

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЗРОШЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ НА ЗАСАДАХ ПРОГНОЗУВАННЯ ВОЛОГОВИТРАТ ТА НОРМУВАННЯ РЕСУРСІВ

Коковіхін С. В., Дробітько А. В.

ВСТУП

Основні фактори, що визначають продуктивність рослинного організму, поділяються на три складові групи: кліматичні – світло, тепло, вода, газовий склад повітря; едафізичні – структура ґрунту, його хімічний склад; біологічні – різноманітні мікроорганізми, рослинні й тваринні організми, як корисні, так і шкідливі. За цієї умови певні види рослин мають специфічну потребу в кожному з факторів життя, а також оптимальному їхньому сполученні¹. Врахування показників продукційного процесу сільськогосподарських культур має велике значення в напрямках підвищення ефективності землеробської галузі й аграрного сектору економіки. Вивчення впливу на рівень урожаю показників фотосинтетичної активної радіації (далі – ФАР) дозволяє оптимізувати дію агротехнічних факторів та економічних умов, в яких здійснюється сільськогосподарське виробництво, а також підвищити ефективність організаційно-господарської діяльності кожного підприємства. Проте останнім часом майже відсутні аналітичні дослідження щодо оцінки показників ФАР на формування продуктивності рослин з урахуванням їхнього впливу на врожайність, якісні й інші показники². Крім того, енергетичний баланс дозволяє встановити кількісні та якісні зміни в порівнянні з минулими періодами й рівнями; розкрити шляхом аналізу причини динаміки й фактори, що зумовили відмінності в рівнях врожайності між зонами, районами, групами господарств; оцінити ефективність різних чинників на продуктивність рослин; з'ясувати невикористані резерви підвищення врожайності тощо³. Тому дослідження з наукового обґрунтування інтенсивних технологій вирощування вітчизняних гібридів кукурудзи на зрошуваних землях Південного Степу України з урахуванням гідротермічних чинників і змін клімату мають важливе актуальне значення.

¹ Гойса Н.И., Олейник Р.Н., Рогаченко А.Д. Гидрометеорологический режим и продуктивность орошаемой кукурузы. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1983. 230 с.

² Яблоков А.В. Популяционная биология. Москва : Высшая школа, 1987. 303 с.

³ Писаренко В.А., Коковіхін С.В., Мішукова Л.С., Писаренко П.В. Методичні вказівки по застосуванню розрахункового методу визначення строків поливу сільськогосподарських культур за показниками середньодобового випаровування. Херсон : Колос, 2005. 16 с.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багатьма експериментами доведено, що 90-95% врожайності сільськогосподарських культур формується шляхом надходження сонячної енергії та вуглекислого газу атмосфери. У загальному сенсі, всі агротехнічні заходи (зрошення, внесення добрив, обробіток ґрунту тощо) повинні бути спрямовані на те, щоб максимально сприяти рослинам краще використовувати сонячну енергію та продукувати найвищу кількість органічної речовини⁴.

Однією з головних задач рослинницької галузі є підвищення коефіцієнта корисної дії (далі – ККД) використання сонячної енергії (далі – КQ), який відбиває відношення кількості енергії, що акумулювалась у продуктах фотосинтезу або утворилася в біомасі врожаю, до кількості використаної радіації. Згідно з дослідженнями А.А. Ничипоровича, максимальний теоретично можливий ККД ФАР на засвоєння однієї молекули CO₂ в процесі фотосинтезу потребує в межах 8–10 квантів сонячного світла⁵.

У наявному сільськогосподарському виробництві для формування врожаю використовується тільки 0,7–2,0% ФАР. Водночас коефіцієнт використання ФАР у звичайних виробничих умовах складає: озимої пшениці – 0,74–1,12%, кукурудзи на зерно – 0,69–1,63%, кукурудзи на зелений корм – 1,23–1,47%, цукрового буряку – 1,34–1,84% відповідно. Згідно з дослідженнями, середнє значення коефіцієнта використання ФАР становить: у звичайних виробничих умовах – 0,5–1,5%, у сприятливих – 1,0–3,0%, в разі максимальної оптимізації умов вирощування – 3,5–5,0% і в теоретично можливих умовах – 6,0–8,0%⁶. Отже, коефіцієнт використання ФАР рослинами є інтегральним показником впливу всіх інших факторів на продуктивність культури, тому що будь-яке підвищення врожаю веде до збільшення його використання⁷.

Одночасно поряд з інтенсивністю надходження сонячної радіації на продуктивність рослин істотно впливає температурний режим повітря та ґрунту. Вплив термічних чинників на ріст і розвиток сільськогосподарських культур має різноспрямований характер: термічні фактори у вигляді сум температур слугують показником енергетичних умов; рівнем термічного режиму визначається інтенсивність біохімічних

⁴ Григоров М.С. Водосберегающие технологии выращивания с.-г. культур. Волгоград : ВГСХА, 2001. 169 с.

⁵ Ничипорович А.А. Энергетическая эффективность и продуктивность фотосинтезирующих систем как интегральная проблема. *Физиология растений*. 1978. Т. 25. Вып. 5. С. 922–937.

⁶ Лисогоров К.С., Писаренко В.А. Наукові основи використання зрошуваних земель у степовому регіоні на засадах інтегрального управління природними і технологічними процесами. *Таврійський науковий вісник*. 2007. Вип. 49. С 49–52.

⁷ Коковіхін С.В. Електронно-інформаційний довідник ЕІД «Agromet» : методичні рекомендації. Херсон : ІЗЗ НААН, 2009. 16 с.

процесів у рослинному організмі, які впливають на швидкість росту й розвитку рослин⁸.

Розв'язання продовольчої проблеми, яка загострюється внаслідок економічної, енергетичної та екологічної кризи під час зростання чисельності населення нашої планети й змін клімату, потребує розробки нових і вдосконалення наявних технологій вирощування сільсько-господарських культур. На сучасному етапі розвитку людства інформаційні технології відіграють важливу роль у всіх сферах діяльності людини, впровадження інформаційних технологій в аграрне виробництво знаходиться на досить низькому рівні відносно до інших галузей, хоча рентабельність виробництва сільськогосподарської продукції в більшості випадків залежить від своєчасних дій аграріїв, виявлення стану ґрунту, визначення поливної норми й строків поливу, кількості внесених добрив, адаптації технологій вирощування сільськогосподарських культур до погодних умов тощо⁹. Інтеграція комп'ютерних технологій в аграрний сектор має вагомим актуальним значенням як із наукового, так і з практичного боків, дає можливість проводити своєчасний моніторинг стану посівів сільськогосподарських культур, виявляти на первинному етапі збудників хвороб і шкідників, визначати кількісні та якісні параметри посівів і рослинницької продукції, забезпечує раціональне витрачання всіх видів ресурсів, найкращі показники економічної ефективності агровиробництва й мінімізацію антропогенного тиску на довкілля¹⁰.

Для моніторингу стану посівів сільськогосподарських культур застосовують сучасні технічні засоби. За допомогою датчиків є можливість отримання та передачі даних у режимі реального часу (online) локальної інформації щодо кількості атмосферних опадів, динаміки вмісту вологи в ґрунті впродовж вегетаційного періоду, балансу водного режиму, щільності посіву тощо¹¹.

1. Матеріали та методика досліджень

Інформація може надходити зі супутника щодо прогнозу погоди й стану посівів. Наприклад, за допомогою спектрального аналізу кольору полів можна отримати інформацію з динаміки показників вегетаційного індексу, густоти стояння рослин і проявів стану водного стресу.

⁸ Писаренко В.А., Мішукова Л.С., Коковіхін С.В., Присяжний Ю.І. Ефективність різних схем режимів зрошення в умовах Південного Степу України. *Зрошуване землеробство*. 2008. Вип. 50. С. 31–37.

⁹ Лазер П.Н., Міхеев Є.К. Інструментарій і технології організації інформації в землеробстві. Херсон : ХДУ, 2006. 368 с.

