

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg20180108-132>

Available at: <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/132>

УДК 631.67:63.001.05;63.001.57

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ЕНЕРГОМАСООБМІНУ В СЕРЕДОВИЩІ «ГРУНТ-РОСЛИНА-АТМОСФЕРА» В СУЧАСНИХ КЛІМАТИЧНИХ ТА ГОСПОДАРСЬКИХ УМОВАХ ВИКОРИСТАННЯ ЗРОШЕННЯ

О.І. Жовтоног<sup>1</sup>, док. с.-г. наук, Л.А. Філіпенко<sup>2</sup>, канд. географ. наук, В.В. Поліщук<sup>3</sup>,  
канд. с.-г. наук, А.Ф. Салюк<sup>4</sup>, А.В. Хоменко<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0001-5966-9081>; e-mail: [olgazhovtonog10@gmail.com](mailto:olgazhovtonog10@gmail.com)

<sup>2</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0001-6558-0462>; e-mail: [filipenkolaris@gmail.com](mailto:filipenkolaris@gmail.com)

<sup>3</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0003-0429-7406>; e-mail: [vitaliy.polishchuk@ukr.net](mailto:vitaliy.polishchuk@ukr.net)

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

<sup>5</sup> ТОВ «Україна Агропром», Каховка, Херсонська область, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-0493-4834>; e-mail: [ukraine-agroprom@ukr.net](mailto:ukraine-agroprom@ukr.net)

**Анотація.** У статті наведено результати експериментальних досліджень зміни мікроклімату, розрахунків теплового та радіаційного балансу на зрошуваних полях при вирощуванні сої пізньостиглої. Для проведення досліджень було облаштовано два експериментальні полігони загальною площею 1012,5 га, на яких встановлено автоматизовані метеостанції та виконували спостереження за станом та розвитком сільськогосподарських культур на фоні двох сценаріїв планування зрошення – традиційного з регулюванням вологості ґрунту у діапазоні 75-80-75% НВ та інтенсивного з підтриманням вологості активного шару ґрунту в діапазоні 80-90% НВ. Встановлено, що інтенсивне зрошення (часті поливи невеликими нормами) сприяє покращенню мікроклімату у посівах за рахунок більш ефективного поглинання теплової енергії та забезпечує більш високу продуктивність використання зрошувальної води.

**Ключові слова:** радіаційний баланс, сонячна енергія, випромінювання земної поверхні, зустрічне випромінювання атмосфери, ефективно випромінювання, альbedo поверхні, турбулентність, тепловий потік у ґрунті

**Актуальність проблеми.** Умови зрошення в Україні останнім часом кардинально змінилися. У зв'язку із глобальним потеплінням клімату особливо гостро постає проблема посушливості, кожен з трьох років із десяти є посушливим або гостропосушливим, збільшилася частота екстремальних погодних явищ, таких як посухи та суховії [1]. Ведення зрошення в сучасних економічних умовах характеризується інтенсивним використанням водних та інших видів матеріальних ресурсів для отримання високих урожаїв високопродуктивних сортів сільськогосподарських культур. При цьому на фоні зростання цін на ресурси постає проблема їх ефективного використання для забезпечення росту прибутків від зрошення. Отже, адаптація методів планування зрошення до умов, що склалися, є важливою задачею наукових досліджень. Знання закономірностей енергомасообміну в середовищі «ґрунт-рослина-атмосфера» дозволить приймати обґрунтовані рішення щодо раціо-

нального використання природних ресурсів та оптимального планування зрошення. Наприклад, вплив несприятливих погодних умов в умовах посухи може бути зменшений шляхом запровадження комплексу заходів: мульчування поверхні ґрунту, запровадження мінімального обробітку, а також проведення зволожуючих поливів та частих поливів невеликими нормами.

**Стан вивчення питання.** Визначенню закономірностей розподілу теплової енергії в середовищі «ґрунт-рослина-атмосфера» під впливом зрошення в минулі роки було присвячено багато досліджень [2, 3, 4 та ін.]. Їх метою було визначення параметрів моделей продукційного процесу, ефективності різних засобів поливів та використання поливної техніки тощо. Дослідження виконували переважно на полях кукурудзи, яка була основною культурою при вирощуванні на зрошенні. Соя, що зараз займає найбільший відсоток зрошуваних земель, вирощувалась на невеликих площах, а пізньостиглі сорти не всти-

гали визрівати. Тому закономірності, що були встановлені раніше, доцільно переглянути, враховуючи фізіологічні особливості нових сільськогосподарських культур та їх високпродуктивних сортів.

За сучасних умов зміни клімату все більше авторів пропонують переглянути існуючі підходи до планування зрошення, що ґрунтуються на критерії дотримання вологості в активному шарі ґрунту у оптимальному діапазоні, та враховувати закономірності процесів енергомасообміну як у ґрунті, так і у рослинному покриві [5].

Високі максимальні температури повітря навіть при наявності вологи у кореневмісному шарі ґрунту призводять до редукції транспірації сільськогосподарських культур та уповільнення росту біомаси рослин [2]. Для запобігання негативного впливу посух на ефективність зрошувального землеробства в південних регіонах України необхідним є запровадження нових підходів до організації ведення зрошення в господарствах та адаптація параметрів режимів зрошення сільськогосподарських культур до цих умов.

**Мета досліджень** полягає в удосконаленні та розвитку методології планування зрошення на засадах ресурсоефективності та адаптації до сучасних умов аграрного виробництва зрошення на основі вивчення закономірностей процесів енергомасообміну в системі «ґрунт-рослина-атмосфера».

Для досягнення цієї мети необхідно проведення спеціальних комплексних досліджень із вивчення закономірностей енергомасообміну, що відбуваються у ґрунті та рослинному покриві під впливом зрошення в сучасних природних та виробничих умовах (на прикладі сої пізньостиглої).

