

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202002-263>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/263>

УДК 631.67:63.001.05;63.001.57

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЯВУ ПОСУХИ ТА ЇЇ ВПЛИВУ НА ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ВЕГЕТАЦІЙНОЇ ПОВЕРХНІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ПРИ ЗРОШЕННІ

О.І. Жовтоног¹, докт. с.-г. наук, В.В. Поліщук², канд. с.-г. наук, Л.А. Філіпенко³,
канд. геогр. наук, А.Ф. Салюк⁴, Я.О. Бутенко⁵, К.І. Чорна⁶

¹ ДУ «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку НАН», Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-5966-9081>; e-mail: olgazhovtonog10@gmail.com;

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-0429-7406>; e-mail: vitaliypolishchuk@ukr.net;

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-6558-0462>; e-mail: filipenkolaris@gmail.com;

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-3968-1125>; e-mail: allasaluk@ukr.net;

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1743-7175>; e-mail: iarynabulba@gmail.com;

⁶ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1695-635X>; e-mail: St.Katrine90@gmail.com

Анотація. Представлено результати експериментальних досліджень, проведених протягом 2018–2019 років на дослідних полях господарства Каховського району Херсонської області з визначення особливостей формування теплового режиму посівів в умовах прояву атмосферної та ґрунтової посухи при зрошенні. Обґрунтовано параметри моделей волого-теплопереносу в приземному шарі повітря та в ґрунті, визначено параметри моделі продукційного процесу з метою уточнення розрахунків водоспоживання сільськогосподарських культур та відповідно удосконалення управління поливами для забезпечення більшої продуктивності сільськогосподарських культур. Розрахунки та аналіз енергетичного балансу дослідних полів показав суттєвий вплив посухи на продуктивність використання сонячної енергії. Результатами проведених досліджень у 2018–2019 рр. підтверджено найсильніше цей вплив проявляється при сумісній дії атмосферної та ґрунтової посухи. Встановлено, що за таких умов основними факторами, що впливають на процеси в середовищі «ґрунт-рослина-атмосфера» та уповільнюють продукційний процес рослин є: дефіцит активних вологозапасів у ґрунті при відхиленні термінів поливів більше ніж на три дні від рекомендованих; тривалі періоди з високими денними температурами повітря (більше 30 °С), що збільшують температуру підстилаючої поверхні та відповідно збільшують відношення між непродуктивною частиною теплової енергії, що йде на турбулентний обмін повітря у посівах, та продуктивною її складовою, що йде на випаровування та продукційний процес (число Боуена). Кількісна характеристика даних впливів залежить від інтенсивності та тривалості атмосферної посухи та якості оперативного управління поливами. Тому для планування поливів в умовах атмосферної посухи важливо зменшити тривалість періодів перевищення максимально допустимих температур підстилаючої поверхні ґрунту, при яких число Боуена коливається в межах 1,2–1,5, за рахунок проведення освіжаючих поливів. Якщо внаслідок різних причин при управлінні поливами все ж таки не вдається повністю уникнути прояву посухи, необхідним є коригування біокліматичних коефіцієнтів сумарного випаровування для врахування редукції випаровування в цих умовах.

Ключові слова: агромоніторинг, база даних, дистанційне зондування Землі, посуха, продукційний процес, управління зрошенням, тепловий режим.

Актуальність. Дослідженням комплексного впливу водного та енергетичного балансу в середовищі «ґрунт-рослина-атмосфера» на продуктивність вирощуваної сільськогосподарської продукції присвячено багато експериментальних та теоретичних досліджень вчених багатьох країн. Результатом цих робіт є закономірності впливу факторів природного середовища,

технологій вирощування сільськогосподарських культур на продукційний процес та продуктивність використання природних ресурсів. Закономірності, що були встановлені у ході виконання фундаментальних досліджень, покладені в основу численних моделей продукційного процесу та його складових, що використовуються в системах підтримки прийняття рішень з обґрунтування

технологій вирощування сільськогосподарських культур. Однією з таких систем підтримки прийняття рішень з управління зрошенням є інформаційна система оперативного планування зрошення «ГІС Полив», розроблена в ІВПіМ НААН [1]. У складі ІС при наявності в господарствах автоматизованих метеостанцій використовується відома модель розрахунку сумарного випаровування за методом ФАО [4], в основу якої покладено сумісне вирішення теплового та водного балансів за методом Пенмана–Монтейта та воднобалансова модель розрахунку добових значень динаміки вологості в активному шарі ґрунту. Розрахунки виконуються на основі оперативної інформації з господарств щодо погодних умов, стану та розвитку сільськогосподарських культур. Останнім часом практика управління зрошенням зіткнулась із новими викликами, що пов'язані зі змінами клімату та зростанням частоти та інтенсивності посух у південних регіонах. Крім того, у зрошуваному землеробстві з'явилися новітні технічні та технологічні можливості для більш ефективного управління технологічними процесами. Всі ці процеси, що відбуваються в реальному виробництві та на ринку науково-технічної продукції, обумовили можливість та необхідність вивчення впливу природних та господарських умов на процеси енергомасообміну в середовищі «ґрунт-рослина-атмосфера» з метою удосконалення методів управління поливами в сучасних умовах ведення зрошення.

