

Динамика влажности ксилемы ствола у плодовых культур семейства *Rosaceae*

ОЛЕГ АНТОНОВИЧ ИЛЬНИЦКИЙ
МИХАИЛ ФЕДОСЕЕВИЧ БОЙКО

ILNITSKIY O.A., BOIKO M.F. 2006: **Stem Xylem Moisture Dinamics in Rosaceae Fruit Trees.** *Chornomors'k. bot. z.*, vol. 2, N2: 60-71.

The features of stem xylem moisture in the different fruit trees were studied with using new method offered by authors. Comparing the results one can see that xylem moisture's deficit differs considerably in species studied: plum trees - 52- 68%; the sweet cherries trees - 34 - 60%; the apple trees 21 - 43%; the peach trees - 20 - 75%; Maximum meaning Dxy in cultures studied are correspondingly: Dxy. = 69%, Dxy. = 61%, Dxy. = 44%, Dxy. = 75% - (accordingly refer to above).

The method can be implemented for studying of plant's water use resistance to the unfavorable environmental factors, as well as in other branches of ecology.

Keywords: xylem, deficit, water use, fruit trees, transpiration rate, Rosaceae

Ключевые слова: ксилема, дефицит, водный режим, плодовые культуры, интенсивность транспирации, Rosaceae

Важной характеристикой для получения информации о водном режиме растения является оводненность [EWERS et al., 1997; LEWIS et al., 1994; SPERRY et al., 1988; TYREE et al., 1996; TYREE et al., 1994; TYREE et al., 1983; TYREE et al., 1999; TYREE et al., 1988; TYREE et al., 1992; YANG et al., 1992] или обратная ей величина - дефицит влажности ксилемы побегов и ствола. Обычно оводненность древесины определяют весовым методом. Определение этого параметра в динамике и без повреждения растения является сложной задачей. Существует несколько методов определения влажности древесины. Основными из них являются: метод тепловых импульсов; использование β -излучения; ядерный магнитный резонанс; определение диэлектрических констант.

Метод тепловых импульсов применяется для определения скорости ксилемного потока в растениях. Этот метод также широко используют при определении теплофизических параметров в капиллярно-пористых телах [БАБКОВА, 1983; ВОРОНОВ и др., 1987; КУЗНЕЦОВА и др., 1981]. Известно применение этого метода для определения влажности различных материалов [КУЗНЕЦОВА и др., 1981]. Указанный метод основан на распространении теплового импульса в образце и последующем анализе изменений этого параметра вследствие воздействия на него. Метод с использованием β -излучения также применяется для определения влажности древесины. Так, П.В. ТИХОВ [1979] исследовал распределение пространственных и температурных вариаций содержания воды в побегах древесных растений. Метод является достаточно сложным и требует применения дорогостоящего оборудования. Методика ядерного магнитного резонанса используется в основном для оценки состояния воды в растительных объектах. Данный метод применялся и для анализа распределения влаги в древесине дуба белого [OLSON et al., 1990]. Однако применение его является достаточно сложным, а используемая при этом аппаратура очень дорогостоящая. Как видно из этого обзора, в биологии не существует достаточно простого и надежного метода определения дефицита влажности древесины. В опыте Л.К. КАЙБИЯЙНЕНА [1989] для этой цели был использован метод тепловых импульсов.

Эмпирически была найдена зависимость между температуропроводностью древесины сосны (a) и ее влажностью (W_a). Эта зависимость выражается уравнением:

$$a = \frac{(\gamma_{др} W_a - 0,46)(\lambda_{в.} - \gamma_{др.}) + (0,54 W_a + 0,7) \lambda_{др.}}{0,5(W_a + 0,33)}$$

где: $\gamma_{др.}$ – плотность древесины;

$\lambda_{в.}$ – коэффициент теплопроводности воды;

$\lambda_{др.}$ – коэффициент теплопроводности древесины;

Температуропроводность древесины (a) определяется из соотношения:

$$\text{tm} \frac{558}{a} = \frac{V}{a^2} - 48,4$$

В данной методике применен способ определения влажности древесины по результатам тепловых импульсных измерений [JULIAMAN, 1988.]. Для этого необходима регистрация кривой распространения теплового импульса на диаграммной ленте или другом носителе информации.

Существенным недостатком этого метода является то, что для определения величины W_a необходимо определить несколько переменных, входящих в эмпирическую формулу. При этом значительно возрастает суммарная погрешность определения W_a .

Материалы и методы исследования

Для определения дефицита влажности ксилемы нами также использован метод тепловых импульсов. Речь идет о ксилеме, потому что ксилемный поток составляет 98-99% от общего потока (ксилемный поток плюс флоэмный), и тепловая метка переносится вверх ксилемным потоком. В данном техническом решении применен способ определения влажности ксилемы непосредственно из результатов тепловых импульсных измерений. Как известно, этот метод применяется для определения линейной скорости ксилемного потока, причём использовалась лишь временная составляющая этого импульса. На амплитудную составляющую исследователи обращали мало внимания. Типичная кривая представлена на рис.1.

Как известно, этот метод применяется для определения линейной скорости ксилемного потока, которая при определенной геометрии элементов датчика определяется по формуле:

$$V = \frac{K}{t_0},$$

где : V – линейная скорость, см/ч;

K – постоянный коэффициент.

Проведенные нами исследования водного режима древесных культур показали, что именно амплитудная составляющая теплового импульса тесно коррелирует с оводненностью ксилемы, а её значения для различных видов древесных растений являются разными и зависят от факторов внешней среды. Эта величина достигает своего максимального значения при высокой влажности почвы и низком дефиците влажности воздуха, а также в ночные часы при отсутствии транспирации или при дожде. Такое максимальное значение амплитуды импульса можно также получить полив растение и надев на его крону целлофановый пакет для создания под ним 100%-ной влажности воздуха. В этом случае мы имеем 100%-ную влажность древесины, т.е. водный дефицит равен нулю.