**Методика досліджень.** Для виконання експериментальних досліджень на полях виробничого господарства ПрАТ «Фрідом Фарм Інтернешнл», розташованого у Каховському районі Херсонської області, було створено два експериментальні полігони загальною площею 1012,5 га, на яких було встановлено автоматизовані метеостанції та виконували спостереження за станом і розвитком сільськогосподарських культур на фоні двох сценаріїв планування зрошення. Полігон № 1 – традиційне планування зрошення з регулюванням вологості ґрунту у діапазоні 75-80-75% НВ та проведенням 13 поливів нормами 200-400 м<sup>3</sup>/га. Полігон № 2 – інтенсивне зрошення з проведенням 36 поливів нормою 100-200 м<sup>3</sup>/га, що забезпечувало підтримання вологості ґрунту на рівні

80-90% НВ. За даними автоматизованої метеостанції отримані показники погодних умов: сонячна радіація, температура та вологість повітря, швидкість вітру, опади.

Динаміку вологості ґрунту визначали за допомогою датчиків вологості ґрунту та щодекадних її замірів термостатно-ваговим методом. Стан посівів спостерігали наземними методами та за результатами обробки даних космічних знімків.

**Погодні умови періоду проведення досліджень.** Перша половина вегетаційного періоду характеризувалася невисокими температурами повітря та відсутністю опадів. Початок квітня був теплим, середня температура повітря була вище за норму на 2,5 °С і дорівнювала 10 °С, максимальна – 21 °С. У другій половині весни (17-20 травня) випали опади у вигляді мокрої снігу та дощу, температура повітря знижувалася до приморозків, що було аномальним явищем у цей період. У квітні-травні випало біля 100 мм опадів, випаровуваність складала 2-4 мм за добу і лише наприкінці періоду збільшувалася до 5-6 мм. Відносна вологість повітря знаходилася у межах 51-90%, середнє значення відносної вологості за період склало 70%. Загалом, весна була відносно прохолодною та достатньо зволоженою.

Літо почалося з тривалого бездощового періоду, у червні випало всього 4 мм опадів, температура повітря була у межах 18-23 °С, в останні дні місяця температура підвищувалася до 26-27 °С. Днів з максимальною температурою повітря вище 30 °С у червні було 13, випаровуваність складала 5-6 мм, а в окремі дні досягала 7-8 мм. Критичний період сої був жарким та посушливим, сума опадів складала 30 мм, днів з температурою більше 30 °С було 18, суховіїв не спостерігалося.

Третій період вегетації сої почався наприкінці першої декади липня, коли випадали значні опади – від 14 до 26 мм за добу, у подальшому був бездощовий період тривалістю 43 доби, що призвело до дуже сильної атмосферної та пов'язаної з нею ґрунтової посухи. Бездощовий період супроводжували високі середньодобові температури повітря у межах 24-27 °С, а в окремі дні температура досягала 28-32 °С, максимальні денні температури зростали до 36-38 °С. Така спекотна погода впливала на транспірацію вологи соєю і відповідно на приріст її біомаси.

**Мікрокліматичний ефект зрошення.** Мікрокліматичний ефект зрошення оцінювали на основі порівняльної оцінки даних мете-

оспостережень на двох полігонах з різними режимами зрошення сої. Середньодобова температура повітря за вегетаційний період на полігоні № 2 знижувалась порівняно з полігоном № 1 на 2-2,5 °С, в окремі спекотні дні до 3-5 °С. Середня вологість повітря на полігоні № 2 перевищувала на 7-10% цю величину на першому полігоні, в окремі дні різниця досягла 15% (рис. 1-2).

**Вплив зрошення на складові теплового балансу.** Показником ефективності зрошення є кількість поглиненої рослинністю і ґрунтом сонячної радіації, що визначається за формулою:

$$R_k = (1-a) \cdot S, \quad (1)$$

де  $R_k$  – поглинена рослинністю і ґрунтом сонячна радіація,

$a$  – альbedo поверхні,  $S$  – сумарна сонячна радіація.

Необхідною складовою для визначення поглинання радіації є альbedo поверхні. Для

його визначення було використано результати попередніх експериментальних досліджень на аналогічних ґрунтах (південні чорноземи та каштанові ґрунти) та встановлено, що альbedo таких ґрунтів у сухому стані становить 0,12-0,14, після поливу знижується до 0,05-0,07, з ростом рослинності зростає і в період повного покриття поверхні рослинністю складає 0,19-0,22 [1, 7].

Розрахунки поглиненої радіації на експериментальних полігонах показали, що через багаторазове зниження альbedo після частих поливів на полігоні № 2 поглинута радіація була більше і складала 1226 Мґ/м<sup>2</sup>, на полігоні № 1 – 1455 Мґ/м<sup>2</sup>. Найбільша різниця у значеннях поглинутої радіації між полігонами спостерігалася на початку вегетації, коли діяльна поверхня в основному була представлена ґрунтом. З ростом і розвитком рослинності різниця між значеннями поглинутої радіації на полігонах зменшувалась і при повному розвитку зникла (рис. 3).