Мета досліджень – дослідити на площі зрошуваної сівозміни протягом двох вегетаційних сезонів (2018–2019 рр.) прояви атмосферної та ґрунтової посух та її вплив на складові теплового режиму вегетаційної поверхні та продукційні процеси рослин на прикладі полів сої.

До завдань досліджень, крім досліджень процесів у середовищі «ґрунт-рослина-атмосфера», відносилась також розробка реко-

мендацій щодо удосконалення методів планування режимів зрошення в умовах посухи.

Характеристика об'єкту проведення досліджень. Дослідження проводили на виробничих полях господарства ПрАТ «Фрідом Фарм Інтернешнл» у Каховському районі Херсонської області. Для проведення досліджень на сівозміні «Горностаївське-2» було обладнано дві експериментальні ділянки. Загальна площа ділянок складала 1231,6 га, із них під зрошенням – 1012,5 га. Середня площа поля дорівнювала 67 га. Основними культурами на зрошенні були соя (сорт К-8, К-6) та соняшник. Джерело зрошення – Сірогозьська зрошувальна система. На ділянках зрошення здійснювалось сучасними дощувальними машинами (ДМ) виробництва фірми Вауер. На рисунку 1 наведено схему розташування експериментальних ділянок, на яких були встановлені метеостанції (ліворуч – метеостанція Червона Поляна, праворуч – метеостанція Старолук'янівка).

Методика та методи дослідження. Методика експериментальних досліджень передбачала проведення на дослідних ділянках тепло-водобалансових та фенологічних спостережень за ростом та розвитком сільськогосподарських культур. На дослідних ділянках було встановлено дві сучасні автоматизовані інтернет-метеостанції фірми i-Metos, датчики вологості ґрунту Sentek Moisture та AquaSpry. У дослідженнях було застосовано сучасні технології одержання та обробки інформації (космічні знімки, моделі енергетичного балансу та дані автоматизованих метеостанцій).

Спостереження за погодними умовами включали спостереження за сумарною сонячною радіацією, швидкістю вітру, температурою та вологістю повітря, опадами. Водобалансові спостереження передбачали розрахунок за допомогою ІС «ГІС Полив» та контрольні визначення вологості кореневмісного шару ґрунту, облік норм та строків

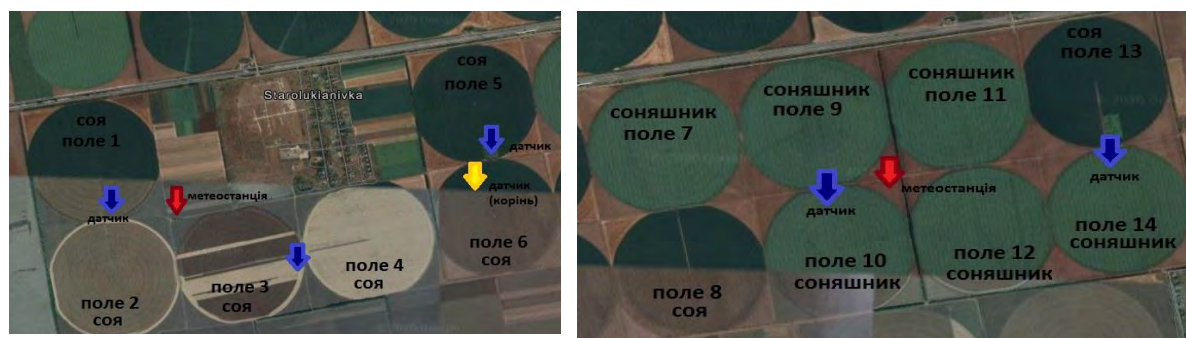


Рис. 1. Схема розташування експериментальних ділянок та культур у 2019 р.

проведення поливів та випадіння опадів. Вологість ґрунту визначали датчиками вологості та термостатно-ваговим методом. При проведенні досліджень використовували стандартні методики.

У дослідженнях використано відомі міжнародні та вітчизняні агроекологічні моделі та програмно-інформаційні комплекси: модель продукційного процесу WOFOST [2–3], інформаційну систему оперативного планування зрошення «ГІС Полив» [1]. Тепло-водобалансові розрахунки виконували за відомими моделями, по методиці ФАО [4]. Для спостережень за станом сільськогосподарських культур та визначення температури підстилаючої поверхні рослинного покриву використовували дані обробки космічних знімків.

Методи досліджень – аналітичний, польовий, імітаційного моделювання, математичної статистики, геоінформаційні технології (ГІС), дистанційне зондування Землі (ДЗЗ)

Результати досліджень.

