспоживання ЕТс
Кс – FAO	2013	646	159,2	33	838,2
	2014	663	187,4	30	880,4
	2015	493	354,4	15	862,4
	С*	612	233,7	26	871,7
Контроль – СВГ	2013	578	159,2	13	750,2
	2014	578	187,4	12	777,4
	2015	425	354,4	8	787,4
	С*	544	233,7	11	788,7

e – основа натурального логарифма ($e \approx 2,7183$).

Методом "Penman-Monteith" у середньому було проведено на 4 поливи, а у 2014 р. – на 5 поливів більше, ніж у контролі. До моменту сходів рослин буряку цукрового за обох варіантів досліджу по одному поливу проведено тільки у 2013 р. Від сходів до змикання листків та від пожовтіння нижнього листка до збирання за методом "Penman-Monteith", залежно від метеоумов, було проведено на 2–4 поливів більше, ніж у контролі. Того ж часу у фазу змикання листків-пожовтіння нижнього листка, навпаки, в контролі провели на 1–2 поливи більше (табл. 1).

Сумарне водоспоживання рослин у варіанті 1 було на 75–103 мм вищим, ніж у контролі, що пояснюється більш інтенсивним режимом зрошення. Зрошувальна норма в разі призначення поливів за "Penman-Monteith" становила 612 мм, що на 68 мм більше відносно контролю (табл. 2).

Підкреслимо, що режим зрошення вплинув на врожайність та цукристість корене-

плодів буряку цукрового. Так, у 2013–2014 роках урожайність коренеплодів варіанта 1 була відповідно на 9,9 та 18,7 т/га нижче контрольних показників, проте ці величини знаходилися в межах статистичної похибки польового досліджу. Натомість, у 2015 р. у варіанті з призначенням поливів за методом "Penman-Monteith" врожайність отримано вищу на 10,2 т/га, ніж у контролі.

Що стосується цукристості, то у варіанті 1 цей показник був нижчим на 1,2–1,5 %, але знову ж таки констатуємо, що ця різниця знаходилася в межах похибки досліджу (табл. 3).

У цілому простежуємо тенденцію зниження показників урожайності та цукристості коренеплодів буряку цукрового за призначення поливів методом "Penman-Monteith" зі застосуванням стандартних (типових) коефіцієнтів культури Кс-FAO. Тому для коректного використання цього методу необхідно на практиці уточнювати Кс у конкретних умовах.

Нами встановлено, що застосування стандартних коефіцієнтів культури Кс-FAO

3. Вплив методу призначення строків поливу на врожайність та цукристість коренеплодів буряку цукрового

Рік досліджень	Урожайність, т/га			Цукристість, %		
	Кс-FAO	К-СВГ	НІР ₀₅	Кс-FAO	К-СВГ	НІР ₀₅
2013	94,3	104,2	18,3	15,2	16,7	2,3
2014	83,4	102,1	21,1	16,1	17,3	1,7
2015	120,5	110,3	15,3	15,1	16,5	2,0
Середнє	99,4	105,5	–	15,5	16,8	–

**СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ЕКОЛОГІЯ.
РОСЛИННИЦТВО. ЗЕМЛЕРОБСТВО.
СЕЛЕКЦІЯ**

*Діагностика поливів буряку цукрового
за методом "Penman-Monteith"
в умовах краплинного зрошення Степу України*

в I і III частинах вегетації рослин буряку цукрового штучно завищує сумарне водоспоживання. Так, залежно від фази розвитку рослин та погодних умов року досліджень, E_{Tc} , розраховане методом "Penman-Monteith", перевищувало фактичне E_{Tc} від-

повідно на 5–57 % та 9–90 %. У II частині вегетації (змикання листків–пожовтіння нижнього листка), у період найбільш інтенсивного росту рослин, метод "Penman-Monteith" занижував фактичне E_{Tc} на 8–14 % (рис. 1).

