

УДК 631.95:631.67 (477.7)

© 2019

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА АГРОЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЗРОШУВАНИХ ЗЕМЕЛЬ В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Р.А. Вожегова¹, І.М. Біляєва², В.Г. Пілярський³,
О.О. Пілярська⁴, Х.І. Бойценюк⁵

¹ доктор сільськогосподарських наук, член-кореспондент НААН

² доктор сільськогосподарських наук

^{3,4} кандидати сільськогосподарських наук

Інститут зрошуваного землеробства НААН

смт Наддніпрянське, м. Херсон, 73483, Україна

e-mail: ¹izz.ua@ukr.net, ²inb95@ukr.net,

³subbit2010@gmail.com, ⁴izz.biblio@ukr.net

Надійшла 12.09.2019

Мета. Створення сприятливого еколого-меліоративного стану в умовах півдня України. **Методи.** Польові, лабораторні, статистико-економічний аналіз, моделювання. **Результати.** Розроблено та вдосконалено системи агротехнологічних заходів, спрямованих на підвищення продуктивності, економічної і енергетичної ефективності галузі зрошуваного землеробства завдяки нормуванню агроресурсів, ресурсозбереженню та моделюванню продукційних і виробничих процесів. При вирощуванні сільськогосподарських культур на поливних землях велике значення належить плануванню зрошення й оптимізації технологій вирощування для кожного поля сівозмін. Для цього потрібно використовувати спеціальні комп'ютерні програми, створені в Інституті зрошуваного землеробства НААН (ПІК «Іригація», ПІК «Гідромодуль»), або світові розробки, адаптовані до локальних природно-господарських умов (програми ФАО ООН — CROPWAT, AquaCrop, ETo Calculator). Використання таких програм дає змогу визначити водопотребу для окремих полів з урахуванням поточних метеорологічних умов, забезпечує високу точність розрахунків, має економічні та екологічні переваги. **Висновки.** Установлено, що вихідні показники штучного зволоження потрібно коригувати з урахуванням глобальних кліматичних параметрів і господарсько-економічних особливостей сівозмін та окремих полів з метою забезпечення біологічних потреб рослин у поливній воді й елементах живлення. Моделювання водного режиму ґрунту з використанням сучасних комп'ютерних програм для формування режимів зрошення і нормування витрат поливної води, добрив і пестицидів дає змогу підвищити продуктивність польових культур на 20–25%, забезпечує економію поливної води на 15–30%, сприяє збільшенню чистого прибутку, рентабельності, енергетичних показників, а також поліпшує меліоративний стан ґрунтів.

Ключові слова: добрива, сівозмінна, агрометеорологічні чинники, урожайність, моделювання, економічна ефективність, енергетична оцінка, еколого-меліоративні показники.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201910-025>

Зрошення за умов підвищення посушливості клімату є визначальним заходом інтенсифікації сільськогосподарського виробництва в Степовій зоні України. За останні десятиліття на Землі загострюються глобальні екологічні загрози, зокрема зміни клімату, опустелювання, втрата біорізноманіття, які руйнують природні ресурси та створюють небезпеку для існування людства. В Україні ці загрози є не менш небезпечними, особливо це стосується змін клімату, які проявляються жорсткими посухами на півдні, а також повеннями — у західних регіонах. Крім того, надзвичайно актуальною проблемою є деградація ґрунтів, що впливає не лише на врожайність та якість рослинницької продукції, а й призводить до істотних економічних втрат на регіональному та державному рівнях [1–3].

Важливість та актуальність питань підтверджено 3-ма Конвенціями ООН про охорону біорізноманіття, Конвенцією ООН про боротьбу з опустелюванням, Рамковою Конвенцією ООН про зміни клімату [4, 5]. Для подолання негативного впливу змін клімату, опустелювання та деградації ґрунтів, які істотно позначаються на ефективності функціонування аграрного сектору економіки, науковими установами Національної академії аграрних наук України розроблено високоефективні інноваційні технології виробництва сільськогосподарської продукції на зрошуваних землях. Водночас зміна земельних відносин в Україні потребує поглибленого теоретичного обґрунтування і виробничого впровадження інтенсивної системи землеробства на зрошуваних землях відповідно до спеціалізації господарств на засадах адаптації до змін клімату, енергозбереження, економічної доцільності та екологічної безпеки [6–10].

Питання оптимізації взаємодії зрошення зі структурою посівних площ, сівоzmінами, системами удобрення, обробітком ґрунту, захистом рослин від шкідливих організмів на фоні комплексної меліорації та механізації технологічних процесів, які сприяють повнішому використанню природно-кліматичного потенціалу регіону, забезпечуючи реалізацію генетично зумовленого потенціалу продуктивності новітніх сортів і гібридів сільськогосподарських культур, — у центрі уваги аграрної науки України [11–14].

Ці проблеми є актуальними та потребують експериментального розв'язання з точки зору підвищення продуктивності зрошуваних земель, врахування впливу на параметри ефективності ведення землеробства на зрошуваних землях природних (зміни клімату, погодні умови, родючість ґрунту та ін.) та агротехнологічних (інтенсифікація технологій вирощування, типи режимів зрошення, нормування системи удобрення, диференціація обробітку ґрунту та ін.) чинників. Від їх розв'язання значною мірою залежить стабільність функціонування агропромислового комплексу та продовольча безпека України.

