

УДК 631:674.6:634.8

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЗРОШЕННЯ  
ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ З ВИКОРИСТАННЯМ  
ПОКАЗНИКІВ СУМАРНОГО ВИПАРОВУВАННЯ  
В УМОВАХ АР КРИМ**

---

Р.А. ВОЖЕГОВА

Інститут зрошуваного землеробства НААН

О.П. ТИЩЕНКО

Кримський науково-дослідний центр ІВПіМ НААН

С.В. КОКОВІХІН

ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»

*Наведено результати досліджень динаміки вологозапасів ґрунту за різних режимів зрошення пшениці озимої на поливних землях АР Крим.*

© Р.А. Вожегова, О.П. Тищенко, С.В. Коковіхін, 2011  
Меліорація і водне господарство. 2011. Вип. 99

*Встановлені показники сумарного випаровування можна використувати для оптимізації режимів зрошення культури.*

**Ключові слова:** вологозапаси ґрунту, сумарне випаровування, режим зрошення, водний баланс, гідравлічний ґрунтовий балансомір

**Постановка проблеми.** Водний баланс будь-якої території, особливо в умовах зрошення, має важливу особливість, яка полягає у тому, що будь-який елемент можна обчислити з рівняння водного балансу як залишковий показник і цей самий елемент заміряти або розрахувати іншими методами. За їхніх близьких значень, достовірність інших елементів, що входять у рівняння, також можна вважати точними й використовувати для оптимізації режимів зрошення сільськогосподарських культур, у тому числі й пшениці озимої [1].

**Стан вивчення проблеми.** Планування штучного зволоження визначено як процес передбачення оптимальної кількості й розподілу в часі поливної води за окремими масивами, полями та ділянками. Прогнозування зрошення дає змогу розв'язати задачі щодо подачі необхідної кількості поливної води на окремі поля сівозмін, а також для задоволення господарств у цілому. Головна мета оптимізованого штучного зволоження — максимізувати ефективність зрошення за допомогою подачі необхідної кількості води, яка подолає дефіцит водопотреби і дасть можливість рослинам повною мірою реалізувати свій генетичний потенціал [2, 3].

Загальноприйнятим для визначення строків і норм поливів нині є метод контролю запасів доступної вологи в ґрунті. Якщо вологість ґрунту наближається до критичної (передполивного порогу), тоді доступна рослинам волога виявляється вичерпаною й проводять полив сільськогосподарських культур. Проте термостатно-ваговий спосіб визначення вологості ґрунту за допомогою буріння і висушування зразків трудомісткий та довготривалий. Методи з використанням сенсорних вологомірів потребують багато коштів, спеціального устаткування, вивчення та вдосконалення, тензіометри ненадійні за низької вологості ґрунту й незручні на полях, де проводяться сільськогосподарські роботи [4–6].

Оптимізація зрошення заощаджує 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 АР Крим та південних областях України, є відсутність дійових методів і засобів установаження норм та строків поливів сільськогосподарських культур на рівні господарств різних розмірів і спеціалізації. Внаслідок реформування агросфери було порушено централізовані системи планування й управління режимами зрошення (наприклад, ІДС «Полив»), а нові схеми не було впроваджено. Через це агровиробники здійснюють поливи з використанням застарілих рекомендацій і методів, а іноді визначають дати і норми зрошення окомірно з великими похибками без врахування фактичних та прогнозованих вологозапасів ґрунту, величини сумарного випаровування (євапотранспірації), кількості опадів, біологічних потреб сільськогосподарських культур тощо [7, 8].

**Завдання і методика досліджень.** Завдання досліджень полягало в розробці методичних засад використання показників сумарного випаровування для оптимізації режимів зрошення пшениці озимої в умовах АР Крим.

Методики вимірювання початкових  $V_{\text{поч.}}$  і кінцевих  $V_{\text{кін.}}$  вологозапасів, опадів  $X$  і поливів  $M$  давно відпрацьовані і не викликають особливих труднощів. Основну проблему у водно-балансових розрахунках, як зазначалося вище, являє собою вимірювання або розрахунок величин сумарного випаровування. Тому, щоб не було сумнівів у достовірності одержаних величин, в агрономічній практиці прийнято вираховувати або замірювати його двома незалежними методами.