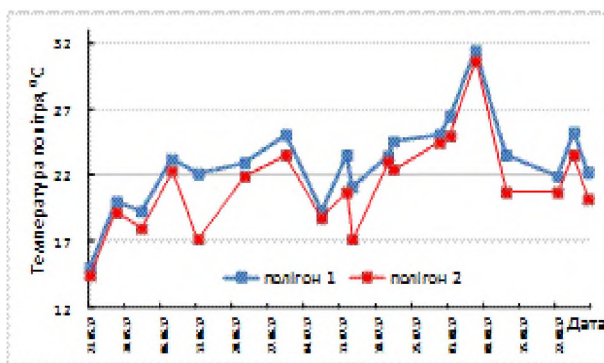


Рис. 1. Порівняння середньодобової температури повітря на дослідних полігонах

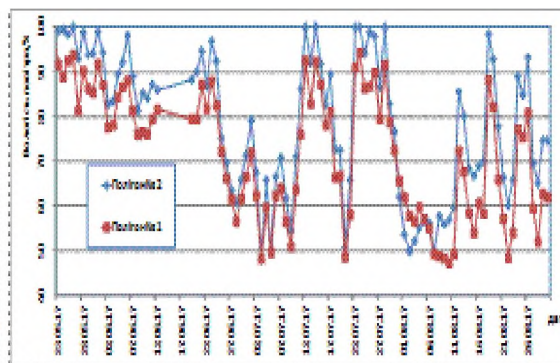


Рис. 2. Порівняння середньодобової вологості повітря на дослідних полігонах

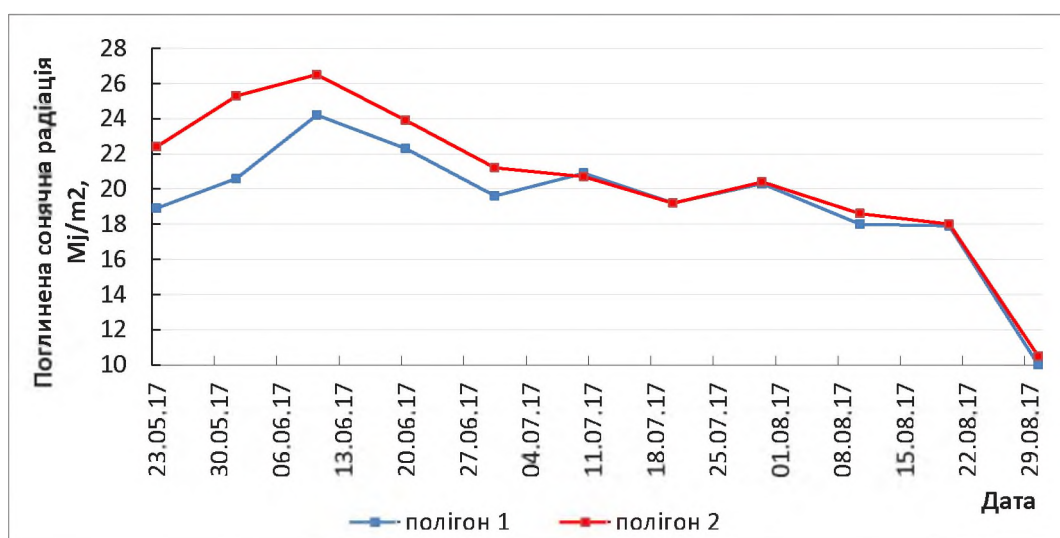


Рис. 3. Динаміка поглинутої сонячної радіації на експериментальних полігонах

Випромінювання земної поверхні розраховувалось за формулою Стефана-Больцмана:

$$R_{\text{ви}} = \sigma \left[ \frac{T_{\text{пов.к}}^4 + T_{\text{атм.к}}^4}{2} \right] \cdot (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \cdot \left( 1.35 \cdot \frac{R_s}{R} - 0.35 \right). \quad (2)$$

де,  $R_{\text{ви}}$  - радіація, випромінювана радіація,  $e$  і  $T$  - вологість та температура повітря.

На полігоні № 1 випромінювання земної поверхні складало 848 МДж/м<sup>2</sup>, на полігоні № 2 – 789 МДж/м<sup>2</sup>. Ефективне випромінювання атмосфери визначалося з врахуванням випромінюваної радіації, що повертається на землю, і складало 314 і 292 МДж/м<sup>2</sup> відповідно.

Радіаційний баланс земної поверхні (R) визначався різницею між поглиненою радіацією і ефективним випромінюванням атмосфери. На полігоні № 1 радіаційний баланс складав

911 МДж/м<sup>2</sup> (40% сумарної радіації), на полігоні № 2 – 957 МДж/м<sup>2</sup> (42%). На полігоні № 1 витрати тепла на випаровування складали 50% від радіаційного балансу, на полігоні № 2 – 49%. Відповідно витрати тепла на турбулентність – 48% на полігоні № 2 і 50% – на полігоні № 1.

Схематично відмінності у складових теплового балансу на різних полігонах наведено на рис. 4.

Аналіз динаміки сумарного випаровування сільськогосподарських культур при різних режимах зрошення виявив істотну різницю у значеннях біологічних коефіцієнтів водоспоживання сільськогосподарських культур унаслідок відмінностей обсягів енергії, що поглинається рослинами та використовується на фотосинтез (рис. 5).

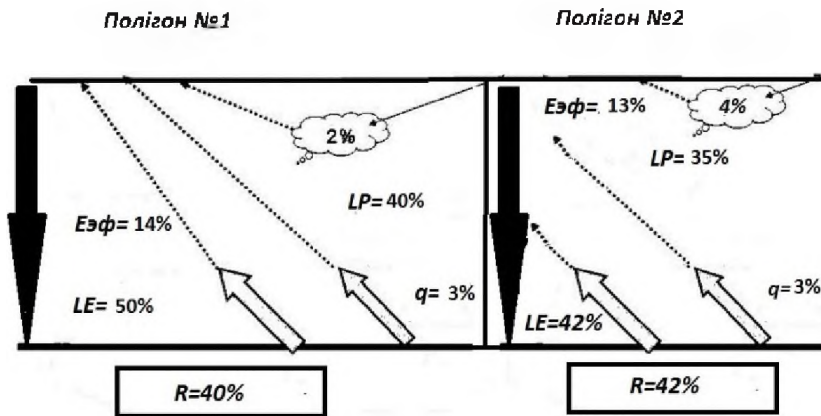


Рис. 4. Схема розподілу теплового балансу на зрошуваних полігонах  
Позначення: Eэф – ефективне випромінювання, LE – витрати енергії на випаровування, LP – витрати на турбулентність, q – витрати на потік тепла у ґрунті, R – радіаційний баланс, 2%-4% – розсіяння радіації в атмосфері