¹⁰ Інформаційні технології : навчальний посібник / під заг. ред. А.В. Нелепова. Київ : Центр учбової літератури, 2017. 200 с.

¹¹ Світличний О.О., Плотницький С.В. Основи геоінформатики : навчальний посібник. Суми : Ун-ська книга, 2006. 345 с.

Поєднуючи ці й інші дані, можна планувати й оперативно змінювати елементи технологій вирощування, зокрема, поливні норми, дози добрив під час підживлення, кількість обробок пестицидами й біопрепаратами тощо¹². Сучасні технології моніторингу за станом агроecosистем базуються на використанні сенсорних датчиків, тобто пристроїв вимірювального, сигнального, регульовального або керівного характеру, що перетворює контрольовану величину (температуру, тиск, частоту, силу світла, електричну напругу, струм тощо) в сигнал, зручний для вимірювання, передачі, зберігання, обробки, реєстрації, для впливу їх на керовані процеси¹³. Відомо, що геоінформаційна система (англ. Geographic(al) information system, GIS) (далі – ГІС) – інформаційна система, що забезпечує збір, зберігання, обробку, доступ, зображення та розповсюдження просторово координованих даних (просторових даних). ГІС містить дані про просторові об'єкти у формі їх цифрових уявлень (векторних, растрових, квадротомічних та інших)¹⁴.

До складових ГІС належать: апаратне забезпечення – комп'ютерне забезпечення установи для роботи з ГІС, може бути як централізованим сервером, так і низкою комп'ютерів, об'єднаних однією мережею; програмне забезпечення – програмна оболонка, що містить необхідний інструментарій для зберігання, обробки й візуалізації інформації; бази даних – це набір даних, зазвичай у табличному вигляді, що дозволяє здійснювати автоматизоване перероблення інформації, що зберігається, може редагуватись користувачем за допомогою системи управління бази даних (СУБД); кваліфіковані кадри – підготовлений персонал для роботи з ГІС; науково-методичне забезпечення – раціональний план роботи, складений відповідно до специфіки завдання.

Метою досліджень було розробити науково-практичні підходи щодо планування та оперативного управління режимами зрошення сільськогосподарських культур із використанням інформаційних технологій в умовах півдня України.

Польові досліді проведено згідно з методикою дослідної справи¹⁵ впродовж 2016–2019 рр. на дослідному полі Інституту зрошеного землеробства Національної академії аграрних наук (далі – НААН). Рельєф дослідної ділянки рівнинний. Ґрунт дослідної ділянки – темно-

¹² Коковіхін С.В. Науково-методичні основи встановлення закономірностей та розробки математичних моделей формування урожаю польових культур при зрошенні : монографія. Херсон : Айлант, 2010. 246 с.

¹³ Тверезовська Н.Т., Нелепова А.В. Інформаційні технології в агрономії : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 272 с.

¹⁴ Морозова О.С., Морозов О.В., Шапоринська Н.М., Волошин М.М. Зрошення в Херсонській області: сучасний стан та проблеми розвитку. *Бізнес – навігатор* : науково – виробничий журнал. 2019. № 3–1 (52). С. 94–100.

¹⁵ Ушкаренко В.О., Нікіщенко В.Л., Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві : навчальний посібник. Херсон : Айлант, 2008. 272 с.

каштановий слабосолонцюватий, середньосуглинковий. Поливи здійснювали водою з Інгулецької зрошувальної системи. Агротехніка вирощування досліджуваних культур була загально визнаною для умов зрошення Південного Степу України.

Моделювання параметрів продукційних процесів досліджуваних культур для планування та оперативного управління режимами зрошення проводили з використанням комп'ютерної програми Продовольчої та сільськогосподарської організації (ФАО) ООН¹⁶ – CROPWAT 8.0 для Windows. Ця програма може бути використана науковцями й практиками для обчислення складових елементів водного режиму ґрунту, дефіциту водоспоживання та водопотреби культур у зрошенні на основі використання локальних даних про ґрунт, клімат і стан посівів, а також їхнього моделювання для коригування технологічного процесу агровиробництва. Крім того, програма дозволяє формувати графіки режиму зрошення для різних господарсько-економічних умов, розраховувати схеми водоподання залежно від рівнів запланованого врожаю. Для встановлення водопотреби культур використовували розрахункові показники евапотранспірації (середньодобового випаровування) з використанням методу Пенмана-Монтейта. Цей метод враховує як фізіологічні параметри рослин, так і кліматичні особливості певної ґрунтово-кліматичної зони. Для розрахунків у програмі CROPWAT використано метеорологічні дані Херсонської агрометеорологічної станції, яка знаходиться поблизу дослідженого поля Інституту зрошувального землеробства НААН.

2. Моделювання режимів зрошення з використанням програми CROPWAT, метеорологічних та агротехнічних умов

Аналіз метеорологічних умов у роки проведення досліджень свідчить про істотні коливання середньодобових температур і відносної вологості повітря – від мінус 8,5° у січні 2016 р. до 25,4–25,5°С у серпні 2017 і 2018 рр. (рис. 1).

Показники відносної вологості повітря мали чіткий взаємозв'язок: до 46–60% у найспекотніші літні місяці (липень, серпень) і до 84–91% взимку (грудень, січень).

Середньомісячна швидкість вітру не залежала від пори року й змінювалася від 1,6 м/с у січні 2016 р. до 3,6 м/с у листопаді 2019 р.

Тривалість сонячного світла була пов'язана з температурним режимом і відотною вологістю повітря. Так, максимальні показники надходження сонячної радіації становили 26,1–26,3 МДж/м² за добу в червні 2017 і 2019 рр., а в осінній і зимовий період (грудень 2017 р., листопад 2016 р.) зменшились у 6,1–6,5 разів – до 4,1–4,3 МДж/м² за добу.

¹⁶ CropWat. Land & Water. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en> (дата звернення: 07.04.2020).

Місяць	Ср темп	Влажність	Вітер	Солн. світ	Рад	ЕТо
	°C	%	м/с	%	МДж/мм/сут	мм/сутки
Январь	-8,5	84	1,6	32	8,1	0,16
Февраль	4,0	86	3,2	48	8,1	0,62
Март	6,3	78	3,6	52	12,5	1,42
Апрель	12,6	71	3,2	58	17,7	2,70
Май	16,2	76	1,9	47	18,9	3,04
Июнь	22,0	69	2,0	56	22,1	4,36
Июль	24,4	58	2,1	37	17,5	4,53
Август	24,7	59	2,7	28	13,6	4,37
Сентябрь	17,9	63	2,2	28	10,6	2,91
Октябрь	8,4	80	2,5	52	9,6	1,32
Ноябрь	4,0	87	3,1	20	4,4	0,63
Декабрь	-1,2	87	3,3	39	4,4	0,41
Средняя	10,9	75	2,6	46	12,3	2,21

2016 р.

Місяць	Ср темп	Влажність	Вітер	Солн. світ	Рад	ЕТо
	°C	%	м/с	%	МДж/мм/сут	мм/сутки
Январь	-4,7	85	3,2	39	4,8	0,36
Февраль	-0,7	84	3,1	50	8,0	0,52
Март	7,1	73	3,0	59	13,0	1,57
Апрель	9,3	72	2,7	49	16,1	2,18
Май	16,3	65	2,4	60	21,3	3,66
Июнь	22,0	61	2,2	76	26,3	5,22
Июль	23,4	60	2,3	78	25,7	5,42
Август	25,4	51	2,7	80	22,5	5,76
Сентябрь	19,9	61	2,5	79	17,2	3,75
Октябрь	11,3	76	3,0	40	8,2	1,62
Ноябрь	5,4	87	2,8	39	5,3	0,57
Декабрь	5,9	87	2,7	40	4,1	0,50
Средняя	11,7	72	2,7	57	14,4	2,59

2017 р.

