



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-3

УДК 631.67:634.2

С. Л. Сушко, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-2933-2573

І. О. Чижиков, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-3022-4828

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені  
Дмитра Моторного*

e-mail: serhii.sushko@tsatu.edu.ua тел.: 050-013-39-43

## **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ФІТОМОНІТОРИНГУ ЯК ЗАСОБУ УПРАВЛІННЯ ВЕГЕТАЦІЙНИМИ ПОЛИВАМИ КІСТОЧКОВИХ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР**

*Анотація.* В статті наведено результати вивчення впливу основних абіотичних факторів та функціонального стану кісточкових культур для діагностики вологозабезпеченості абрикоса та черешні. Виявлено закономірності змін індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурах дерев абрикоса й черешні та температури листків, а саме при підкрановому дощуванні індекс швидкості ксилемного потоку збільшувався у 1,2-1,3 рази, а температура листків знижувалася на 4-5°C, що запобігало непродуктивній транспірації та перегріванню листків. На основі встановлених закономірностей функціонального стану абрикоса й черешні розроблено алгоритм управління параметрами фізіологічного стану дерев плодкових кісточкових культур за допомогою системи мікрозрошення.

*Ключові слова:* абрикос, черешня, фітомоніторинг, датчик, індекс швидкості потоку у стовбурі, температура листків, водний обмін, системи мікрозрошення

*Постановка проблеми.* Отримання значних та стабільних врожаїв плодкових кісточкових культур в ґрунтово-кліматичних умовах Південного Степу України через недостатню природну зволоженість можливе тільки в умовах зрошення. За багаторічними даними встановлено, що за літньої вегетації дерев (переважно у липні-серпні) спостерігаються ґрунтові й повітряні посухи та сухотії. Такі метеорологічні умови призводять до стресів рослин у різні періоди їх росту і розвитку, а особливо під час формування та закладання майбутнього урожаю. Це призводить до зменшення врожаю плодів та їх низької якості. Тому істотне місце в технології вирощування кісточкових культур у ґрунтово-кліматичній зоні Південного Степу слід відводити зрошенню плодкових насаджень системами мікрозрошення, які забезпечать не тільки виконання вегетаційних



поливів, а й сприятимуть поліпшенню мікроклімату в саду, а також економії енергоресурсів.

Для автоматизації управління зрошенням необхідним є отримання інформації про водний обмін та функціональний стан плодкових культур. Потрібно використовувати такі фізіологічні показники, які спроможні діагностувати стан плодкових дерев не порушуючи цілісність рослин та здатні автоматизувати процес діагностики функціонального стану рослин та виконання поливу.

У світовій практиці у цьому аспекті доведено переваги застосування фітомоніторингових досліджень рослин з використанням інформаційно-вимірювальних систем. Фітомоніторинг передбачає довготривале, одночасне спостереження за кількома процесами у цілісній інтактній рослині за допомогою систем непошкоджуючих датчиків. Згідно з методологією фітомоніторингу, насамперед виділяються ті фізіологічні параметри, які є найбільш інформативними та виступають як маркери функціонального статусу рослин, разом з тим вони можуть безперервно автоматично реєструватися. Проведення фітомоніторингових досліджень дозволить виявити закономірності водного обміну кісточкових культур за екстремальних погодних умов, що надасть можливість розробити метод управління параметрами фізіологічного стану дерев плодкових кісточкових культур за допомогою системи мікрозрошення.

*Аналіз останніх досліджень.* Культура абрикоса й черешні формувалася в умовах посушливого клімату [1,2]. Тому ці кісточкові культури можуть нетривалий час переносити нестачу вологи у ґрунті та повітрі. Однак, взагалі, більш тривалий період з нестачею вологи у ґрунті й повітрі несприятливо впливає на ріст вегетативних органів, величину урожаю, знижує смакові якості плодів [2,3]. В посушливих умовах вирощування підвищену потребу у волозі абрикос й черешня відчують під час інтенсивного росту плодів, приблизно через півтора місяці після цвітіння, а поливи за 2 - 3 тижні до досягання можуть суттєво збільшити розміри плодів. При нестачі достатньої вологи у ґрунті в ранній період весняної вегетації абрикоса [4] й черешні [3] поливи призводять до збільшення плодів на 20-50%. Проте, при вивченні впливу нестачі вологи у ґрунті на плодоношення дерев у різних фенофазах розвитку плодів вказують, що дефіцит води інколи діє позитивно. Так, нетривалий водний стрес у фазі інтенсивного росту плодів та затвердіння кісточка може стримувати силу росту дерев кісточкових культур без зниження розміру плодів і урожаю, тобто загальну величину водоспоживання рослин можна скоротити [1,5].