При виконанні цієї роботи сумарне випаровування вимірювали щодня за допомогою гідравлічних ґрунтових балансо-мірів (прямі вимірювання) і в цілому за вегетацію вираховували методом водного балансу як залишковий член рівняння,  $\text{м}^3/\text{га}$ :

$$E_{\text{розр.}} = V_{\text{поч.}} - V_{\text{кін.}} + M + X,$$

де  $V_{\text{поч.}}$  – початкові вологозапаси;  $V_{\text{кін.}}$  – кінцеві вологозапаси,  $X$  – опади;  $M$  – поливи.

Усі елементи водного балансу, що входять у формулу, в  $\text{м}^3/\text{га}$ .

Дослідження з вимірювання елементів водного балансу в АР Крим проводили протягом 1997–2007 рр. у Кримському науково-дослідному центрі Інституту водних проблем і меліорації НААН на дослідних ділянках Первомайського району АР Крим за загальноприйнятими методиками [9, 10].

**Результати досліджень.** Визначення величин сумарного випаровування з використанням запропонованої методики та розрахунків за формулою за весь період вегетації від сівби до збирання врожаю пшениці озимої дали змогу отримати водно-балансові показники, які наведено в *таблиці*.

Аналіз експериментальних даних показує, що розбіжності (неув'язка балансу) у величинах сумарного випаровування, що враховано за методом водного балансу й заміряного балансомірами, знаходяться в межах від 2,3 до 3,4%. Це свідчить про високу точність вимірювань величин сумарного випаровування та інших елементів водного балансу, що входять у розрахункову формулу. А відтак висновки, зроблені на основі цих матеріалів, не повинні викликати сумніву.

У *таблиці* наочно показано роль опадів і вологозарядкового поливу у формуванні величин сумарного випаровування за період вегетації, а вегетаційні поливи при цьому виконують допоміжну роль. Проте, не зважаючи на значно менші об'єми вологи, що надходять на поле під час вегетаційних поливів порівняно з сумою опадів і вологозарядки, вегетаційними поливами при вирощуванні сільськогосподарських культур на зрошуваних землях у жодному разі не можна нехтувати. Вода на поле подається тоді, коли відсутня необхідна для рослин кількість вологи, яка надходить у вигляді опадів, а погодні умови складаються таким чином, що коли не подати додаткову її кількість на поле у вигляді поливу, урожай буде значно нижчий.

Розглядаючи величину сумарного випаровування за оптимального режиму зрошення (чотири вегетаційні поливи), цікаво відзначити, що за середньобаторічними даними величина сумарного випаровування, розрахована методом водного балансу  $E_{\text{розрах.}}$ , становила 6210 м<sup>3</sup>/га, а заміряна балансоміром  $E_{\text{зам.}}$  — 6340 м<sup>3</sup>/га, при цьому середня величина за тринадцятирічне спостереження дорівнює 6225 м<sup>3</sup>/га.

На *рис. 1* показано хід елементів водного балансу за режиму

*Водний баланс дослідних ділянок*

Варіант	Вологозапаси в шарі ґрунту 1,1 м, м <sup>3</sup> /га			Опади X, м <sup>3</sup> /га	Поливи M, м <sup>3</sup> /га	
	почат- кові V <sub>поч.</sub>	кін- цеві V <sub>кін.</sub>	акуму- ляція, ΔV = V <sub>поч.</sub> - V <sub>кін.</sub>		По- ливна норма	Зрошу- вальна норма
Осіньна вологозарядка	2980	2160	820	2600	30	730
Те саме + 1 вегетаційний полив	2980	2155	825	2600	430	1160
» + 2 поливи	2980	1990	990	2600	530	1690
» + 3 поливи	2980	2010	970	2600	520	2210
» + 4 поливи	2980	2070	910	2600	490	2700

зрошення з одним вегетаційним поливом, який було прове-  
дено після зниження вологозапасів до рівня ВРК поливною  
нормою 430 м<sup>3</sup>/га.