Місяць	Ср темп	Влажність	Вітер	Солн. світ	Рад	ЕТо
	°C	%	м/с	%	МДж/мм/сут	мм/сутки
Январь	-0,4	88	3,2	39	5,0	0,37
Февраль	-0,3	88	3,3	40	7,5	0,54
Март	1,5	86	3,5	38	10,7	0,82
Апрель	14,1	58	2,8	78	21,0	3,40
Май	19,5	59	2,5	79	25,2	4,76
Июнь	22,9	51	2,1	60	23,0	5,27
Июль	24,2	61	2,0	59	21,9	4,92
Август	25,5	46	2,5	68	20,6	5,69
Сентябрь	18,7	64	2,6	58	14,6	3,33
Октябрь	13,5	69	2,7	75	11,8	2,11
Ноябрь	2,7	83	3,2	39	5,6	0,71
Декабрь	0,1	90	3,5	23	3,6	0,34
Средняя	11,8	70	2,8	55	14,2	2,69

2018 р.

Місяць	Ср темп	Влажність	Вітер	Солн. світ	Рад	ЕТо
	°C	%	м/с	%	МДж/мм/сут	мм/сутки
Январь	0,5	91	3,2	40	5,1	0,32
Февраль	1,4	84	3,3	50	8,3	0,66
Март	5,8	70	3,3	59	13,4	1,64
Апрель	10,5	65	3,0	60	18,0	2,66
Май	18,0	73	2,2	58	21,1	3,52
Июнь	23,8	64	2,6	75	26,1	5,51
Июль	23,1	58	2,4	78	25,8	5,56
Август	23,4	58	2,7	70	21,0	5,04
Сентябрь	18,1	59	2,7	76	17,0	3,66
Октябрь	11,5	85	2,2	59	10,3	1,31
Ноябрь	7,1	87	3,6	50	6,2	0,70
Декабрь	4,3	91	3,3	48	4,8	0,37
Средняя	12,2	74	2,9	60	14,8	2,58

2019 р.

Рис. 1. Основні метеорологічні показники в роки проведення досліджень (за даними Херсонської агрометеорологічної станції)

В усі роки проведення досліджень цей показник мав найбільші значення в літні місяці з найбільшою температурою повітря та надходженням сонячної радіації. Максимального значення – 5,82 мм – евапотранспірація набула в серпні 2018 р.

Середньомісячна кількість атмосферних опадів коливалась значною мірою – від 0,2 мм у січні 2016 р. до 93 мм у червні 2019 р. (рис. 2).

Кількість опадів найбільшою мірою коливалась в літні місяці. Слід відзначити, що максимальний дефіцит опадів у посушливі 2017 і 2019 рр. проявився в серпні, що обґрунтовує необхідність застосування зрошення для подолання гострого дефіциту природного вологозабезпечення.

Евапотранспірація, яка має найважливіше значення з боку формування високого рівня врожаю, також була тісно пов'язана з метеорологічними показниками.

Варіаційним аналізом доведено, що мінливість опадів в умовний період вегетації сільськогосподарських культур із березня по вересень становить для: 2016 р. – 40,9%; 2017 р. – 180,2%; 2018 р. – 114,2%; 2019 р. – 103,0%.

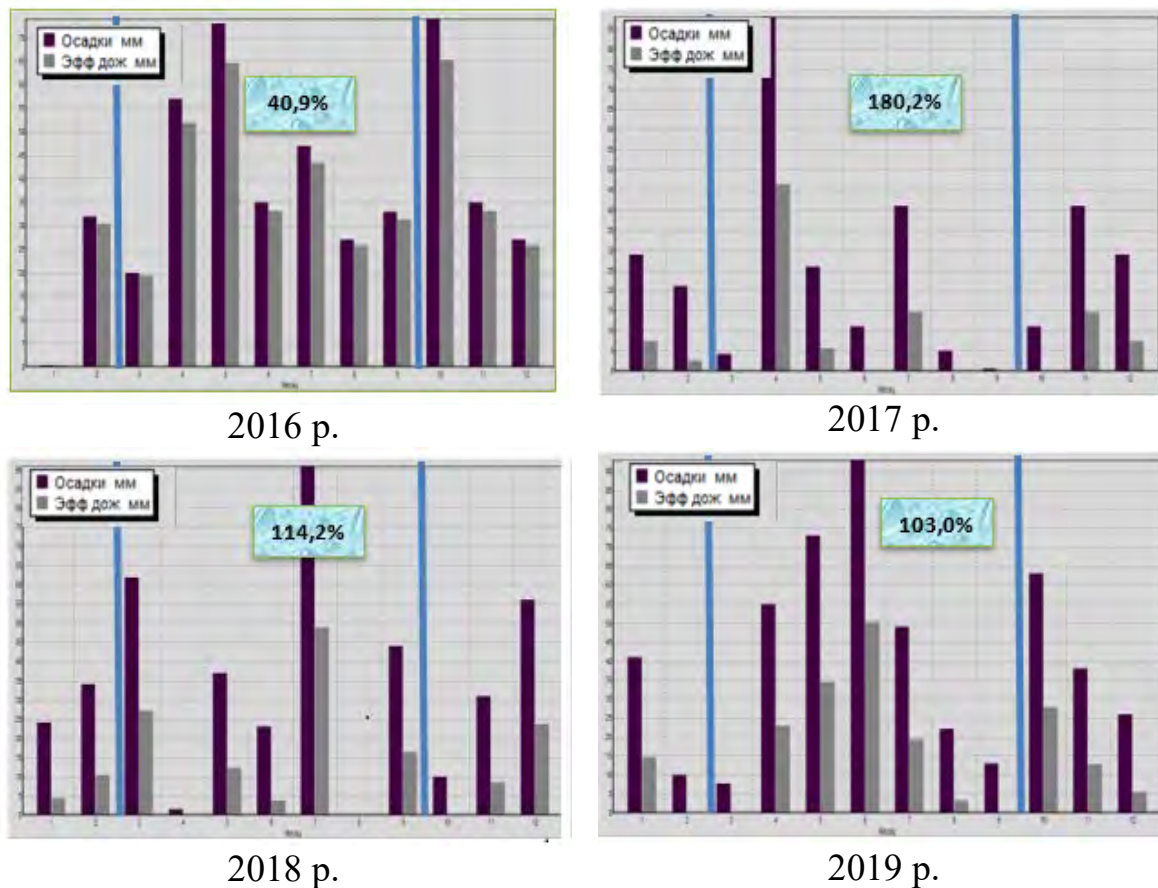


Рис. 2. Кількість загальних та ефективних опадів (з коефіцієнтами варіації за період «березень – вересень») у роки проведення досліджень (за даними Херсонської агрометеорологічної станції)

За таких природних умов Південного Степу України роль зрошення має першочергове значення для можливості отримання рослинницької продукції, особливо за умов відсутності опадів на фоні високих температур і низької вологості повітря.

Враховуючи біологічні особливості сільськогосподарських культур зрошуваної сівозміни, строки їх сівби (для пшениці озимої – строк відновлення весняної вегетації) в програмі CROPWAT було змодельовано основні показники продукційного процесу рослин у 2016 р. за умовними періодами розвитку, зокрема встановлено показники глибини проникнення кореневої системи, висота рослин, розраховані коефіцієнти водного режиму тощо (рис. 3).

Як бачимо, максимального забезпечення поливною водою потребують культури сівозміни – кукурудза й соя, дещо меншою мірою – пшениця озима й сорго. Крім того, проведене моделювання дозволяє встановити умовні терміни вегетаційного періоду для кожної культури, що має першочергове значення з боку формування водопотреби культур і розрахунків їхніх режимів зрошення.