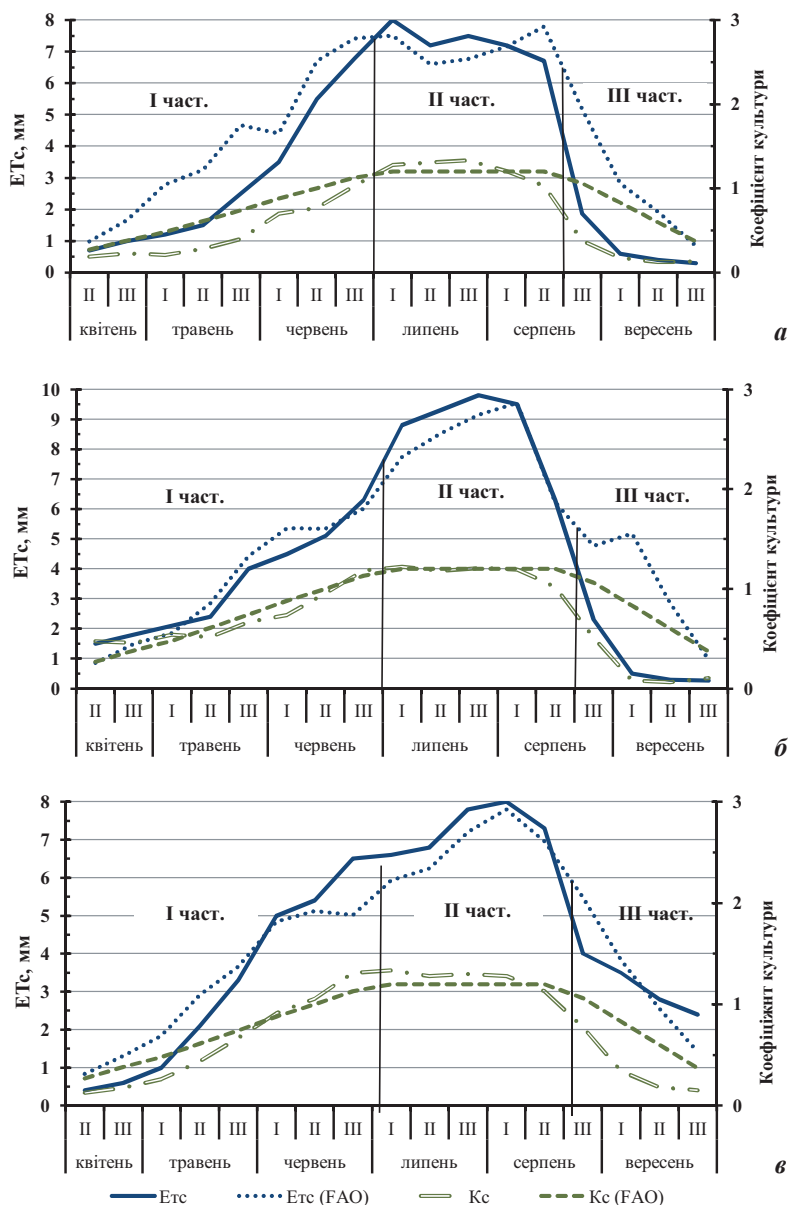


Рис. 1. E_{Tc} та K_c буряку цукрового залежно від методу призначення строків поливу за краплинного зрошення: а – 2013 рік; б – 2014 рік; в – 2015 рік

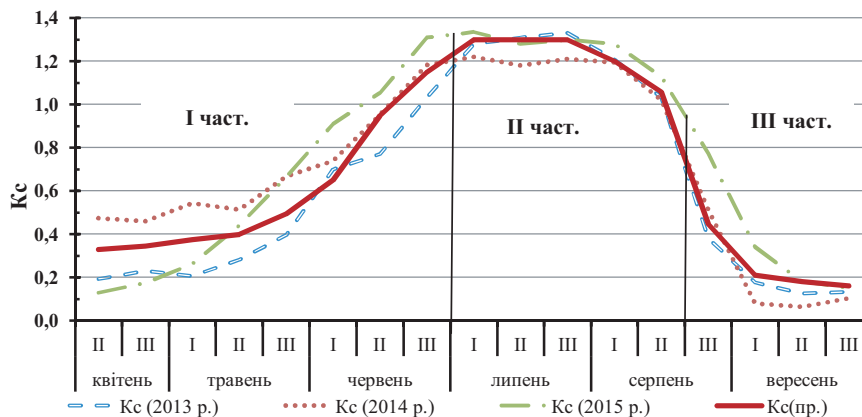


Рис. 2. Значення фактичних коефіцієнтів культури K_c буряку цукрового протягом вегетаційного періоду

Розрахований коефіцієнт культури K_c (факт.) відрізнявся від типового FAO; тут спостерігаємо тенденцію завищення K_c -FAO в I та III частинах вегетації й зниження в середині вегетації. Залежно від метеоумов року досліджень та фази розвитку рослин, на початку та в кінці вегетації K_c -FAO в 1,1–2,3 та 2,1–10,4 раза відповідно був вищим, а в середині вегетації, навпаки, в 1,1–1,2 раза був нижчим за коефіцієнт культури.

