

**РЕСУРСООЩАДНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ
ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР
НА ОСУШУВАНИХ ЗЕМЛЯХ**

М.В. ЯЦИК, Г.В. ВОРОПАЙ

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Запропоновано ресурсоощадну технологію управління вологозабезпеченням сільськогосподарських культур на осушуваних землях. Наведено результати її апробації на дослідно-виробничій ділянці меліоративної системи «Іква» в Рівненській області. Визначено величину економії води в період апробації цієї технології, яка досягається шляхом цілеспрямованого створення акумулюючих ємностей у кореневому шарі ґрунту.

Ключові слова: меліоративна система, осушувані ґрунти, норма осушування, рівень ґрунтових вод, технологія регулювання водного режиму, підґрунтове зволоження, сумарне водоспоживання, кореневий шар ґрунту

Проблема та її актуальність. Головним напрямом сучасної аграрної політики є забезпечення сталого сільськогосподарського виробництва, послаблення його залежності від несприятливих природно-кліматичних умов. Вирішення цієї проблеми в гумідній зоні України може бути забезпечено за умови ефективного використання потенціалу меліорованих земель.

Як свідчить практика експлуатації меліоративних систем гумідної зони, внаслідок ряду чинників не завжди забезпечуються необхідні умови для вирощування сільськогосподарських культур. Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є розробка та запровадження технологій водорегулювання, які враховують складний комплекс природних умов гумідної зони з нестійким природним зволоженням та необхідність своєчасної, у повному обсязі, подачі води на зволоження в посушливі періоди.

Аналіз існуючих технологій регулювання водного режиму на осушуваних землях показав, що вони недостатньо ефективні і потребують подальшого вдосконалення, в т.ч. в частині підвищення вологозабезпеченості сільськогосподарських культур.

© М.В. Яцик, Г.В. Воропай, 2014

У зв'язку з цим, актуальною є розробка технологій управління вологозабезпеченням сільськогосподарських культур, які здатні підвищити ефективність, екологічну збалансованість регулювання водного режиму та в сучасних умовах зростаючого дефіциту водних та енергетичних ресурсів дають можливість оптимально забезпечити вологою вирощувані культури впродовж вегетаційного періоду.

Основною **метою досліджень** є розробка технології управління вологозабезпеченням сільськогосподарських культур, яка враховує особливості використання вологи вирощуваними культурами, дає можливість обґрунтувати режими водорегулювання та одночасно акумулювати додаткові запаси вологи в зоні аерації.

Для досягнення поставленої мети розроблено ресурсоощадну технологію управління вологозабезпеченням сільськогосподарських культур, яка поєднує в собі окремі функціональні елементи попереджувального, неперервного і циклічного шлюзування. В основу цієї технології покладено алгоритм ресурсоощадного регулювання.

Методика розрахунку меліоративних режимів. При заданій вологості в зоні максимального поглинання вологи коренями вирощуваних сільськогосподарських культур на відповідну декаду вегетаційного періоду оптимальний рівень ґрунтових вод (РГВ) визначається на основі розв'язання оптимізаційної задачі стаціонарного вологозабезпечення [1].

Основними технологічними параметрами, необхідними для реалізації алгоритму управління вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур, є час переведення регульовальної мережі на той чи інший режим, тривалість перехідного процесу і його просторово-часові характеристики.

Для розрахунку ресурсоощадних режимів водорегулювання розроблено інформаційне забезпечення, яке формується з нормативно-довідкової та оперативної інформації. Перші три блоки (метеорологічний, ґрунтовий, біологічний) формуються за існуючими довідковими даними і, в разі необхідності, доповнюються польовими визначеннями.

Для визначення фільтраційних та гідрофізичних характеристик осушуваних ґрунтів використано проектні та довідкові дані досліджень цього напрямку. Для конкретних умов дослідної ділянки вихідні дані доповнено власними польовими та лабораторними визначеннями.

Оперативна інформація, до якої належить інформація про поточні параметри (РГВ і вологість ґрунту), параметри росту рослин і поточні

метеорологічні параметри для визначення сумарного випаровування, сформована безпосередньо за результатами вимірювань на меліорованому полі та за даними найближчої метеостанції.