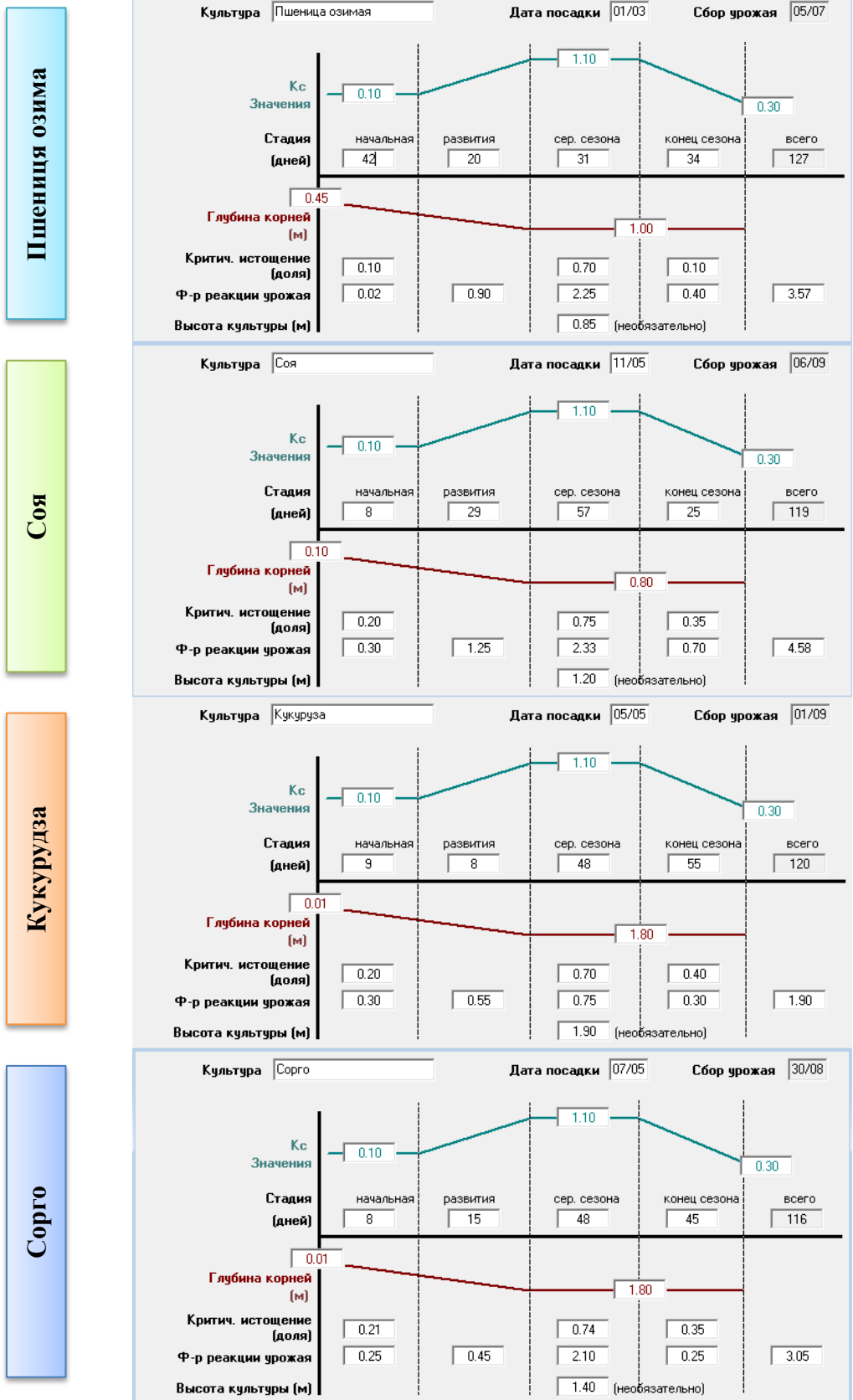


Рис. 3. Моделювання параметрів продукційного процесу культур зрошуваної сівозміни в період вегетації (для пшениці озимої – в період відновлення весняної вегетації), 2016 р.

На прикладі кукурудзи можна розглянути отримані результати моделювання показників водопотреби для формування графіку поливу (режиму зрошення) з врахуванням погодних умов, які склалися у 2016 р. (рис. 4).

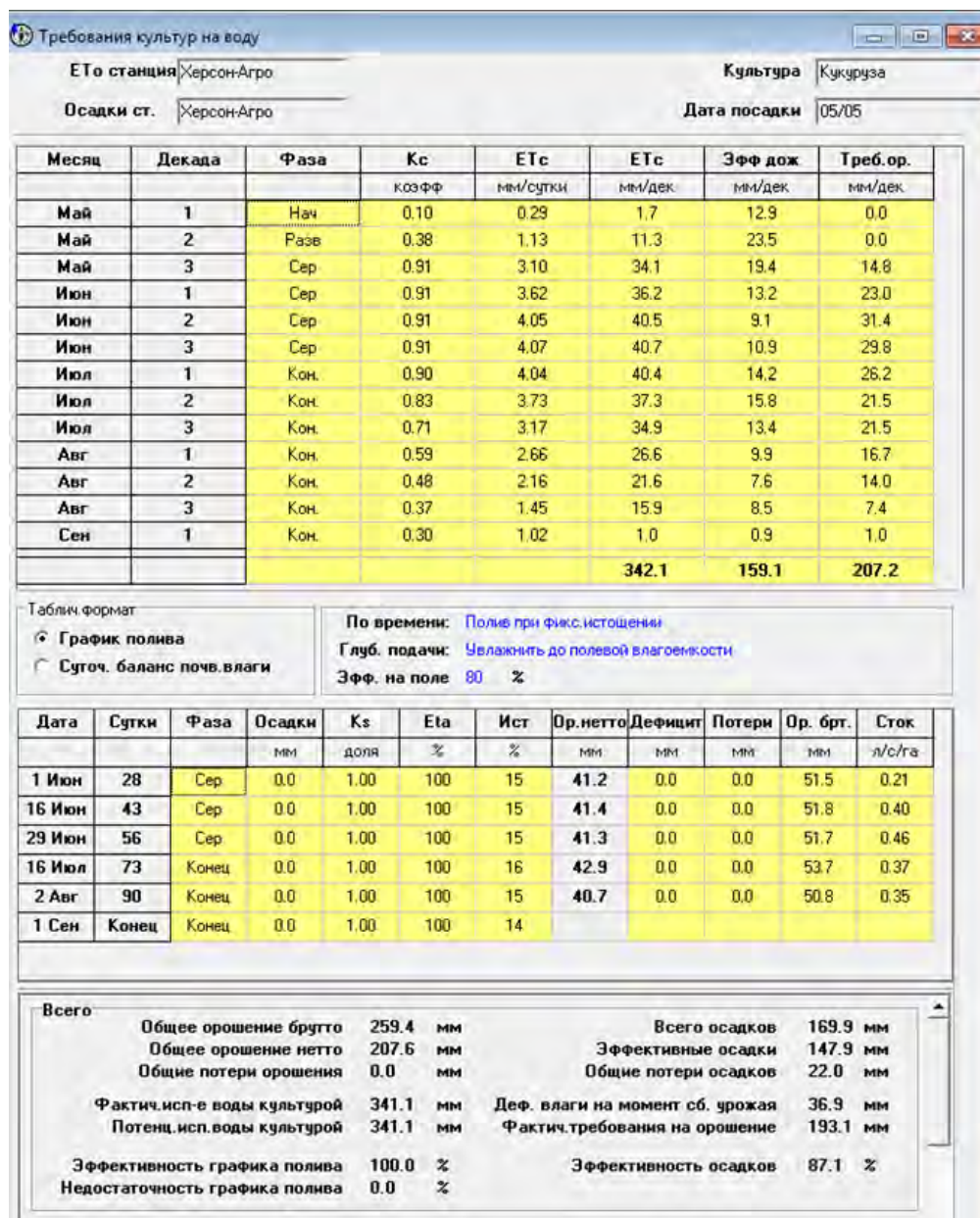


Рис. 4. Змодельовані показники водопотреби й графіку поливу кукурудзи у 2016 р.