Продуктивність зрошення в посушливих умовах Південного Степу України великою мірою залежить від метеорологічних умов, а особливо — від кількості атмосферних опадів за рік та за теплий період (з квітня по вересень). Згідно з узагальненням багаторічних даних агрометеорологічної станції «Херсон» за період з 1882 по 2016 р. визначено загальну тенденцію до поступового підвищення річної кількості опадів (рис. 1).

Найбільшою мірою урожайність сільськогосподарських культур у посушливих умовах Південного Степу України залежить від кількості атмосферних опадів за рік і за вегетаційний період. Відповідно до аналізу багаторічних даних спостережень агрометеорологічної станції «Херсон» за період з 1882 по 2016 р. нами встановлено поступове збільшення кількості атмосферних опадів за рік і за вегетаційний період.

З метою встановлення динаміки змін цих показників 135-річний проміжок часу розділили на дві частини: перша частина — з 1882 по 1960 р. і друга — з 1961 по 2016 р. Кожну з цих частин ми розбили ще на 4 періоди.

Мета досліджень — створити сприятливий еколого-меліоративний стан в умовах півдня України.

Методи досліджень. Польові, лабораторні, статистико-економічний аналіз, моделювання.

Результати досліджень. У результаті опрацювання даних встановлено, що за 4 періоди 79-річного проміжку часу: середньорічна сума атмосферних опадів коливалася в межах 317–353 мм, а за 4 періоди наступного 56-річного проміжку часу середньорічна сума

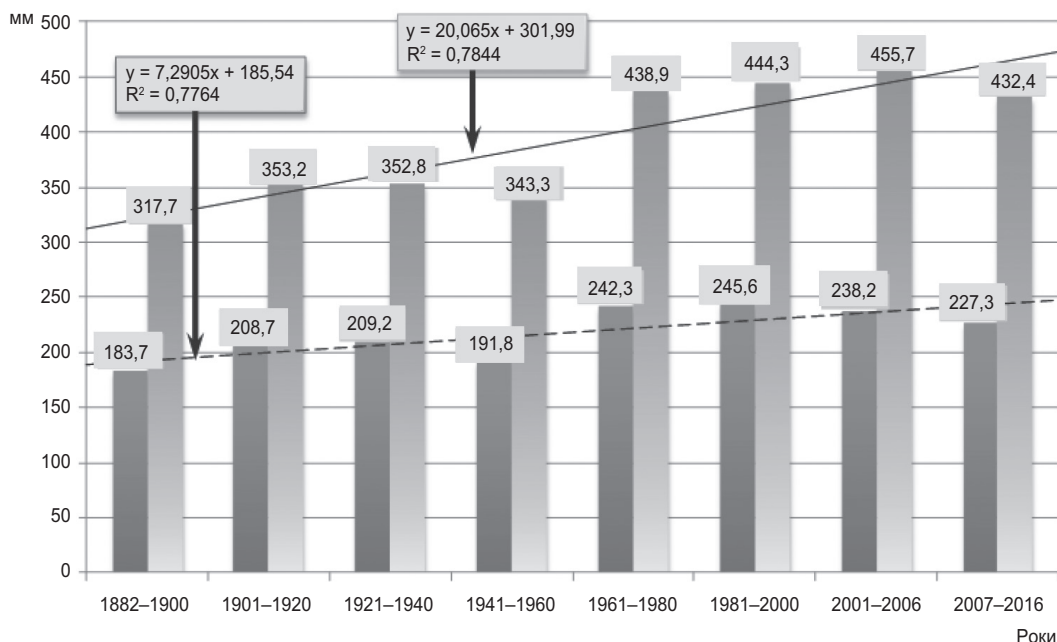


Рис. 1. Динаміка кількості атмосферних опадів у середньому за рік і за період «квітень – вересень» за даними агрометеорологічної станції «Херсон» з 1882 по 2016 р., мм: ■ – сума опадів за квітень – вересень; --- – лінійна (сума опадів за квітень – вересень); ■ – сума опадів за рік; — – лінійна (сума опадів за рік)

опадів збільшилася на 105–115 мм і становила 432–456 мм, або зросла на 30–35%.

За визначеними багаторічними періодами ми дослідили показники суми атмосферних опадів за квітень – вересень і встановили, що вони підпорядковані таким самим закономірностям, тобто спостерігалось їх зростання на 14–32%.

Загалом за весь період спостережень з 1882 по 2016 р. при використанні кореляційно-регресійного аналізу одержано лінійні рівняння теоретичних показників кількості атмосферних опадів з високим ступенем кореляційного зв'язку. Вони відображають загальну закономірність підвищення цього показника як у середньорічній площині, так і за умовний період «квітень – вересень».

Аналізуючи дані двох останніх десятиліть (1994 по 2004 р. та з 2005 по 2016 р.), встановлено, що посушливість клімату підвищується інтенсивніше, ніж у попередні досліджувані періоди.

Якщо за перший 10-літній період налічували 3 роки з середньорічною сумою опадів менше 400 мм, то за другий їх уже

було 7. Середньорічна температура повітря за 1994–2004 рр. становила 10,6°C, а за 2005–2016 рр. вона досягла 11,3°C, тобто зросла на 0,7°C, або на 6,6%. Водночас відносна вологість повітря знизилася з 65 до 63%.