Створення єдиної бази даних досліджень. Для аналізу та обробки результатів досліджень, отриманих протягом 2018–2019 рр. по полях господарств, створено єдину базу даних, до якої включено: інформацію про використання зрошення (культура, дата посіву, ґрунтові умови, стартові вологозапаси, зрошувальні машини та їх характеристики, строки та норми фактичних та рекомендованих поливів, дані врожаю); добові значення даних метеорологічних спостережень на двох метеостанціях, що розташовані на дослідних ділянках (температура повітря, кількість опадів, відносна вологість повітря, сумарна сонячна радіація, швидкість вітру, точка роси, випаровуваність); дані фенологічних спостережень; результати тепло-водобалансових розрахунків; результати обробки космічних знімків щодо стану посівів та температури підстилаючої поверхні. У таблиці 1 наве-

дено приклад структури бази даних, що було сформовано за результатами досліджень у 2019 році.

Аналіз погодних умов вегетаційного періоду 2018–2019 рр. та оцінка інтенсивності та тривалості ґрунтової та атмосферної посухи.

У цілому вегетаційні періоди 2018–2019 рр. характеризувалися як середньо посушливі, коли періоди з інтенсивними опадами змінювалися тривалими посушливими періодами з різною інтенсивністю прояву посухи. Так, протягом вегетаційного періоду 2019 р. спостерігалися періоди з адвекційними явищами атмосфери, під час яких опади випадали локально та нерівномірно у вигляді короткотривалих злив, що призводило до нерівномірності зволоження ґрунту по площі сівозміни. У той же час, у періоди активної вегетації спостерігались періоди з високими середньодобовими температурами повітря, що іноді досягали 25 °С, а максимальні температури повітря в такі дні підіймалися до 30–35 °С. На рисунку 2 наведено динаміку середньодобових та максимальних денних температур повітря за даними метеостанції Червона Поляна протягом вегетаційного періоду 2019 р.

Для оцінювання умов природного зволоження по роках досліджень використовували гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК), що визначається за відношенням суми опадів до 0,1 суми температур за період часу з температурою вище 10 °С. Даний коефіцієнт дозволяє оцінювати загальний ступінь прояву посухи в природних умовах. За роки досліджень у різні періоди вегетації спостерігались різні за тривалістю періоди слабкої, середньої та сильної посухи. Так, наприклад, за результатами розрахунків ГТК критичний період вегетації сої у 2018 р. був дуже посушливим (0,66). Умови сильної посухи спостерігались

1. Структура бази даних досліджень у 2019 р.

Показники	Експериментальна ділянка 1	Експериментальна ділянка 2
Кількість полів	6	8
Культура, сорт	Соя	Соя, соняшник
Режим зрошення (кількість поливів, норми, строки, тривалість поливу)	Фактичний та оптимальний	Фактичний та оптимальний
Зрошувальна норма м ³ /га та урожай сої, ц/га	4700 /45,24 (соя, поле 2)	4550 /44,59 (поле 13)
Кількість космічних знімків протягом вегетаційного сезону та вегетаційні індекси	NDVI (10), LST, LAI (6)	NDVI (10), LST, LAI (6)
Метеодані (температура повітря, сонячна радіація, відносна вологість, опади, швидкість вітру, ET ₀)	Метеостанція Червона Поляна	Метеостанція Старолук'янівка



Рис. 2. Динаміка максимальних денних та середньодобових температур повітря (Червона Поляна, 2019 р.)

у докритичний та після критичний період (0,47–0,5). Вегетаційний період 2019 р. за умовами природної вологозабезпеченості був середньопосушливим.

Для кількісної характеристики атмосферної та ґрунтової посухи безпосередньо на полях досліджень нами були використані індикатори, при яких спостерігається суттєвий вплив посухи на стан та розвиток біомаси сільськогосподарських культур [5]:

– індикатор атмосферної посухи – (ІАП), що визначається за тривалістю періоду, коли більше 10 днів поспіль максимальні денні температури повітря $\geq 30^{\circ}\text{C}$;

– індикатор ґрунтової посухи (ІГрП), що визначається за відхиленням значень вологозапасів в активному шарі ґрунту до ≥ 10 мм від оптимального рівня.

За результатами розрахунків наведених індикаторів по даних досліджень у 2018–2019 рр. на полях сої було встановлено чотири типи умов вологозабезпечення: а) оптимальні умови, що характеризувались відсутністю як атмосферної, так і ґрунтової посухи; б) періоди прояву атмосферної посухи; в) періоди прояву ґрунтової посухи; г) періоди, коли на фоні атмосферної посухи спостерігався також

дефіцит вологозапасів ґрунту. У таблиці 2 наведено кількість днів вегетаційного періоду, протягом яких проявлявся той чи інший тип умов вологозабезпечення.

Умови ґрунтової посухи спостерігались лише у 2018 р., у випадках, коли на окремих полях протягом певного періоду часу динаміка вологості ґрунту опускалась нижче критичного рівня. Це відбувалось внаслідок недотримання господарством рекомендованих поливів за розрахунками ІС «ГІС Полив». Суттєвий вплив на розвиток рослин спостерігався вже при відхиленні строків поливів від рекомендованих на 3–5 днів, коли дефіцит вологозапасів в активному шарі ґрунту досягав та перевищував 10 мм.

Дослідження теплового режиму рослинного покриву.