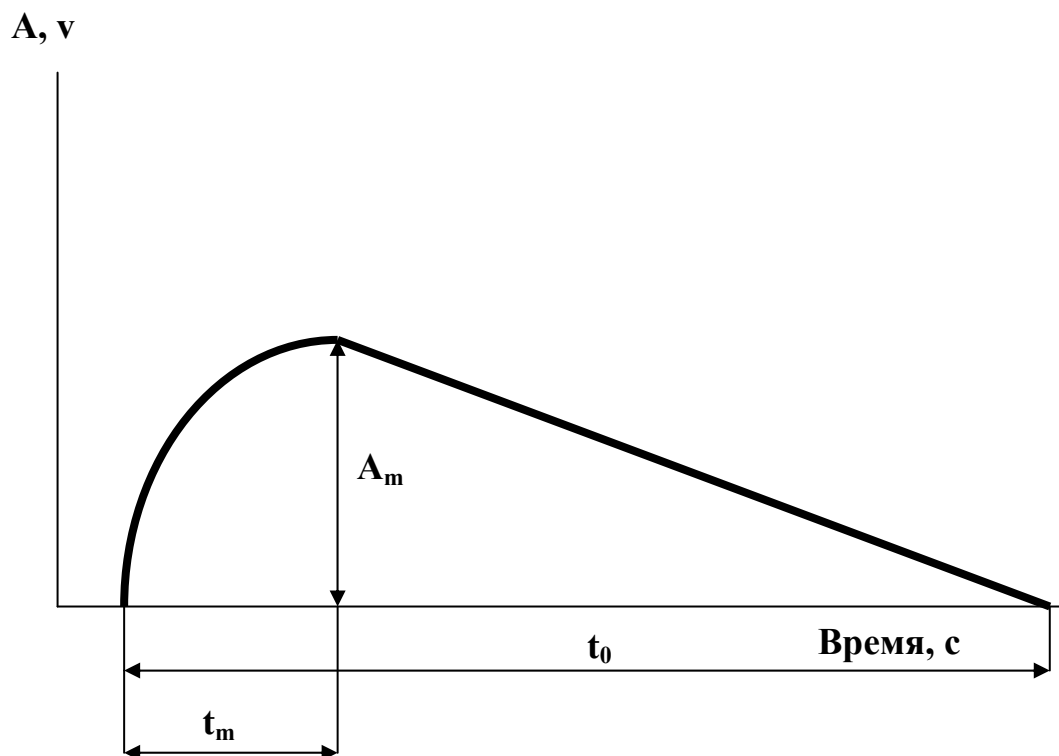


Рис. 1. Типичная кривая распространения теплового импульса.

t_0 - время наступления теплового равновесия между нижним и верхним чувствительными элементами датчика; t_m - время достижения максимальной разности температур между элементами датчика; A - амплитуда импульса за время t_m .

Fig. 1. The typical curve of the thermal impulse spreading.

t_0 – a point where the temperature equilibrium is established between lower and upper sensors; t_m – a point where the maximum temperature difference between sensors is established; A – impulse amplitude during the time t_m .

Исходя из этого постулата, мы можем рассчитать дефицит влажности древесины в любой момент времени по предложенной нами формуле:

$$Дкс. = \left(1 - \frac{A}{A_{max}}\right) \cdot 100\%,$$

где: Дкс. – дефицит влажности древесины по отношению к ее 100%-ной оводненности;

A – текущее значение амплитуды теплового импульса в относительных единицах;

A_{max} – максимальное значение амплитуды теплового импульса при 100%-ной оводненности ксилемы в относительных единицах.

Вначале необходимо определить значение A_{max} для исследуемого древесного растения. Если растение находится в вегетационном сосуде или почве, то его поливают до 100%-ной влажности почвы, а на его крону надевают целлофановый пакет, создавая 100%-ную влажность воздуха внутри. Через несколько часов, после достижения предельных параметров почвы и воздуха проводят ряд измерений амплитудного значения теплового импульса. В полевых условиях это значение можно определить после полива и в условиях дождя и тумана. В разные периоды вегетации растения эта величина несколько изменяется, и необходима ее корректировка. После этого проводятся измерения текущего значения амплитуды импульса и расчет дефицита влажности древесины на протяжении любого периода исследований.

Эксперименты проводились в условиях вегетационного опыта и в полевых условиях на косточковых и семечковых плодовых культурах:

1 – сливе сорта Ренклюд Альтана; 2 – черешне сорта Черная Мелитопольская; 3 – яблоне сорта Голден; 4 – персике сорта Сочный.

В вегетационном опыте 2-3-летние саженцы выращивались в сосудах ёмкостью 45-50 л. В полевых условиях опыты проводились на тех же культурах в возрасте 4-10 лет.

В наших экспериментах при помощи фитометрической системы «Экоплант» [Ильницкий, 2005] регистрировались как условия внешней среды, так и параметры, характеризующие водный режим растений.

Результаты и обсуждение

На протяжении нескольких лет изучали динамику и границы изменения влажности ксилемы у различных косточковых и семечковых плодовых культур на фоне изменяющихся факторов окружающей среды.

В эксперименте со сливой сорта Ренклюд Альтана регистрировались как условия внешней среды (рис. 2,А), так и параметры, характеризующие водный режим растений (рис. 2,Б). Из этого рисунка видно, что исследования проводились на фоне высокой влажности почвы (95-85%НВ) и очень высокой напряженности параметров внешней среды: $Q_{\max} - 0.96 \text{ кВт/м}^2$;

$d_{\text{воз.}} - 2,8 - 4,6 \text{ кПа.}; t_{\text{воз.}} - 28 - 33 \text{ }^\circ\text{C}; t_{\text{поч.}} - 27 - 32 \text{ }^\circ\text{C}.$

При этом (рис. 2,Б) в побегах и стволе растения наблюдалась противофазность между изменением диаметра побега (1), относительной (2) и линейной (3) скоростями.

