

## ФИТОМОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНОГО ОБМЕНА ДЕРЕВЬЕВ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ СТЕПИ

А. И. КАРАЕВ, В. А. ОДИНЦОВА

ГОУ ВО Мелитопольский государственный университет,  
г. Мелитополь, Российская Федерация

(Поступила в редакцию 20.03.2023)

*Представлены результаты лабораторно-полевых исследований влияния климатических факторов Южной степи на водный и температурный режим деревьев черешни и абрикоса во время воздушной и почвенной засухи, когда деревья находятся в стрессовом состоянии. Функциональное состояние деревьев черешни и абрикоса изучалось методом фитомониторинга, по результатам которого установлены закономерности изменения физиологических параметров деревьев во время воздушной и почвенной засухи. В качестве интегрального показателя, характеризующего физиологическое состояние деревьев, принят индекс скорости ксилемного потока в стволе деревьев.*

*Установлено, что при значении индекса скорости ксилемного потока больше или равного единице, водный дефицит деревьев является критическим, что свидетельствует о необходимости применения орошения, то есть, чем больше величина индекса скорости потока в предрассветное время по сравнению с дневным, тем больше водный дефицит деревьев. Также выявлены закономерности изменения суточной динамики индекса скорости потока в стволе деревьев, которые следует учитывать при определении продолжительности проведения поливов.*

**Ключевые слова:** водный обмен, индекс скорости ксилемного потока, температура листьев, ствол дерева, черешня, абрикос, климатические факторы, физиологическое состояние деревьев.

*The results of laboratory and field studies of the influence of climatic factors of the Southern steppe on the water and temperature regime of cherry and apricot trees during air and soil drought, when the trees are under stress, are presented.*

*The functional state of cherry and apricot trees was studied by the method of phyto-monitoring, the results of which established patterns of changes in the physiological parameters of trees during air and soil drought. As an integral indicator characterizing the physiological state of trees, the index of the speed of the xylem flow in the tree trunk was taken.*

*It has been established that when the value of the xylem flow rate index is greater than or equal to one, the water deficit of trees is critical, which indicates the need for irrigation, that is, the greater the value of the flow rate index in the pre-dawn time compared to the daytime, the greater the water deficit of trees. Regularities of changes in the daily dynamics of the flow rate index in the tree trunk were also revealed, which should be taken into account when determining the duration of irrigation.*

**Key words:** water exchange, xylem flow rate index, leaf temperature, tree trunk, sweet cherry, apricot, climatic factors, physiological state of trees.

### Введение

Сумма осадков за один год в Южной степи находится в пределах от 310 мм до 500 мм, которые неравномерно распределяются по месяцам, а в период летней вегетации плодовых деревьев наблюдается почвенная и воздушная засуха. Такие метеорологические условия вызывают у деревьев плодовых косточковых культур стрессовое состояние в разные периоды их роста и развития. В результате дефицита почвенной и воздушной влаги снижается зимостойкость деревьев, возникает периодичность их плодоношения, уменьшаются валовые показатели урожая и увеличивается доля нестандартных плодов. Решение данной проблемы возможно путем разработки автоматизированных систем поливов с модулями управления водным балансом растений за счет алгоритмов вычисления значений управляющих воздействий [1, 2]. Получение информации для разработки данных алгоритмов возможно с использованием методов фитомониторинговых исследований.

В настоящее время вопросы практического использования методов фитомониторинга для изучения водного режима деревьев плодовых культур применяются многими учеными в различных почвенно-климатических зонах [3, 4]. Так, в работах [5, 6] обсуждаются результаты исследований фитомониторинга по показателю скорости ксилемного потока в стволе дерева с использованием метода теплового баланса, которые указывают на то, что интенсивность водного обмена растений в значительной степени зависит от условий освещенности, температуры и влажности воздуха.

Авторы работ [7, 8] обосновывают перспективность использования методов фитомониторинга для определения потребности винограда и плодовых деревьев во влаге по показателю скорости ксилемного потока в стволе с целью разработки и совершенствования информационных технологий. В работах [9, 10] указывается на то, что при достаточном содержании в почве физиологически доступной влаги скорость ксилемного потока зависит от интенсивности транспирации и изменяется в течении суток, а при отсутствии в почве доступной влаги листья используют влагу древесины и плодов. Для орошения плодовых культур, в том числе абрикоса и черешни, наибольшее распространение получили системы микроорошения [11, 12], которые используют для обеспечения оптимальной влажности почвы.

Мелкодисперсное дождевание деревьев также могло бы снизить вероятность не критических повреждений листового аппарата растений высокой температурой воздуха, которые могут появляться даже при наличии достаточного количества почвенной влаги.

