

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЗРОШЕННЯ ОСНОВНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР З ВИКОРИСТАННЯМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

КОКОВІХІН С.В. – докторант, к.с.-г.н., с.н.с.,  
Інституту землеробства південного регіону НААНУ

**Постановка проблеми.** Сучасні глобальні проблеми зниження наявних водних, земельних та енергетичних ресурсів на фоні збільшення населення Землі, економічної та екологічної кризи, обумовлюють необхідність підвищення врожайності сільськогосподарських культур, зокрема, за рахунок збільшення віддачі від зрошення [1].

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 – рмаксимізувати ефективність зрошення за допомогою подачі необхідної кількості води, яка подолає дефіцит водоспоживання й дозволить рослинам повною мірою реалізувати свій генетичний потенціал [2].

Загальноприйнятим для визначення строків і норм вегетаційних поливів у теперішній час є метод контролю запасів доступної вологи в ґрунті. Якщо вологість ґрунту наближається до критичної (передполивного порогу), тоді доступна рослинам волога виявляється вичерпаною й проводиться полив сільськогосподарських культур. Проте, термостатно-ваговий спосіб визначення вологості ґрунту за допомогою буріння і висушування зразків трудомісткий і довготривалий. Методи з використанням сенсорних вологомірів потребують багато коштів, спеціального устаткування вивчення та вдосконалення, тензіометри ненадійні при низькій вологості ґрунту й незручні на полях, де проводиться сільськогосподарські роботи [3]. Тому нами були проведені дослідження, які спрямовані на розробку й впровадження у виробництво сучасних методів формування режимів зрошення за рахунок використання спеціального комп'ютерного програмного забезпечення. Ці науково-дослідні роботи були виконані на основі аналітичних досліджень, систематизації та узагальнення багаторічних досліджень Інституту зрошувального землеробства (з 2000 р. – Інститут землеробства південного регіону УААН) та інших

наукових установ зони зрошення півдня України, статистичного аналізу й розробки кореляційно-регресійних моделей зв'язків природних і агрономічних чинників з процесами вологообміну та випаровування.

**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. Внаслідок реформування агросфери були порушені централізовані системи планування й управління режимами зрошення (наприклад, ІДС "Полив"), а нові схеми не були впроваджені. 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 [4].

В останні роки з'явилася можливість створення комп'ютерних програм за допомогою яких можливо планування та оперативне управління режимами зрошення. Наприклад, у Російській Федерації (ФГНУ ВНИИ „Радуга”, 2006) розроблена програма „*ROCK.xls*”, яка створена на основі декадних метеоданих температури й вологості повітря, швидкості вітру й кількості атмосферних опадів, врахування біологічних особливостей сільськогосподарських культур тощо.

У країнах Європейського Союзу для визначення водного балансу в період вегетації використано модифікований метод Пенмана (*Penman*) для розрахунків потенційної евапотранспірації (випаровування) в комп'ютерному програмному комплексі *Daily ET*. Також для цих розрахунків розповсюджена голландська модель „погода – врожайність” *WOFOST* [5]. Також застосовується програма *АддаПікс (Addapix)*, яка є спеціальним агрометеорологічним засобом для угруповання космічних знімків на рівні пікселя в системах точного землеробства. Дистанційні методи (це переважно обробки даних сканувань супутників) використовуються, щоб покращити якість вимірювання атмосферних опадів, просторової інтерполяції вологозапасів, їх оцінки або гідрологічного прогнозу [6]. Проте, на наш погляд, недоліком вищенаведених програм є підвищена кількість метеорологічних показників, які проблематично отримати у

виробничих умовах півдня України без спеціального лабораторно-технічного обладнання, доступу до мережі Інтернет та значних коштів на проведення аерокосмічних та інших спостережень.

**Завдання і методика досліджень.** Завданням проведених досліджень було розробити сучасні заходи оптимізації режимів зрошення шляхом автоматизації процедур встановлення строків і норм вегетаційних поливів основних сільськогосподарських культури з використанням інформаційних технологій.