Для характеристики теплового режиму рослинного покриву необхідно знати рівень надходження, споживання і випромінювання енергії, параметри теплообміну. Тепловий режим вивчався нами на основі визначення складових енергетичного (теплового) балансу приземного шару повітря за методикою ФАО [4]. Для оцінки структури теплового балансу в тепло-балансових дослідженнях

2. Кількість днів з оптимальними умовами вирощування сої та тривалість періодів прояву різних видів посухи (2018–2019 рр.)

Рік	Номер полігона та поля	Період оптимальних умов зволоження	Період атмосферної посухи	Період дефіциту води в активному шарі ґрунту	Періоди атмосферної посухи на фоні дефіциту вологості ґрунту
2018	Полігон 1, поле 2	54	51	7	23
	Полігон 2, поле 12	52	60	4	19
2019	Полігон 1, поле 2	121	24	-	-

використовують число Боуена (відношення витрат енергії на турбулентність, LH , Mj/m^2 до витрат тепла на випаровування, LE , Mj/m^2) [6]. За динамікою цього показника можна оцінювати наскільки проведення поливів пом'якшує негативний вплив атмосферної посухи. У таблиці 3 наведено складові теплового балансу зрошуваного поля на початок поливу та через 2–4 дні після початку. Наведені дані свідчать про те, що кожен із вчасно проведених поливів сприяв дотриманню ефективного використання теплової енергії. Тобто число Боуена після поливу в таких умовах завжди було суттєво меншим одиниці.

Однак, у періоди атмосферної посухи, тобто на фоні високих денних температур повітря та низьких рівнях відносної вологості повітря, навіть при дотриманні оптимального зволоження ґрунту відбувається зниження інтенсивності транспірації сільськогосподарських культур внаслідок фізіологічних процесів закриття порохів рослин. Ці фізіо-

логічні процеси призводять до перегрівання рослинного покриву та збільшення витрат тепла на турбулентний обмін у посівах [7].

Спільний аналіз динаміки числа Боуена та динаміки максимальних температур повітря свідчить про вплив атмосферної посухи на збільшення непродуктивних витрат енергії в посівах. (Рис. 3).

Однак, порівняно з атмосферною, ґрунтова посуха ще більше впливає на показники теплового балансу та число Боуена. Найбільш негативний вплив на рослини відбувається в періоди, коли присутня як атмосферна, так і ґрунтова посуха. У таких екстремальних умовах число Боуена за результатами розрахунків показників теплового балансу 2018–2019 рр збільшується до 1,2–1,5. Це пояснюється більш високими значеннями редукції транспірації внаслідок зменшення відбору вологи коренями рослин при дефіциті вологи в ґрунті. Дію як ґрунтової, так і атмосферної посухи можна прослідкувати за індексом

3. Складові енергетичного балансу, число Боуена, максимальна добова температура повітря (поле 2, соя, 2019 р.)

Складові енергетичного балансу	Полив 12.06–17.06. – критичний період вегетації		
	день після поливу		
	12.06 (початок поливу)	14.06 (2-й день після поливу)	16.06 (4-й день після поливу)
LH , Mj/m^2	7,34	8,46	7,12
LE , Mj/m^2	25,39	20,30	24,90
$B = LH/LE$	0,29	0,42	0,32
T макс, $^{\circ}C$	34,01	32,6	35,1
Складові енергетичного балансу	полив 20.07–25.07. – критичний період вегетації		
	день після поливу		
	20.07 (початок поливу)	22.07 (2-й день після поливу)	24.07 (4-й день після поливу)
LH , Mj/m^2	8,26	8,17	8,32
LE , Mj/m^2	19,57	19,7	18,91
LH/LE	0,42	0,41	0,44
T макс, $^{\circ}C$	31,3	33,8	29,97
Складові енергетичного балансу	полив 26.07–30.07. – критичний період вегетації		
	день після поливу		
	26.07 (початок поливу)	28.07 (2-й день після поливу)	30.07 (4-й день після поливу)
LH , Mj/m^2	8,13	7,97	8,87
LE , Mj/m^2	19,44	19,83	17,60
$B = LH/LE$	0,42	0,40	0,5
T макс, $^{\circ}C$	30,66	33,03	36,34
Складові енергетичного балансу	полив 12.08–17.08. – післякритичний період вегетації		
	день після поливу		
	12.08 (початок поливу)	14.08 (2-й день після поливу)	16.08 (4-й день після поливу)
LH , Mj/m^2	8,44	8,67	8,94
LE , Mj/m^2	18,39	19,11	15,69
LH/LE	0,46	0,45	0,57
T макс, $^{\circ}C$	33,67	32,46	30,02