На *рис. 2–4* наведено комплексні графіки режимів зро-  
шення з одним, двома, трьома і чотирма вегетаційними поли-  
вами по осінній вологозарядці. Графіки побудовано за до-  
бовими величинами елементів водного балансу за період від  
відновлення вегетації до збирання врожаю. Підставою (нулем  
відліку) прийнято вологість розриву капілярів (ВРК), вище за  
лінію якої в діапазоні величини поливної норми витримувався  
заданий режим зрошення.

Хід акумуляції вологозапасів ΔV при незначних опадах 6–10  
травня перетнув лінію ВРК 10 травня. До цього часу з ґрунту  
було витрачено всі активні вологозапаси ΔV, і надалі почалася  
витрата важкодоступної вологи, що знаходиться нижче за рі-  
вень ВРК. За ходом лінії акумуляції ΔV (штрих-пунктирна  
лінія) витрата всіх доступних (продуктивних) вологозапасів у  
ґрунтовому шарі 1,0 м за відсутності опадів повинна настати  
наприкінці травня, тобто протягом цього часу вологозапаси у  
ґрунті мають опуститися до вологості, близької до вологості  
в'янення. До цього часу пшениця озима повинна була всту-  
пити у фазу наливання зерна. Проте опади, що почалися 27

за період вегетації пшениці озимої

Сумарне випаровування E, м <sup>3</sup> /га		Неув'язка балансу (Ер-Ез)		Витрати води на сумарне випаровування за окремими статтями прихідної частини водного балансу (%) за різних режимів зрошення			
Розрахована методом водного балансу Ер = ΔВ + М + Х	Замірне балансо-міром	м <sup>3</sup> /га	% від Ер	Х	Осіньна вологозарядка	ΔВ	М
4150	4300	150	3,6	63	18	19	0
4585	4605	-20	-0,6	55	18	18	9
5280	5205	75	2,03	49	14	19	18
5780	5845	-65	-1,8	45	13	17	25
6210	6340	-130	-3,4	41	12	15	32

травня і тривали до 2 червня (сума опадів за цей період сягає 605 м<sup>3</sup>/га), пересунули час досягнення вологості в'янення на пізнішу дату.

Незважаючи на те, що вологозапаси в ґрунті 26 травня опустилися (див. рис. 1) до рівня 48% НВ і були близькі до вологості в'янення (ВЗ = 44% НВ), опади, що почалися 27 травня, відновили життєдіяльність рослин, про що свідчить висока добова інтенсивність сумарного випаровування (60 м<sup>3</sup>/га на добу). Таким чином, опади з 27 травня по 2 червня відіграли істотну роль у формуванні врожаю. За їхньої відсутності втрати врожаю були б значними.

Рясні опади, що випали за період з 21 по 27 червня (747 м<sup>3</sup>/га), вже не змогли відновити життєдіяльності рослин, оскільки, судячи за характером добової інтенсивності сумарного випаровування, в'янення рослин почалося приблизно з 10 червня, а повна втрата тургору настала в третій декаді червня, коли пшениця озима вступила у фазу воскової стиглості.

Таким чином, проводячи аналіз динаміки вологозапасів при режимі зрошення пшениці озимої з одним вегетаційним поливом, можна зробити висновок, що за відсутності опадів для отримання запланованого врожаю одного вегетаційного поливу недостатньо.