Метеорологічні показники вегетаційного періоду (квітень – вересень) 2005–2016 рр. характеризувалися певними відмінностями, особливо в окремі роки. Істотнішим коливанням підпорядковані атмосферні опади. Якщо у 2007 р. їх випало 144 мм, то у 2015 р. – удвічі більше – з коефіцієнтом варіації за 12-річний період 25,4%. Гідротермічний коефіцієнт коливався від 0,41 у 2007 р. до 0,91 у 2015 р. з коефіцієнтом варіації за досліджуваний період – 26,3%. Надходження сонячної енергії, відносна вологість повітря та сума температур повітря понад 10°C мали рівень мінливості від 4,0 до 8,5%.

Такі тенденції підтверджено результатами лінійного кореляційно-регресійного аналізу досліджуваних показників. Сформовані лінії тренду свідчать про закономірність

істотного наростання кількості атмосферних опадів, сум температур повітря понад 10°C та евапотранспірації.

Відносна вологість повітря та швидкість вітру характеризувалися практично повною стабільністю протягом 2005–2016 рр., а надходження сонячної енергії на 1 м² посівної площі мало тенденцію до зниження. Водночас потрібно зауважити, що, незважаючи на зростання кількості опадів за лінією тренду, рівномірність їх надходження порушилась у бік зростання кількості непродуктивних опадів, особливо за останні 5–7 років.

Аналіз інтенсивності розвитку зрошувального землеробства у світі також свідчить про збільшення посушливості клімату. Якщо на початку XIX ст. у світі поливали 8 млн га, то до початку XX ст. площа зрошуваних земель зросла у 5 разів і становила 40 млн га. Нині штучне зволоження застосовують 120 країн світу. В Азії площа зрошення досягла 160 млн га, близько 80% цієї площі припадає на Китай, Індію та Пакистан. У Західній півкулі найінтенсивніше зрошення використовують у Північній і Центральній Америці, де його площі перевищують 30 млн га, з яких 70% припадає на США.

Нині площа зрошуваних земель у світі становить понад 270 млн га, що відповідає 1/6 частині світової ріллі. Водночас зрошувані землі забезпечують практично стільки продукції сільського господарства, скільки її отримують із усіх неполивних площ.

Клімат степової зони України посушливий, із значними ресурсами сонячної радіації на фоні дефіциту природного зволоження, що зумовлює потребу застосування зрошення для підвищення врожайності сільськогосподарських культур, стабілізації валових зборів рослинницької продукції, забезпечення економічної ефективності та екологічної безпеки функціонування агропромислового виробництва.

Тому в південній частині степової зони України з загальною площею орних земель 4,7 млн га зрошували і нині можна поливати понад 1,5 млн га, тобто кожний 3-й гектар. Протягом 2017 р. у степовій зоні України поливали 459,8 тис. га. Найбільші площі зрошення були у Херсонській обл. (понад 300 тис. га), у Запорізькій, Одеській,

Дніпропетровській, Миколаївській поливали 30–50 тис. га і найменше — у Донецькій, Кіровоградській та Луганській обл. — відповідно 4,7; 3,5 та 0,3 тис. га.

У підприємствах, які ведуть господарювання в зоні дії зрошувальних систем України, поширена інтенсивна система землеробства. За результатами узагальнення багаторічних експериментальних досліджень створено базу даних формування продуктивності сільськогосподарських культур в умовах зрошення Південного Степу України.

У цій базі для кожної культури досліджуваних експериментальних сівозмін надано характеристику гідротермічних умов за роки досліджень, показники поливних і зрошувальних норм, сумарного водоспоживання та урожайності сільськогосподарських культур. Використання розробленої бази даних дало змогу оцінити природні умови на різних рівнях — окремих полів, сівозмін і господарств.

На основі узагальнення баз даних метеорологічної станції «Херсон» за період з січня по грудень у роки проведення досліджень (2005–2016 рр.), з використанням інструментарію програмного комплексу CROPWAT [15] були проаналізовані показники мінімальної і максимальної температур, відносної вологості повітря, швидкості вітру, інтенсивності сонячної радіації та встановлено їх вплив на інтенсивність ростових процесів і формування врожаю сільськогосподарських культур.

За допомогою математичного моделювання визначено показники надходження сонячної радіації (МДж/м² за добу) способом пропорційного врахування параметрів загальної хмарності та температурного режиму, а також середньодобового випаровування — за методом Пенмана-Монтейта (мм за добу).

За результатами досліджень встановлено, що найважливішими складниками інтенсивної системи землеробства на зрошуваних землях, що сприяють раціональному використанню потужностей зрошувальних систем з подачі поливної води, підвищенню продуктивності сівозмін, збереженню родючості ґрунтів і підтриманню сприятливого фітосанітарного й екологічного станів, є добір і порядок чергування культур.

У польових дослідях, проведених на полях Інституту зрошуваного землеробства НААН, вивчали 8 схем: 2-, 3-, 4- та 8-пільних сівозмін, які нині є найпоширенішими на зрошуваних землях України. Завдяки моделюванню агротехнологічних параметрів сформовано зрошувані сівозміни з таким чергуванням сільськогосподарських культур:

1. Люцерна, люцерна, пшениця озима + горохо-вівсяна сумішка, буряк на корм, кукурудза на силос, пшениця озима + кукурудза з підсівом сої на зелений корм, кукурудза на зерно, ячмінь з підсівом люцерни (коефіцієнт використання зрошуваної ріллі — 1,375).

2. Соя, пшениця озима + гречка (коефіцієнт — 1,33).

3. Соя, кукурудза (коефіцієнт — 1).