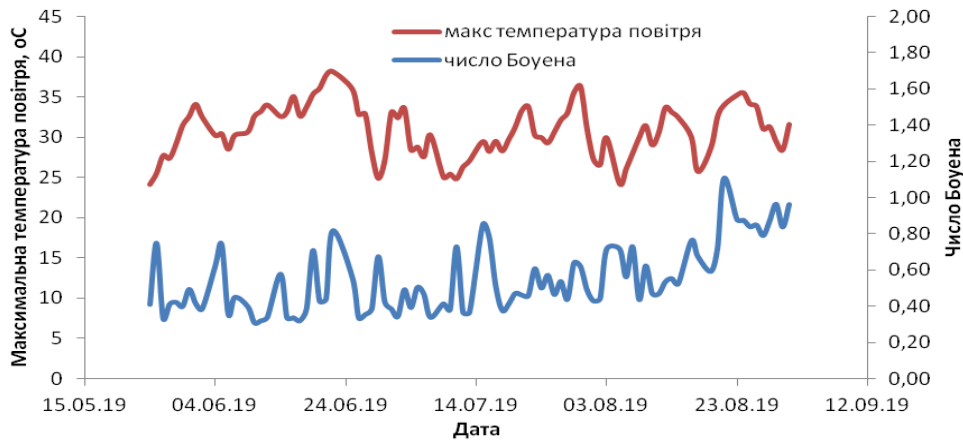


Рис. 3. Динаміка співвідношення числа Боуена та максимальних денних температур повітря (метеостанція Червона Поляна, 2019 р.)

температури вегетаційної поверхні [8], що визначається за даними космічних знімків. Цей індекс має високий кореляційний зв'язок з числом Боуена (рисунок 4–5, за даними 2018–2019 рр.) [9].

На картах індексів температури вегетаційної поверхні (LST), що отримані за даними ДЗЗ, добре видно відмінності між різними варіантами прояву посухи.

Виходячи із закономірностей теплового балансу вегетаційної поверхні та фізіологічних процесів у рослинах, в умовах тривалих періодів з екстремальними денними температурами повітря, необхідним стає управління мікрокліматичним ефектом зрошення, тобто планування, крім традиційних поливів, додаткових освіжаючих поливів мінімально допустимою поливною нормою. Для визначення термінів освіжаючих поливів важливим є ведення моніторингу за інтенсивністю та тривалістю атмосферної посухи. До того ж потрібно не допускати відхилення термінів

основних поливів від рекомендованих для запобігання появи ґрунтової посухи.

У разі, якщо посіви вже зазнали впливу атмосферної посухи та відбулись певні процеси редукції сумарного випаровування та уповільнення продукційного процесу рослин, при оперативному плануванні поливів слід враховувати актуальний стан біомаси сільськогосподарських культур та вводити необхідні коригування в розрахунки сумарного випаровування. Для цього можна застосовувати існуючі системи космічного агромоніторингу типу Fieldlook [10], що використовують дані космічних знімків та моделювання водоспоживання сільськогосподарських культур за допомогою моделі енергетичного балансу SEBAL [11], виходячи з актуальних значень біомаси сільськогосподарських культур та радіаційного балансу земної поверхні. В умовах посухи визначення сумарного випаровування на площах великих зрошуваних масивів можна також здійснювати на основі

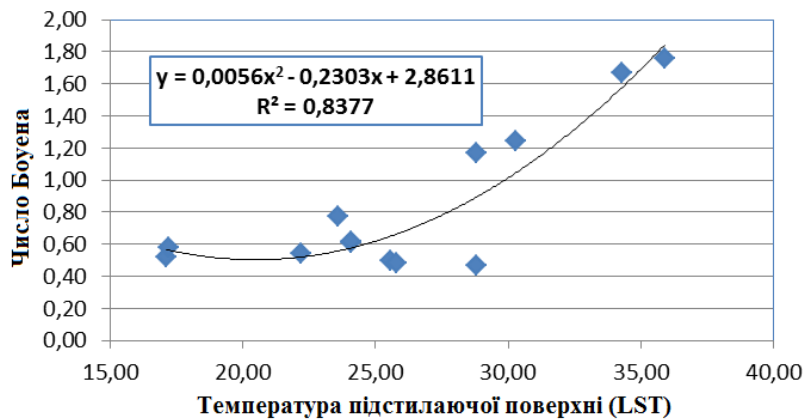


Рис. 4. Залежність між числом Боуена та індексом температури вегетаційної поверхні (LST), що отриманий за даними ДЗЗ (2018–2019 рр.)