Из приведенного следует, что установление закономерностей водного обмена в деревьях абрикоса и черешни с использованием методов фитомониторинга и разработка на основе полученных данных алгоритмов управления физиологическими параметрами деревьев и режимами поливов является актуальной научной задачей.

Целью данных исследований являлось установление закономерностей изменения суточных ритмов скорости индекса ксилемного потока в деревьях черешни и абрикоса.

#### Основная часть

Исследования проводились на опытном участке (г. Мелитополь) в период вегетации с 2016 г. по 2020 г. Фитомониторинг индекса скорости ксилемного потока осуществляли на модельных деревьях черешни и абрикоса методом теплового постоянного нагрева [13]. Измерение выполнялось с помощью датчиков регистрации скорости индекса ксилемного потока в стволах деревьев, которые представлены на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид датчиков измерения индекса ксилемного потока в стволе черешни и абрикоса: а) датчик; б) датчики в стволах деревьев

Датчик состоит из медь-константановых термопар, размещенных в металлических трубках из нержавеющей стали диаметром 0,8 мм, и нагревателя – проволоки высокого сопротивления. Датчик устанавливался в ствол деревьев на соответствующую глубину вдоль оси ствола. Изучение анатомии срезов штамбов деревьев показали, что активные проводящие сосуды ксилемы абрикоса расположены в двух наружных периферийных кольцах на расстоянии 1,0–1,5 см от перидермы коры штамба. У черешни они находятся в трех периферийных кольцах на расстоянии 0,5–1,1 см. Кольца с гидроактивными сосудами ксилемы черешни показаны на рис. 2. Фитомониторинг температурных изменений в листьях деревьев предполагал их длительную регистрацию контактными датчиками с медь-константановыми термопарами без повреждения целостности листьев. Датчик состоит из четырех последовательно соединенных медь-константановых термопар (рис. 3). Показания датчика указывали на разность температурных изменений в зоне измерения (лист – смоченный термометр).



Рис. 2. Общий вид среза штамба черешни с активными проводящими сосудами ксилемы

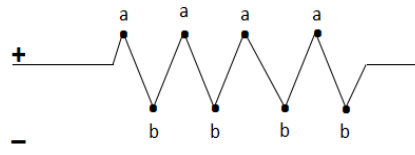


Рис. 3. Схема датчика для регистрации изменений температуры в листьях: а – положительные спаи; б – отрицательные спаи

**Результаты исследований.** В течение вегетаций указанного периода в автоматизированном режиме методами фитомониторинга [6] проводили ежедневную непрерывную регистрацию градиента температур от термопар датчиков ксилемного потока в стволе деревьев абрикоса и черешни. По суточным ритмам данного параметра установлены закономерности его изменения и определены основные характерные точки. Суточный ритм индекса скорости ксилемного потока в стволе деревьев на фоне

солнечной радиации представлен на рис. 4. Водный дефицит у деревьев возникал тогда, когда отношение величины предрассветного индекса ксилемного потока ( $V_{пр.}$ ) к дневному ( $V_{дн.}$ ) было больше или равно единице. Индекс скорости восходящего водного потока в стволе деревьев приобретал максимальное значение около 7 ч утра ( $V_{\max \text{ дн.}}$ ). Именно в это время интенсивность солнечной радиации возрастает, что обуславливает соответствующий уровень интенсивности транспирации листьев деревьев. К этому моменту расходы влаги растениями пополнялись, как из почвы, так и из резервуаров стволов деревьев, а затем, согласно [14, 15], происходит уменьшение диаметра штамбов, при котором сопротивляемость водному току из резервуара стволов деревьев становится меньше, чем сопротивляемость потоку влаги из почвы. Около 8 ч уровень индекса скорости ксилемного потока резко снижался ( $V_{дн.}$ ). С последующим увеличением интенсивности транспирации расход воды превышал ее поступление из почвы, а процесс водообеспечения поддерживался из запасов влаги стволов деревьев вплоть до момента достижения максимального значения индекса ксилемного потока в вечернее время суток ( $V_{\max \text{ вечер.}}$ ). Промежуток времени между утренними и вечерними максимальными значениями индекса ксилемного потока указывает на то, что деревья испытывают водный дефицит. Результаты наблюдений за изменениями суточных ритмов физиологических параметров деревьев абрикоса и черешни на фоне солнечной радиации и температуры воздуха представлены на рис. 5.