Встановлено, що загальна евапотранспірація за період вегетації кукурудзи у 2016 р. складає 342,1 мм. Такі водовитрати будуть компенсовані шляхом ефективних опадів на рівні 159,1 мм, а для подолання дефіциту вологи на посівах кукурудзи необхідно подати

зрошувальну воду з врахуванням усіх видів непродуктивних втрат – 207,2 мм.

У графіку поливу встановлена потреба проведення вегетаційних 5 поливів зі зрошувальною нормою нетто 207,6 мм. Водночас фактичне використання води на зрошення (сумарне водоспоживання) становить 341,1 мм з урахуванням дефіциту вологи на час збирання врожаю на рівні 36,9 мм.

Графік поливу визначає, наскільки ефективно культура використовує штучне зволоження впродовж вегетаційного періоду. Ефективність зрошення в графіках поливу виражається у відсотках і розраховується як відношення між зрошувальною нормою нетто, втратами поливної води зрошення та ефективністю використання поливної води сільськогосподарською культурою. Ефективність використання атмосферних опадів, виражена у відсотках, віддзеркалює відношення між ефективними опадами й загальним внеском опадів у ріст і розвиток культури протягом вегетаційного періоду.

Невідповідність зрошувальної системи агротехнічним вимогам, наприклад, відсутність планування поля в разі застосування поливів по полосах або борознах, погане вирівнювання земель, низька водопоглинальна здатність ґрунту тощо може призвести до втрат поливної води. Для обліку таких обсягів води, які не залишаються в прикореневій зоні, CROPWAT 8.0 дозволяє ввести оцінку ефективності зрошення, за допомогою якої визначається глибина активного шару ґрунту, оптимізуються витрати поливної води й інших ресурсів для кожного поля сівозміни з урахуванням біологічних особливостей сільськогосподарських культур.

У середньому за роки проведення досліджень встановлено, що фактична зрошувальна норма перевищує змодельовані показники на всіх культурах сівозміни на 18–50 мм (рис. 5).

По пшениці озимій таке перевищення склало 17,1%; на кукурудзі – 21,3%; на сої – 20,8%; на сорго – 13,6%. Розрахунками доведено, що під час вирощування сільськогосподарських культур на зрошуваних землях необхідно враховувати комплекс природних та антропогенних чинників.

Крім того, для оптимізації агротехнологічного процесу вирощування сільськогосподарських культур на зрошуваних землях слід використовувати інформаційні технології та спеціальні комп'ютерні програми за основними параметрами продукційного процесу – біологічні властивості певної культури зрошуваної сівозміни, прогнозований рівень урожайності, спосіб штучного зволоження, системи удобрення, оброблення ґрунту й захисту рослин тощо.

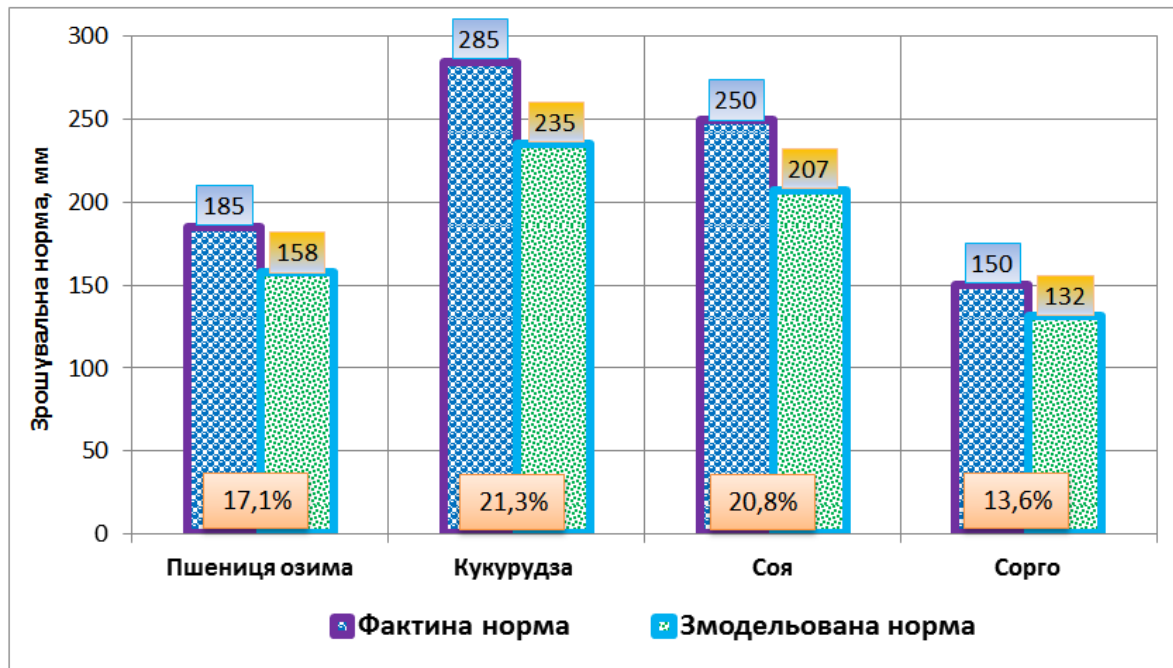


Рис. 5. Показники фактичних і змодельованих у програмі CROPWAT зрошувальних норм по культурах сівозміни, мм (середнє за 2016–2019 рр.)

Доведено, що урахування в програмі CROPWAT елементів водного балансу ґрунту, поточних гідротермічних умов (температури й відносної вологості повітря, кількість опадів), швидкості вітру, параметрів надходження сонячної радіації та евапотранспірації дозволяє точніше змодельовати водопотребу сільськогосподарських культур, встановити показники поливних і зрошувальних норм із максимальною точністю, раціонально витратити поливну воду й інші ресурси.

3. Розробка моделей та встановлення закономірностей продукційного процесу польових культур залежно від впливу природних та агротехнічних чинників

У середньому за роки досліджень встановлено, що теплоенергетичні фактори найкраще використовують ранні й середньостиглі гібриди, які мають показники температурного індексу 304,1 і 305,1 та коефіцієнти корисної дії ФАР – 2,15% (табл. 1). У пізньостиглих гібридів відзначено зростання T_u на 5,1–5,4% та зниження η_ϕ на 2,4%, відповідно.

Варіаційний і кореляційний аналіз дозволив встановити різні за силою та направленістю взаємозв'язки врожайності кукурудзи з основними теплоенергетичними чинниками (табл. 2). Варіаційний аналіз врожайних даних свідчить про їх стабільність у вологі, середні й середньовологі роки, оскільки коефіцієнт варіації коливається в межах 9,2–10,4%. Проте в середньосухі й сухі роки спостерігається зростання

показників продуктивності зернової кукурудзи у 2,5–2,9 раза (V становить 25,8 і 26,6%).