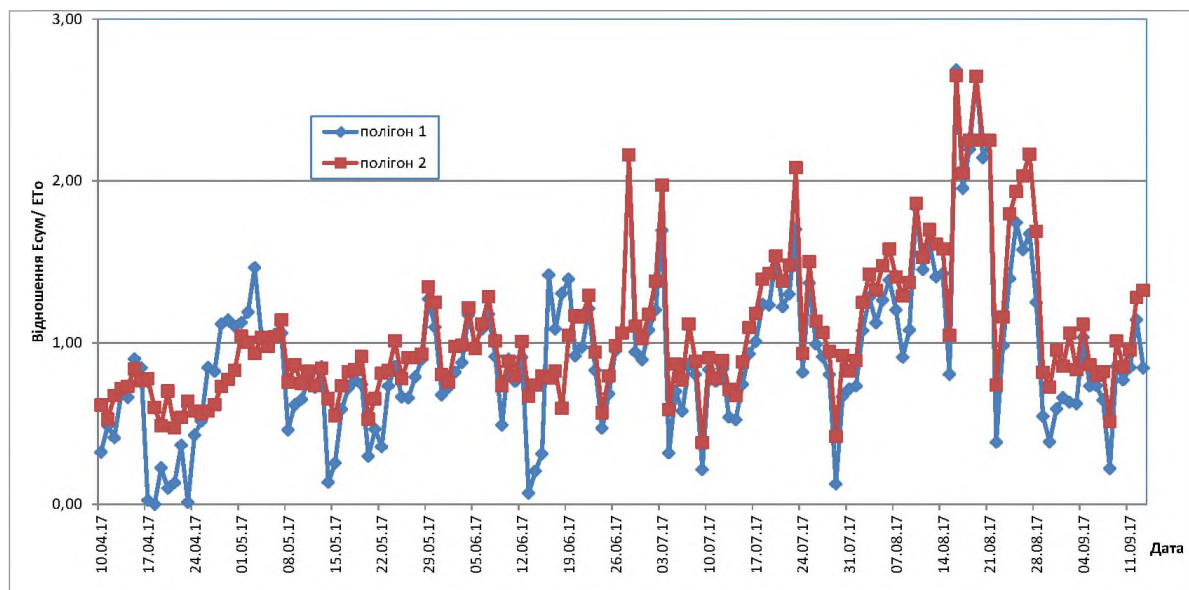


Рис. 5. Відношення Есум/ ЕТ0 на полях сої

Це обумовлено формуванням більш сприятливого мікроклімату в посушливі періоди вегетації сільськогосподарських культур.

**Динаміка вологості ґрунту** суттєво відрізнялась не тільки по окремих полігонах, але й по окремих полях одного й того ж полігону, оскільки у межах полігону з однаковим сценарієм планування зрошення відмічався різний ступінь дотримання цих сценаріїв та виконання відповідних планів поливів.

Однак загальний аналіз динаміки вологості ґрунту [7] на полях двох полігонів показав, що на полігоні № 2, де реалізовували режими зрошення за сценарієм інтенсивного зрошення, динаміка вологості в активному шарі ґрунту в найбільш посушливий період коливалась у діапазоні від 100% НВ до 82-85% НВ (рис. 6). Також вивчався розподіл вологи по профілю ґрунту до та після проведення поливів.

На рисунку 7 наведено середнє випаровування, величина опадів та поливів, динаміка вологості на полі полігону № 1, де було реалізовано традиційний режим зрошення та було проведено 13 поливів. Зрошувальна норма за

сезон склала 4300 м<sup>3</sup>/га. Поливні норми коливались у межах 200-400 м<sup>3</sup>/га. На цьому полі не було дотримано оптимального рівня зволоження та динаміка вологості в посушливий період коливалась у середньому на рівні 100 – 70-75 % НВ.

Протягом поливного періоду одночасно з розрахунками та вимірюванням вологості ґрунту вологозабезпеченість посівів оцінювалась також за даними космічних знімків. За даними обробки космічних знімків видно, що спостерігається суттєва нерівномірність умов зволоження у межах окремих полів, що може бути пов'язано з нерівномірністю поливу дощувальною технікою чи нерівномірністю густоти посівів. За даними ДЗЗ також фіксувалась зміна розвитку рослин залежно від рівня зволоження ґрунту та погодних умов [8, 9, 10]. Перший період (до критичного) рослини розвивались на двох полігонах однаково, про що свідчать значення нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI), отримані за результатами обробки даних космічного знімку за 7 травня (рис. 8).