Ефективність зрошення кісточкових культур досягається вибором оптимальних строків, норм та способів поливу, які засновано насамперед на урахуванні вологості ґрунту, періоді розвитку рослин та



їх фізіологічного стану. Норми поливу визначаються кліматичними умовами, механічним складом та фільтруючою здатністю ґрунту [2,5]. Методи призначення режимів зрошення за вологістю ґрунту або на основі рівнянь водного балансу ґрунту не дозволяють урахувати залежність водного стресу рослин одночасно як від вологості ґрунту, так і від кліматичних факторів. Тому необхідно використовувати різні фізіологічні показники, які допоможуть визначити водний обмін рослин та здатні автоматизувати процес поливу.

У наукових працях [6-9] обговорюються результати досліджень з фітомоніторингу швидкості ксилемного потоку у стовбурі з використанням методу теплового балансу, у яких зазначено, що інтенсивність водного обміну рослин у значній мірі залежить від умов освітленості, температури і вологості повітря. При достатньому вмісті в ґрунті фізіологічно доступної вологи швидкість висхідного ксилемного потоку залежить від інтенсивності транспірації і визначається ступенем розвитку листкового апарату на фоні змін метеорологічних умов. За недостатньої вологості ґрунту листки для поповнення транспіраційних витрат використовують вологу деревини стовбура. Наявність прискореного темпу ксилемного потоку вночі свідчить про поповнення запасів вологи у стовбурі, яку було витрачено протягом попереднього дня. Автори [10-12] доводять безперечну перспективність використання фітомоніторингових методів визначення потреби плодових рослин і винограду у воді з метою розробки та вдосконалення інформаційних технологій у плідівництві та виноградарстві для отримання стабільних урожаїв.

Отже, серед багатьох фізіологічних показників, які характеризують водний режим рослин швидкість водного потоку в стовбурі є найбільш інформативним, який можна зберігаючи цілісність рослин безперервно реєструвати у заданому режимі опитування. Тому цей показник доцільно застосовувати при діагностиці функціонального стану дерев, встановленні закономірностей їх водного обміну та управлінні поливами, які спрямовано на поліпшення ґрунтово-кліматичних умов вирощування, створення мікроклімату в саду та підвищення продуктивності кісточкових плодових рослин.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою є визначення впливу основних абіотичних факторів та функціонального стану кісточкових культур для діагностики вологозабезпеченості абрикоса й черешні, встановлення закономірностей водного обміну та розробка алгоритму управління параметрами фізіологічного стану дерев плодових кісточкових культур за допомогою системи мікрозрошення, що дозволить зменшити вплив несприятливих факторів зовнішнього середовища на продуктивність кісточкових культур.



*Основна частина.* Вивчення функціонального стану абрикоса й черешні за різних умов навколишнього середовища дозволить простежити водообмін рослин, точно виявити виникнення в рослинах водного дефіциту, що надасть можливість для своєчасного проведення поливів кісточкових культур та забезпечить раціональне використання зрошувальної води в зоні їх вирощування у кліматичних умовах Південного Степу України.

Контролювання впливу погодних умов на водний та температурний режим дерев абрикоса й черешні, виконаного з використанням методології фітотомоніторингу, дозволило виявити закономірності функціонального стану плодкових кісточкових культур за різних умов довкілля.

З початку травня по кінця вересня в автоматизованому режимі проведено безперервну реєстрацію градієнту температур від термопар датчиків ксилемного потоку у штамбах дерев та листків абрикоса й черешні. У цей період за основним показником фітотомоніторингу – індексом швидкості ксилемного потоку було виявлено порушення в рослинах водного балансу, іншою мовою, час виникнення в них водного дефіциту за встановленим у попередні роки параметром терміну виконання поливів при підкроновому дощуванні, а саме, коли відношення величини передсвітанкового індексу ксилемного потоку до денного дорівнює або більше за одиницю, що і було підставою для початку проведення денних поливів абрикоса та черешні.