В основу розробленого Програмно-інформаційного комплексу „Іригація” покладено математичне моделювання процесів вологообміну в ґрунті, кореляційно-регресійні зв'язки випаровування (евапотранспірації) з біологічними особливостями рослин, а також можливість прогнозування строків і норм вегетаційних поливів за допомогою автономних електронних розрахунків.

Дослідження з цього напрямку проведені з використанням спеціальних методик із застосування інформаційних технологій в сільському господарстві [7, 8].

**Результати досліджень.** Для спрощення запропонованого способу встановлення строків і норм вегетаційних поливів було вибрано напрям щодо мінімізації вихідних показників для планування режимів зрошення, і, навпаки, одержання максимальної інформативності від імітаційного моделювання евапотранспірації та інших елементів водного балансу. Головними показниками, що впливають на прогнозовані строки й норми вегетаційних поливів є середньодобове випаровування та кількість опадів (рис. 1).

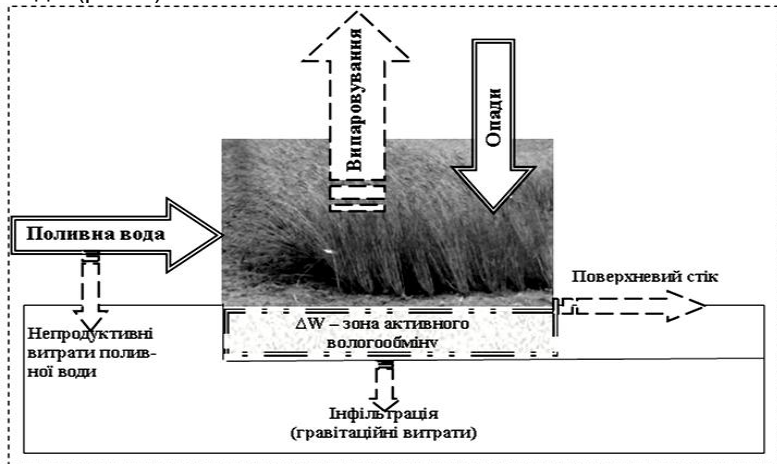


Рисунок 1. Загальне відображення елементів водного балансу поливної ділянки та напрями вологообміну

Слід зауважити, що евапотранспірація з ґрунту – дуже складний і багатовекторний процес. Він включає переміщення води в ґрунті у відповідь на різницю потенціалів води, температурні градієнти, а також диференціацію інших умов навколишнього середовища. Відмінності водних потенціалів виникають між атмосферою і ґрунтом, а також у самому ґрунті. В найбільшому ступеню вода випаровується з вологого ґрунту (високий водний потенціал) та при сухому повітрі (низький водний потенціал, тобто низька вологість або тиск пари). Цим і пояснюється дуже високі показники випаровування в агроценозах, порівняно з природними екосистемами.

За мірою висихання верхнього шару ґрунту вода повинна підійматися до поверхні, щоб компенсувати втрати через випаровування. При тривалому випаровуванні відстань, яку необхідно подолати воді, збільшується, що приводить до значного зниження швидкості потоку до поверхні у вигляді рідини або пари, а, отже, зниження рівнів випаровування. В подальшому, потік води вже переходить на стадію пари, що призводить до ще меншої швидкості випаровування. Ці постійно змінні умови водного потенціалу призводять до безперервних змін у швидкості потоку води на поверхню. Водний потенціал повітря також істотно змінюється через нестабільність стану навколишнього середовища. Кожне додавання води в ґрунт, наприклад, після випадання опадів або проведення поливу, наново починає цикл випаровування [9].

Загальноприйнятим показником, який приймається за верхню рису діапазону оптимальної вологості ґрунту, є найменша вологоємність (НВ) ґрунту, тобто найбільша кількість води, яку ґрунт може утримувати після повного вологонасичення (надходження атмосферних опадів або поливів) за відсутності підпираючої дії ґрунтових вод. За умов вмісту ґрунтової вологи нижче оптимального рівня спостерігається зниження продуктивності рослин внаслідок дефіциту вологозабезпечення, а при більш високому ступеню вологості – відбувається пригнічення рослин через перезволоження, яке призводить до погіршення повітряного, поживного і температурного режимів ґрунту, й також зменшує врожайність [10].