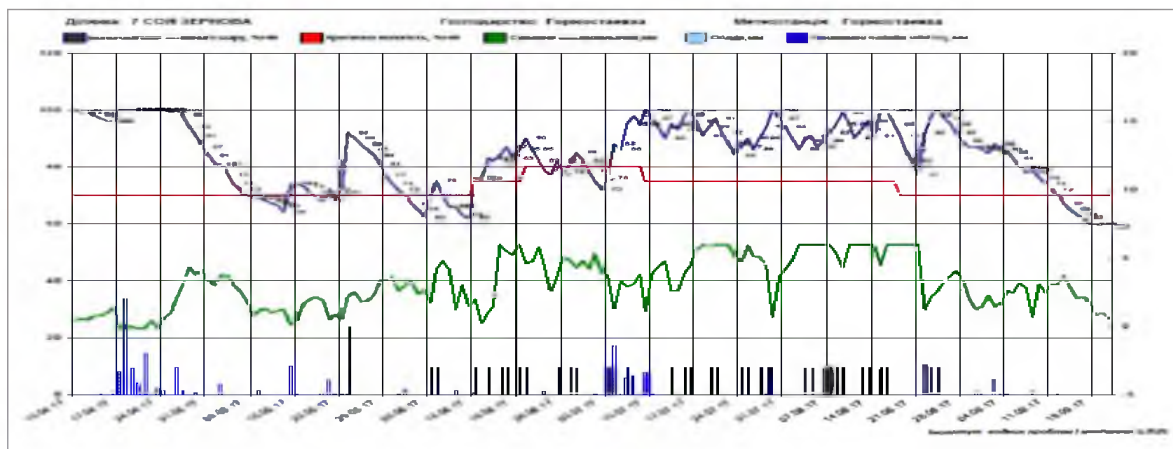


Рис. 6. Приклад формування динаміки вологості ґрунту на полі сої (поле 7 полігон № 2)

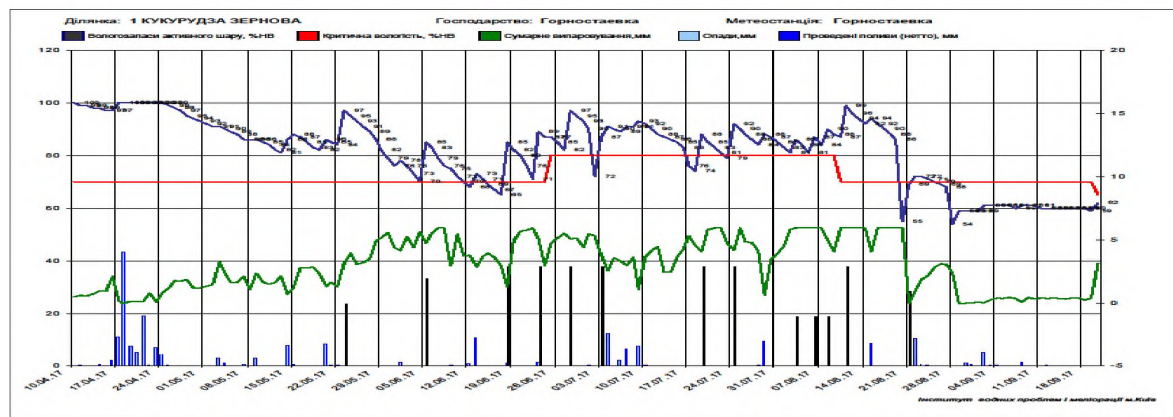
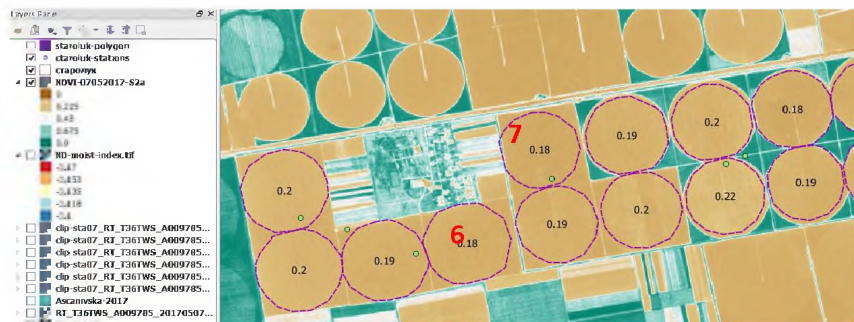
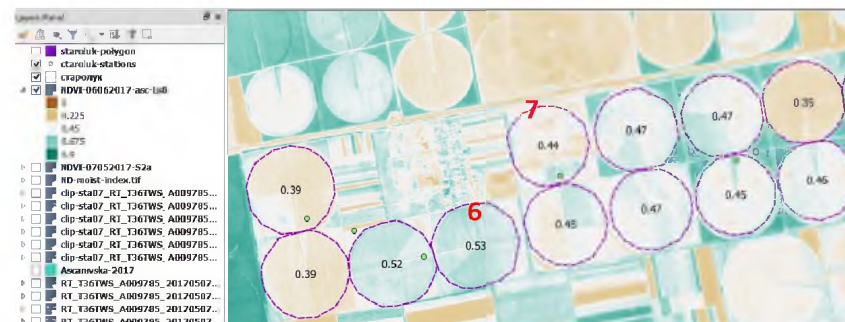


Рис. 7. Фактична динаміка вологості ґрунту (поле 6 полігон № 1)