Результати досліджень. Дослідження питань управління вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур на осушуваних землях та апробації технології ресурсощадного управління проведено у виробничих умовах на польдерній системі «Іква».

Дослідно-виробнича ділянка, де вирощувалася кукурудза на силос, має площу 28 га. Внутрішньогосподарська регулювальна мережа представлена закритим гончарним дренажем з глибиною закладання дрен 0,9–1,2 м. Розрахункова схема представлена двошаровою будовою зони аерації з верхнім шаром торфу малої потужності (0,3 м), добре розкладеним з об'ємною масою 0,60–0,65 т/м³, який переходить в середньорозкладений торф з об'ємною масою 0,175 т/м³ (табл. 1, 2).

1. Основні водно-фізичні характеристики ґрунтів зони аерації і середні виміряні значення вологості на дослідно-виробничій ділянці (польдерна система «Іква», Рівненська обл.)

РГВ	Шар відбору проб	Об'ємна маса, т/м ³		Вологоємність, в частках об'єму ґрунту				Вологість, в частках об'єму ґрунту
		середня за 5-ма вимірами	середня в шарі	ПВ		НВ		
				в 0,1-метровому шарі	середня в шарі	в 0,1-метровому шарі	середня в шарі	
1,15	0-0,1	0,644	0,638	0,741	0,740	0,511	0,504	0,542
	0,1-0,2	0,640		0,736		0,502		0,549
	0,2-0,3	0,630		0,743		0,499		0,511
	0,3-0,4	0,237	0,175	0,853	0,894	0,734	0,728	0,689
	0,4-0,5	0,192		0,902		0,699		0,751
	0,5-0,6	0,169		0,901		0,740		0,784
	0,6-0,7	0,176		0,901		0,756		0,788
	0,7-0,8	0,125		0,910		0,738		0,786
	0,8-0,9	0,161		0,897		0,719		0,826
	0,9-1,0	1,162		0,897		0,741		0,832
	1,0-1,1	0,175		0,894		0,728		0,858
1,1-1,2	0,175	0,894	0,728	0,888				

Період проведення апробації припадає на проміжок часу: 2-га декада червня – кінець 3-ї декади липня. Для вирощуваної культури, кукурудзи на силос, критичний період щодо вологозабезпечення припадає на період з 23 червня по 23 липня (фаза: викидання волоті – 10 діб до та 20 діб після викидання волоті). На цей період необхідно забезпечити оптимальну вологість у кореновому шарі ґрунту.

Допустимий діапазон вологості ґрунту в інші періоди вегетації (поза межами критичного) приймаємо більш широким: верхня межа для мінералізованого торфу в шарі 0–0,3 м становить $0,7 \text{ ПВ} = 0,7 \times 74\% = 51,8\%$, а нижня – відповідає найменшому допустимому РГВ у літній період (вологості в'янення) – 1,0 м.

На критичний за вологозабезпеченням період оптимальний РГВ визначаємо за методикою розрахунку режимів водорегулювання і приймаємо необхідний діапазон вологості в межах (60–70)% ПВ, тобто 44,4–51,8%.

Після критичного періоду верхня межа вологості відповідає попередній, а нижню межу, з урахуванням росту кореневої системи, збільшуємо до глибини 1,1 м (вологість в'янення).

2. Характеристика дослідно-виробничої ділянки

№	Найменування	Характеристики
1	Спосіб регулювання водно-повітряного режиму	закритий гончарний дренаж
2	Вирощувана культура	кукурудза на силос
3	Відстань між дренами, м	16,0
4	Глибина закладення дрена, м	0,9–1,2
5	Кількість шарів до водоупору	2
6	Характеристики ґрунту зони аерації: а) верхній шар - тип ґрунту - коефіцієнт фільтрації, м/добу - потужність, м б) нижній шар - тип ґрунту - коефіцієнт фільтрації, м/добу - потужність, м	торф добре розкладений мінералізований 0,1–0,3 0,30 торф 0,45–0,6 5–5,5
7	Відстань до водоупору, м	5,5

Для формування метеорологічного блоку використовуємо середньо-багаторічні дані за атмосферними опадами, дефіцитом і температурою повітря в декадному розподілі та їх поточні середньодобові значення для вегетаційного періоду 2013 р. по метеостанції м. Дубно (рис. 1 а, б, в).