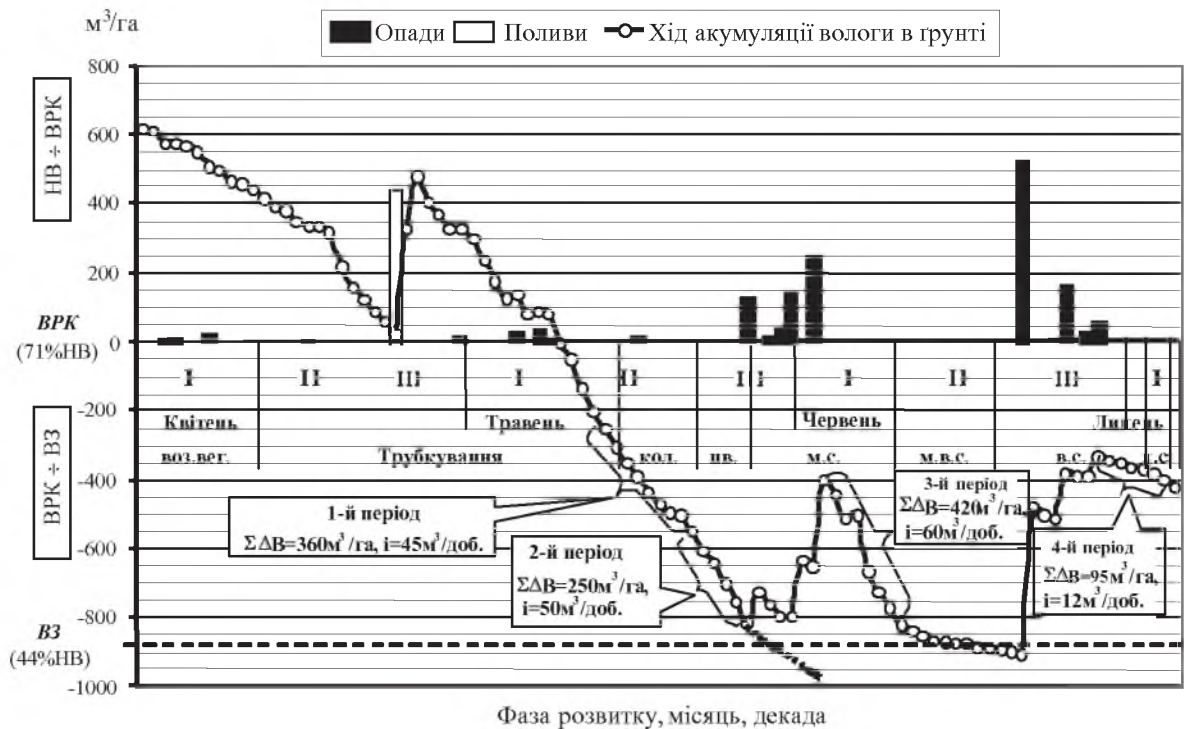


Рис. 1. Режим зрошення пшениці озимої з осінньою вологозарядкою і одним вегетаційним поливом в умовах АР Крим

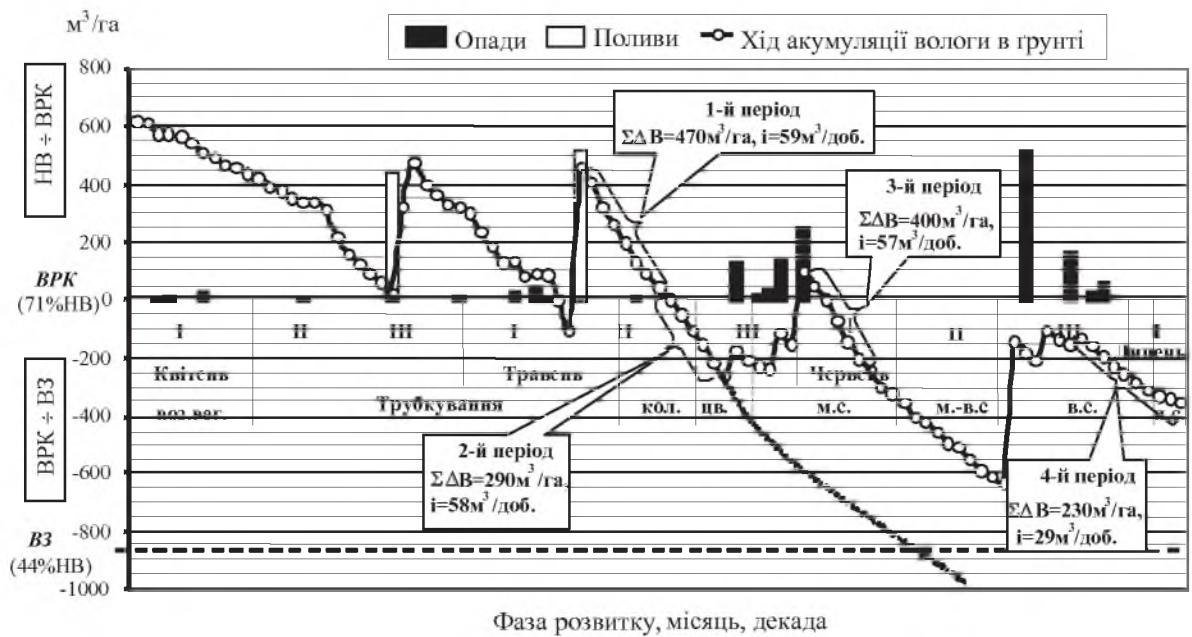


Рис. 2. Режим зрошення пшениці озимої з осінньою вологозарядкою і двома вегетаційними поливами в умовах АР Крим

На рис. 2 показано хід елементів водного балансу за режиму зрошення з двома вегетаційними поливами.