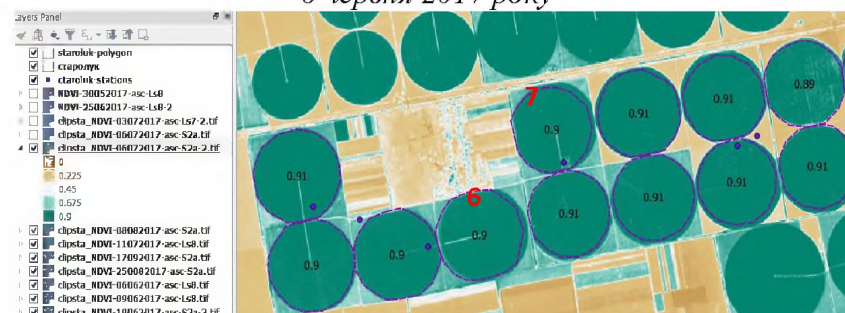
7 травня 2017 року



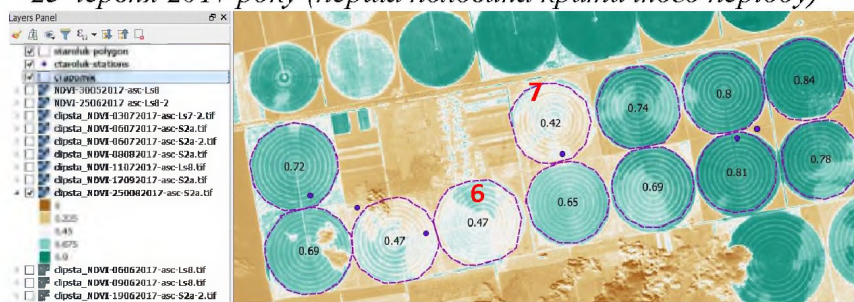
6 червня 2017 року



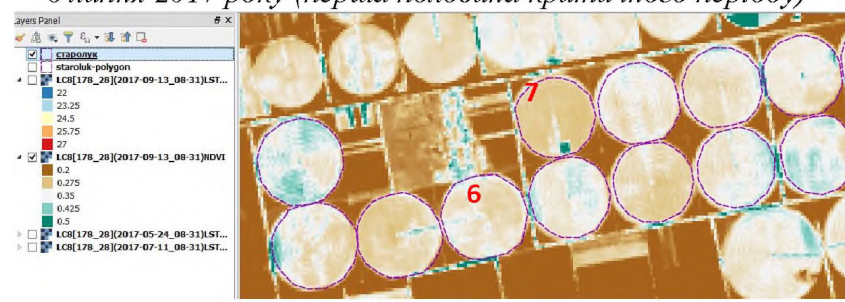
25 червня 2017 року (перша половина критичного періоду)



6 липня 2017 року (перша половина критичного періоду)



25 серпня 2017 року (післякритичний період)



13 вересня 2017 року (після критичний період)

Рис. 8. NDVI по дослідних полігонах (2017 рік)

У першу половину критичного періоду суттєвих змін не було, оскільки вологість по двох полях знижувалась нижче критичної. У період другої половини критичного періоду достовірних знімків не було, фіксувалась суттєва хмарність. У післякритичний період росту та розвитку рослин відмічались суттєві відмінності, про що

свідчить величина NDVI (поле 6 – 0.65, поле 7 – 0.74).

**Оцінка ефективності зрошення.** За результатами реалізації різних варіантів режимів зрошення на полях дослідних полігонів отримано такі загальні показники використання та оцінки ефективності використання зрошувальної води (табл. 1, 2).

1. Сумарні показники вирощування сільськогосподарських культур Полігон № 1 (традиційне зрошення, діапазон поливних норм 200-400 м<sup>3</sup>/га)

Параметри	Поле № 1	Поле № 2	Поле № 3	Поле № 4	Поле № 5	Поле № 6
Площа, га	74,3	74,3	73,9	73,9	63,1	65,6
Культура	Кукурудза	Кукурудза	Кукурудза	Кукурудза	Кукурудза	Соя
Сорт/гібрид	ДКС 4608	ДКС 4608	ДКС 4964	ДКС 4964	ДКС 4964	К-2
ФАО/група стиглості	380	380	380	380	380	Сер. ст.
Валовий збір, т	864	810	826	861	611	205
Врожайність, ц/га	116,3	109,01	111,84	116,56	96,87	31,21
Попередник	Соя	Оз. ячмінь	Соя	Соя	Соя	Соя
Врожайність попередника, ц/га	44,01	53,36	44,47	47,15	50,2	47,9
Зрошувальна норма, м <sup>3</sup> /га	4300	4350	4100	4100	4100	4950
Кількість поливів	13	12	12	12	12	13
Діапазон поливних норм, м <sup>3</sup> /га	200-400	200-400	200-400	200-400	200-400	200-400
Продуктивність зрошувальної води, м <sup>3</sup> /ц	37,0	39,9	36,7	35,2	42,3	158,6

2. Сумарні показники вирощування сільськогосподарських культур Полігон № 2 (інтенсивне зрошення, діапазон поливних норм 100, 200, 300 м<sup>3</sup>/га)

Параметри	Поле № 7	Поле № 8	Поле № 9	Поле № 10	Поле № 11	Поле № 12	Поле № 13	Поле № 14
Площа, га	65,6	65,6	65,6	65,6	64,7	64,7	61	64,8
Культура	Соя	Соя	Соя	Соя	Соя	Соя	Кук-за	Кук-за
Сорт/гібрид	К-2	К-2	К-2	К-2	К-2	К-2	ДКС 4964	ДКС 4964
ФАО/група стиглості	Сер.ст	Сер.ст.	Сер.ст.	Сер.ст.	Сер.ст.	Сер.ст.	380	380
Валовий збір, т	256	237	247	253	221	233	658	718
Врожайність, ц/га	38,95	36,19	37,68	38,63	34,09	36	107,95	110,85
Попередник	Соя	Соя	Соя	соя	Кук-за	Соя	Соя	Соя
Врожайність попередника, ц/га	45,69	38,87	51,7	44,42	128,7	46,28	47,42	43,5
Зрошувальна норма м/га	3750	3750	4450	4450	4400	4400	4100	4100
Кількість поливів	36	36	22	22	15	15	12	12
Діапазон поливних норм, м <sup>3</sup> /га	100	100	200	200	300	300	200-400	200-400
Продуктивність зрошувальної води, м <sup>3</sup> /ц	96,3	103,6	118,1	115,2	129,1	122,2	38,0	37,0

З наведених таблиць видно, що на полігоні № 2 при застосуванні в середньому меншої кількості води зрошувальна вода використовувалась більш продуктивно, оскільки було отримано майже такі самі або вищі урожаї, ніж на полігоні № 1, де поливи планувались за традиційним сценарієм, при якому підтримувався більш широкий діапазон регулювання вологості в активному шарі ґрунту та більш високі поливні норми.