Для розрахунку величини сумарного випаровування за біокліматичним методом знаходимо значення зональних параметрів A, B з урахуванням розташування метеостанції м. Дубно. Приймаємо середнє значення між параметрами для Львівської (м. Броди) та Рівненської (м. Сарни) областей, яке становить: $A = 1,42$; $B = 0,023$. Враховуючи, що метеостанція м. Дубно розташована в заплаві р. Іква, коефіцієнт переходу для дефіциту вологості повітря від суходолу до заплави становить 1.

Визначаємо величини сумарного випаровування для кукурудзи на період проведення апробації за такою залежністю [2]:

$$E_i = k_{d(E_o)} A d_i^{B t_i} T_i, \quad (1)$$

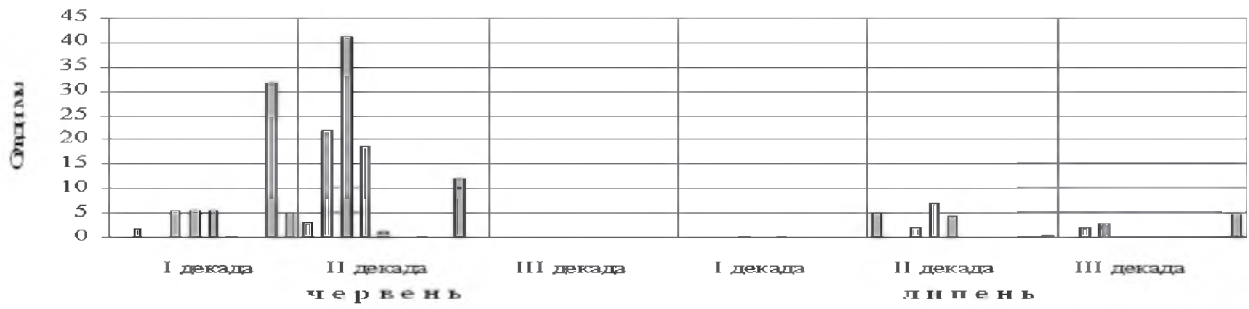
де $k_{d(E_o)}$ – біокліматичні коефіцієнти для конкретної культури « i »-го

розрахункового періоду; A, B – зональні параметри; d_i – середньодобові значення дефіциту вологості повітря за розрахунковий період, мб; t_i – середньодобова температура повітря за розрахунковий період, °C; T_i – тривалість розрахункового періоду, діб.

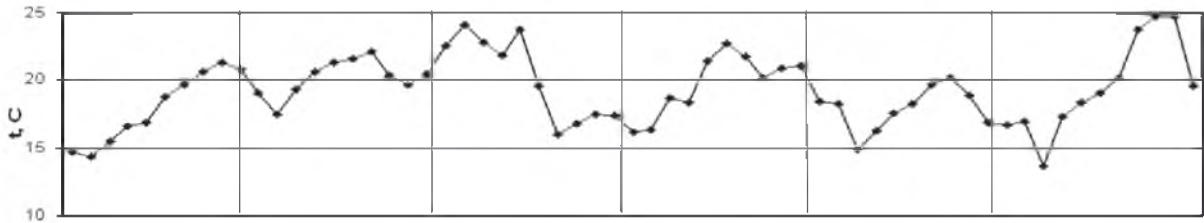
Результати розрахунків наведені в табл. 3 та представлені на рис. 1.

3. Сумарне випаровування кукурудзи на силос (червень – липень 2013 р.)