Дефицит влажности ксилемы в стволе находился в диапазоне $D_{\text{кс}} = 52 - 68\%$.

Результаты такого же эксперимента для черешни сорта Черная мелитопольская показаны на рис. 3.

Влажность почвы была также достаточно высокой (83 – 72%НВ), а параметры внешней среды: $Q_{\max} - 0.97 \text{ кВт/м}^2$;

$d_{\text{воз.}} - 2,9 - 4,7 \text{ кПа.}; t_{\text{воз.}} - 27 - 33 \text{ }^\circ\text{C}; t_{\text{поч.}} - 27 - 32 \text{ }^\circ\text{C}.$

Дефицит влажности ксилемы в стволе находился в диапазоне $D_{\text{кс}} = 34 - 60\%$.

Таким образом, при близких по напряженности условиях внешней среды, у изучаемых культур наблюдается разная величина дефицита влажности ксилемы, что объясняется её разным морфологическим строением.

Эксперименты на семечковых плодовых культурах – яблони сорта Голден (рис. 4) проводились при влажности почвы 84 – 77%НВ, и метеофакторах: $Q_{\max} - 0.9 \text{ кВт/м}^2$; $d_{\text{воз.}} - 2.2 - 3,8 \text{ кПа.}; t_{\text{воз.}} - 22 - 32 \text{ }^\circ\text{C};$

$t_{\text{поч.}} - 22 - 31 \text{ }^\circ\text{C}.$ Дефицит влажности ксилемы в стволе находился в диапазоне $D_{\text{кс.}} = 21 - 43\%$.

Известно, что персик обладает повышенной засухоустойчивостью и, следовательно, высокой эластичностью ксилемы [Ильницкий и др., 2005]. Влажность почвы в эксперименте (рис. 5,А) была также высокой (80 – 75%НВ), а параметры внешней среды: $Q_{\max} - 0.9 \text{ кВт/м}^2$; $d_{\text{воз.}} - 2,2 - 3,6 \text{ кПа.}; t_{\text{воз.}} - 20 - 29 \text{ }^\circ\text{C}; t_{\text{поч.}} - 23 - 26 \text{ }^\circ\text{C};$ Дефицит влажности ксилемы в стволе находился в диапазоне $D_{\text{кс.}} = 20 - 75\%$.

Сравнивая полученные результаты, можно увидеть, что при высокой влажности почвы во всех экспериментах и близкими по напряженности климатическими условиями дефицит влажности ксилемы у изучаемых видов сильно различается: слива 52 – 68%; черешня 34 – 60%; яблоня 21 – 43%; персик – 20 – 75%;

Наибольший диапазон изменения дефицита влажности ксилемы отмечен у персика.

Это объясняется различным морфологическим строением изучаемых культур и, с точки зрения сущности применяемого метода измерений, различной теплопроводностью ствола растений.