Так, на полігоні № 1 урожайність сої на полі № 6 становила тільки 31,2 ц/га, тоді як на більшості полів сої на полігоні № 2 урожайність склала понад 37 ц/га. У той же час на полігоні № 1 зрошувальна норма при проведенні 13 поливів сої становила 4950 м<sup>3</sup>/га, тоді як на полігоні № 2 вона коливалась від 3750 м<sup>3</sup>/га до 4450 м<sup>3</sup>/га при кількості поливів відповідно від 36 до 15. Така сама картина спостерігалась загалом і на полях кукурудзи. На полігоні № 1 урожайність кукурудзи на більшості полів коливалась у тому ж діапазоні, що й на полігоні № 2 при більших зрошувальних нормах (до 4350 м<sup>3</sup>/га).

Порівняння результатів використання зрошення на двох полігонах свідчить про те, що на полігоні № 2, де здійснювались часті поливи невеликими нормами, було досягнуто вищу продуктивність використання зрошувальної води, що може бути обумовлено створенням більш оптимальних умов використання водних та теплових ресурсів при інтенсивному сценарії управління зрошенням.

**Висновки.** Вивчення закономірностей енергомасообміну в системі «ґрунт-рослина-атмосфера» на зрошуваних полях набуває все більшої актуальності у зв'язку із необхідністю забезпечення сталих урожаїв сільськогосподарських культур та ефективного використання водних ресурсів в умовах екстремальних посух, частота та інтенсивність яких збільшується внаслідок збільшення посушливості клімату. Зрошення, зволожуючи ґрунт, змінює структуру теплового та водного балансу в середовищі «ґрунт-рослина-атмосфера». У результаті дослідів, що були проведені у виробничих умовах на двох експериментальних полігонах з різними сценаріями управління зрошенням, одержано такі результати:

– за умов тривалої посухи (43 дні) при максимальних денних температурах повітря 28-36 °С застосування інтенсивного сценарію управління зрошенням (часті поливи невеликими нормами) забезпечує, порівняно з тради-

ційним управлінням зрошенням, більш сприятливий мікрокліматичний ефект у посівах, що визначається збільшенням (до 10-15%) мінімальної вологості повітря при зниженні максимальних температур у приземному шарі ґрунту на 1,5-1,6 °С, що обумовлює зниження випаровуваності ЕТ<sub>0</sub> до 25%;

– при інтенсивному веденні зрошення діапазон зволоження активного шару ґрунту зменшується та коливається в найбільш посушливі періоди поливного сезону в діапазоні 82-100% НВ ґрунту, при цьому процес відбору вологи коренями рослин відбувається в основному до 50-сантиметрового шару ґрунту.

3. На основі розрахунку складових теплового та радіаційного балансів за даними наземних спостережень та ДЗЗ встановлено закономірності процесу енергомасообміну в середовищі «ґрунт-рослина-атмосфера» при сучасній практиці поливу сільськогосподарських культур дощуванням та визначено особливості їх прояву залежно від інтенсивності зрошення при різних сценаріях управління:

– незалежно від сценарію управління зрошенням при проведенні поливів спостерігається збільшення поглинання сонячної енергії земною поверхнею і рослинністю у зв'язку із зменшенням альbedo ґрунтів та збільшення теплоємності ґрунту після поливу;

– у результаті зрошення на земну поверхню попадає додаткове тепло у вигляді ефективного випромінювання атмосфери – на полігоні № 1–13%, на полігоні № 2–14 % від сумарної сонячної радіації;

– поглинена ґрунтом і рослинністю радіація при інтенсивному зрошенні перевищує на 8% поглинання радіації при традиційному управлінні зрошенням, що свідчить про більші обсяги споживання енергії, які використовувались на продукційний процес. Більша ефективність інтенсивного зрошення щодо використання ресурсів тепла також обумовлюється більш високими значеннями радіаційного балансу, який складав 42%, тоді як при традиційному управлінні зрошенням він був меншим та становив 40%;

часті поливи невеликими нормами забезпечують вищу продуктивність використання зрошувальної води, що обумовлює створення більш оптимальних умов використання водних та теплових ресурсів при інтенсивному сценарії управління зрошенням.



**Бібліографія**

1. Кульбіда М.І., Єлістратова Л.О., Барабаш М.Б. Сучасний стан клімату України // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. 2013. Вип. 35. С. 118-130.
2. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D.S., Smith M.L. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements // FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1998.
3. Гойса Н.И., Олейник Р.Н., Рогаченко А.Д. Гидрометеорологический режим и продуктивность орошаемой кукурузы. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 230 с.
4. Перелет Н.А., Сакали Л.Н., Филиппенко Л.А. Характеристика радиационного режима кукурузного поля при орошении / Тр. УкрНИГМИ. 1966. Вып. 57. С. 27-38.
5. Colaizzi P.D., Evett S.R., O'Shaughnessy S.A., Howell T.A. Using plant canopy temperature to improve irrigated crop management // Proceedings of the 24th Annual Central Plains Irrigation Conference, Colby, Kansas, February 21-22, 2012, P. 203-223. Available on-line at: <https://www.ksre.k-state.edu/irrigate/oow/p12/Colaizzi12.pdf>.
6. Деменкова Т.Ф., Филиппенко Л.А. Микроклиматический эффект орошения в степной части Крыма // Вопросы строительства и эксплуатации мелиоративных систем. Киев: Наукова думка, 1976. С.88-98.
7. 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)
8. Rajan, N. Estimation of Crop Water Use for Different Cropping Systems in the Texas High Plains Using Remote Sensing. P&D thesis, Texas Tech University, 2007. 175 p.
9. Moene A.F., Moene J.C. Atmosphere-Vegetation-Soil. Wageningen University, 2009. Н. 231.
10. Жовтоног О.І., Поліщук В.В., Діденко Н.О., Бульба Я.О., Салюк А.Ф. Інструменти підтримки прийняття рішень у зрошуваному землеробстві за даними наземного та дистанційного моніторингу // Збірник статей науково-практичної конференції «Вода: проблеми та шляхи вирішення» м. Рівне, 5-8 липня 2017 року. – Житомир: Вид-во ЕЦ «Укрєкобіокон», 2017. С. 108-114.