Другий полив нормою 530 м³/га було проведено 13 травня.

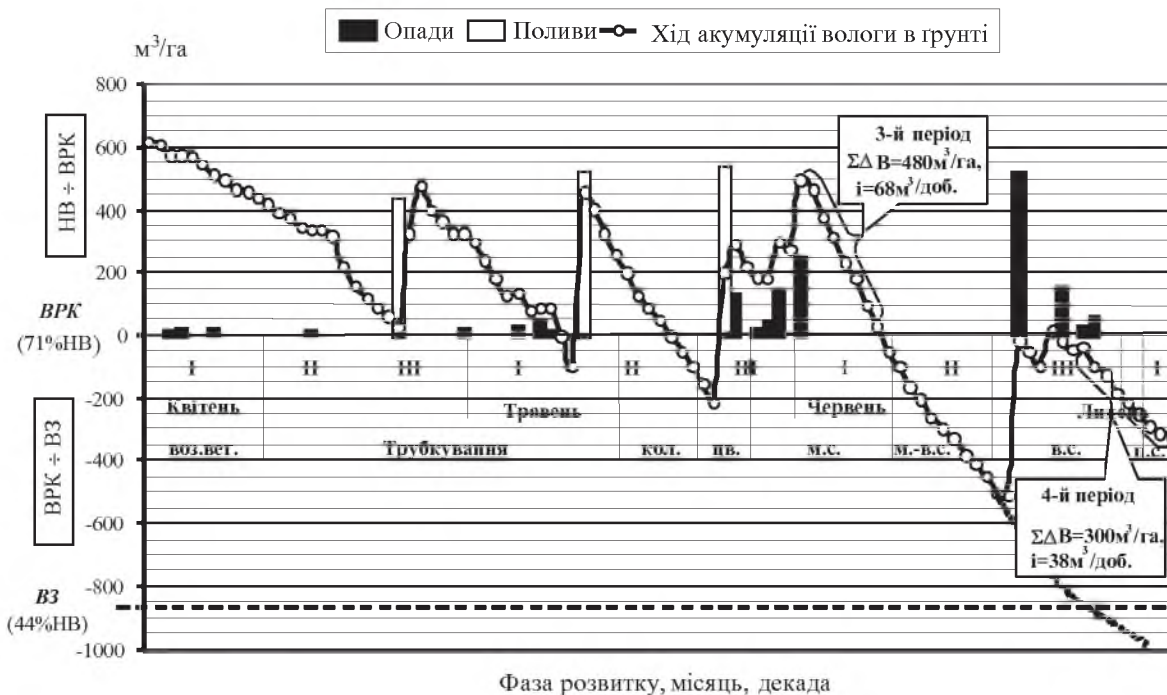


Рис. 3. Режим зрошення пшениці озимої з осінньою вологозарядкою і трьома вегетаційними поливами в умовах АР Крим