У вегетаційний період при застосуванні підкронового дощування за діагностичним показником необхідність потреби абрикоса й черешні у зрошенні виникала 38 раз. Встановлений параметр призначення поливів узгоджується з показниками метеорологічних елементів (температурою повітря, дефіцитом насичення водяної пари) (рис.1).

У ці дні перед призначенням початку дрібнодисперсного дощування температура повітря була вища за 25°C, а величина насичення дефіциту водяної пари набувала значень більш ніж 30 мб.

За добовими ритмами індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурі дерев виявлено закономірності його динаміки та встановлені основні інформативні точки. Характерний добовий ритм індексу швидкості ксилемного потоку наведено на рисунку 2.

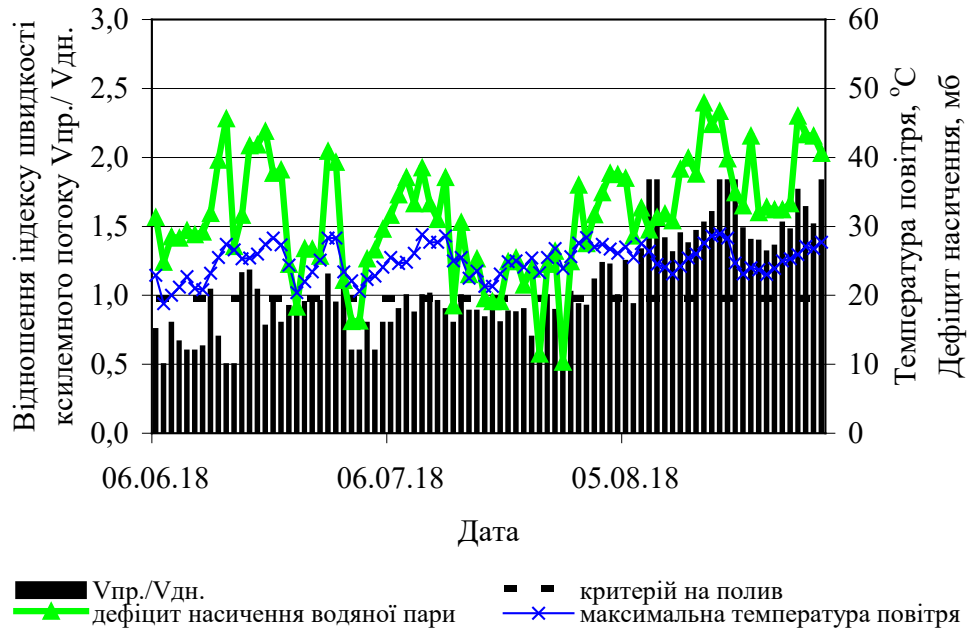


Рисунок 1. Діагностичний показник призначення поливів при підкроновому дощуванні за метеорологічних умов 2018 року