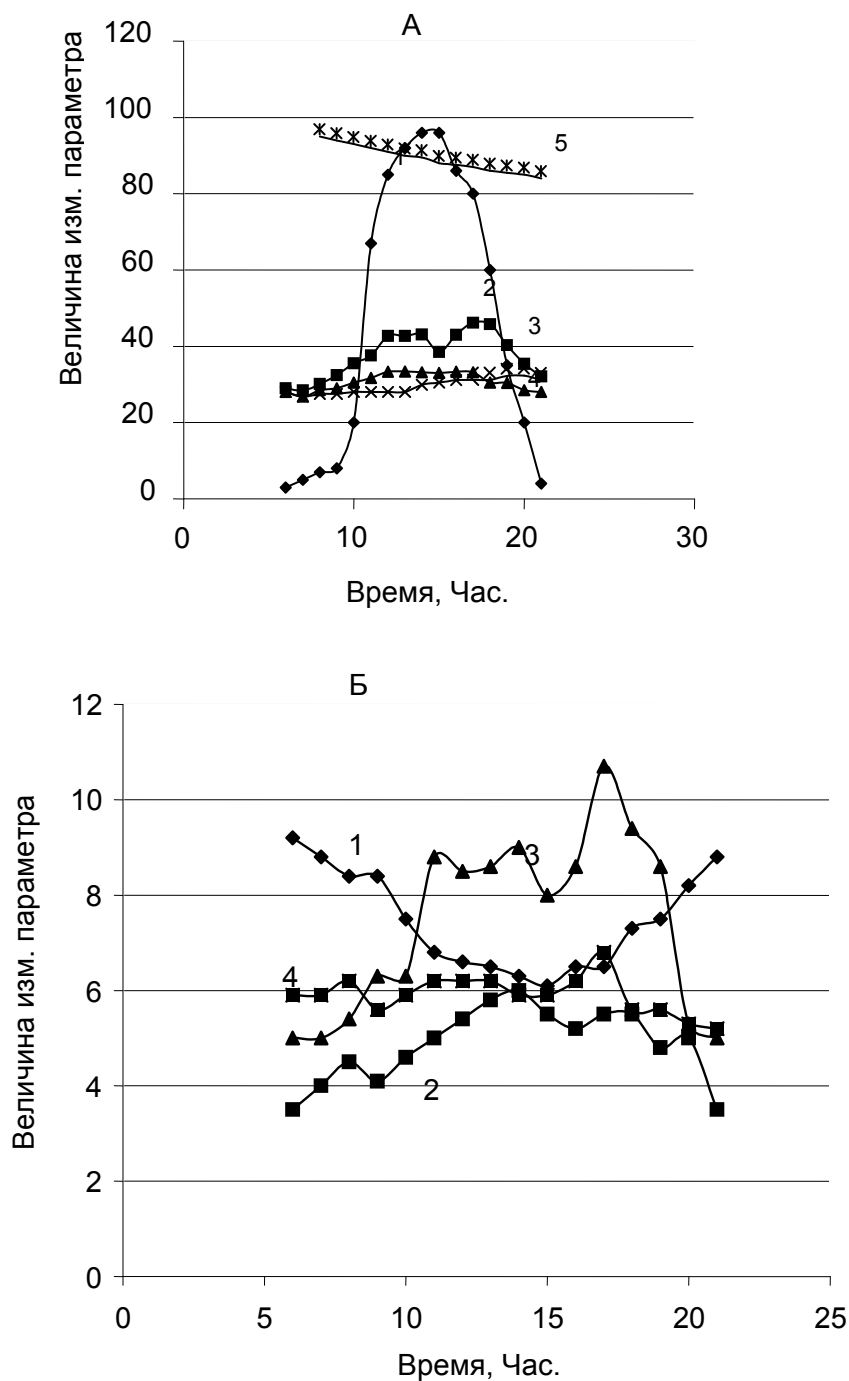


Рис. 2. Изменение параметров внешней среды (А) и параметров, характеризующих водный режим сливы сорта Ренклюд Альтана (Б) (11.07.1989 г.).

А: 1 – суммарная солнечная радиация, Q - $квт/м^2 \cdot 10^{-2}$; 2 – дефицит влажности воздуха, d воз., гПа.; 3 – Температура воздуха, t воз., $^{\circ}C$; 4 – Температура почвы, t поч., $^{\circ}C$; 5 – влажность почвы, W поч, %НВ;
 Б: 1 – диаметр побега – d поб, $мкм \cdot 10^2$; 2 – скорость ксилемного потока в побеге, V поб, от.ед; 3 – линейная скорость в ксилеме ствола, $V_{л.ст.}$, см/час; 4 – дефицит влажности ксилемы в стволе, $D_{кс}$, $\% \cdot 10^2$.

Fig. 2. Changes of environmental condition (A) and water use parameters (Б) in plum “Renclod Altana” (11.07.1989).

A: 1 – total solar radiation, Q – $kw/m^2 \cdot 10^{-2}$; 2 – air moisture deficit, d , hPa; 3 – air temperature, $t^{\circ} C$; 4 – soil temperature, $t^{\circ} C$; 5 – soil moisture, W %HB;
 Б: 1 – stem diameter, d , $mkm \cdot 10^2$; 2 – conducting rate of xylem sap in the stem; V st.; 3 – linear rate in the stem xylem V l. st., cm/h; 4 – xylem moiature deficit in the stem, $D_{xyl.}$ $\% \cdot 10^2$;

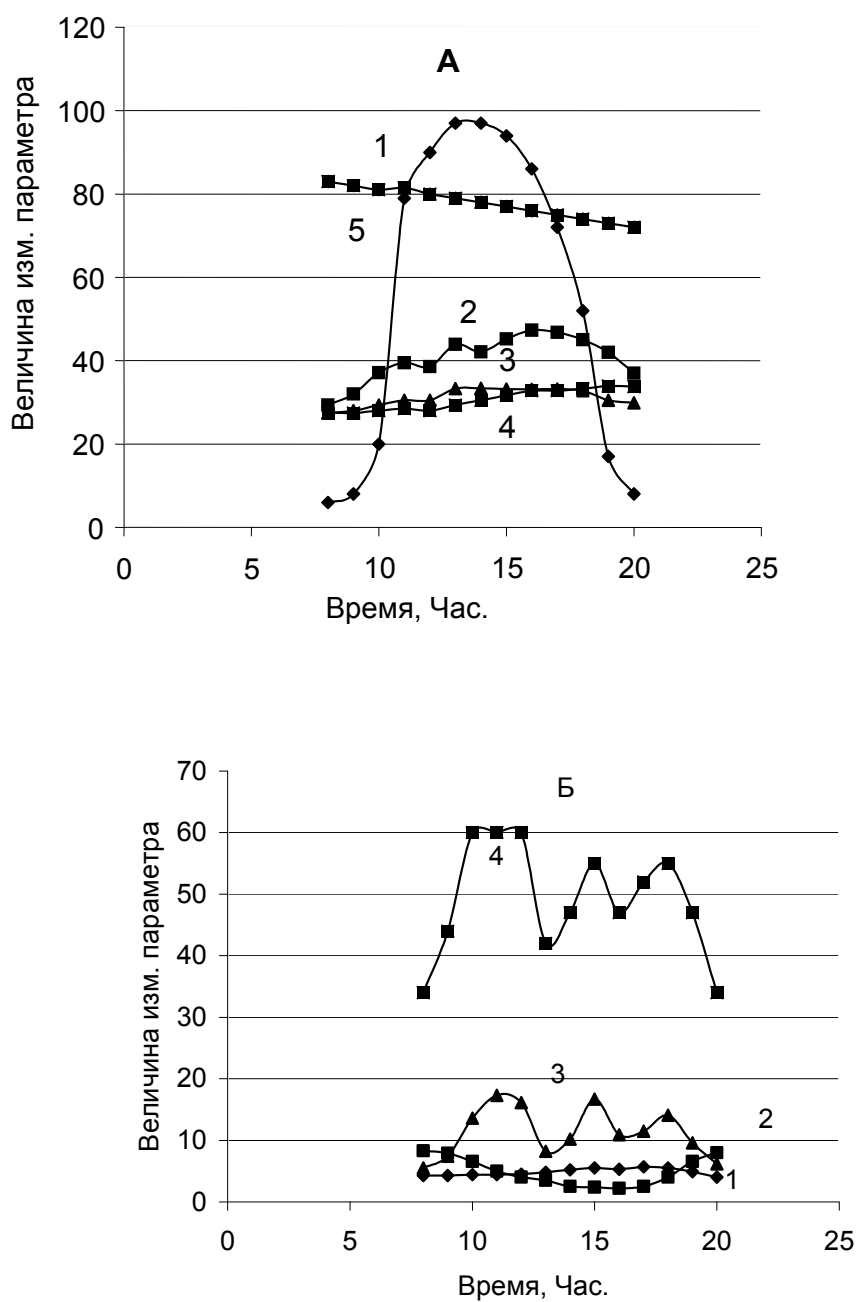


Рис. 3. Изменение параметров внешней среды (А) и параметров характеризующих водный режим черешни сорта Черная мелитопольская (Б) (19.08.1989 г.).
Обозначения те же, что и на рис.2.