За роки досліджень фактичне K_c чітко корелювало у часі до K_c -FAO, що дозволи-

ло, з метою подальших розрахунків середньодобового водоспоживання за методом "Penman-Monteith", прийняти середнє значення K_c (пр.) – рис. 2.

Закономірно, що прийнятий коефіцієнт культури K_c (пр.) відрізняється від типового K_c -FAO. Так, у I частині вегетації буряку цукрового та від початку III частини фази і до збирання K_c -FAO перевищує K_c (пр.) відповідно на 22–35 та 57–70 %. У II частині вегетації значення K_c -FAO 8–10 % було нижчим за K_c (пр.) – рис. 3.

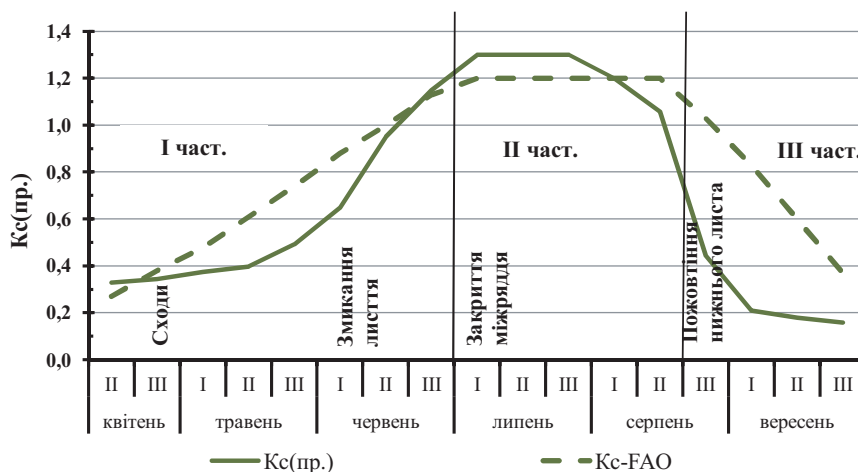


Рис. 3. Параметри K_c -FAO і K_c (пр.) для буряку цукрового протягом вегетаційного періоду (середнє за 2013–2015 рр.)

4. Середньодакдані значення коефіцієнта культури K_c (пр.) буряку цукрового для умов краплинного зрошення Степу України

Квітень			Травень			Червень			Липень			Серпень			Вересень		
II	III		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0,33	0,34		0,37	0,40	0,49	0,65	0,95	1,15	1,30	1,30	1,30	1,20	1,06	0,45	0,21	0,18	0,16

Для практичного використання розрахункового методу "Penman-Monteith" та ви-

5. Коефіцієнт K_c (пр.) буряку цукрового за умовними фазами розвитку

Умовна фаза розвитку рослин	Дата	K_c (пр.)
Початкова	25 квітня	0,34
Початок серединної	01 липня	1,30
Кінець серединної	10 серпня	1,25
Прикінцева	10 вересня	0,25

значення фактичного сумарного водоспоживання E_{Tc} рослин буряку цукрового в умовах краплинного зрошення Степу України необхідно E_{T0} , розраховане в програмі "ETo Calculator" [16] або іншій за декаду, помножити на відповідне середнє декадне значення встановленого (прийнятого) коефіцієнта культури K_c (пр.) – табл. 4.

Застосовуючи програмне забезпечення CropWat [17] для iMetos (додаток "Irrimet"), можна зручно користуватися даними табл. 5.

Висновки

Значення фактичного коефіцієнта культури K_c (факт.) для буряку цукрового в умовах Степу України відрізняється від типового K_c -FAO. У I та II частинах вегетаційного періоду рослин K_c -FAO завищує значення E_{Tc} відповідно на 22–35 та 57–70 %, натомість у II частині вегетації, навпаки, – занижує на 8–10 %. Призначення вегетаційних поливів з використанням типового K_c -FAO спричиняє

проведення додаткових 2–3 поливів на початку та в кінці вегетації та дефіцит вологозапасів ґрунту в критичний період розвитку.