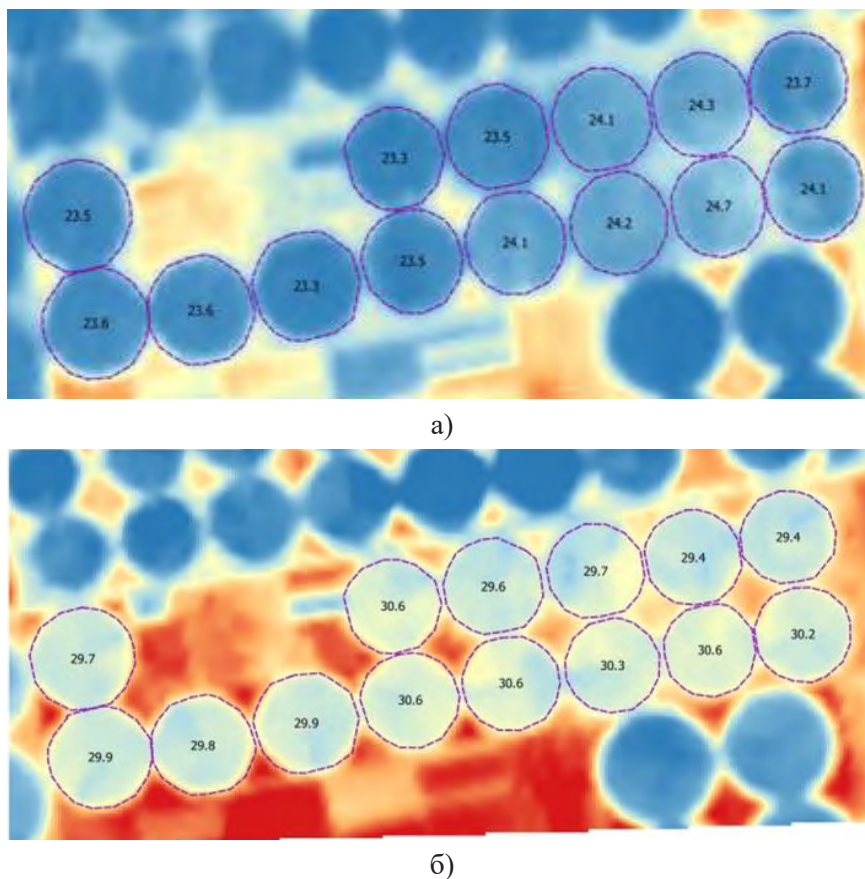


Рис. 5. Температура підстилаючої поверхні в умовах водного стресу рослин при різних варіантах прояву посухи, °С:
 а) 30.07 – атмосферна посуха б) 15.08 – атмосферна та ґрунтова посух

використання моделі продукційного процесу WOFOST [2–3] та даних фактичних значень листового індексу, які визначаються за даними космічних знімків.

Слід також зауважити, що крім адаптації методів оперативного планування режимів зрошення в умовах посухи важливим є застосування комплексу інших агротехнічних та меліоративних заходів (регулювання густоти посівів, застосування спеціальних мінімальних видів обробітку ґрунту, проміжних посівів та мульчування та ін.). Останнім часом в агрономічній практиці все більше розповсюджується застосування спеціальних речовин (абсцизова кислота, фенілмеркурацетат та ін.) [12; 13], що збільшують резистентність рослин до негативного впливу посухи, особливо при дії ґрунтової посухи, коли неможливо забезпечити оптимальне зрошення, або зрошення зовсім відсутнє.

Висновки та рекомендації. При виконанні експериментальних досліджень в умовах ведення зрошення в реальному виробництві протягом вегетаційних сезонів 2018–2019 рр.

за даними автоматизованих метеостанцій та розрахунків вологозапасів ґрунту з використанням інформаційної системи оперативного планування зрошення ІС «ГІС-Полив» встановлено різні періоди прояву атмосферної (60 днів у 2018 р. та 24 дні у 2019 р.), ґрунтової (7 днів у 2018 р.) та атмосферної та ґрунтової посухи, що мали місце одночасно (до 23 дні у 2018 р.) та вивчено в цих умовах особливості формування теплового режиму вегетаційної поверхні та продукційного процесу рослин на площах полів, що були зайняті під посіви сої.

В умовах посухи в посівах зменшувалась продуктивність використання сонячної енергії, що обумовлювалось збільшенням показників витрат тепла, яке йде на турбулентний обмін повітря, відносно до обсягів енергії, що витрачалась рослинами на випаровування, тобто продукційний процес рослин. Найбільших значень це відношення, відоме як число Боуена, досягає (1.2–1.5) у періоди одночасного прояву ґрунтової та атмосферної посух.

Для оцінки масштабів прояву посухи та її впливу на тепловий режим посівів одночасно на великих площах зрошуваних масивів запропоновано використовувати індекс температури вегетаційної поверхні, що визначається за даними космічних знімків і має високий кореляційний зв'язок з числом Боуена ($R^2 = 0,98$). Цей індекс також може бути застосований як індикатор для призначення термінів проведення освіжаючих поливів для уникнення редукації сумарного водоспоживання та відпо-

відно уповільнення продукційного процесу в умовах атмосферної посухи.

В умовах, коли посіви вже зазнали негативного впливу посухи, запропоновано застосовувати різні методи коригування сумарного випаровування та оперативних планів поливів сільськогосподарських культур (на основі використання даних космічного моніторингу; моделі енергетичного балансу SEBAL; моделі продукційного процесу рослин WOFOST).