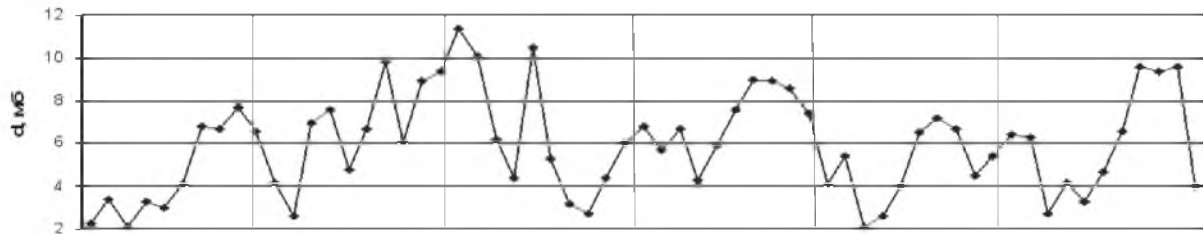
Місяць	Декада	Температура повітря, °C	Дефіцит вологості повітря, мб	Кукурудза на силос	
				біокліматичні коефіцієнти, k_o	Сумарне випаровування, E , мм/добу
червень	1	19,2	5,5	0,47	1,25
	2	20,2	6,7	0,52	1,79
	3	20,3	6,4	0,62	2,34
липень	1	19,8	7,1	0,74	2,56
	2	18,0	4,9	0,90	2,46
	3	19,6	6,1	0,85	2,72



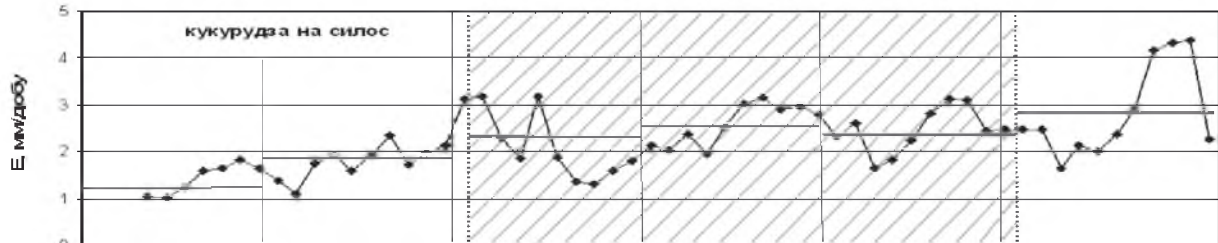
а)



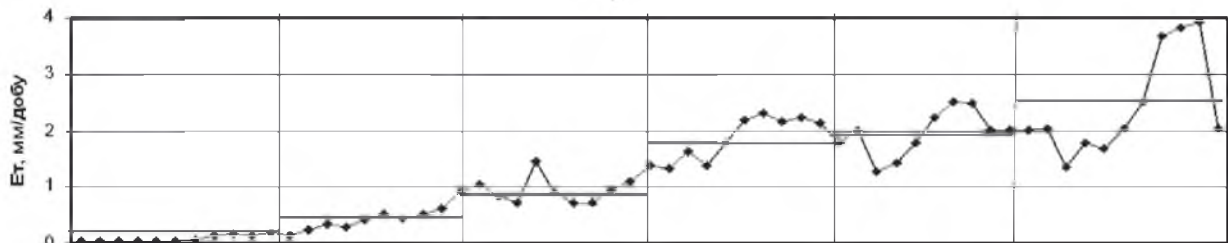
б)



в)



г)



д)

Рис. 1. Динаміка атмосферних опадів (а); середньодобових значень температури t , °C (б); дефіциту вологості повітря d , мб (в); сумарного випаровування E_i , мм/добу (г); транспірації E_T , мм/добу (д), вегетаційний період 2013 р. (польдерна система «Іква», Рівненська обл.)

Окрім того, на критичний за вологозабезпеченням період визначаємо величину сумарного випаровування ($E_p = 2,39$ мм/добу).

Величини листкового індексу кукурудзи, необхідні для визначення величини транспірації та особливостей водоспоживання по глибині кореневого шару ґрунту, розраховуємо згідно з залежністю [3,4]:

$$\omega_L = a \cdot h_n^n, \quad (2)$$

де h_n – висота, м; параметри « a » і « n » визначаються експериментально (величину коефіцієнта « a » для кукурудзи приймаємо 1,7, значення « n » становить 1,5).

Отримані величини листкового індексу на різні періоди вегетації кукурудзи на дослідно-виробничій ділянці наведені в табл. 4, динаміка листкового індексу в період апробації представлена на рис. 2. Середні декадні значення листкового індексу визначаємо інтерполяцією експериментальних значень на середину кожної декади.

4. Величини листкового індексу кукурудзи на силос (ω_L) на дослідній ділянці протягом вегетаційного періоду 2013 р.