Таблиця 1

Урожайності зерна різних за скоростиглістю гібридів кукурудзи залежно від природної вологозабезпеченості й теплоенергетичних показників

Волого-забезпеченість років	Група стиглості гібридів	Показники						
		\bar{x} , т/га	ΣT , °C	T_u	E_B , ГДж/га	Q , ГДж/га	Q_ϕ , ГДж/га	η_ϕ , %
Вологі	ранньостиглі	10,3	2 318,1	226,4	330,1	2 2245	1 1345	2,91
	середньостиглі	11,5	2 697,4	234,9	370,4	2 6889	1 3714	2,72
	пізньостиглі	12,6	2 914,7	232,6	403,9	2 9630	1 5112	2,68
Середньовологі	ранньостиглі	7,7	2 292,5	302,6	248,9	2 4590	1 2541	2,08
	середньостиглі	9,1	2 586,6	291,6	293,6	2 7541	1 4045	2,19
	пізньостиглі	10,6	2 956,9	285,2	342,9	3 1847	1 6242	2,20
Середні	ранньостиглі	7,4	2 156,3	293,9	239,7	2 1897	1 1168	2,15
	середньостиглі	8,0	2 509,4	317,2	256,2	2 5115	1 2809	2,00
	пізньостиглі	8,1	2 839,5	351,8	261,1	2 9141	1 4862	1,76
Середньосухі	ранньостиглі	7,4	2 092,0	296,2	237,0	2 1222	1 0824	2,21
	середньостиглі	8,7	2 416,1	293,8	280,4	2 4506	1 2498	2,27
	пізньостиглі	10,1	2 706,9	281,4	324,1	2 7169	1 3857	2,37
Сухі	ранньостиглі	5,9	2 124,9	378,2	190,9	2 2732	1 1593	1,65
	середньостиглі	7,0	2 474,3	368,2	225,4	2 5785	1 3150	1,73
	пізньостиглі	7,0	2 759,5	441,0	226,9	2 8554	1 4563	1,58
У середньому за роки досліджень	ранньостиглі	7,5	2 181,7	304,1	243,1	2 2469	1 1459	2,15
	середньостиглі	8,7	2 518,0	305,1	279,2	2 5808	1 3162	2,15
	пізньостиглі	9,5	2 821,6	321,6	306,5	2 9104	1 4843	2,10

Оцінка варіювання термічних ресурсів довела стабільність показника суми температур за період вегетації, але й істотну відмінність температурного індексу, який у вологі роки має незначну мінливість ($V = 5,1\%$), середню ($V = 18,6$ і $12,4\%$) – в середньовологі й середні роки, суттєву ($V = 23,2$ і $33,5\%$) – в середньосухі й сухі роки. Це явище свідчить про позитивний вплив підвищеної температури повітря у вологі роки на інтенсивність продукційних процесів рослин.

Показники надходження фотосинтетично-активної радіації (Q_ϕ) відрізнялися середнім ступенем мінливості з варіюванням у межах від 11,2 до 19,7%. Коефіцієнт корисної дії ФАР найвищу стабільність проявив у вологі роки ($V = 6,5\%$), середній рівень ($V = 12,8\%$) – у середні, а в інші відрізнявся високим ступенем мінливості ($V = 26,2$ – $31,6\%$).

**Результати статистичного аналізу мінливості й взаємозв'язків
теплоенергетичних факторів на урожайність кукурудзи на зерно**

Волого-забезпеченість року	Коефіцієнти	Показники				
		\bar{x} , т/га	ΣT , °C	T_u	Q_{ϕ} , ГДж/га	η_{ϕ} , %
Вологі	Варіації, V , %	9,2	11,4	5,1	13,5	6,5
	Кореляції, r	–	0,90	0,23	0,91	0,49
	Детермінації, R^2	–	0,81	0,05	0,82	0,24
Середньовологі	Варіації, V , %	10,4	12,4	18,6	19,7	31,6
	Кореляції, r	–	0,31	-0,80	-0,17	0,77
	Детермінації, R^2	–	0,10	0,64	0,03	0,59
Середні	Варіації, V , %	9,2	12,3	12,4	12,6	12,8
	Кореляції, r	–	0,36	-0,41	0,34	0,40
	Детермінації, R^2	–	0,13	0,17	0,11	0,16
Середньосухі	Варіації, V , %	25,8	11,7	23,2	11,5	26,2
	Кореляції, r	–	0,41	-0,89	0,16	0,90
	Детермінації, R^2	–	0,17	0,78	0,03	0,81
Сухі	Варіації, V , %	26,6	12,1	33,5	11,2	26,7
	Кореляції, r	–	0,20	-0,86	0,03	0,92
	Детермінації, R^2	–	0,04	0,73	0,00	0,85

Цікаві результати показав кореляційний аналіз показників природної теплозабезпеченості. У вологі роки встановлена дуже високий ступінь зв'язку суми температур повітря з рівнем врожайності зерна кукурудзи з коефіцієнтом кореляції 0,90 та визначенням рівня врожаю на 81%, що зумовлено стримувальною дією температури повітря за умов високої вологозабезпеченості. В інші за дефіцитом випаровування роки спостерігається зниження ступеня зв'язків у 2,2–4,5 раза.

Схожі залежності щодо продуктивності кукурудзи встановлені й відносно показнику фотосинтетично-активної радіації, оскільки лише у вологі роки зафіксовано високий ступінь зв'язку ($r = 0,91$) при 81% рівні впливу формування врожаю зерна досліджуваної культури. В інші роки спостерігається слабкий додатний і від'ємний зв'язок між цими показниками при коефіцієнтах кореляції від -0,17 до 0,34, а в сухі роки зв'язок практично відсутній ($r = 0,03$). Слід зауважити, що зростання показників ККД ФАР позитивно вплинуло на врожайність зерна в усі роки досліджень, проте найвищий ступінь зв'язків відзначена в середньосухі ($r = 0,90$) й сухі ($r = 0,92$) роки, коли дія цього фактора зумовлювала продуктивність рослин на 81,0 та 85,0% відповідно.

Кореляційно-регресійне моделювання показників урожайності зерна кукурудзи залежно від суми температур повітря за вегетацію довело найкращу реакцію на покращення термічного режиму середньостиглих гібридів (рис. 6).

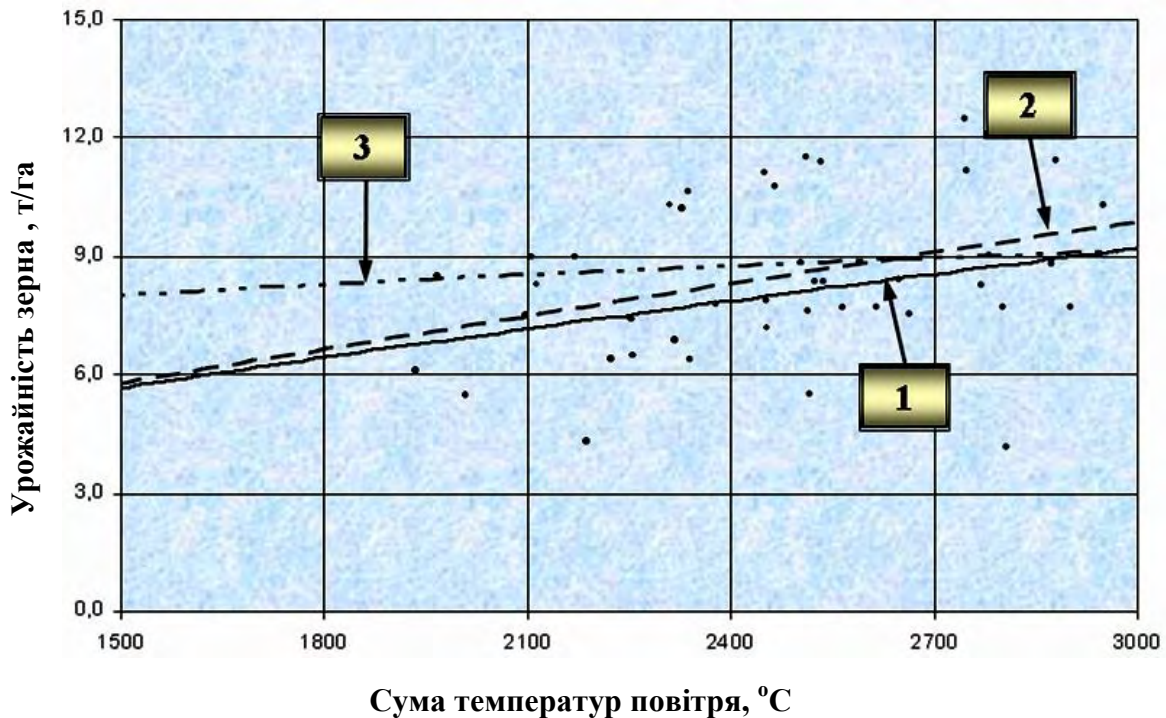


Рис. 6. Кореляційно-регресійна залежність між сумою температур за період вегетації та врожайністю зерна гібридів кукурудзи:

1 – ранньостиглі ($y = 0,0336x^{0,7013}$); 2 – середньостиглі ($y = 0,0125x^{0,8327}$); 3 – пізньостиглі ($y = 2,0233x^{0,1895}$)

Навпаки, ранньостиглі гібриди потребують менших сум температур повітря та знижують приріст урожаю вже починаючи з показників 1 500–1 600 °С.