4. Кукурудза, кукурудза, соя (коефіцієнт — 1).

5. Соя, соя, кукурудза (коефіцієнт — 1).

6. Кукурудза, кукурудза, соя, пшениця озима + просо (коефіцієнт — 1,25).

7. Соя, соя, кукурудза, ячмінь озимий + кукурудза на зерно (коефіцієнт — 1,25).

8. Однорічні злаково-бобові на зелений корм + соняшник на олієнасіння, однорічні злаково-бобові сумішки на зелений корм + кукурудза на зерно, озимий ячмінь + соя, кормовий буряк (коефіцієнт 1,75).

Питома вага зернових культур у сівозмінах, що взяті на дослідження, була в межах 33,4–75%; технічних (насамперед сої) — 25–66,6%; кормових — кукурудзи на силос, люцерни, буряку на корм і багатоконпонентних сумішок — 33,3–50%. Коефіцієнт використання зрошуваної ріллі в сівозмінах становив 1,0–1,75.

Для сільськогосподарських культур, що входять до складу експериментальних сівозмін на зрошуваних землях, розроблено науково обґрунтовані технології вирощування з режимами зрошення, що відповідають їх біологічним особливостям, а звідси формується різна потреба в поливній воді впродовж вегетаційного періоду.

Середньозважена норма зрошення для експериментальних сівозмін досягала в липні 4300 м³/га на ділянках з насиченням соєю 50 та 66,6% (таблиця).

У серпні у сівозмінах з питомою вагою сої 50% вона різко зменшується і становить 3000 м³/га, а з насиченням кукурудзою 50 і 66,6% — знижується до 3500 та 3900 м³/га і залишається високою. Тобто ці 2 місяці є найбільш напруженими за водопостачанням. Величина гідромодуля в липні досягла 0,447–0,531 л/с/га. Це свідчить про те, що липень є критичним для 2- і 3-пільних сівозмін з насиченням соєю і кукурудзою 50 та 66%.

Слід зауважити, що у переважній кількості господарств Південного Степу України проєктні значення гідромодуля функціонуючих зрошувальних систем та їх діляниць у таких сівозмінах неспроможні забезпечити оптимальний режим зрошення сільськогосподарських культур.

На зрошувальних ділянках з гідромодулем вище 0,35 л/с/га, тобто на Каховській, Фрунзенській, II черзі Краснознам'янської зрошувальних систем є можливість застосовувати 4-пільні сівозміни з питомою вагою кукурудзи, сої та пшениці озимої відповідно: 50, 25 та 25%; або 25, 50 і 25% та 2-пільні сівозміни з насиченням соєю і пшеницею озимою 50%.

Витрати води на зрошення в експериментальних сівозмінах, м³

Календарний місяць вегетаційного періоду	Схеми сівозмін з різним насиченням кукурудзою та соєю							
	8-пільна	2-пільні		3-пільні		4-пільні		
Сівозміна, №	1	2	3	4	5	6	7	8
Травень	2000	900	—	—	—	1350	1400	1600
Червень	3800	1300	1400	2400	1800	2850	1800	2800
Липень	7500	900	2400	3900	4300	3900	4300	3000
Серпень	6500	1900	2500	3500	3000	3900	3000	2500
Вересень	3600	600	400	400	800	600	800	600
Витрати на 1 га	2925	2800	3350	3400	3300	3150	2825	2625

Збільшення питомої ваги кукурудзи і сої у 2–3-пільних сівозмiнах до 50–66% призводить до порушення науково обґрунтованих режимів зрошення та зниження продуктивності цих культур на усіх зрошувальних системах України.

Додавання до складу сівозмiн багаторічних бобових трав і проміжних ранньовесняних і післязливних багатокомпонентних травосумішок на зелений корм та кукурудзи, проса і гречки на зерно забезпечувало зниження витрат поливної води на 1 га сівозмiнної площі на 11–27%. Водночас продуктивність сівозмiни завдяки проміжним посівам сільськогосподарських культур істотно зростала і коливалася в межах 12,8–14,1 т к. о. з 1 га, проти 10,0–11,1 т/га у сівозмiнах з насиченням кукурудзою і соєю 50 та 66,6%. У сівозмiнах з проміжними посівами культур на зерно і зелений корм визначено зменшення витрат води на формування 1 т/к.о. на 24–40% та зростання виробництва продукції на 1000 м³ поливної води від 23 до 66%.

Так, у 4-пільній сівозмiні з насиченням соєю 50%, питомою вагою кукурудзи на зерно 25% та ячменю озимого 25%, з післязливним посівом середньораннього гібрида кукурудзи на зерно продуктивність сівозмiни досягла 14,1 т/га к. о. з витратами поливної води на 1 т к. о. 200 м³ та отриманням на 1000 м³ води 5 т к. о. продукції.

Зростання питомої ваги кукурудзи в сівозмiнах з 28,5 до 57,1 та 71,5% забезпечує зниження середньої зрошувальної норми відповідно на 4 і 22% з підвищенням їх продуктивності на 6,7 та 22,9%. У зв'язку з цим у таких сівозмiнах спостерігається економніше витрачання поливної води на формування 1 т зерна, а також підвищується виробництво продукції на 1 м³ води.