Дата вимірів	Листковий індекс, ω_L	Дата вимірів	Листковий індекс, ω_L
1.06	0,1	23.07	3,4
9.06	0,2	2.08	4,6
22.06	0,8	11.08	5,2
3.07	2,3	21.08	5,7
11.07	2,9	31.08	5,9

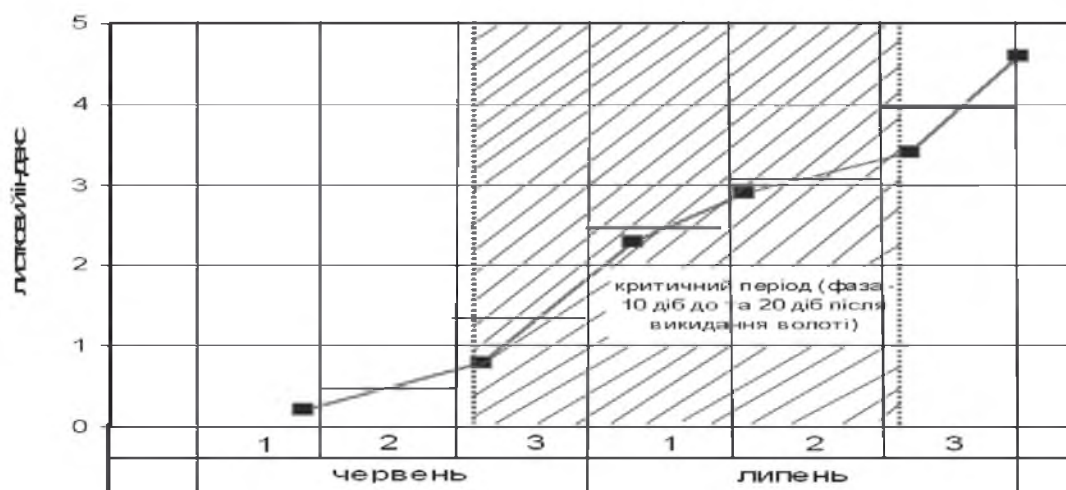


Рис. 2. Динаміка листкового індексу на дослідній ділянці (польдерна система «Іква», вегетаційний період 2013 р., кукурудза на силос)

Необхідні величини транспірації на кожен декаду та на весь критичний період розраховуємо згідно із залежністю:

$$E_T = E [1 - \exp(-K_L \omega_L)] , \quad (3)$$

Для кукурудзи коефіцієнт K_L становить 0,51.

Динаміка добових величин транспірації (E_T) представлена на рис. 1д.

Потужність кореневої системи визначаємо за формулою:

$$m_r^{(t)} = \alpha \bar{a}^{(i)} + \beta \bar{t} + m_r^{(0)} , \quad (4)$$

де $\alpha = m_r^{(0)} - m_r^{(k)}$, $m_r^{(0)}, m_r^{(k)}$ – відповідно початкова і кінцева потужності кореневої системи протягом вегетаційного періоду тривалістю T_c , діб; $\beta = -2\alpha$, $\bar{t} = \frac{t}{T_c}$, t – час від початку вегетаційного періоду.

При цьому враховуємо, що моменту початку сівби кукурудзи ($t = 0$) відповідає фактична дата 24.04.2013 р., а закінченню вегетаційного періоду T_c – дата 30.08.2013 р. (укіс кукурудзи). Таким чином, тривалість вегетаційного періоду складає 128 діб. Понад 70% потужності кореневої системи сформовано вже на кінець червня (за розрахунками це складає 0,38 м, що достатньо близько до фактичної величини 0,35–0,40 м).

На кінець липня фактична потужність кореневої системи кукурудзи становила 0,45 м, а розрахункова – 0,53 м.

Для визначення гідрофізичних характеристик ґрунту дослідно-виробничої ділянки, зокрема основної гідрофізичної характеристики, користуємося графіком залежності тензіометричного тиску від вологості ґрунту для торфових ґрунтів [5].

Коефіцієнт вологопровідності ґрунту розраховуємо за залежністю:

$$\kappa_g = \kappa \cdot \psi^L , \quad (5)$$

де ψ – тензіометричний тиск; коефіцієнти κ , L для верхнього шару потужністю 0,3 м становлять: $\kappa_* = 0,003$, $L_* = - 0,957$; для нижнього шару – $\kappa_l = \kappa_* = 0,003$, $L_l = - 1,121$.