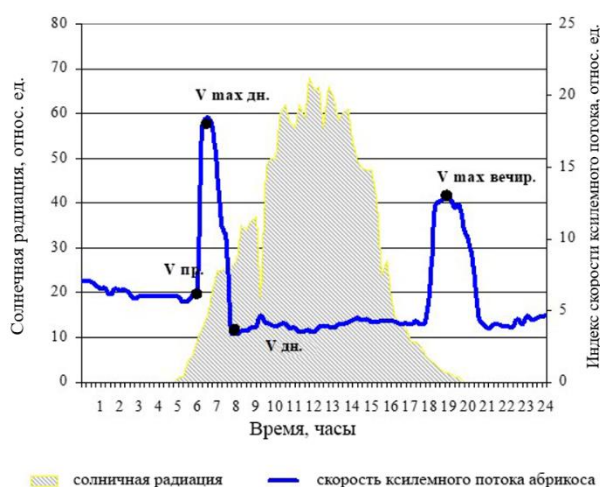


Рис. 4. Изменение индекса скорости ксилемного потока в стволе деревьев

Максимального значения суточный ритм индекса скорости ксилемного потока у деревьев абрикоса достигал около 7 ч утра, а у молодых деревьев черешни утренний максимум наступал на 1,5 ч раньше. Во время воздушной засухи наблюдалась реакция растений абрикоса и черешни на недостаток влаги, то есть у растений возникал водный дефицит. После утреннего максимума происходило резкое снижение индекса ксилемного потока до определенного уровня и продолжалось вплоть до вечернего времени суток (вечерний максимум), который у обеих культур наступал около 19 ч. По динамике изменений температуры листьев абрикоса и черешни выявлено, что в ночное время суток их температура ниже температуры воздуха. В течение интенсивной солнечной радиации (с 7 ч до 17 ч) температура листьев превышала температуру воздуха на 3–6 °С, а в вечернее время температура листьев снижалась.

Влияние поливов мелкодисперсным подкroновым дождеванием на изменение физиологических параметров деревьев черешни и абрикоса в течение суток приведено на рис.6 и рис 7. Поливы деревьев черешни выполнялись с 9 ч 45 мин до 15 ч 45 мин в прерывистом режиме (полив-пауза). Подкroновое дождевание способствовало возрастанию величины индекса ксилемного потока в дневные часы суток, по сравнению с контролем (без орошения). После прекращения полива величина скорости ксилемного потока достигала соответствующего уровня, а водный дефицит к концу суток был устранен.

Поливы абрикоса проводились с 10 ч 45 мин до 13 ч 45 мин. Максимальное значение ( $V_{\max \text{ дн.}}$ ) индекс скорости водного потока в стволе деревьев абрикоса приобретал около 8 ч утра, затем резко снижался, а проведение поливов приводили к его увеличению. После прекращения поливов водный дефицит к концу суток также был устранен, о чем свидетельствует то, что после вечернего максимума ( $V_{\max \text{ веч.}}$ ) величина индекса ксилемного потока значительно снижалась по сравнению со значением предыдущей ночи.



Рис. 5. Изменения индекса скорости ксилемного потока и температуры листьев абрикоса и черешни

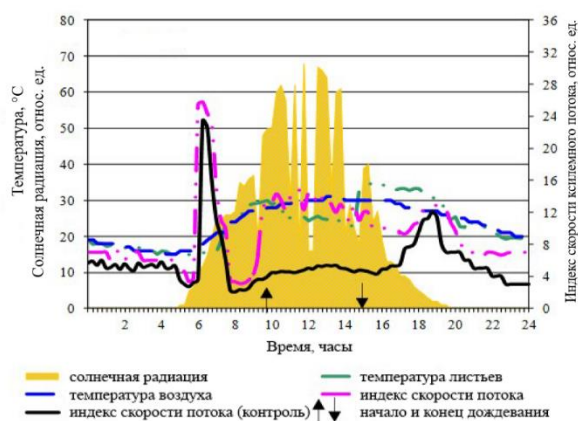


Рис. 6. Влияние поливов на физиологические параметры деревьев черешни

Динамика температуры листьев показала, что в ночной период времени суток их температура ниже температуры воздуха. В течение интенсивной солнечной радиации (с 9 ч до 17 ч) температура листьев превышала температуру воздуха, а при орошении температура листьев снижалась на 4–5 °С.

### Заключение

Применение методов фитомониторинга позволило установить закономерности динамики суточных ритмов скорости индекса ксилемного потока в стволе деревьев черешни и абрикоса, что является достаточно полной характеристикой функционального состояния деревьев, по которому возможно изучать водный обмен деревьев в течение вегетационного периода, не нарушая целостность растений. Изучение изменений функционального состояния деревьев абрикоса и черешни в условиях Южной степи позволило проследить динамику водного обмена в деревьях и установить время возникновения у них водного дефицита.