Водночас для створення оптимального рівня водозабезпечення сільськогосподарських культур з таким насиченням кукурудзою і соєю потрібно підвищити спроможність зрошувальних ділянок. До того ж поливну воду на початку вегетаційного періоду (квітень) та перед завершенням поливного сезону (вересень — жовтень) у таких сівозмiнах не використовують, вона йде на скид, що призводить до зниження ефективності використання зрошуваних земель.

Використано розроблений Програмно-інформаційний комплекс (ПІК) «Гідромодуль», за допомогою якого фахівці агропідприємств мають можливість проводити моделювання структури посівних площ, наявної дощувальної техніки, можливостей насосного обладнання та багатьох інших природних і господарсько-економічних чинників, формувати графіки поливів з їх оптимізацією та укомплектуванням.

Програмний комплекс містить електронні блоки з потрібними вихідними компонентами — наприклад, допоміжні таблиці з вихідними параметрами для оптимізації режиму зрошення та створення укомплектованого графіка поливів. Після заповнення таких таблиць по культурах сівозмiни уточнюються строки і норми проведення поливів, які автоматично відображаються в укомплектованому графіку поливів.

Ввівши базову інформацію, користувачі мають можливість формувати режими зрошення культур сівозмiни відповідно до гідромодуля окремих зрошувальних ділянок господарства. Після введення вихідних даних ПІК «Гідромодуль» в автономному режимі формує укомплектований графік поливів на рівні сівозмiни, з подальшим коригуванням відповідно до гідротермічних умов вегетаційного періоду.

Адаптування програми до умов кожного господарства забезпечило запобігання перевантаженням зрошувальних систем, нормування витрат води для штучного зволоження, підвищення урожайності сільськогосподарських культур, продуктивності сівозмiн за виходом продукції в розрахунку на 1 га та зростання економічної і енергетичної ефективності технологій вирощування (рис. 2).

Установлено, що в умовах інтенсивної системи землеробства на зрошуваних землях відбувається погіршення еколого-меліоративного стану ґрунтів з проявом переущільнення та вторинного осолонцювання. Це призводить до погіршення водного режиму, зниження біологічної активності та вмісту і запасів гумусу в орному шарі.

Використання науково-теоретичних основ системного аналізу родючості ґрунтів дало змогу провести моделювання процесів витрат і накопичення органічної речовини в ґрунті з визначенням динаміки вмісту

і запасів гумусу, що має вирішальне значення для оцінки ефективності зрошення в посушливих умовах Південного Степу України.

Установлено, що для створення позитивного балансу гумусу в ґрунті зрошуваної сівозміни потрібно удосконалювати елементи технології вирощування та оновлювати сортовий склад вирощуваних культур, стабілізувати та підвищувати їх урожайність, сприяти збільшенню надходження в ґрунт свіжої органічної речовини з метою активізації процесів гуміфікації.

Установлено, що складні агровиробничі системи, які формуються на поливних землях, мають утворювати єдину систему екологічно безпечного зрошуваного землеробства, яке за умов координації між водогосподарськими організаціями, агровиробниками та науковцями дає змогу отримувати на поливних землях високі й стабільні врожаї сільськогосподарських культур, підвищити економічну ефективність та екологічну безпеку зрошуваного землеробства.

Відповідно до експериментальних сівозмін сформовано показники водопотреби, побудовано графіки поливів досліджуваних культур, змодельовано добовий баланс ґрунтової вологи для кожної культури окремо з урахуванням їх біологічних характеристик, одержано імітаційні графіки наростання висоти рослин і глибини проникнення кореневої системи для пшениці озимої, кукурудзи, сої, овочів, картоплі та люцерни.

У модулі «Схема розміщення культур» програми CROPWAT сформовано бази даних по кожній культурі в порядку їх чергування в сівозміні, наведено інформацію з поживного та водного режимів, календарних дат строків сівби, проведення вегетаційних проливів та оптимальних строків збирання врожаю.

Моделюванням діапазону продуктивності та показників якості сортів пшениці озимої за створеними базами даних визначено, що врожайність зерна досліджуваних сортів пшениці озимої залежить від умов