Fig. 3. Changes of environmental conditions (A) and water use parameters (B) in cherry “Chernaya Melitopolskaya” (19.08.1989).
Conventional signs the same as in fig.2.

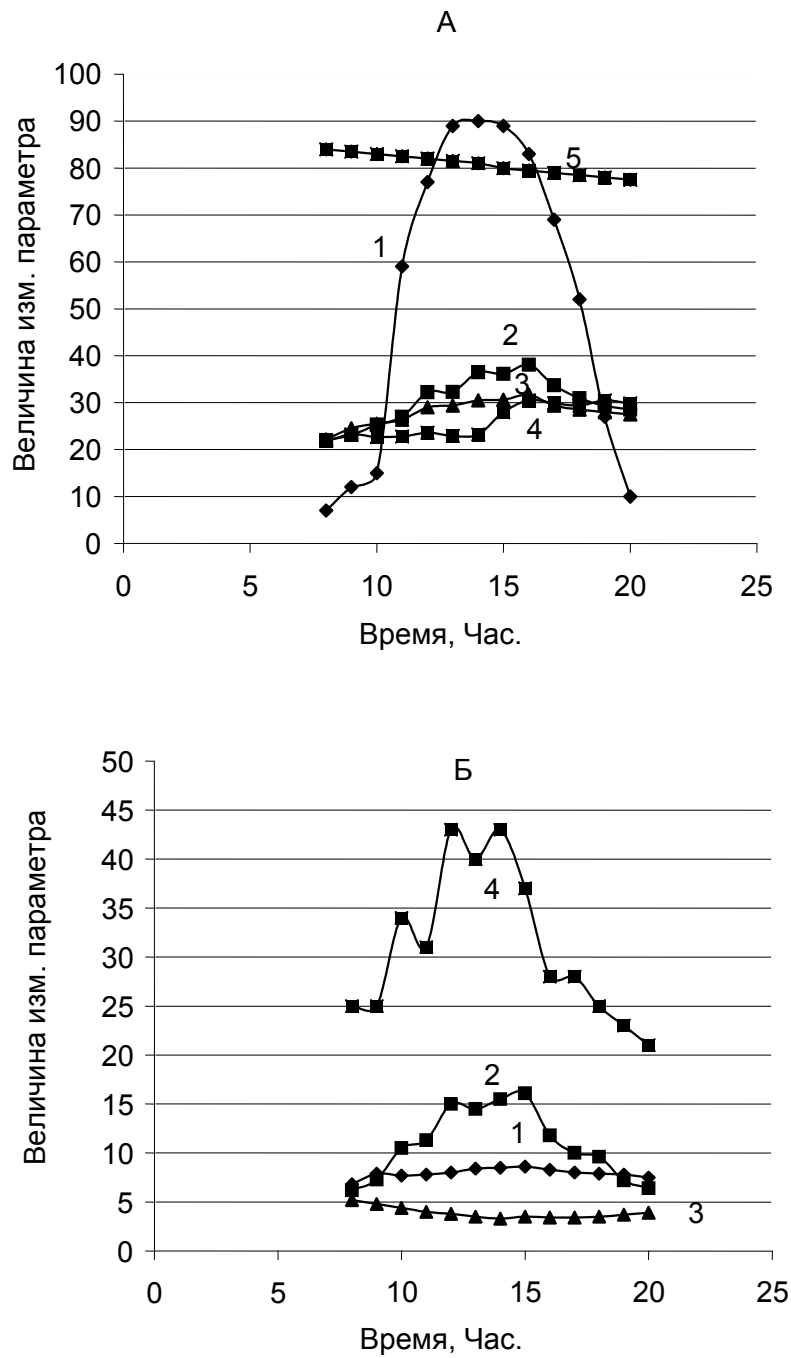


Рис. 4. Изменение факторов внешней среды (А) и параметров, характеризующих водный режим (Б) яблони сорта Голден (07.08.1989 г.).
 Обозначения те же, что на рис. 2, 3.

Fig. 4. Changes of environmental conditions (А) and water use parameters (Б) in apple “Golden” (07.08.1989).
 Conventional signs the same as in fig.2,3.