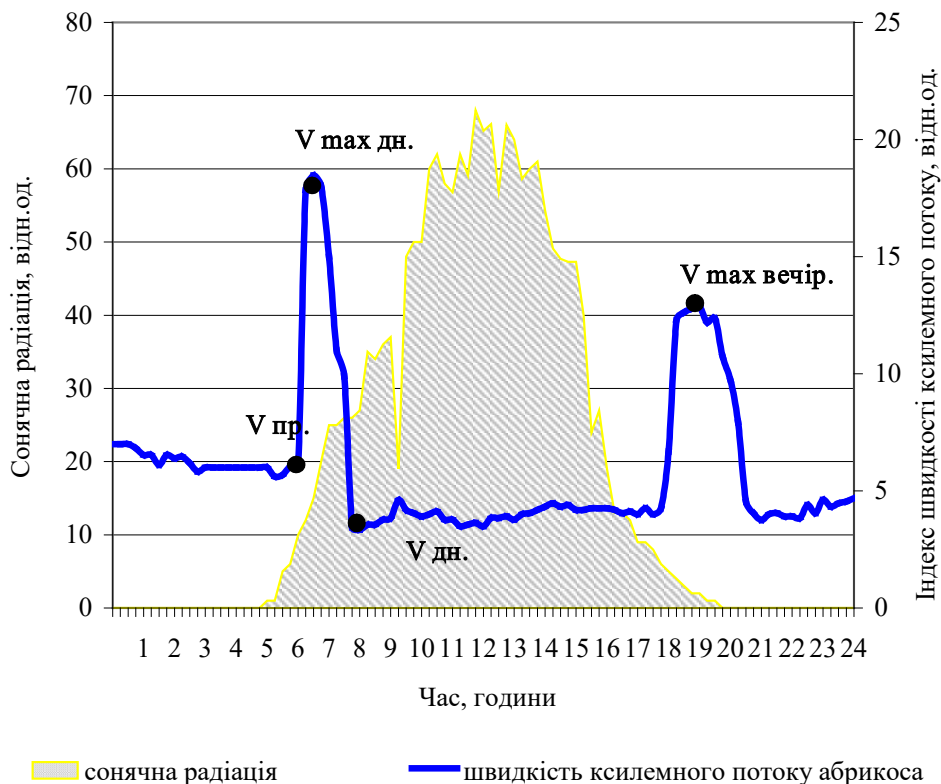


Рисунок 2. Добовий ритм індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурі дерев

Встановлено, що навіть при оптимальному рівні зволоження ґрунту дерева можуть відчувати водний дефіцит, тобто коли



відношення передсвітанкової швидкості (точка  $V_{пр.}$ ) до денної (точка  $V_{дн.}$ ) буде більше за одиницю. Індекс швидкості водного току у стовбурі (на прикладі абрикоса) максимального значення (точка  $V_{maxдн.}$ ) набував близько сьомої години ранку. Саме у цей час інтенсивність сонячної радіації зростає, що викликає транспірацію листків дерев. До цього моменту витрати вологи рослиною поповнювалися, як з ґрунту, так і з резервуара стовбура. Потім починається зменшення діаметра штамбу, з якої опірність водному току з резервуара стовбура стає меншою, ніж опірність потоку вологи з ґрунту. Близько восьмої години рівень індексу швидкості ксилемного потоку різко знижується (точка  $V_{дн.}$ ). З подальшим збільшенням інтенсивності транспірації витрати води рослиною перевищують її надходження з ґрунту, а процес водопостачання підтримується із запасів вологи стовбура аж до максимального значення індексу ксилемного потоку у вечірній час доби (точка  $V_{max.веч.}$ ). Проміжок часу між ранковими та вечірніми максимальними значеннями вказують на дисбаланс водного обміну рослин, коли витрати ними вологи перевищують її надходження з ґрунту. Після вечірнього максимуму зменшується транспірація, тим самим скорочуються витрати вологи зі стовбура, а вже менш інтенсивні витрати вологи рослиною дорівнюють її надходження з ґрунту. За денного часу доби дерева відчують водний дефіцит. Далі після заходу сонця індекс ксилемного потоку знижується до відповідного рівня щодо умов навколишнього середовища.

Отже, визначення добових ритмів індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурі дерев є досить інформативним щодо їх функціонального стану, за яким можна вивчати водний обмін рослин.

Встановлення вищеназаних закономірностей дозволило розробити алгоритми для управління системою дрібнодисперсного дощування.

Основні функції управління, задаються локальними арифметико-логічними процедурами, які можна представити в наступному вигляді

$$U_{n,m} = \begin{cases} U_1 & \text{якщо } Y_1 < \text{con}X_{n,m} \leq Y_2; \\ U_2 & \text{якщо } Y_2 < \text{con}X_{n,m} \leq Y_3; \\ \dots & \dots \dots \\ U_L & \text{якщо } Y_{L-1} < \text{con}X_{n,m} \leq Y_L; \end{cases}$$

де  $X$  – матриця внутрішніх умов керуючого алгоритму,  
 $Y$  – матриця вхідних сигналів від вимірюючих датчиків,  
 $U$  – матриця вихідних сигналів на виконуючі пристрої системи зрошення.

Блок-схема процесу управління режимом зрошення наведена на рис. 3. Вона відображає алгоритм прийняття рішень щодо необхідності



поливу за даними параметрів навколишнього середовища і фізіологічними параметрами дерева. Вимірювання відбуваються через певні проміжки часу.