Пізньостиглі гібриди кукурудзи відрізняються певною стабільністю наростання продуктивності за мірою збільшення сум температур, що пов'язано з тривалим періодом вегетації та зменшенням показників термічного режиму наприкінці літа й особливо восени в кінцеві фази розвитку рослин.

Від'ємна направленість зв'язків продуктивності рослин відзначена відносно фотосинтетично-активної радіації. Розрахунками аргументовано повільне зниження врожайності гібридів усіх груп стиглості під час підвищення надходження ФАР, що пояснюється особливостями кліматичних умов Південного Степу України, який характеризується високими ресурсами сонячної радіації та дефіцитом природної вологи.

У разі вирощування польових культур у зрошуваній польовій сівозміні важливе значення має врахування початкових вологозапасів із метою коригування строків розпочинання вегетаційних поливів і встановлення науково обґрунтованих поливних норм.

На час з'явлення сходів вологість двометрового шару ґрунту на дослідних ділянках становила в середньому 83,5, на час входу в зиму – 73,7 та в разі відновлення вегетації – 83,4% НВ, що пов'язано з

погодними умовами восени 2018 р. і весняно-літнього періоду 2019 р. Тому починаючи з другої половини вегетації внаслідок посушливої та бездощової погоди відзначено зниження запасів продуктивної вологи, особливо у верхньому 0–50 см шарі ґрунту (табл. 3).

Проведення 4-х вегетаційних поливів зрошувальною нормою 1 900 м³/га підвищували вологість ґрунту, але у фазу молочної та повної стиглості зерна через припинення поливів запаси продуктивної вологи зменшились до 133–156 м³/га. В умовах вегетації пшениці протягом 2018–2019 рр. показники сумарного водоспоживання в шарі ґрунту 0–50 см склали 3134 м³/га, а в шарі ґрунту 0–200 см підвищились до 3831 м³/га (табл. 4).

Таблиця 3

Динаміка продуктивних запасів і дефіциту вологи озимої пшениці, м³/га (середнє за 2017–2019 рр.)

Фаза	Продуктивна волога в шарі ґрунту, см		Дефіцит вологи в шарі ґрунту, см	
	0–50	0–100	0–50	0–100
Сходи	667	1 056	267	635
Вхід в зиму	652	1 000	281	691
Відновлення вегетації	752	1 309	182	381
Трубкування	347	887	587	804
Колосіння	184	410	849	1 280
Молочна стиглість	156	183	899	1 507
Повна стиглість	133	151	970	1 606

У балансі водоспоживання за весняно-літній період вегетації в шарі ґрунту 0–50 см питома вага ґрунтової вологи становить 30,4%. У шарах 0–100; 0–150 і 0–200 см ґрунтова волога становила 35,6–43,0% від загального сумарного водоспоживання.

Таблиця 4

Пошарове сумарне водоспоживання озимої пшениці та його складові частини (середнє за 2017–2019 рр.)

Шар ґрунту, см	Сумарне водоспоживання, м ³ /га	Дольова участь у балансі водоспоживання					
		поливи		ґрунтова волога		опади	
		м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%
0–50	3 134	1 900	60,6	952	30,4	282	9,0
0–100	3 387	1 900	56,1	1205	35,6	282	8,3
0–150	3 556	1 900	53,4	1374	38,6	282	7,9
0–200	3 831	1 900	49,6	1649	43,0	282	7,4

Спостереження за випаровуванням по міжфазних періодах розвитку рослин пшениці озимої сорту Марія показали, що середньодобові витрати води з 0–100 см шару ґрунту в період від відновлення вегетації до трубкування становить 25,9 м³/га за добу (рис. 7).

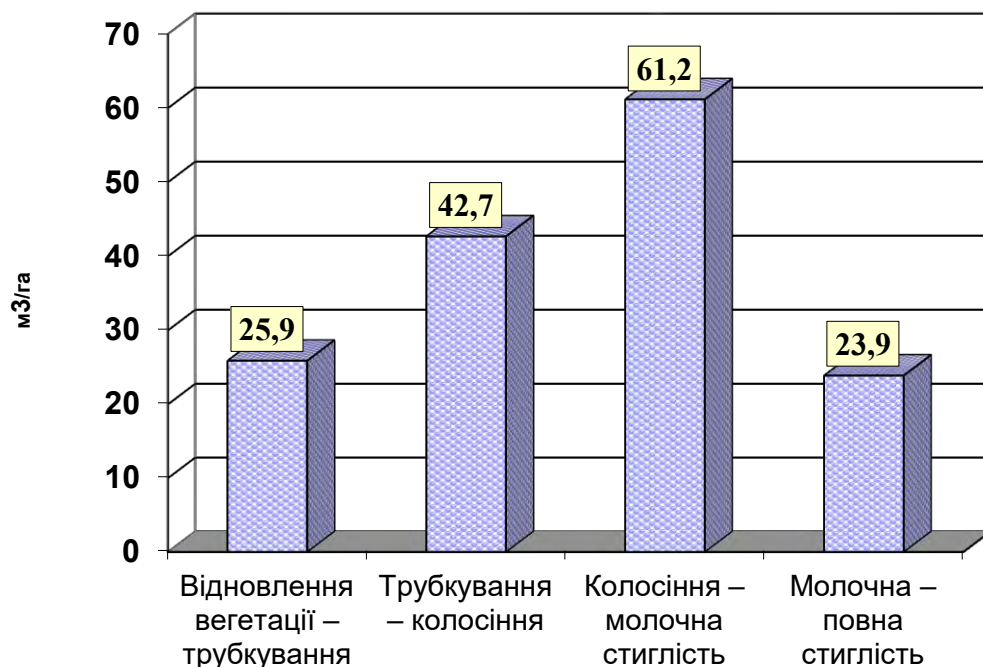


Рис. 7. Середньодобове випарування озимої пшениці з шару ґрунту 0–100 см, м³/га

Від фази трубкування до колосіння середньодобове випаровування збільшується та досягає 42,7 м³/га. Максимального значення цей показник досягає в міжфазний період (колосіння – молочна стиглість) – 61,2 м³/га. Надалі відзначене зниження середньодобове випаровування до 23,9 м³/га або у 2,6 рази.

Аналіз даних врожайності свідчить про те, що досліджуваний сорт пшениці озимої Марія змінює свою продуктивність залежно від захисту рослин і норм висіву (табл. 5).

Найвища врожайність зерна в досліді на рівні 6,52 т/га одержана у варіанті із захистом рослин і в разі норми висіву 5 млн/га. На інших ділянках із захистом рослин продуктивність зменшилась на 3,5–6,4%, а без захисту рослин – на 16,2–21,6%. Захист рослин забезпечив приріст урожайності зерна на 0,91–1,16 т/га, що підтверджує необхідність його застосування в сучасних технологіях вирощування.

Норми висіву вплинули на продуктивність рослин по-різному. Так, у варіанті без захисту найвищий врожай (5,61 т/га) був під час норми висіву 6 млн/га, а із захистом рослин – у разі норми 5 млн/га (6,52 т/га).

Проте приріст урожайності між нормами висіву 5 і 6 млн/га був математично не достовірним, оскільки HP_{05} по фактору В ставив 0,19 т/га.

Таблиця 5

Урожайність та якість озимої пшениці залежно від захисту рослин і норм висіву (середнє за 2017–2019 рр.)