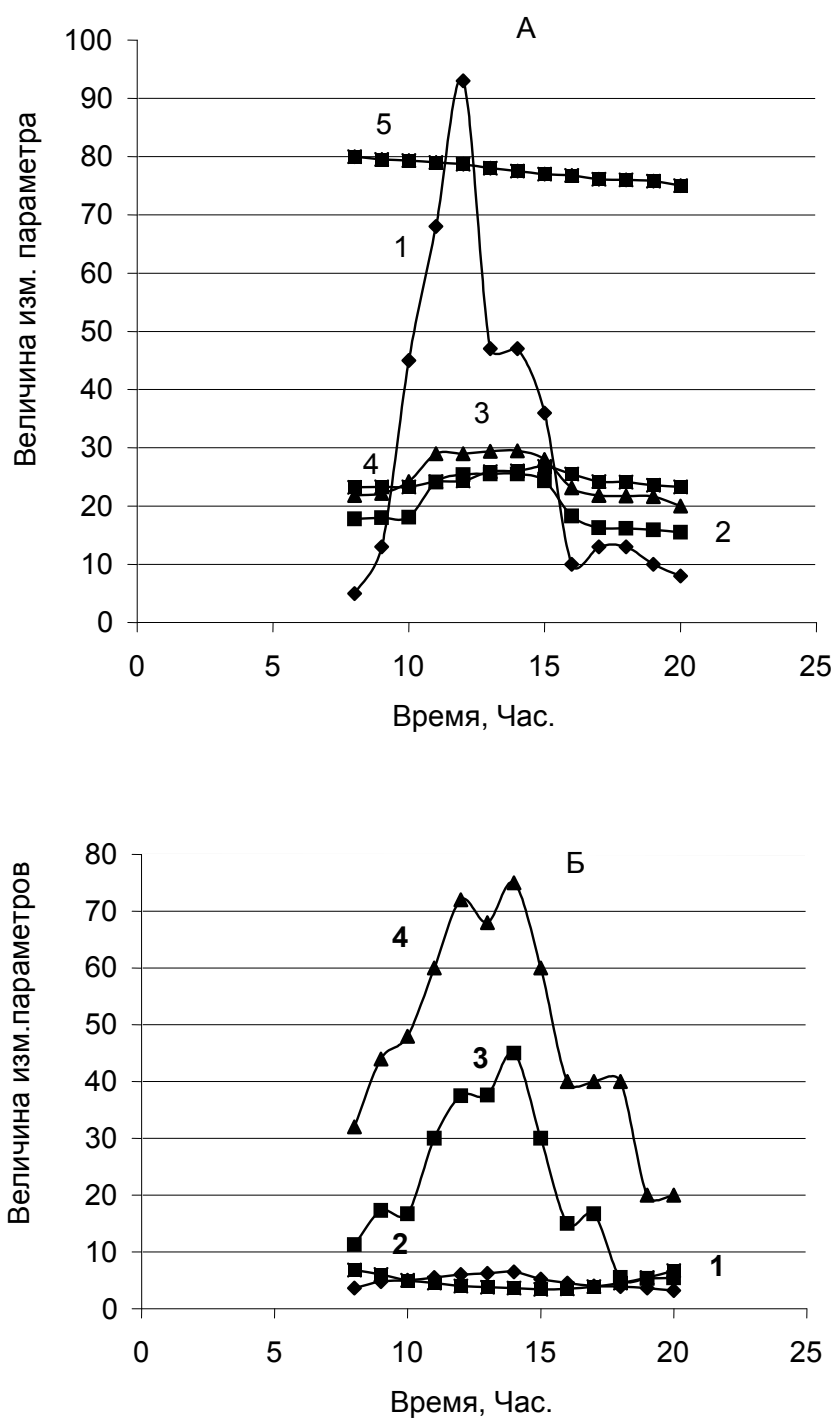


Рис. 5. Изменение факторов внешней среды (А) и параметров, характеризующих водный режим (Б) персика сорта Сочный (19.06.1989 г.). Обозначения те же, что и на рис. 2-4.

Fig. 5. Changes of environmental conditions (A) and water use parameters (Б) in peach "Sochny" (19.06.1989 г.). Conventional signs the same as in fig.2-4.

Значения линейных скоростей ксилемного потока в стволе изучаемых культур (рис.6) при максимальной напряженности факторов внешней среды (1–4) также сильно различаются. Диапазон их максимальных значений составляет 11 – 45 см/ч.

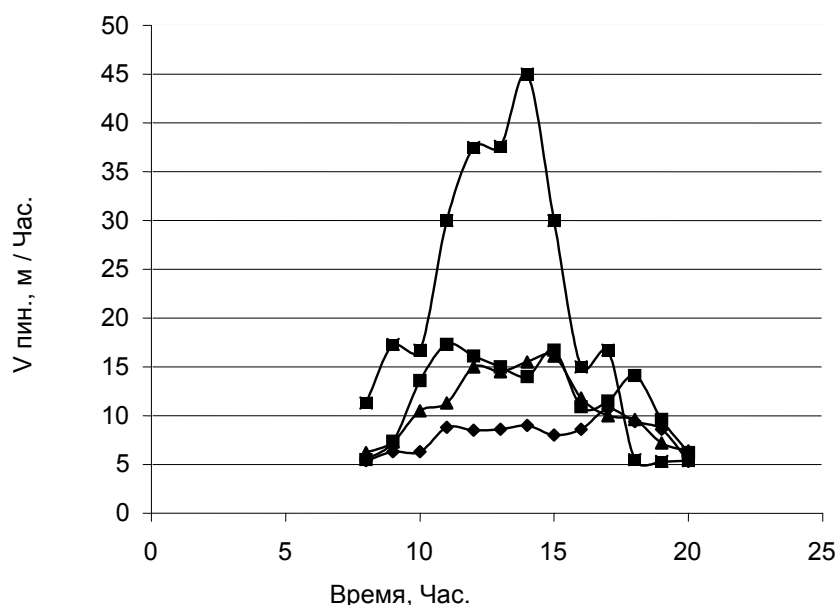


Рис. 6. Максимальные значения линейных скоростей ксилемного потока в стволе изученных культур при наибольшей напряженности факторов внешней среды (7.07. 1989 г.).
 1 – слива сорта Ренклод Альтана; 2 – черешня сорта Черная мелитопольская;
 3 – яблоня сорта Голден; 4 - персик сорта Сочный.

Fig. 6. Maximum meanings of the linear rate of the xylem stream in the tree stem under the most intensive impact of enviromental factors (7.07. 1989 г.).
 1 – plum ‘Renclod Altana’; 2- cherry ‘Chernaya Melitopolskaya’; 3- apple ‘Golden’; 4- peach ‘Sochnyi’

Изменения линейных скоростей ксилемного потока в стволах изучаемых культур тесно коррелируют с дефицитом влаги ксилемы (рис. 7.).