Враховуючи чітку кореляцію K_c -FAO і K_c (факт.) для визначення фактичного сумарного водоспоживання E_{Tc} рослин буряку цукрового в умовах краплинного зрошення Степу України, доречно використовувати скореговані значення K_c (пр.).

Бібліографія

1. Шатковський А.П. Состояние и перспективы орошения свеклы сахарной в Украине / А.П. Шатковський, И.Н. Свидинок // *Зерно*. – 2016. – № 2. – С. 54–56.
2. Карпук Л.М. Біологічні та технологічні основи інтенсифікації виробництва буряків цукрових у Правобережному Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора с.-г. наук: спец. 06.01.09 – рослинництво / Л.М. Карпук. – К., 2015. – 44 с.
3. Мороз П.А. Исследование капельного орошения полевых культур на Юге Украины: автореф. дис. на соиск. ученой степени канд. с.-х. наук: спец. 06.01.02 – мелиорация и орошаемое земледелие / П.А. Мороз. – К., 1981. – 22 с.
4. Краплинному зрошенню в буряківництві наука говорить "Так!" / Н.Г. Гізбулін, Л.С. Андрєєва, В.А. Доронін, І.А. Моргул // *Цукрові буряки*. – 2014. – № 6(102). – С. 6–8.
5. Бутов В.М. Вплив мінеральних добрив та способів їх внесення на продуктивність цукрових буряків в умовах краплинного зрошення / В.М. Бутов, Н.І. Коцюрубенко, В.М. Оглобліна // *Наукові праці ІБКІЦБ: зб. наук. праць*. – К., 2013. – Вип. 19. – С. 15–19.
6. Опанасенко Г.П. Продуктивність свекловичних посевов при капельном орошении / Г.П. Опанасенко // *Сахарная свекла*. – 2011. – № 4. – С. 20–22.

7. Писаренко П.В. Продуктивність рослин буряку цукрового залежно від гібридного складу в умовах зрошення Півдня України / П.В. Писаренко, В.Г. Пілярський // Зрошуваче землеробство: міжвідомч. темат. наук. збірник. – Херсон: Гринь Д.С., 2012. – Вип. 57. – С. 31–35.
8. Ramazan Topak. Effect of different drip irrigation regimes on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield, quality and water use efficiency in Middle Anatolian, Turkey / Ramazan Topak, Sinan Süheri, Bilal Acar // Irrigation Science. – 01/2010; 29(1):79–89. doi: 10.1007/s00271-010-0219-3.
9. Agro-economic Analyses of Drip Irrigation for Sugarbeet Production / Florence Cassel Sharmasarkar, Shankar Sharmasarkar, Larry J. Held, Stephen, D. Mille, George F. Vance, Renduo Zhang // Agronomy Journal. – Vol. 93, № 3, p. 517–523, Received: Jan 28, 1999.
10. 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.
11. Blaine Hanson. Crop Coefficients. – Davis, University of California, 2008. – 54 p.
12. Richard G. Allen. Penman-Monteith Evapotranspiration Calculations: Reference ET and Crop Coefficients / Richard G. Allen // Colorado Evapotranspiration Workshop March 12. – 2010. – 124 p.
13. David M. Sumnera. Utility of Penman-Monteith, Priestley-Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration / David M. Sumnera, Jennifer M. Jacobs // Journal of Hydrology. – 2005. – № 308. – P. 81–104.
14. 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.
15. Коковіхін С.В. Перспективи використання методу Пенмана-Монтейта для встановлення евапотранспірації в умовах зрошення Півдня України / С.В. Коковіхін // Зрошуваче землеробство. – 2010. – Вип. 54. – С. 280–286.
16. Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://edis.ifas.edu/ae459>.
17. Коковіхін С.В. Прогнозування водопотреби сільськогосподарських культур та формування графіків поливів з використанням програми "CropWat" / С.В. Коковіхін // Зрошуваче землеробство. – 2011. – Вип. 55. – С. 298–303.

Рецензенти – доктори сільськогосподарських наук,
професори **Ю.О. Тараріко, О.О. Якунін**