Фізико-хімічні властивості мають суттєвий вплив на показники нижньої межі оптимальної вологості ґрунту, оскільки вони визначають спроможність його віддавати вологу рослинам, а також накопичувати й утримувати доступну вологу. Найбільшу водоутримуючу здатність мають легкі глини та важкосуглинкові ґрунти, а найменшу – супіски та піски. В зв'язку з цим, при встановленні оптимальної межа вологості ґрунту треба

зменшувати її для важких ґрунтів та, відповідно, підвищувати для легких. Для більшості культур оптимальна нижня межа вологості ґрунту (так званий "передполивний поріг") становить: на легких глинах – 80-85% НВ, на важких суглинках – 75-80, на середніх суглинках – 65-70, на легких суглинках – 60-65, на супісках – 50-60 і на пісках – 40-50% НВ [11, 12].

Слід підкреслити, що нижня межа оптимального вологозабезпечення для конкретного типу ґрунту не є постійною величиною і змінюється залежно від впливу багатьох чинників. Наприклад, у роки з прохолодою погодою, високою вологістю повітря і частими опадами, поливи можна призначати при вологості на 5-10% НВ меншою за оптимальну для даного типу ґрунту. В посушливі роки, навпаки, вегетаційні поливи необхідно призначати за вологості на 5-10% НВ вищу за оптимальну [12].

В останні десятиліття з'явилася можливість застосування інформаційно-обчислювальних систем управління режимами зрошення. Вони забезпечують раціональне використання зрошувальної води, отримання запрограмованих врожаїв, мінімізацію негативного тиску на довкілля. Основою електронних розрахунків розробленого комп'ютерного комплексу є модель зміни запасів ґрунтової вологи з використанням рівняння водного балансу, а також фактичних (за минулий період) і прогнозованих (на розрахунковий термін) параметрів вологозапасів.

З метою проведення планування й оперативного управління режимами зрошення основних сільськогосподарських культур нами у вигляді надбудови до електронного процесора Microsoft Office Excel 2003 розроблено програмно-інформаційний комплекс (ПІК) „Іригація” (рис. 2).

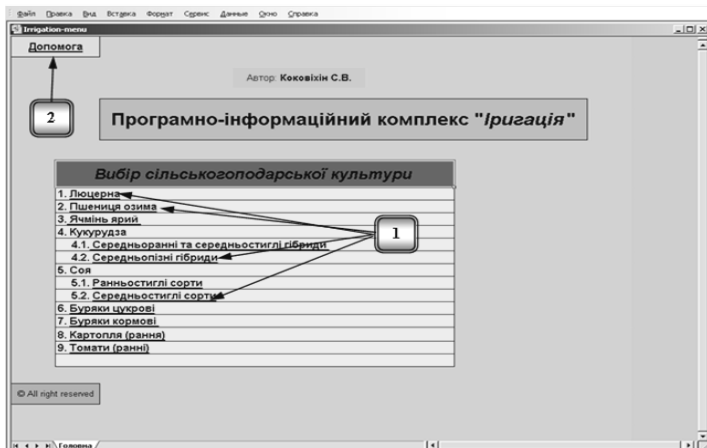


Рисунок 2. Зображення Головної сторінки ПІК „Іригація” (пояснення в тексті)

Для спрощення його використання у виробничих умовах для розрахунків використано показники, які найбільше впливають на вологообмін і забезпечують достатню точність імітаційного моделювання. До таких показників відносяться вихідні (контрольні) запаси вологи, середньодобове випаровування (евапотранспірація) і кількість опадів.

Перед початком використання цієї програми необхідно скопіювати всі папки і файли з оригінального CD-диску на жорсткий диск комп'ютера (наприклад, на диск C:). Після чого відкрити Папку PIC-Irrigation і в ній – файл Irrigation-menu.xls, на який можна зробити ярлик на Робочому столі.

Після відкриття можна за допомогою натискування комп'ютерної миші обирати сільськогосподарські культури з метою планування режимів зрошення (див. рис. 2, позначка 1) або звернутися до розділу "Допомога" для отримання необхідної довідкової інформації з методичних рекомендацій щодо проведення розрахунків (позначка 2).