Визначення оптимальних режимів водорегулювання. За результатами розрахунків величин сумарного, фізичного випаровування та транспірації формуємо базу вихідних даних цих показників у декадному розподілі. Одночасно, для встановлення в реальному вимірі часу необхідності коригування поточних РГВ за кожен попередню декаду зазначена база доповнюється фактичними даними. Вихідні дані для розрахунку оптимальних режимів водорегулювання наведені в табл. 5.

5. Вихідні дані для розрахунку оптимальних режимів водорегулювання

Місяць	Декада	Е, мм/добу		Атмосферні опади Р/Р ^с , мм/добу	m_r , м	ω_L
		E_T / E_T^c , мм/добу	E_u / E_u^c , мм/добу			
червень	1	1,25/1,4		5,1/1,6	0,21	0,13
		0,1/0	1,15/1,4			
	2	1,79/1,6		9,9/1,7	0,28	0,46
		0,4/0,1	1,39/1,5			
	3	2,34/1,9		0,0/2,6	0,37	1,27
		0,9/0,2	1,44/1,7			
липень	1	2,56/2,2		0,1/2,4	0,41	2,47
		1,9/0,5	0,66/1,7			
	2	2,46/2,9		1,9/2,6	0,43	3,1
		2,0/1,0	0,46/1,9			
	3	2,72/2,6		1,1/2,3	0,45	3,9

Рекомендовані режими водорегулювання визначаємо на основі розв'язання оптимізаційної задачі стаціонарного вологозабезпечення.

Оптимальний діапазон вологості підтримуємо в зоні максимального поглинання води на глибині $0,35 m_r = 0,35 \cdot 0,55 = 0,2$ м.

На початок вегетаційного періоду та до моменту досягнення кореневою системою максимальної потужності умова забезпечення оптимальної вологості на глибині 0,2 м є, очевидно, також оптимальною.

Виходячи з того, що потужність верхнього шару ґрунту ($m^* = 0,3$ м) перевищує встановлену глибину зони максимального поглинання води ($z_0 = 0,2$ м), оптимальний РГВ, який відповідає заданим діапазнам вологості $[\theta_m, \theta_n]$, визначаємо на основі розв'язання стаціонарної задачі вологопереносу. При цьому для встановлення відповідного діапазону тензіометричного тиску $[\psi_m, \psi_k]$ використовуємо залежності $\psi = \psi(\theta)$ для торф'яних ґрунтів. Для визначення вологості ґрунту за показниками тензіометрів користуємося залежністю вологості ґрунту від тензіометричного тиску.

Динаміка вологості в зоні аерації в 0,1-метрових шарах ґрунту розрахована в декадному розподілі.

Припускаємо, що в умовах достатнього зволоження ґрунту водоспоживання не лімітоване. Графік модельних розрахунків водоспоживання по глибині кореневого шару наведено на рис. 3.

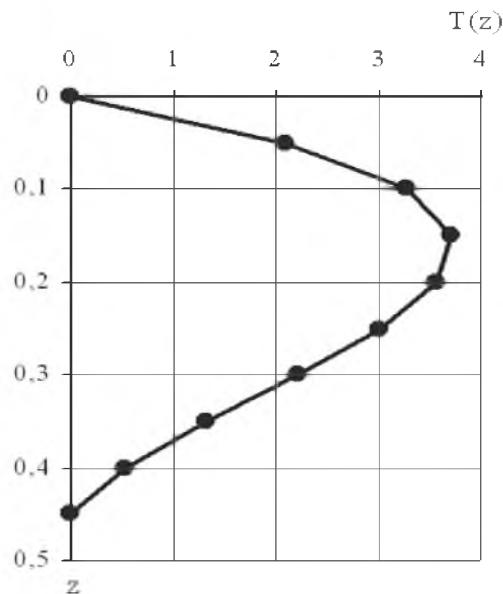


Рис. 3. Середньодобове водоспоживання кукурудзи по глибині кореневого шару ґрунту (3 декада липня, вегетаційний період 2013 р.)