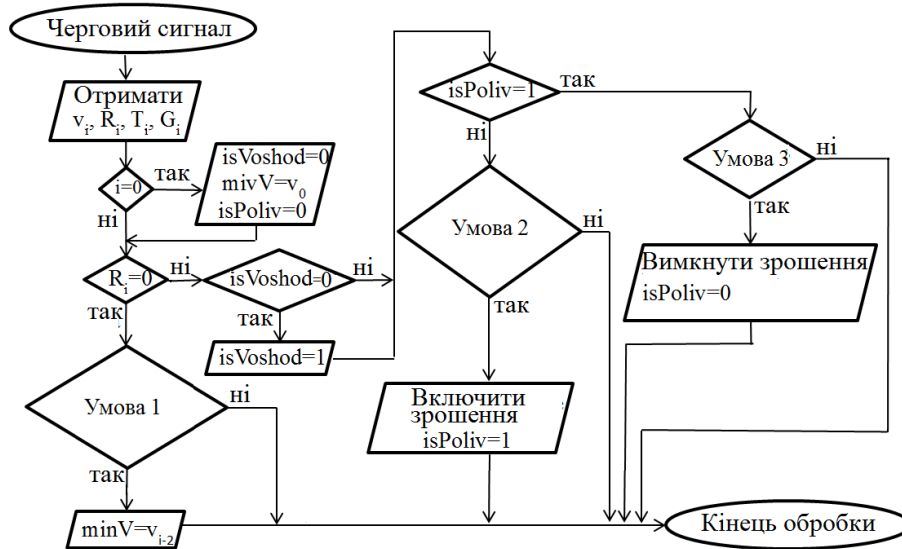


Рисунок 3. Блок-схема процесу управління режимом зрошення

Вимірюванню підлягають такі параметри:

$v_i$  – індекс швидкості ксилемного потоку у стовбурі дерева;

$R_i$  – сонячна радіація;

$T_i$  – температура повітря, °C;

$G_i$  – відносна вологість повітря, %.

На блок-схемі прийнято наступні позначення:

Умова 1:

$$i \geq 4 \text{ AND } (v_{i-4} \geq v_{i-2}) \text{ AND } (v_{i-3} \geq v_{i-2}) \text{ AND } (v_{i-1} \geq v_{i-2}) \\ \text{AND } (v_i \geq v_{i-2}) \text{ AND } isVoshod = 0$$

Умова 2:

$$\min V \geq v_i \text{ AND } T_i \geq 25^\circ\text{C AND } G_i < 70\%$$

Умова 3:

$$\min V < v_i \text{ OR } R_i = 0$$

Змінні системи:

$\min V$  – останнє мінімальне значення перед розсвітом;

$isPoliv$  – приймає значення 0, 1 (відповідно виключено або включено зрошення);

$isVoshod$  – приймає значення 0, 1 (відповідно був ранок чи ні)

При включеному поливі система функціонує за алгоритмом, який ілюструє блок-схема, наведена на рис. 4. В алгоритмі використані такі змінні:

$G$  – зволоження листа: 0 – поверхня листової пластини суха, 1 –

поверхня листової пластини волога;

$V$  – змінна, що приймає значення 0, якщо дощування виключено та 1, якщо дощування включено.

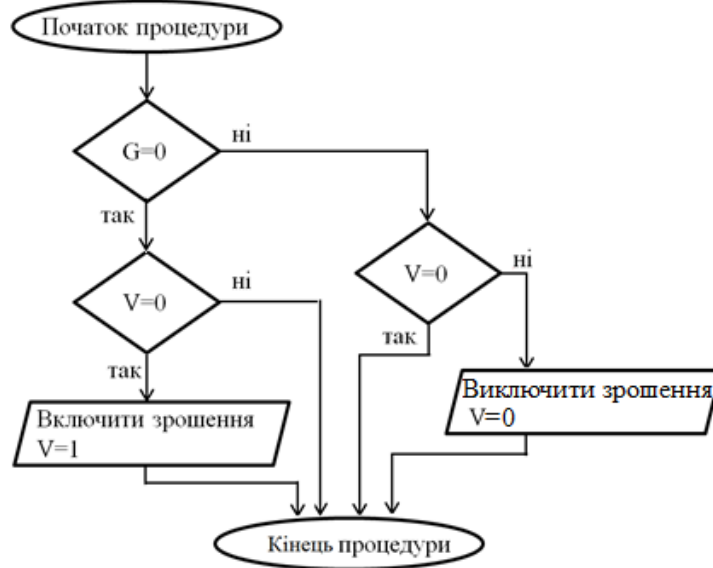


Рисунок 4. Блок-схема процесу управління внутрішнім циклом системи дощування

З блок схеми видно, що алгоритм є циклічним. Якщо листова поверхня суха ( $G=0$ ), то якщо на цей момент дощування було виключене, треба включити дощування. Якщо, навпаки, листова поверхня змочена ( $G=1$ ), то якщо на цей час дощування було включене, треба виключити дощування.