При натискуванні на електронне гіперпосилання "1. Люцерна" з'являється активне вікно програми, в яке необхідно ввести необхідну текстову й цифрову інформацію (рис. 3, позначка 1).

День місяця	Входні (операльні) запаси вологи, м³/га	Середньодобове випаровування, м³/га	Надходження вологи за рахунок опадів, м³/га	Вегетаційні поливи, м³/га	Поточні запаси вологи, м³/га	Вологість ґрунту від НВ в розрахунковому шарі, %
<b>КВІТЕНЬ</b>						
1	1536,0	20,3			1515,7	102,7
2	1515,7	20,9			1494,7	101,3
3	1494,7	21,5			1473,2	99,8
4	1473,2	22,1			1451,1	98,3
5	1451,1	22,7			1428,4	96,8
6	1428,4	23,2			1405,2	95,2
7	1405,2	23,8			1381,4	93,6
8	1381,4	24,4			1357,1	91,9
9	1357,1	24,9			1332,2	90,2
10	1332,2	25,4			1306,7	88,5
11	1306,7	26,0			1280,7	86,8
12	1280,7	26,5			1254,2	85,0
13	1254,2	27,0			1227,2	83,1
14	1227,2	27,6			1199,6	81,3
15	1199,6	28,1			1171,5	79,4
16	1171,5	28,6			1142,9	77,4
17	1142,9	29,1			1113,9	75,5
18	1113,9	29,6			1084,3	73,5
19	1084,3	30,1			1054,2	71,4
20	1054,2	30,6			1023,7	69,3
21	1023,7	31,0			992,8	67,2
22	992,8	31,4			961,1	65,1

Рисунок 3. Зображення активного вікна ПІК „Іригація” для планування й оперативного управління режимом зрошення люцерни (пояснення в тексті)

Переміщення по різних місяцях, декадах і днях вегетаційного періоду певної сільськогосподарської культури можна здійснювати шляхом натискування відповідних кнопок внизу або у верхньому правому кутку вікна (див. рис. 3, позначка 2).

Для забезпечення точності розрахунків слід на початку вегетаційного періоду рослин (або під час відновлення вегетації у багаторічних культур) визначити вихідні вологозапаси ґрунту (рис. 4, позначка 1), які в подальшому приймаються за основу електронних водно-балансових розрахунків. В умовах виробництва їх можна здійснювати термостатно-ваговим або іншими методами. Крім того, у період вегетації рекомендуємо для забезпечення високої точності розрахунків проводити контрольні замірювання вологості ґрунту й внесення їх результатів у цю колонку.

Господарство: СТОВ "Дніпро"		Район: Білозерський		Область: Херсонська			
Культура (сорт, гібрид): Люцерна (сорт Хер 2 року використання)		Сівозміна, № поля, площа: 24, 42 га		Рік: 2008			
Режим зрошення, %НВ: 70-75		Розрахунковий шар, м: 0,7		Рівень ґрунтових вод, м: понад 3 м			
День місяця	Вихідні (контрольні) запаси вологи, м³/га	Середньодобове випаровування, м³/га	Надходження вологи за розрах. опадами, м³/га	Вегетаційні поливи, м³/га	Початні запаси вологи, м³/га	Вологість ґрунту на НВ в розрахунковому шарі, %	Примітки
<b>ТРАВЕНЬ</b>							
1	1227,8	35,5			1192,4	80,8	
2	1192,4	35,9			1156,5	78,3	
3	1156,5	36,3	20,0		1140,2	77,2	
4	1140,2	36,7	7,0		1110,8	75,2	
5	1110,8	37,1			1073,5	72,7	
6	1073,5	37,4		450,0	1486,0	100,7	Перший полив
7	1486,0	37,9	8,0		1456,2	98,6	
8	1456,2	38,2			1417,9	96,1	
9	1417,9	38,6	75,0		1454,3	98,5	
10	1454,3	39,0			1415,4	95,9	
11	1415,4	39,3			1378,1	93,2	
12	1378,1	39,7	33,0		1369,4	92,6	
13	1369,4	40,0	8,0		1337,4	90,6	
14	1337,4	40,4			1297,0	87,9	
15	1297,0	40,7			1256,3	85,1	
16	1256,3	41,0			1215,3	82,3	
17	1215,3	41,3	33,0		1207,0	81,8	
18	1207,0	41,7			1165,3	78,9	
19	1165,3	42,0			1123,4	76,1	
20	1123,4	42,3			1081,1	73,2	
21	1081,1	42,8			1038,8	70,4	
22	1038,8	42,9		600,0	1495,7	101,3	Другий полив