Визначення верхньої та нижньої межі оптимальних режимів водорегулювання проводимо з урахуванням критичного за вологозабезпеченням періоду, причому верхню та нижню межу оптимальної вологості визначаємо в зоні максимального поглинання z_0 . Результати розрахунків наведені в табл. 6.

6. Рекомендовані та фактичні режими водорегулювання при вирощуванні кукурудзи на силос, (вегетаційний період 2013 р.)

Меліоративний режим	Червень			Липень		
	1	2	3	1	2	3
Рівень ґрунтових вод, м від поверхні						
Рекомендована верхня межа	0,75	0,75	0,79	0,80	0,80	0,80
Рекомендована нижня межа	0,95	1,01	0,88	0,85	0,87	1,02
Фактичний РГВ	0,79	0,6	0,79	0,85	0,80	0,80
Вологість у зоні максимального поглинання води (0,15–0,25 м), % об'єму						
Рекомендована верхня межа	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8
Рекомендована нижня межа	40,7	40,7	44,4	44,4	44,4	40,7
Фактична вологість	49,5	57	50,3	49,6	53,2	45,0

На період проведення апробації особлива «напруженість» метеоумов припадає на кінець першої декади та на першу половину другої декади червня, коли кількість опадів становила понад 120 мм.

Для оперативного зниження РГВ та з метою недопущення підтоплення кореневої системи після випадання 2 червня дощу інтенсивністю 22 мм, якому передували кілька дощів сумарною інтенсивністю 41 мм, внаслідок чого РГВ піднявся до 0,4 м від поверхні, було реалізовано алгоритм термінального управління. Напір води в колекторно-дренажній мережі було зменшено до мінімального (до глибини закладання дрен 1 м). Завдяки цьому, незважаючи на випадання ще двох дощів інтенсивністю 42 та 18 мм на цей період, відбулося своєчасне пониження РГВ до глибини $H_p = 0,75$ м у допустимі строки. Одночасно 14 та 17 червня додатково проведено два виміри РГВ та вологості ґрунту. Динаміка вологості в кореновому шарі ґрунту та РГВ при реалізації ресурсоощадливої технології управління вологозабезпеченням наведена на рис. 4.

Загалом, на весь період апробації ресурсоощадної технології при цілеспрямованому створенні акумулюючих ємностей у верхніх горизонтах кореневого шару ґрунту вологозабезпеченість була оптимальною і не було потреби проведення шлюзування протягом вегетаційного періоду.