Наибольшим диапазоном изменения Дкс. обладает персик, следовательно, у него наибольшая среди изучаемых культур эластичность ксилемы. У него же и самые высокие линейные скорости ксилемного потока в стволе (см. рис. 6) и диапазон их изменений.

При максимальной напряженности условий окружающей среды линейным скоростям в стволах изучаемых культур соответствуют следующие максимальные значения водного дефицита.

Слива сорта Ренклод Альтана	V _{л.} = 11 см/ч	Дкс. = 69%
Черешня сорта Черная мелитопольская	V _{л.} = 17,5 см/ч	Дкс. = 61%
Яблоня сорта Голден	V _{л.} = 16 см/ч	Дкс. = 44%
Персик сорта Сочный	V _{л.} = 45 см/ч	Дкс. = 75%

Известно, что дефицит влаги ксилемы определяется интенсивностью транспирации и, как и транспирация, зависит от всех факторов окружающей среды.

При высокой влажности почвы (рис.8) у черешни наблюдается максимальная транспирация (85 мг./дм² •ч) и незначительный дефицит влаги ксилемы (18 – 32%), при низкой – эти параметры изменяются, транспирация уменьшается до 37 мг./дм² •ч, а дефицит влаги ксилемы увеличивается до 60%.

Анализируя полученные результаты, можно увидеть, что при высокой влажности почвы во всех экспериментах и близких по напряженности климатических условиях дефицит влаги ксилемы у изучаемых видов сильно различается: слива 52 – 68%; черешня 34 – 60%; яблоня 21 – 43%; персик – 20 – 75%.

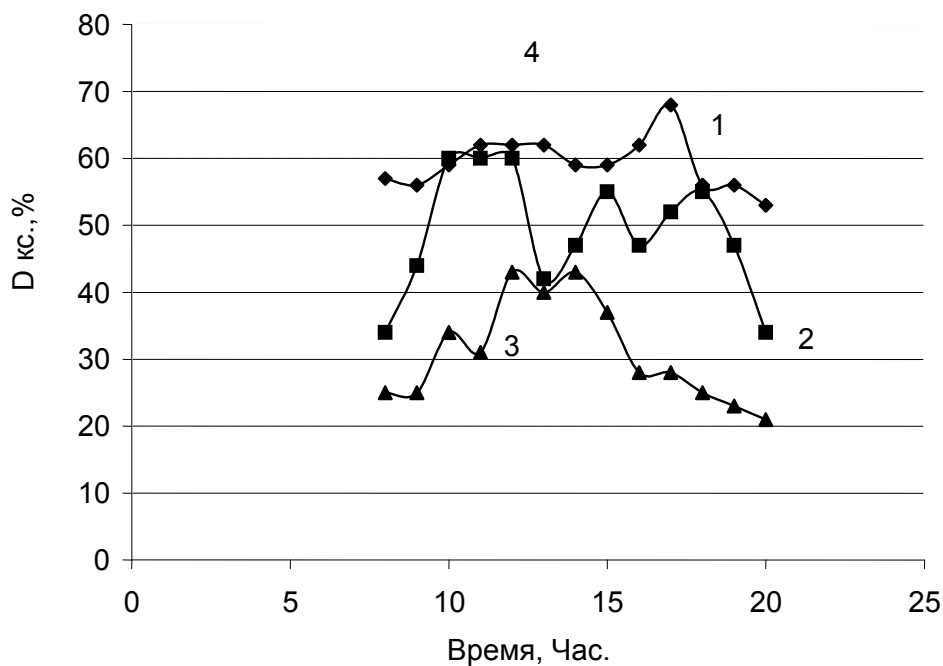


Рис. 7. Изменение дефицита влажности ксилемы изучаемых культур при максимальных значениях их линейных скоростей ксилемного потока (7.07. 1989 г.). 1 – слива сорта Ренклод Альтана; 2 – черешня сорта Черная мелитопольская; 3 – яблоня сорта Голден; 4 – персик сорта Сочный.

Fig. 7. Changes of xylem moisture deficit in cultures studied with maximum xylem stream linear rate. 1 – plum ‘Rencloed Altana’; 2- cherry ‘Chernaya Melitopolskaya’; 3- apple ‘Golden’; 4- peach ‘Sochnyi’

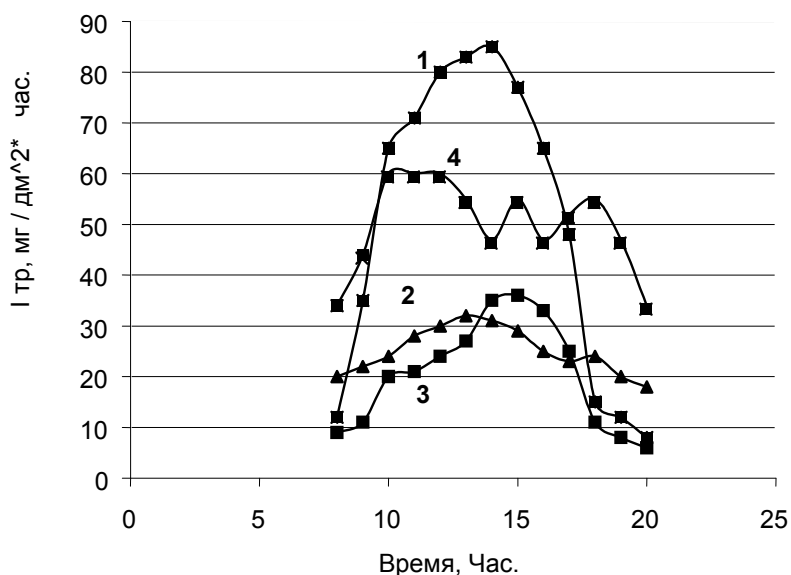


Рис. 8. Изменение интенсивности транспирации (1, 3) и дефицита влажности ксилемы (2, 4) черешни сорта Черная мелитопольская в июле 1989 г. при влажности почвы: 90 – 80%НВ (1, 2); 60 – 55%НВ (3, 4).