Рисунок 4. Введення поточної інформації для розрахунків строків і норм вегетаційних поливів (пояснення в тексті)

В третій колонці (див. рис. 4, позначка 2) наведені показники середньодобового випаровування за періодами, які отримані шляхом кореляційно-регресійного моделювання по календарних датах. В цю колонку можна також заносити фактичні показники добових вологовитрат, розраховані будь-яким методом, про які наведена довідкова інформація у файлі *Допомога*).

Наступний і дуже важливий елемент програми – надходження вологи за рахунок атмосферних опадів (див. рис. 4, позначка 3). Контроль за кількістю опадів, розподіл яких по площі може суттєво

різнитися, слід організувати окремо по зрошуваних ділянках за допомогою комп'ютерно-сенсорного моніторингу, автономного електронного устаткування, механічних дощомірів, лізиметрів і, навіть, з використанням найпростіших саморобних приладів (збирання опадів в ємкості з відомою площею з подальшим перерахунком надходження води в м<sup>3</sup>/га).

У колонці „Поточні запаси вологи” (позначка **4**) відбувається автономний розрахунок вмісту вологи на кожен день кожного місяця вегетації сільськогосподарських культур за винятком витрат на випаровування та додаванням надходження води з опадами й поливами. Для заповнення календарних дат, які знаходяться нижче за зображеними в активному вікні, треба скористатися колесом миші або смугою прокрутки в правій частині програми.

Для спрощення визначення дати проведення чергового поливу в наступній колонці наведена поточна вологість ґрунту у відсотках від найменшої вологоємкості. При зниженні цього показнику до значення передбаченого встановленим режимом зрошення (в розглянутому прикладі для люцерни це передполивним поріг 70% НВ, в шарі ґрунту 0,7 м), тобто близькому до 70% НВ (72,7% – позначка **5**), на наступний день передбачається проведення поливу з нормою, яка доведе вологозапаси приблизно до 100% НВ.

В даному випадку було потрібно проведення поливу нормою 450 м<sup>3</sup>/га, яким вологозапаси були доведені до 100,7% НВ. Таким чином, відбувається планування строків і норм поливів у подальший період, причому поточні вологозапаси вегетаційного періоду рослин для останнього дня кожного місяця автоматично синхронізуються з першим числом наступного місяця й, відповідно, з подальшими датами.

З метою візуалізації контролю над рівнем вологозапасів внизу кожного активного вікна побудовано графік динаміки вологовитрат, який відображає лінійну функцію вмісту вологи в ґрунті та показники її надходження за рахунок атмосферних опадів та вегетаційних поливів (рис. 5).

Виробника перевірка розробленого програмно-інформаційного комплексу показала його високу точність, швидкість отримання результатів та простоту у використанні. Крім того, відмічене скорочення витрат поливної води внаслідок зниження кількості поливів і їх норм, що обумовлено більш ефективним контролем за рівнем вологозапасів в ґрунті. Це свідчить про перспективність застосування цієї розробки та обґрунтовує необхідність продовження науково-дослідних робіт з обраного напрямку.

**Висновки.** На сучасному рівні науково-технічного прогресу є можливість використовувати математичне моделювання для оптимізації режимів зрошення сільськогосподарських культур.



Розроблений Програмно-інформаційний комплекс „Іригація” забезпечує високу точність розрахунків вмісту запасів вологи в активному шарі ґрунту, простоту у використанні та невисоку вартість.