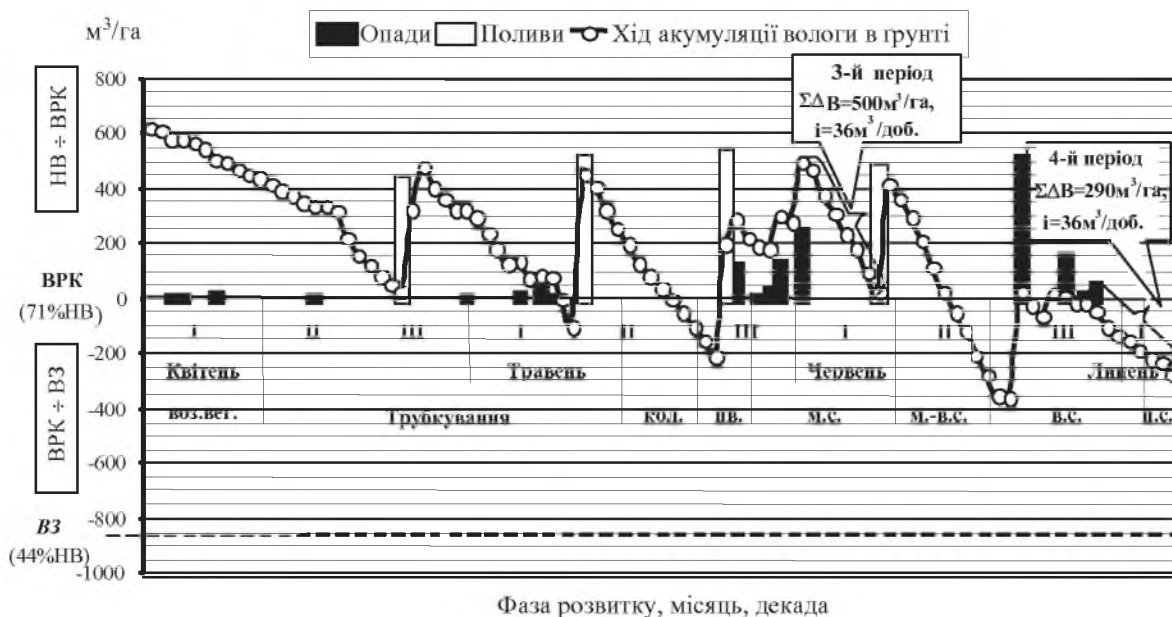


Рис. 4. Режим зрошення пшениці озимої з осінньою вологозарядкою і чотирма вегетаційними поливами в умовах АР Крим

В цей час закінчується фаза виходу в трубку й починається колосіння. За ходом лінії акумуляції  $\Delta V$  (штрих-пунктирна лінія) витрата продуктивних вологозапасів за повної відсутності опадів до кінця вегетації повинна настати до середини



другої декади червня (перетин лінії ВЗ) у фазі молочно-воскової стиглості. Але, оскільки до середини червня всі активні фази розвитку пшениці озимої вже минули, втрати врожаю за відсутності третього і четвертого поливів повинні бути незначні. Оподи, що випали з 27 травня по 2 червня, не дали змоги вологозапасам у ґрунті опуститися нижче 57% НВ, при цьому збереглася висока інтенсивність добових величин сумарного випаровування.

Звертає на себе увагу той факт, що при перетині акумуляцією ΔВ лінії ВРК і входження в зону важкодоступних вологозапасів інтенсивність сумарного випаровування залишається високою (2-й період). Судячи з ходу акумуляції ΔВ, зона досяжних вологозапасів розміщена значно нижче за рівень ВРК, що дуже важливо, адже це розширює діапазон маневрування поливною водою і дощувальними машинами за оптимізованого режиму зрошення.

На підставі аналізу добової інтенсивності сумарного випаровування на дослідній ділянці з одним поливом (*див. рис. 1*), третій полив, поданий на дослідних ділянках з трьома і чотирма поливами, було проведено при 60% НВ, що значно нижче ВРК. Третій полив нормою 520 м<sup>3</sup>/га було здійснено 26 травня при рівні передполивної вологості ґрунту 60% НВ (*див. рис. 3*).

Оподи, що випали з 27 травня по 2 червня, в сукупності з третім поливом забезпечили високу інтенсивність сумарного випаровування практично до кінця вегетації. Лінію ВРК акумуляції вологозапасів ΔВ перетнули 9 червня, тобто коли активні процеси в життєдіяльності пшениці озимої практично припинилися. В цей час настала фаза молочно-воскової стиглості, водночас добова інтенсивність сумарного випаровування залишалася високою до фази воскової стиглості.

За ходом лінії акумуляції (штрих-пунктирна лінія) (*див. рис. 3*), при режимі зрошення з трьома поливами зволоження кореневмісного шару ґрунту не виходило за межі оптимального.