По полученным закономерностям изменений индекса скорости ксилемного потока в стволах деревьев и температуры листьев абрикоса и черешни установлено, что при подкroновом мелкодисперсном дождевании скорость ксилемного потока уменьшается в 1,2–1,3 раза, а температура листьев снижается на 4–5 °С в сравнении с природным увлажнением. Это способствовало нормализации скорости индекса ксилемного потока деревьев в дневные часы суток и предотвращало перегрев листового аппарата.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Караев, А. Формирование базы данных для автоматизированного управления физиологическим состоянием плодовых деревьев мелкодисперсным дождеванием. / А. И. Караев, С. Л. Сушко, В. Одинцова // MOTROL Commission of Motorization and Energetic in Agriculture an international journal on operation of farm and agrifood industry machinery. – 2016. – Vol 18, №1. – P. 55–59.
2. Нилов, Н. Фитомониторинг в виноградарстве: Современные возможности и перспективы / Н. Нилов // Виноделие и виноградарство. – 2004. – №3. – С. 26–28.
3. 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.
4. Cohen, M. Goldhomer D. A, Fereres E., Girona J., Mataeach M. Assessment of peach tree responses to irrigation water deficits by continuous monitoring of trunk diameter changes. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* – 2001. – Vol.76, №1. – P. 55–60.
5. Ермаков, Е. И. Фитомониторинг. Современные проблемы и перспективы / Е. И. Ермаков, С. Н. Мелешенко, С. С. Радченко // Сельскохозяйственная биология: Сер. биология растений. – 2002. – №3. – С. 25–35.
6. Ильницкий, О. А. Фитомониторинг в растениеводстве / О. А. Ильницкий, А. И. Лищук, В. А. Ушкаренко. – Херсон, 1997. – 235 с.
7. Нилов, Н. Фитомониторинг в виноградарстве: Современные возможности и перспективы / Н. Нилов // Виноделие и виноградарство. – 2004. – №3. – С. 26–28.
8. Надеждина, Н. Е. Пространственные и временные вариации скорости водного потока в ксилеме яблони / Н. Е. Надеждина, О. А. Ильницкий, В. А. Одинцова // Физиология и биохимия культурных растений. – 1991. – Т.23, №6. – С. 588–594.
9. Ильницкий, О. А. Динамика влажности ксилемы ствола у плодовых культур семейства Rosaceae / О. А. Ильницкий, М. Ф. Бойко // Черноморский ботанический журнал. – 2006. – Т.2, №2. – С. 60–71.
10. Ballester, C.; Castel, J.; Sanz, F.; Yeves, A.; Intrigliolo, D.S.; Castel, J.R. Can sap flow be used for determining transpiration of citrus trees under different irrigation regimes? *Acta Hort.* 2011, vol. 922, P. 221–228.
11. Терпигорев, А. А. Технология и техника микроорошения локальных систем / А. А. Терпигорев, А. В. Грушин, С. А. Гжибовский // Мелиорация и водное хозяйство. – 2017. – № 11. – С. 22–26.
12. Караев, А. И. Расчетный метод определения режимов орошения с использованием климатических показателей / А. И. Караев, С. Л. Сушко // Motrol Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2015. – Vol. 17, №. 9.
13. Тихов, П. В. Тепловой метод непрерывной регистрации относительной скорости движения пасоки в ксилеме древесных растений. *Биофизические методы исследований в экофизиологии древесных растений* / П. В. Тихов. – Л., 1979. – С. 68–85.
14. Nadezhdina N. Sap flow index as an indicator of plant water status. *Tree Physiology.* – 1999. – Vol. 19. – P. 885–891.
15. Одинцова, В. А. Фитомониторинг при изучении водного обмена и температурного режима растений черешни. Научные труды СКФНЦСВВ «Современные методы и способы повышения эффективности отраслевого производства» / В. А. Одинцова. – Краснодар, 2017. – Т. 13. – С. 55–58.

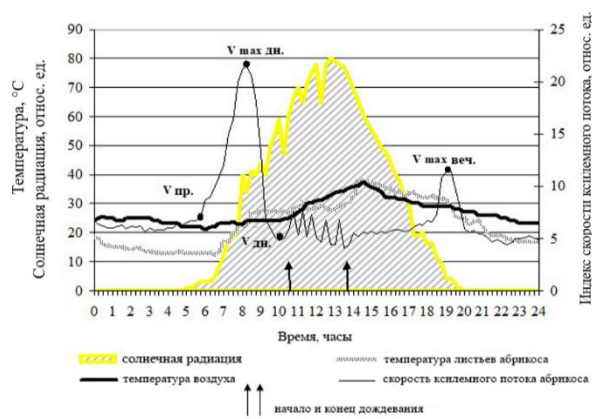


Рис. 7. Влияние поливов на физиологические параметры деревьев абрикоса