Бібліографія

1. Комп'ютерна програма «Інформаційна система оперативного планування зрошення ІС «ГІС Полив» («ІС «ГІС Полив»))», автори: Жовтоног О.І., Філіпенко Л.А., Деменкова Т.Ф., Бабич В.А., Поліщук В.В. (Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір № 54650 від 07.05.2014).
2. Van Diepen C.A., Wolf J., Keulen H.van, Rappoldt C. WOFOST: a simulation model of crop production // *Soil use and management*. 1989. Vol. 5. Number 1. P. 16–25.
3. Abadi, F.R., Tastra, I.K., Koentjoro, B.S. Preliminary study of WOFOST crop simulation in its prospect for soybean (*Glycine max L.*) optimum harvest time and yield gap analysis in East Java // *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol. 40. No 3. P. 544–555.
4. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D.S., Smith, M.L. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements / FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and agricultural organization of the United Nations. Rome. 1998. 300 p.
5. Врахування змін клімату та інтенсивності посух при плануванні зрошення в зоні Південного Степу України / Жовтоног О.І. та ін. // *Меліорація і водне господарство*. 2018. Вип. 107(1). С. 37–46.
6. On the relationship between the Bowen ratio and the near-surface air temperature / Cho, J. et al. // *Theoretical and Applied Climatology*. 2012. Vol. 108. P. 135–145.
7. Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S.A., Farooq, A., Zohaib, A., Huang, J. Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options // *Frontiers in plant science*. 2017. Vol. 8. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01147/full> (дата звернення: 07.04.2020 р).
8. Colaizzi P.D., O'Shaughnessy S.A., Evett S.R., Howell T.A. Using plant canopy temperature to improve irrigated crop management // *Proceedings of the 24th Annual Central Plains Irrigation Conference, Colby, Kansas*. 2012. February 21–22. P. 203–223.
9. Закономірності енергомасообміну в середовищі «грунт-рослина-атмосфера» в сучасних кліматичних та господарських умовах використання зрошення / Жовтоног О.І. та ін. // *Меліорація і водне господарство*. 2018. Вип. 108(2). С. 19–28.
10. FIELDLOOK Company Inc. <https://fieldlook.com/fieldlook20/index.php/en/> (дата звернення: 03.11.2020 р).
11. SILVA, Bruno Bonemberger da et al . Satellite-based ET estimation using Landsat 8 images and SEBAL model. *Rev. Ciênc. Agron., Fortaleza* , v. 49, n. 2, p. 221-227, June 2018. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902018000200221&lng=en&nrm=iso. (дата звернення: 02.11.2020 р). <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20180025>.
12. Sah S.K., Reddy K.R., Li J. Abscisic Acid and Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants // *Frontiers in plant science*. 2016. Vol. 7. Article 571.
13. Bodner G., Nakhforoosh A., Kaul, H.P. Management of crop water under drought: a review // *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. Vol. 35, P. 1–43.

References

1. Zhovtonoh, O.I., Filipenko, L.A., Demenkova, T.F., Babych, V.A., & Polishchuk, V.V. (2014). Komp'yuterna prohrama. Informatsiyna systema operatyvnoho planuvannya zroshennya IS GIS Polyv [Computer program Informational system of irrigation planning] Svidotstvo pro reyestratsiyu avtors'kykh prav na tvir № 54650 vid 07.05.2014. [in Ukrainian]
2. Van Diepen, C.A., Wolf, J., van Keulen, H., & Rappoldt, C. (1989). WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil use and management*, 5, 1, 16–25.

3. Abadi, F.R., Tastra, I.K., & Koentjoro, B.S. (2018). Preliminary study of WOFOST crop simulation in its prospect for soybean (*Glycine max* L.) optimum harvest time and yield gap analysis in East Java. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 40, 3, 544–555.
4. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D.S., & Smith, M.L. (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*: Rome, United Nations Food and Agricultural Organization, FAO Irrigation and Drainage Paper, 56. 300.
5. Zhovtonoh, O.I., Filipenko, L.A., Demenkova, T.F., Polishchuk, V.V., & Butenko, Ya.O. (2018). Vrakhuvannia zmin klimatu ta intensyvnosti posukh pry planuvanni zroshennia v zoni Pivdennoho Stepu Ukrainy [Irrigation planning taking into account climate change and draughts intensity in the Steppes zone of South Ukraine]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 107(1), 37–46. [in Ukrainian]
6. Cho, J., Oki, T., Yeh, P.J.F., Kim, W., Kanae, S., & Otsuki, K. (2012). On the relationship between the Bowen ratio and the near-surface air temperature // *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 135–145.
7. Fahad, S., Bajwa, A.A., Nazir, U., Anjum, S.A., Farooq, A., Zohaib, A., & Huang, J. (2017). *Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options*. *Frontiers in plant science*, Vol. 8.
8. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01147/full>.
9. Colaizzi, P.D., O'Shaughnessy, S.A., Evett, S.R., & Howell, T.A. (2012). Using plant canopy temperature to improve irrigated crop management. *Proceedings of the 24th Annual Central Plains Irrigation Conference*, Colby, Kansas, February 21–22, 203–223.
10. Zhovtonoh, O.I., Filipenko, L.A., Polishchuk, V.V., Saliuk, A. F., & Khomenko, A.V. (2018). Zakonomirnosti enerhomasoobminu v seredovyskhi «hrunt-roslyna-atmosfera» v suchasnykh klimatychnykh ta hospodarskykh umovakh vykorystannia zroshennia [Patterns of energy-mass exchange in soil-plant-atmosphere environment under current climatic and economic conditions for irrigation]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 108(2), 19–28. [in Ukrainian]
11. FIELDLOOK Company Inc. eleaf.com. Retrieved from: <https://fieldlook.com/fieldlook20/index.php/en/>.
12. Silva, Bruno Bonemberger da, Mercante, Erivelto, Boas, Marcio Antonio Vilas, Wrublack, Suzana Costa, & Oldoni, Lucas Volochen. (2018). Satellite-based ET estimation using Landsat 8 images and SEBAL model. *Revista Ciência Agronômica*, 49(2), 221–227. <https://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20180025>.
13. Sah, S.K., Reddy, K.R., & Li, J. (2016). Abscisic Acid and Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants. *Frontiers in plant science*, 7, 571.
14. Bodner, Gernot & Nakhforoosh, Alireza & Kaul, Hans-Peter. (2015). Management of crop water under drought: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35. 1–43.