На *рис. 4* графічно наведено режим зрошення з чотирма поливами. На відміну від попередніх режимів, звертає на себе увагу висока інтенсивність добового сумарного випаровування після четвертого поливу, який було проведено 9 червня нор-

мою 490 м<sup>3</sup>/га. За другу декаду червня (після четвертого поливу) сумарне випаровування сягало 840 м<sup>3</sup>/га. При цьому до початку третьої декади червня, коли пшениця озима вступила у фазу воскової стиглості, в кореневмісному шарі ґрунту було ще 520 м<sup>3</sup>/га невикористаних продуктивних вологозапасів, і це без урахування опадів, що випали з 21 по 27 червня (747 м<sup>3</sup>/га).

Висока інтенсивність сумарного випаровування в першій і другій декадах червня зумовлена різким підвищенням температури повітря до 25°C і збільшенням дефіциту вологості повітря до 15 мб. У цей період завдяки значним вологозапасам у кореневмісному шарі рослини зберегли свою життєдіяльність, хоча процес формування врожаю зерна було практично закінчено вже 10 червня.

Аналізуючи всі чотири режими зрошення в сукупності (див. рис. 1–4), можна помітити, що середньодобова інтенсивність сумарного випаровування з 13 по 21 травня (період 1 на рис. 1 і 2 охоплений фігурною дужкою 1) при режимі зрошення з одним поливом (див. рис. 1) залишалася високою, незважаючи на те, що період лежить нижче ВРК. Цей період розташований в діапазоні 66–56% НВ, за вісім днів витрачалося на сумарне випаровування 360 м<sup>3</sup>/га з середньодобовою інтенсивністю  $I = 45$  м<sup>3</sup>/га за добу. За цей самий період на дослідній ділянці з двома поливами (див. рис. 1) зволоження було в стані після другого поливу, тому сумарне випаровування за період (вісім днів) становило 470 м<sup>3</sup>/га з інтенсивністю  $I = 59$  м<sup>3</sup>/га за добу. Порівнюючи середньодобові величини інтенсивності 45 і 59 м<sup>3</sup>/га, бачимо, що розбіжності не такі вже і великі.

Певний інтерес викликає інтервал 2 з 21 по 26 травня (фігурна дужка 2) на дослідній ділянці з одним поливом. Сумарне випаровування за вказаний період сягало 250 м<sup>3</sup>/га за інтенсивності 50 м<sup>3</sup>/га за добу, а на ділянці з двома поливами за цей самий інтервал – сума 290 м<sup>3</sup>/га за інтенсивності 58 м<sup>3</sup>/га за добу. Величини інтенсивності близькі між собою, але слід мати на увазі, що витрата вологи на ділянці з одним поливом відбувалася в діапазоні 56–48% НВ, тоді як з двома поливами (див. рис. 2) – в діапазоні 71–63% НВ. Оподи, що випали з 27 травня по 2 червня, зрівняли інтенсивність на всіх дослідних ділянках (див. рис. 1–4 період 3) і її середньодобова величина

за подальші після дощу сім діб становила відповідно 60, 58, 68 і 71 м<sup>3</sup>/га за добу, що близькі за значенням, незважаючи на те, що на дослідних ділянках було надано різну кількість поливів — один, два і три.

Завершальний, четвертий період (з 27 червня по 5 липня) на ділянках з двома, трьома і чотирма поливами має близьку середньодобову інтенсивність сумарного випаровування (29, 38 і 36 м<sup>3</sup>/га за добу). Винятком є ділянка з одним поливом. Там за вказаний період середньодобова інтенсивність сягала лише 12 м<sup>3</sup>/га. Це пояснюється тим, що на цій ділянці вегетація закінчилася практично в кінці другої декади червня і вода витрачається лише на фізичне випаровування.