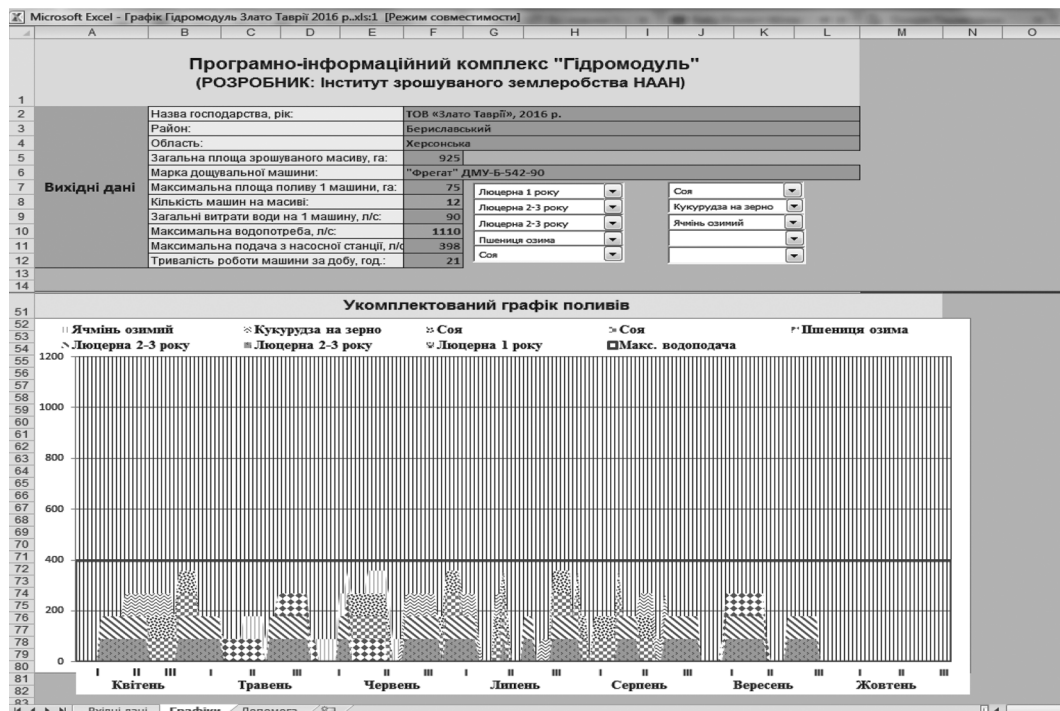


Рис. 2. Сформований ПІК «Гідромодуль» — укомплектований графік поливів для умов ТОВ «Злато Таврії» Бериславського р-ну Херсонської обл.

зволоження та фону мінерального живлення і досить тісно корелює з кількістю сформованих продуктивних стебел на одиниці площі. Водночас велике значення має і такий показник структури врожаю, як маса зерна з одного колоса. На масу зерна, як встановлено нашими дослідженнями, впливали режими зрошення і фону мінерального живлення рослин пшениці озимої.

Використання програми CROPWAT 8.0 дало змогу оперативно контролювати сумарне випаровування, а також коригувати строки і норми вегетаційних поливів. Врахування витратної частини водного балансу повною мірою оптимізувало продукційні процеси рослин, дало змогу підвищити рівень урожайності та якості продукції. Моделювання приросту врожайності зерна пшениці озимої відносно величини зрошувальної норми свідчить про те, що за її збільшення до 2000–2250 м³/га відбувається стабільне підвищення продуктивності рослин, а подальше її збільшення, навпаки, не забезпечує позитивних результатів. Зростання показників сумарного водоспоживання забезпечує практично прямопорційне збільшення врожайності культури в межах 2500–5500 м³/га у середні за дефіцитом випаровуваності роки.

За результатами статистичного оброблення експериментальних даних продуктивності

досліджуваних культур у роки з різним рівнем природного вологозабезпечення встановлено, що на продуктивність рослин вплив мають величина зрошувальної норми, сумарне водоспоживання, середньодобове випаровування (евапотранспірація) та інші чинники. Слід зауважити, що за вирощування сої сортовий склад істотно впливає на величину сумарного водоспоживання. Особливо помітну різницю між досліджуваними сортами сої спостерігали за максимальних змодельованих значень сумарного водоспоживання (4500 м³/га). Згідно зі здійсненим моделюванням встановлено, що прогнозований рівень урожайності насіння сорту Діона становитиме 2,53 т/га, а сорту Аполлон досягне 3,47 т/га, або зросте у 1,4 раза.

Максимальні значення евапотранспірації у помідора визначено у період з 50-го по 80-й день вегетації (від фази цвітіння до формування й наростання плодів). Причому у сухі роки цей показник зростає до 67–73 м³/га за добу, у вологі та середньовологі — зменшується до 49–52 м³/га за добу. За створеними математичними моделями можна програмувати врожайність сільськогосподарських культур, нормувати ресурси, оптимізувати режими зрошення та ін. Крім того, роботу над формуванням моделей продуктивності можна продовжити із залученням інших складових

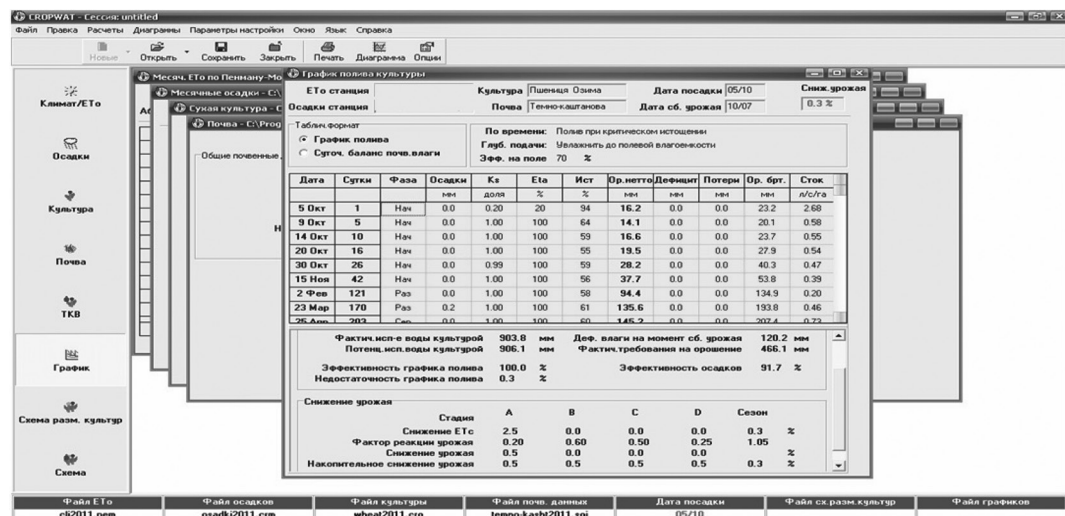


Рис. 3. Змодельований графік поливу культур зрошуваної сівозміни, який складається із взаємопов'язаних електронних блоків програми CROPWAT 8.0

елементів регресійних рівнянь, які мають середній або високий ступінь кореляційних взаємозв'язків.