**References**

1. Kulbida, M.I., Yelistratova, L.O. & Varabash, M.B. (2013). Suchasnyi stan klimatu Ukrainy. Problemy okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovishcha ta ekolohichnoi bezpeky [Current state of the climate of Ukraine. Problems of environmental protection and ecological safety], 35, 118-130. [in Ukrainian].
2. 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 Agriculture Organization, FAO Irrigation and Drainage Paper 56. 300.
3. Hoisa, N.Y., Oleinyk, N.Y. & Rohachenko, A.D. (1983). Hydrometeorologicheskyy rezhym i produktyvnost oroshaemoy kukuruzy [Hydro-meteorological regime and productivity of irrigated corn]. L. : Hydrometeoyzdat [in Russian].
4. Perelet, N.A., Sakaly, L.N. & Fylyppenko, L.A. (1966). Kharakterystyka radyatsyonnoho rezhyma kukuruznoho polia pry oroshenyy [Characteristics of the radiation regime of cornfield under irrigation]. Hydrometeoyzdat. 57, 27-38. [in Russian].
5. Colaizzi, P.D., Evett, S.R., O'Shaughnessy, S.A. & Howell, T.A. (2012). Using plant canopy temperature to improve irrigated crop management // Proceedings of the 24th Annual Central Plains Irrigation Conference, Colby, Kansas, 203-223.
6. Demenkova, T.F. & Fylyppenko, L.A. (1976). Mykroklymatycheskyi effekt orosheniya v stepnoi chasty Kryma [Microclimate effect of irrigation in the Steppe part of Crimea] Voprosi stroytelstva i ekspluatatsyy melyoratyvnykh system, Kyev: Naukova dumka, 88-98 [in Russian].
7. 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].
8. Rajan, N. (2007). Estimation of Crop Water Use for Different Cropping Systems in the Texas High Plains Using Remote Sensing. P&D thesis, 175.

9. Moene, A.F. & Moene, J.C. (2009). Atmosphere-Vegetation-Soil. Wageningen University. N. 231.

10. Zhovtonoh, O.I., Polishchuk, V.V., Didenko, N.O., Bulba, Ya.O. & Saliuk, A.F. (2017). Instrumenty pidtrymky pryiniattia rishen u zroshuvanomu zemlerobstvi za danymy nazemnoho ta dystantsiinoho monitorynhu [Decision support tools in irrigated agriculture based on in-site and remote sensing monitoring data] Zbirnyk statei Naukovo-praktychnoi konferentsii "Voda: problemy ta shliakhy vyrishennia", Zhytomyr: Ukrekoobikon, 108-114. [in Ukrainian].

**О.И. Жовтоног, Л.А. Филиппенко, В.В. Полищук, А.Ф. Салиук, А.В. Хоменко**  
**Закономерности энергомассообмена в среде «почва-растение-атмосфера» в современных климатических и хозяйственных условиях использования орошения**

*Аннотация.* В статье приведены результаты экспериментальных исследований изменения микроклимата, расчетов теплового и радиационного баланса на орошаемых полях при выращивании сои позднеспелой. Для проведения исследований было оборудовано два экспериментальных полигона общей площадью 1012,5 га, на которых были установлены автоматизированные метеостанции. На полигонах выполнялись наблюдения за состоянием и развитием сельскохозяйственных культур на фоне двух сценариев планирования орошения – традиционного с регулированием влажности почвы в диапазоне 75-80-75% НВ и интенсивного с поддержанием влажности активного слоя почвы в диапазоне 80-90% НВ. Установлено, что интенсивное орошение (частые поливы небольшими нормами) способствует улучшению микроклимата в посевах за счет более эффективного поглощения тепловой энергии и обеспечивает более высокую производительность использования оросительной воды.

*Ключевые слова:* радиационный баланс, солнечная энергия, излучение земной поверхности, встречное излучения атмосферы, эффективное излучение, альbedo поверхности, турбулентность, тепловой поток в почве.

**O.I. Zhovtonog, L.A. Filipenko, V.V. Polishchuk, A.F. Saliuk, A.V. Khomenko**  
**Patterns of energy-mass exchange in soil-plant-atmosphere environment under current climatic and economic conditions for irrigation**

*Abstract.* The article presents the results of experimental studies on microclimate changes, calculations of thermal and radiation balance on irrigated fields during the cultivation of late-variety soya beans. Two experimental polygons with a total area of 1012.5 hectares were arranged for research purposes, in which automated meteorological stations were installed. The state and development of crops under the conditions of two scenarios of irrigation planning – traditional with soil moisture regulation in the range of 75-80-75% FC and intensive with the humidity of active layer in the range of 80-90% FC were observed. It was established that intensive irrigation (frequent watering with small watering rate) improves the microclimate by more efficient absorption of heat energy and provides higher productivity of irrigation water use.

*Key words:* radiation balance, solar energy, radiation at the earth's surface, atmospheric heat radiation, effective radiation, surface albedo, turbulence, heat flux in the soil.