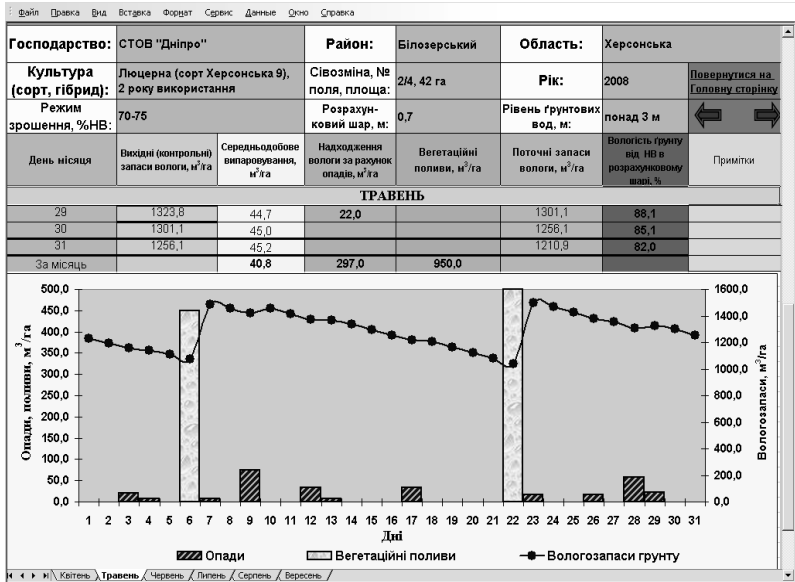


Рисунок 5. Графічне відображення динаміки вологозапасів в ґрунті та показників її надходження за рахунок поливів і атмосферних опадів

Використання створеного програмного продукту в практичних умовах дозволить формувати оптимальний поливний режим, заощадити воду, енергоносії, технічні засоби, трудові ресурси, сприятиме підвищенню врожаю та покращенню його якості, зростанню економічної ефективності й екологічної безпеки землеробства на зрошуваних землях півдня України.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по прогнозированию и программированию урожая в юге Украины / Лымарь А.О., Лысогоров С.Д., и др. – Одесса: Маяк, 1987. – 173 с.
2. Жовтоног О.І. Планування адаптивного екологічно безпечного зрошення // Вісник аграрної науки. – 1999. – №12. – С. 62.
3. Сельскохозяйственные мелиорации / Гончаров С.М., Коробченко С.М. и др. – Львов: Вища школа, 1988. – 352 с.

4. 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.
5. Інтернет-ресурс: <http://raduga.ener.ru/rus/devel/10.html>
6. Інтернет-ресурс: <http://www.uaseed.com/oroshenie/707.html>
7. 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.
8. 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.
9. Писаренко В.А., Коковіхін С.В., Писаренко П.В. Рекомендації з режимів зрошення сільськогосподарських культур в Херсонській області. – Херсон: Айлант. – 20 с.
10. Штойко Д.А. Нормативы проектирования орошения сельскохозяйственных культур и гидромодуля в условиях интенсивного использования орошаемых земель. – М.: Колос, 1965. – С. 171-185.
11. Методика планування оптимальних екологічно безпечних режимів зрошення: Препр. / УкрНИИГиМ. – К., 1997 – 43 с.
12. Методичні вказівки по застосуванню розрахункового методу визначення строків поливу сільськогосподарських культур за показниками середньодобового випаровування / В.А.Писаренко, С.В.Коковіхін, Л.С.Мішукова та ін. – Херсон: Колос, 2005. – 16 с.

**УДК:633.18:631.52**

## **ОЦІНКА АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗРАЗКІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ КОЛЕКЦІЇ РИСУ ЗА ВИСОТОЮ РОСЛИН ТА МАСОЮ ЗЕРНА ВОЛОТІ**

**ПЕТКЕВИЧ З.З.** – к.с.-г.н.

**ШПАК Т.М.** – н.с., Інститут рису НААН України

**ВОЖЕГОВА Р.А.** –к.с.-г.н., с.н.с., Інститут землеробства  
південного регіону НААН України

**Постановка проблеми.** Зростання нестабільності погодних умов в останні роки створює суттєві проблеми для сільського господарства. Географічне положення півдня України характеризується різкою зміною погодних умов у період вегетації сільськогосподарських культур. Тому дуже важливо вирощувати