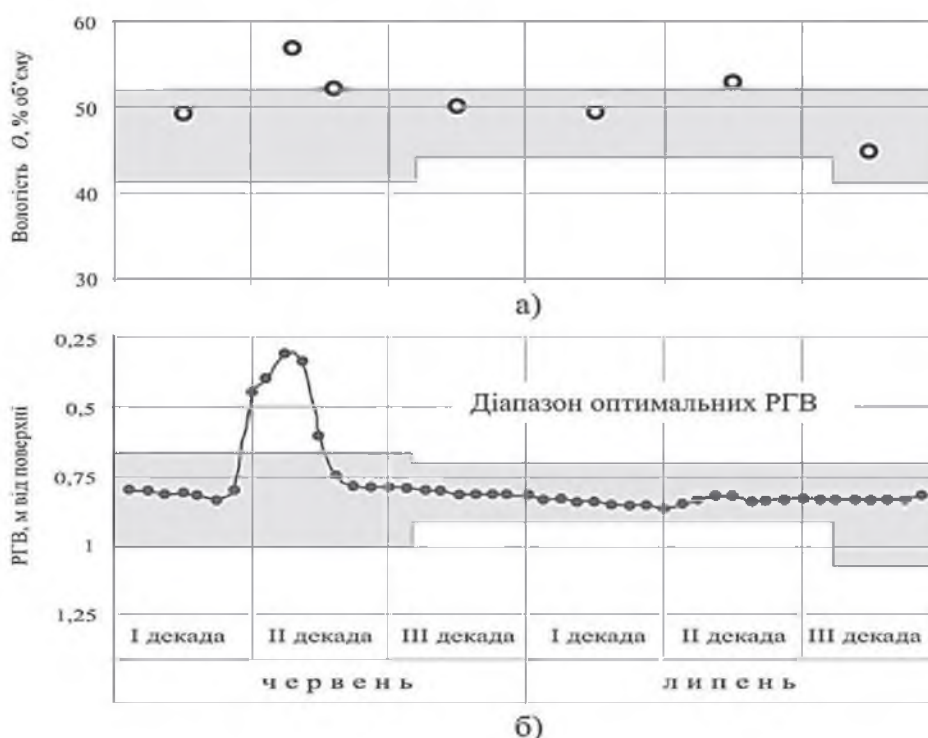


Рис. 4. Динаміка вологості в кореновому шарі ґрунту (а) та РГВ (б) при реалізації ресурсоощадливої технології управління вологозабезпеченням при вирощуванні кукурудзи (система «Іква» Дубнівського р-ну Рівненської обл., вегетаційний період 2013 р.)

На контрольних ділянках з традиційною технологією регулювання водного режиму зниження РГВ в цей же період до верхньої допустимої межі відбулося значно пізніше (на 9 діб), що призвело до недопустимого підтоплення кореневої системи кукурудзи; вологість у кореновому шарі ґрунту тривалий час (до 27 червня) перевищувала допустиму верхню межу. При цьому інфільтрація атмосферних опадів до РГВ склала 67 мм, що більш як на 37% перевищило цю величину в порівнянні з ресурсоощадною технологією управління вологозабезпеченням.

Висновки. Розроблено ресурсоощадну технологію управління вологозабезпеченням сільськогосподарських культур на осушуваних землях. Її апробація в «напружений» за метеорологічними умовами вегетаційний період 2013 р. на польдерній системі «Іква» показала можливість підтримання оптимальної вологості в кореновому шарі ґрунту та акумулювання значної частини атмосферних опадів у зоні аерації.

Зокрема, в умовах 48-відсоткової забезпеченості опадами та їх нерівномірного розподілу протягом вегетаційного періоду при акумулюванні переважної частини цих опадів у верхніх горизонтах кореневого шару ґрунту необхідність проведення шлюзування була відсутня.

Економія води за період проведення апробації (червень-липень) склала 670 м³/га, при цьому майже в три рази зменшились експлуатаційні витрати на проведення шлюзувань.

1. Коваленко П. І. Управління вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур на меліорованих землях з урахуванням динаміки факторів зовнішнього середовища / П. І. Коваленко, М. В. Яцик, В. Л. Поляков // Меліорація і водне господарство. – 1996. – Вип. 82. – С. 3–12.

2. *Методические* указания по определению суммарного испарения сельскохозяйственных культур на осушаемых землях Украинской ССР: НТД 33-4759129-03-01-90 / [А. В. Яцик, Л. Б. Бышовец, Г. Н. Батащук, Е. А. Семенюк]. – К.: УкрНИИВЭП, 1991. – 23 с.

3. Бусарова О. Е. Биометрические характеристики посевов некоторых сельскохозяйственных культур и их использование для расчетов испарения / О. Е. Бусарова, Н. А. Шумова // Водные ресурсы. – 1987. – № 2. – С. 130–135.

4. Яцик М. В. Алгоритм комбінованого водорегулювання на осушувально-зволожувальних системах гумідної зони України /

М. В. Яцик, Г. В. Воропай // Меліорація і водне господарство. – 2008. – Вип. 96. – С. 73–80.

5. Ромащенко М. И. Методические указания по оперативному контролю влагозапасов почвы на мелиорируемых землях при помощи тензиометров типа ИВД / М. И. Ромащенко, Н. Н. Муромцев, В. Н. Корюненко. – К.: УкрНИИГиМ. –1984. – 42 с.

Предложена ресурсосберегающая технология управления влагообеспеченностью сельскохозяйственных культур на осушаемых землях. Приведены результаты ее апробации на производственно-исследовательском участке мелиоративной системы «Иква» в Ровенской области. Определена величина экономии воды в период апробации данной технологии, которая достигается путем целенаправленного образования аккумулялирующих емкостей в корнеобитаемом слое почвы.

Resources-saving technology of water supply control for crops on drained lands is proposed. The results of its testing in the experimental field of the Ikva reclamation project in Rivne region are given. The amount of saving water during the testing of the technology, which is achieved by purposeful creating the storage tanks in the top layer of soil, was determined.