Захист рослин (фактор А)	Норми висіву (фактор В)	Урожайність зерна, т/га	Вміст білка, %	Вміст клейковини, %
Без захисту	4 млн/га	5,36	6,8	17,6
	5 млн/га	5,54	6,6	18,2
	6 млн/га	5,61	6,7	17,0
Із захистом	4 млн/га	6,13	9,3	19,4
	5 млн/га	6,52	7,4	18,6
	6 млн/га	6,30	7,1	17,4
HP_{05} для урожайності зерна, т/га: А – 0,16; В – 0,19				

Захист рослин позитивно вплинув на показники вмісту білка в зерні пшениці. Так, найбільшим цей показник був у варіанті із захистом рослин і в разі норми висіву 4,0 млн/га і дорівнював 9,3%, а найменшим – 6,6% у варіанті без захисту рослин і в разі норми висіву 5 млн/га. Вміст клейковини був максимальним у межах 18,6–19,4% під час норми висіву 4–5 млн/га та захисті рослин від шкідливих організмів.

ВИСНОВКИ

Отже, аналіз погодних умов за період 2016–2019 рр. свідчить про високий рівень аридизації Південного Степу України, температур повітря, надходження сонячної радіації та евапотранспірації. Крім того, коефіцієнт варіації надходження атмосферних опадів у період вегетації основних сільськогосподарських культур (квітень – вересень) становить 40,9–180,2%, що свідчить про порушення циклів природного вологозабезпечення та обґрунтовує необхідність застосування зрошення. Визначено, що в усі роки проведення досліджень евапотранспірація досягала найвищого рівня (до 5,82 мм) у літні місяці з найбільшою температурою повітря та надходженням сонячної радіації. Шляхом розрахунків визначено, що максимального забезпечення поливною водою потребують культури сівозміни – кукурудза й соя, дещо меншою мірою – пшениця озима й сорго. Фактичні зрошувальні норми становили 150–285 мм, а змодельовані – 132–235 мм, тобто відповідно на 13,6–21,3% менше. Моделі, одержані за допомогою інструментарію програми CROPWAT, дозволяють чітко встановлювати дефіцит водоспоживання та відповідні поливні й

зрошувальні норми, планувати й оперативно корегувати режими зрошення, зменшувати витрати вологи й інших ресурсів, що має важливе агроекономічне й еколого-меліоративне значення.

Вищеназвані теоретичні й методологічні напрацювання потребують продовження, доповнення сучасною інформацією, враховуючи еволюцію агроландшафтів, можливості сучасних методів досліджень, моделювання й прогнозування насамперед із застосуванням ГІС-технологій, вдосконалення та необхідності розробки й впровадження сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур з урахуванням вимог охорони навколишнього середовища. Дослідженнями авторів доведено, що не досить вивчено й досліджено актуальні питання щодо розробки нової класифікації років за кліматичними показниками для Південного регіону України; визначення просторово-часових закономірностей трансформації агрохімічного стану ґрунтів в умовах змін клімату; проведення ґрунтово-кліматичного бонітування сільськогосподарських земель; розробки просторових моделей сучасного стану придатності й потенціалу земель за агрохімічними властивостями ґрунтів, кліматичними, організаційно-економічними й соціальними показниками для вирощування та програмування рівня врожаю сільськогосподарських культур; здійснення оцінки сучасного землекористування, екологічної стійкості території, інтегральної оцінки за кількісними та якісними показниками параметрів агровиробництва з нормуванням антропогенного навантаження на агроландшафти, оцінку й районування території для вирощування екологічно чистої продукції.

АНОТАЦІЯ

Основні фактори, що визначають продуктивність рослинного організму, поділяються на три складові групи: кліматичні – світло, тепло, вода, газовий склад повітря; едафізичні – структура ґрунту, його хімічний склад; біологічні – різноманітні мікроорганізми, рослинні й тваринні організми, як корисні, так і шкідливі. Для оптимізації агротехнологічного процесу вирощування сільськогосподарських культур на зрошуваних землях слід використовувати інформаційні технології та спеціальні комп'ютерні програми за основними параметрами продукційного процесу – біологічними властивостями певної культури зрошуваної сівозміни, прогнозованим рівнем урожайності, способом штучного зволоження, системами удобрення, обробітку ґрунту й захисту рослин тощо. Моделі, які одержані за допомогою інструментарію програми CROPWAT, дозволяють чітко встановлювати дефіцит водоспоживання та відповідні поливні й зрошувальні норми, планувати й оперативно корегувати режими зрошення, зменшувати витрати вологи й інших ресурсів, що має важливе агроекономічне й еколого-меліоративне значення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гойса Н.И., Олейник Р.Н., Рогаченко А.Д. Гидрометеорологический режим и продуктивность орошаемой кукурузы. Ленинград : Гидрометеоздат, 1983. 230 с.
2. Яблоков А.В. Популяционная биология. Москва : Высшая школа, 1987. 303 с.
3. Писаренко В.А., Коковіхін С.В., Мішукова Л.С., Писаренко П.В. Методичні вказівки по застосуванню розрахункового методу визначення строків поливу сільськогосподарських культур за показниками середньодобового випаровування. Херсон : Колос, 2005. 16 с.
4. Григоров М.С. Водосберегающие технологии выращивания с.-г. культур. Волгоград : ВГСХА, 2001. 169 с.
5. Ничипорович А.А. Энергетическая эффективность и продуктивность фотосинтезирующих систем как интегральная проблема. *Физиология растений*. 1978. Т. 25. Вып. 5. С. 922–937.
6. Лисогоров К.С., Писаренко В.А. Наукові основи використання зрошуваних земель у степовому регіоні на засадах інтегрального управління природними і технологічними процесами. *Таврійський науковий вісник*. 2007. Вип. 49. С. 49–52.
7. Коковіхін С.В. Електронно-інформаційний довідник ЕІД «Agromet» : методичні рекомендації. Херсон : ІЗЗ НААН, 2009. 16 с.
8. Писаренко В.А., Мішукова Л.С., Коковіхін С.В., Присяжний Ю.І. Ефективність різних схем режимів зрошення в умовах Південного Степу України. *Зрошуване землеробство*. 2008. Вип. 50. С. 31–37.
9. Лазер П.Н., Міхеєв Є.К. Інструментарій і технології організації інформації в землеробстві. Херсон : ХДУ, 2006. 368 с.
10. Інформаційні технології : навчальний посібник / під заг. ред. А.В. Нелепова. Київ : Центр учбової літератури, 2017. 200 с.
11. Світличний О.О., Плотницький С.В. Основи геоінформатики : навчальний посібник. Суми : Ун-ська книга, 2006. 345 с.
12. Коковіхін С.В. Науково-методичні основи встановлення закономірностей та розробки математичних моделей формування урожаю польових культур при зрошенні : монографія. Херсон : Айлант, 2010. 246 с.
13. Тверезовська Н.Т., Нелепова А.В. Інформаційні технології в агрономії : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 272 с.
14. Морозова О.С., Морозов О.В., Шапоринська Н.М., Волошин М.М. Зрошення в Херсонській області: сучасний стан та проблеми розвитку. *Бізнес – навігатор* : науково – виробничий журнал. 2019. № 3–1 (52). С. 94–100.

15. Ушкаренко В.О., Нікіщенко В.Л., Голобородько С.П., Коківіхін С.В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві : навчальний посібник. Херсон : Айлант, 2008. 272 с.

16. CropWat. Land & Water. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en> (дата звернення: 07.04.2020).

Information about authors:

Kokovikhin S. V.,

Doctor of Agricultural Science, Professor,

Deputy Director

Institute Irrigated Agriculture of the National Academy

Agrarian Sciences of Ukraine

Naddnipyrianske sett., Kherson, 73483, Ukraine

Drobitko A. V.,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,

Dean of the Faculty of Agrotechnology

Mykolayiv National Agrarian University

9, George Gongadze str., Mykolayiv, 54020, Ukraine