**О.И. Жовтоног, В.В. Полищук, Л.А. Филиппенко,
А.Ф. Салюк, Я.О. Бутенко, К.И. Чорна**

**Исследование проявления засухи и ее влияния на тепловой режим
вегетационной поверхности сельскохозяйственных культур при орошении**

***Аннотация.** Представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных в течение 2018–2019 годов на опытных полях хозяйства Каховского района Херсонской области по определению особенностей формирования теплового режима посевов в условиях проявления атмосферной и почвенной засухи при орошении. Обоснованно параметры моделей влаго-телопереноса в приземном слое воздуха и в почве, определены параметры модели продукционного процесса с целью уточнения расчетов водопотребления сельскохозяйственных культур и соответственно совершенствования управления поливами для обеспечения большей производительности сельскохозяйственных культур. Расчеты и анализ энергетического баланса опытных полей показали существенное влияние засухи на продуктивность использования солнечной энергии. Результатами проведенных исследований в 2018–2019 гг. подтверждено, что в наибольшей степени это влияние проявляется при совместном действии атмосферной и почвенной засух. Установлено, что при таких условиях основными факторами, влияющими на процессы в среде «почва-растение-атмосфера» и замедляющими продукционный процесс растений являются: дефицит активных влагозапасов в почве при отклонении сроков поливов более чем на три дня от рекомендованных; длительные периоды с высокими дневными температурами воздуха (более 30 °C), увеличивающими температуру подстилающей поверхности и соответственно увеличивают отношение между непродуктивной частью тепловой энергии, идущей на турбулентный обмен воздуха в посевах и продуктивной ее составляющей, которая идет на испарение и продукционный процесс (число Боуэна).*

Количественная характеристика данных воздействий зависит от интенсивности и продолжительности атмосферной засухи и качества оперативного управления поливами. Поэтому, для планирования поливов в условиях атмосферной засухи, важно уменьшить продолжительность периодов превышения максимально допустимых температур подстилающей поверхности почвы, при которых число Боуэна колеблется в пределах 1,2–1,5, за счет проведения освежающих поливов. Если в результате различных причин при управлении поливами все же не удастся полностью избежать проявления засухи, необходима корректировка биоклиматических коэффициентов суммарного испарения для учета редукиции испарения в этих условиях.

Ключевые слова: агромониторинг, база данных, дистанционное зондирование Земли, засуха, продукионный процесс, управление орошением, тепловой режим.

**O.I. Zhovtonog, V.V. Polishchuk, L.A. Filipenko,
A.F. Saliuk, Ya.O. Butenko, K.I. Chorna**

Study of drought manifestation and its effect

on the thermal regime of vegetation surface of crops under irrigation

Abstract. The results of experimental studies conducted during 2018–2019 in the experimental fields of Kakhovka district in Kherson region to determine the features of the thermal regime of crop formation under conditions of atmospheric and soil droughts during irrigation are presented. The parameters of water-heat transfer models in the surface layer of the atmosphere and in the soil are substantiated. The parameters of the production process model are determined to clarify the calculations of crop water consumption and improve irrigation management to ensure the high crop productivity. The calculations and analysis of the energy balance of the experimental fields have proved a significant impact of drought on the productivity of solar energy use. According to the research, conducted in 2018–2019, it was confirmed that effect is most visible in the common influence of atmospheric and soil droughts. It was established that under such conditions the main factors influencing the processes in the environment “soil-plant-atmosphere” and slowing down the production process of crops are: lack of active soil moisture when the watering period deviates by more than three days from the recommended one; long periods with high daytime air temperatures (higher than 30 °C), which increase the land surface temperature and, accordingly, increase the ratio between the unproductive part of thermal energy going to turbulent air exchange in crops and its productive component going to evaporation and production process (Bowen ration). The quantitative characteristics of these effects depend on the intensity and duration of atmospheric drought and the quality of operational irrigation management. Therefore, to plan irrigation in drought conditions, it is important to reduce the periods of exceeding the maximum allowable land surface temperature, at which the Bowen ratio varies between 1.2–1.5, by using refreshing irrigation. If, for various reasons, the management of irrigation still does not completely avoid the manifestation of drought, it is necessary to adjust the bioclimatic crop coefficients of total evaporation and to take into account the reduction of evaporation in these conditions.

Key words: monitoring, database, remote sensing of the Earth, drought, production process, irrigation management, thermal regime.