*Висновки.* 1. Застосування методології фітомоніторингу з вивчення динаміки індексу швидкості ксилемного потоку абрикоса й черешні при встановленні їх водного обміну та призначення поливів системами мікрозрошення є доцільним.

2. Виявлено закономірності змін індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурах дерев абрикоса й черешні та температури листків, а саме при підкрановому дощуванні індекс швидкості ксилемного потоку збільшувався у 1,2-1,3 рази, а температура листків знижувалася на 4-5°C, що запобігало непродуктивній транспірації та перегріванню листків.

3. На основі встановлених закономірностей функціонального стану абрикоса й черешні розроблено алгоритм управління параметрами фізіологічного стану дерев плодкових кісточкових культур за допомогою системи мікрозрошення.

Список використаних джерел

1. Єжов В. М., Гриник І. В. Біохімія плодкових культур. - К.: ПП «Санспарель». - 2020. - 364 с., ілл.





2. Куян В. Г. Плодівництво. Житомир : ЖНАЕУ, 2009. 480 с.
3. Кіщак О.А. Основи промислової культури черешні в Лісостепу України: монографія. Київ: Аграр. наука, 2017. 240 с.
4. Смыков В. К., Иванов В. Ф., Иванова Г. С. Персик и абрикос. Киев: Урожай, 1993. 224 с.
5. Садівництво півдня України / за ред В.А. Рульєва. Запоріжжя: Дике поле, 2003. С. 145–148.
6. Ильницький О. А., Лищук А. И., Ушкаренко В. А. Фитомониторинг в растениеводстве. Херсон, 1997. 235 с.
7. Odyntsova V., Sushko S., Bondarenko L., Scherbakova N. Application of phenoclimatographic models in stone fruits protecting from spring frosts. Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 267-280.
8. Нилов Н. Фитомониторинг в виноградарстве: Современные возможности и перспективы. *Виноделие и виноградарство*. 2004. №3. С. 26–28.
9. Нилов Н. Совершенствование информационных технологий в виноградарстве. *Виноделие и виноградарство*. 2004. №5. С. 8–10.
10. Караєв О. Г., Одинцова В. А., Сушко С. Л. Формирование базы данных для автоматизированного управления физиологическим состоянием плодовых деревьев мелкодисперсным дождеванием. Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2016. Vol. 18. No.1. 55–61.
11. Одинцова В. А., Сушко С. Л. Застосування фенокліматографічних моделей під час захисту кісточкових культур від весняних заморозків за допомогою автоматичної системи дрібнодисперсного дощування. *Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції (Умань, 17-18 травня 2018 р.)*. С. 31–33.
12. Fernandez J. E., Green S. R., Caspari H. W., Diaz-Espejo A., Cuevas M. V. The use sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. *Aust. J. Agr. Res.* 2008. Vol. 59. P. 589–598.

Стаття надійшла до редакції 22.02.2023 р.



**S. Sushko, I. Chyzhykov**  
**Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

**USE OF METHODOLOGY OF PHYTOMONITORING AS A MEANS OF  
MANAGEMENT OF VEGETABLE IRRIGATION OF BONE FRUIT  
CULTURES**

*Summary*

The article presents the results of the study of the functional state of stone cultures for the diagnosis of moisture content of apricot and cherry in micro-irrigation using phytomonitoring methodology. The regularities of changes in the xylem flow index in tree trunks and the temperature of apricot leaves and cherries from the combined actions of micro-irrigation and abiotic factors were obtained in order to obtain the parameters of water exchange of plants during vegetation irrigation. It is established that during fine-grained subcronic rainfall apricot and cherry xylem flow rate in the trunk increases by 1.2-1.3 times, and the leaf temperature decreases by 4-5°C compared with drip irrigation and control (natural moistening). This contributed to the overall level of transpiration flow in plants. According to a study of the functional state of apricot and cherry, namely the seasonal dynamics of the xylem flow index, it was found that in cases where the value of the pre-dawn value of the xylem velocity index exceeds the daily one, water deficiency occurs in plants on such days. On the basis of the established regularities of the functional state of apricot and cherry, an algorithm for controlling the parameters of the physiological state of the fruits of fruit trees and a micro-irrigation system was developed.

**Key words:** apricot, sweet cherry, phytomonitoring, sensor, flow velocity index in the stem, leaf temperature, water exchange, microirrigation systems