Установлено, що змодельований оптимальний рівень продуктивності пшениці озимої можна досягнути за величини зрошувальної норми в межах 1900–2300 м³/га та внесення азотних добрив у діапазоні 120–160 кг д. р. За такого сполучення досліджуваних чинників рослини цього сорту спроможні сформувати врожайність понад 7,5 т/га. Статистична обробка експериментальних

даних урожайності зерна кукурудзи дала змогу встановити, що середній рівень впливу ($r=0,3507$ та $0,5472$) мають сумарне водоспоживання та норма зрошення (рис. 3).

Виробнича перевірка розроблених за результатами досліджень математичних моделей для встановлення ступеня їх достовірності дала можливість отримати динамічні моделі продуктивності пшениці озимої, кукурудзи на зерно, сої та помідора, які істотно підвищують контроль витрат вологи на рівні кожного поля та сівозміни.

Висновки

За результатами комплексної агроекологічної оцінки встановлено, що глобальні зміни клімату істотно впливають на продуктивність зрошуваних агроєкосистем, знижують ефективність використання агроресурсів, призводять до погіршення економічних показників, викликають негативні зміни еколого-меліоративного стану поливних земель. Доведено, що за допомогою врахування особливостей погодних умов на рівні конкретного господарства, сівозміни та поля можна дослідити просторову мінливість вологозапасів ґрунту, встановити оптимальні поливні та зрошувальні норми, науково обґрунтувати елементи технології вирощування сільськогосподарських культур зрошуваних агроєкосистем. Використання агрометеорологічної інформації для моделювання та оперативного коригування складових елементів ресурсо- та енергоощадних зрошуваних агроєкосистем з опрацюванням сучасними комп'ютерними програмами забезпечує підвищення врожайності на 20–25%, економію поливної води на 15–30%, сприяє максимізації прибутків та поліпшує меліоративний стан ґрунтів.

Науково обґрунтовано оптимальне насичення короткоротаційних сівозмін зерновими культурами від 33,4 до 75%, а технічними (насамперед соєю) — від 25 до 66,6%, що відповідає специфіці

окремо взятих зрошувальних систем і гарантує бездефіцитне постачання води на зрошувані масиви протягом поливного сезону. Використання створеного ПІК «Гідромодуль» дає змогу змодельовувати режими зрошення для кожної культури сівозмін з урахуванням потужності технічних параметрів зрошувальних систем, дощувальних агрегатів та інших ланок виробничих систем, дає змогу користувачам сформувати неукomплектований та укomплектований графіки штучного зволоження, скоординувати роботу окремих машин та персоналу з їх обслуговування, запобігати непродуктивним витратам поливної води або зниженню продуктивності рослин унаслідок недополиву.

Визначено, що проведення моделювання дає змогу ефективно контролювати витрати вологи на рівні кожного поля та сівозмін, нормувати агроресурси, зменшувати їх витрати на одиницю приросту врожайності. За результатами моделювання продуктивності помідорів отримано основні показники нейронної мережі. Найбільшу навчальну (0,2822) та контрольну (0,3555) продуктивності визначено у варіанті з сумою ефективних температур повітря понад 10°C. На 2-му місці — варіант з дозами азотних і фосфорних добрив, у якому ці показники зменшилися до 0,2734 та 0,3404, або на 3,1 і 4,2%, відповідно.

Вожегова Р.А.¹, Беляева И.Н.², Пилярский В.Г.³,
Пилярская Е.А.⁴, Бойценюк К.И.⁵

Институт орошаемого земледелия НААН,
пгт Надднепрянское, г. Херсон, 73483,

Украина; e-mail: ¹izz.ua@ukr.net, ²inb95@ukr.net,
³subbit2010@gmail.com, ⁴izz.biblio@ukr.net

Теоретические основы и агроэкологическое обоснование мероприятий повышения

продуктивности орошаемых земель в условиях юга Украины

Цель. Создание благоприятного эколого-мелиоративного состояния в условиях Южной Степи Украины. **Методы.** Полевые, лабораторные, статистико-экономический анализ, моделирование.

Результаты. Разработаны и усовершенствованы системы агротехнологических мероприятий, направленных на повышение продуктивности, экономической и энергетической эффективности отрасли орошаемого земледелия за счет нормирования агроресурсов, ресурсосбережения и моделирования продукционных и производственных процессов. При выращивании сельскохозяйственных культур на поливных землях важное значение имеет планирование орошения и оптимизации технологий выращивания для каждого поля севооборотов. Для этого нужно использовать специальные компьютерные программы, созданные в Институте орошаемого земледелия НААН (ПИК «Ирригация», ПИК «Гидромодуль»), или мировые разработки, адаптированные к локальным природно-хозяйственным условиям (программы ФАО ООН—CROPWAT, AquaCrop, ETo Calculator). Использование таких программ дает возможность определить водопотребность для отдельных полей с учетом текущих метеорологических условий, обеспечивает высокую точность расчетов, имеет экономические и экологические преимущества. **Выводы.** Установлено, что исходные показатели искусственного увлажнения нужно корректировать с учетом глобальных климатических параметров и хозяйственно-экономических особенностей севооборотов и отдельных полей с целью обеспечения биологических требований растений в поливной воде и элементах питания. Моделирование водного режима почвы с использованием современных компьютерных программ для формирования режимов орошения и нормирования расходов поливной воды, удобрений и пестицидов дает возможность повысить продуктивность полевых культур на 20–25%, обеспечивает экономию поливной воды на 15–30%, способствует увеличению чистой прибыли, рентабельности, энергетических показателей, а также улучшает мелиоративное состояние почв.