Аналізуючи вищевикладений матеріал, можна зробити висновок, що пшениця озима має велику виживаність, і, незалежно від рівня зволоження кореневмісного шару, якщо цей рівень до кінця вегетації не опустився нижче 57% НВ (див. рис. 1, друга декада червня), інтенсивність сумарного випаровування задовольняє витрати вологи відповідно до формування погодних умов, від яких залежить величина сумарного випаровування. Це пояснюється ще й тим, що до кінця активного періоду коренева система пшениці озимої добре розвинуна і пронизує весь кореневмісний шар ґрунту, тому вся волога, незалежно від того, де вона знаходиться — у великих каплях чи в замкнутих порових місткостях, стає доступною для споживання. З аналізу інтенсивності сумарного випаровування від 10 червня і до кінця вегетації можна зробити висновок, що при одному, двох і трьох вегетаційних поливах добова інтенсивність сумарного випаровування з 10 червня різко зменшується до 20–40 м<sup>3</sup>/га. Це свідчить про те, що вегетація пшениці озимої закінчилася і відбувається висихання зеленої маси стебел до сухого стану.

**Висновки.** У початковий період вегетації, коли відростає вторинна коренева система, кореневмісний шар ґрунту (0–65 см) повинен бути оптимально зволеним, тобто в діапазоні 71÷100% НВ. З кінця фази виходу в трубку (середина травня) рослини нарощують потужну кореневу систему, яка пронизує кореневмісний шар ґрунту, і практично вся продуктивна волога стає доступною для споживання. Зниження

передполивних вологозапасів до 57% НВ майже не впливає на формування врожаю.

До кінця фази молочної стиглості рослини пшениці озимої повинні перебувати в оптимальному режимі зволоження ґрунту (100÷71% НВ). Закінчення вегетаційних поливів без значних втрат можливе в кінці фази молочної стиглості, тобто 8–10 червня. У цій фазі, за необхідності, пшеницю озиму слід поливати зменшеними нормами, оскільки повні норми призводять до полягання.

Зважаючи на малу ефективність у формуванні врожаю, четвертий вегетаційний полив в умовах АР Крим практичного значення не має. Величина сумарного випаровування за весняно-літній період вегетації від відновлення вегетації (20 березня) до збирання врожаю (10 липня) за трьох вегетаційних поливів сягає 4595 м<sup>3</sup>/га, що треба враховувати для оптимізації режимів зрошення цієї культури.

### *Література*

1. *Справочник* по прогнозированию и программированию урожаев на юге Украины / А.О. Лымарь, С.Д. Лысогоров и др. — Одесса: Маяк, 1987. — 173 с.

2. *Фёдоров С.Ф.* Опыт эксплуатации гидравлического почвенного испарителя малой модели (ГПИ-51) // Тр. ГГИ. — 1954. — Вып. 45.

3. *Жовтоног О.І.* Планування адаптивного екологічно безпечного зрошення // Вісн. аграр. науки. — 1999. — № 12. — С. 62.

4. *Сельскохозяйственные мелиорации* / С.М. Гончаров, С.М. Коробченко и др. — Л.: Вища шк., 1988. — 352 с.

5. *Сучасний стан, основні проблеми водних меліорацій та шляхи їх вирішення* / П.І. Коваленко, О.О. Собко, В.А. Писаренко та ін. — К.: Аграрна наука, 2001. — 274 с.

6. *Попов, О.В.* Применение гидравлического почвенного испарителя в зоне недостаточного увлажнения // Тр. ГГИ. — Л.: Гидрометеиздат, 1956. — Вып. 57. — С. 125–146.

7. *Харченко С.И.* Гидрология орошаемых земель. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — 373 с.

8. *Тищенко А.П.* Управление режимами орошения сельскохозяйственных культур по инструментальному методу: монографія. — Симферополь: Таврия, 2003. — 240 с.

9. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) [5-е изд. доп. и перераб.] / Б. А. Доспехов. — М.: Агропромиздат, 1985. — 351 с.

10. *Методичні вказівки по застосуванню розрахункового методу визначення строків поливу сільськогосподарських культур за по-*

казниками середньодобового випаровування / В.А. Писаренко, С.В. Коковіхін, Л.С. Мішукова та ін. — Херсон: Колос, 2005. — 16 с.

*Приведены результаты исследований динамики влагозапасов почвы при разных режимах орошения пшеницы озимой на поливных землях АР Крым. Установленные показатели суммарного испарения можно использовать для оптимизации режимов орошения культуры.*

*The results of researches of dynamics of water-supplies soil at different modes of irrigation of winter wheat on the areas requiring irrigation AR Crimea are resulted in the article. The set indexes of total evaporation can be used for optimization of the modes of irrigation of culture.*