Ключевые слова: удобрения, севооборот, агрометеорологические факторы, урожайность, моделирование, экономическая эффективность, энергетическая оценка, эколого-мелиоративные показатели.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201910-02S>

Vozhegova R.¹, Biliaieva I.², Piliarskyi V.³, Piliarska O.⁴, Boitseniuk Kh.⁵
Institute of Irrigated Agriculture of NAAS, sett. Naddnyprianske, Kherson, 73483, Ukraine; e-mail: ¹izz.ua@ukr.net, ²inb95@ukr.net, ³subbit2010@gmail.com, ⁴izz.biblio@ukr.net

Theoretical bases and agro-ecological substantiation of the measures for the irrigated lands productivity improvement in conditions of the south of Ukraine

The purpose. Creation of a favorable ecological and meliorative state in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. **Methods.** Field, laboratory, statistical and economic analysis, modeling. **Results.** Systems of agro-technological measures aimed at improving the productivity, economic and energy efficiency of the irrigated agriculture sector have been developed and improved through the normalization of agro-resources, resource conservation and modeling of production and production processes. Under crops cultivation at the irrigated lands irrigation planning and optimization of the cultivation technology for certain field in crop rotations are of a high value. One should use special software applications, developed at the Institute of Irrigated Agriculture (PIC «Irrigation», PIC «Hydro module») and world developments adapted to the local natural and economic conditions (applications FAO UNO — CROPWAT, AquaCrop, ETo Calculator). Use of such applications allows to determine water requirements for separate fields taking into account scenarios of meteorological conditions, provides highly accurate calculations, has economic and ecological advantages. **Conclusions.** It was stated, that primary indexes of the artificial watering must be corrected taking into account the global climatic parameters and economic peculiarities of crop rotations and separate fields to satisfy biological requirements of plants in irrigation water and nutrients. Soil water regime modeling with use of the modern software applications for forming irrigation schedules and normalization of the irrigation water, fertilizers and pesticides expenditure allows to increase field crops productivity up to 20–25%, provides water economy up to 15–30%, that improves pure profit, profitability, energy indexes, and meliorative state of soils.

Key words: irrigation, fertilizers, crop rotation, agricultural measures, agrometeorological factors, yields, modeling, economic efficiency, energy assessment, ecological and meliorative indexes.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201910-02S>

Бібліографія

1. Булигін С.Ю., Барвінський А.В., Ачасова А.О., Ачасов А.Б. Оцінка і прогноз якості земель: навчальний посібник. Харків: Вища школа, 2008. 237 с.

2. Собко А.А. Роль оптимізації агромеліоративних факторів в підвищенні ефективності орошаемого земледілля. Гидротехніка

и мелиорация. 1986. № 3. С. 61–66.

3. Указ Президента України «Про заходи щодо розвитку зрошуваного землеробства в Україні» (№ 586 від 10.03.06). 2006.

4. Яковлев В.Б. Статистика. Расчеты в Microsoft Excel: учеб. пособие. Москва: Колос, 2012. 352 с.

5. Cavana R.Y., Mares E.D. Integrating critical thinking and systems thinking: from premises to causal loops. *System Dynamics Review*. 2004. № 20. Р. 223–235. <https://doi.org/10.1002/sdr.294>

6. Володін С.А. Концепція інноваційного провайдингу на наукоємному ринку АПК. Київ: ІІП, 2005. 70 с. <https://doi.org/10.1002/sdr.294>

7. Ушкаренко В.О., Морозов В.В., Колесніков В.В. та ін. Геоінформаційні системи для управління зрошуваними землями; навчальний посібник. Херсон: ЛТ-Офіс, 2010. 378 с.

8. Остапов В.И., Сафонова Е.П. Влияние орошения на плодородие почв в степной зоне Украины. *Гидротехника и мелиорация*. 1986. № 5. С. 54–57.

9. Рекомендации по контролю гидрогеолого-мелиоративного состояния массивов, орошаемых

городскими и промышленными сточными водами. Киев: УкрНИСОСВ, 1987. 31 с.

10. Blake G.R., Black C.A. *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, Wisc. 1965. Particle density. Part I, Agronomy. Р. 371–373.

11. Ушкаренко В.О., Морозов В.В., Андрієнко О.І. та ін. Історія меліорації і водного господарства Херсонщини (видання 2-ге, доповнене). Херсон: Видавництво ХДУ, 2005. 132 с.

12. Лысоголов С.Д., Ушкаренко В.А. Орошаемое земледелие. Москва: Колос, 1981. 382 с.

13. Ушкаренко В.О., Андрусенко І.І., Пилипенко Ю.В. Екологізація землеробства і природокористування в Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2005. Вип. 38. С. 168–175.

14. Харченко О.В. Основи програмування врожаїв сільськогосподарських культур: навчальний посібник; за ред. В.О. Ушкаренка. Суми: ВТД «Університетська книга», 2003. 296 с.

15. CROPWAT 8.0 for Windows URL: https://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html