Fig. 8. Changes of transpiration rate (1, 3) and moisture deficit in xylem (2, 4) of cherry Chernaya Melitopolskaya in July 1989 at soil moisture 90-80% (1, 2); 60 – 55% (3, 4).

Диапазоны изменения дефицита влажности ксилемы у различных видов изучаемых культур перекрываются (см. рис. 7), что объясняется не погрешностью метода, а особенностями морфологического строения проводящих сосудов, их эластичностью и, следовательно, особенностью водного режима и устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды.

Можно также заметить, что $D_{кс}$ возрастает по мере нарастания интенсивности факторов внешней среды (максимальные значения изучаемых культур, соответственно, составляют: $D_{кс} = 69\%$, $D_{кс} = 61\%$, $D_{кс} = 44\%$, $D_{кс} = 75\%$), а затем возвращается к исходному состоянию с некоторым временным сдвигом по отношению к остальным параметрам. Это объясняется тем, что для устранения дефицита влаги ксилемы необходимо некоторое время, в течение которого произойдет насыщение влагой из почвы.

После полива всех растений и дождя ночью (9.07.1989г.) дефицит влажности ксилемы у всех растений, естественно, стремился к нулю.

Затем в середине дня он начал возрастать и к 14 часам составлял соответственно: яблоня – 10%, черешня – 8.5%, слива – 7%, персик – 6.8%.

Ранее нами были разработаны ряд методов для определения относительной засухоустойчивости плодовых растений [Ильницкий и др., 1993].

Применительно к нашим исследованиям «коэффициент относительной засухоустойчивости» можно выразить в следующей формулой:

$$K_3 = \frac{D_{кс_1}, \%}{D_{кс_2}, \%}$$

где: $D_{кс_1}, \%$ - дефицит влажности ксилемы до полива растений;

$D_{кс_2}, \%$ - дефицит влажности ксилемы при высокой напряженности внешних условий

Предлагаемый термин «коэффициент относительной засухоустойчивости K_3 » означает, что чем больше величина этого коэффициента, тем в большей степени данное растение сократило расход воды при появлении водного дефицита и, следовательно, тем более оно устойчиво к засухе. С точки зрения величины этого коэффициента мы и оценивали результаты наших исследований.

Подставив в эту формулу полученные в результате опыта величины $D_{кс}$ для различных культур получим:

1. Персик сорта Сочный	$K_3 = 12,1$
2. Слива сорта Ренклод Альтана	$K_3 = 10,1$
3. Черешня сорта Черная мелитопольская	$K_3 = 7,1$
4. Яблоня сорта Голден	$K_3 = 4,4$

Выводы

Из анализа этих результатов и следуя применяемой методике, можно сделать вывод, что уменьшение степени засухоустойчивости изучаемых видов располагается в таком же порядке убывания, что соответствует данным научной литературы [Кушниренко и др., 1991].

Таким образом, новый метод определения дефицита влажности ксилемы является достаточно простым, универсальным [Ильницкий и др., 2005.; Ильницкий и др. 1993.; Ильницкий и др., 2002], может найти широкое применение в исследовании особенностей водного режима растений, определении их устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды и может применяться в растениеводстве, экологии и других областях знаний.

Список литературы

А.С. №994969 СССР, МКИ 7601N33/46. Способ определения теплофизических параметров в капиллярно-пористых телах// Б.Н. Бабкова. – Оpubл. 1983. – Бюл. №5.

- А.С. №1317346 СССР, МКИ 7601N33/46. Способ контроля влажности капиллярно-пористых материалов/ В.Г. Воронов, Н.А. Збродов, В.Н.Изотов, Н.Г. Рохман. – Оpubл. 1987. – Бюл. №18.
- А.С. №800846 СССР, МКИ 7601N33/46. Способ определения теплофизических характеристик материалов в строительных конструкциях// Н.Н. Кузнецова, В.С. Ройфе, Ю.Д. Осин, Г.Г. Лебедкова. – Оpubл. 1981. – Бюл. №4.
- Ильницький О.А., Бойко М.Ф., Федорчук М.И., Деревянко В.Н., Шишкин В.А. Основы фитомониторинга. – Херсон, 2005. – 345 с.
- Ильницький О.А., Лищук А.И. Динамическая модель водного режима саженцев плодовых культур // Тез. докл. советов ботан. садов Украины. – 1993. – С. 22-24.
- Кайбийянен Л.К. Экофизиология водного режима сосны и сосновых древостоев: Автореф. дис. . . . д-ра. биол. наук. – Петрозаводск, 1989. – 48 с.
- Кушниренко М.Д., Печерская С.Н. Физиология водообмена и засухоустойчивости растений. – Кишинев. – Штиинца, 1991. – 306с.
- ПАТЕНТ Украины №4791. Приоритет от 17.02.95. Способ определения дефицита влажности древесины интактных растений/ О.А. Ильницький, А.И. Лищук, Н.Г. Нилов, С.С. Радченко. – Оpubл. 15.10.2002. – Бюл. №10.
- ТИХОВ П.В. Применение импульсного метода для измерения водопотребления древесными растениями // Биофизические методы исследований в экофизиологии древесных растений. – Л.: Наука, 1979. – С. 98-106.
- EWERS F.M., COCHARD H., TYREE M.T. A survey of root pressures in vines of tropical lowland forest // Oecologia. – 1997. – Vol. 110. – P. 91-196.
- JULIAMAN Z.A. A gamma ray study of spatial and temporal variation in relative water content of tree stems // Ph. D. Thesis. – University of Stratchlyde. – 1988. – Vol. 12. – P. 15-21.
- LEWIS A.M., HARNDEN V.D., TYREE M.T. Collapse of water stress eraboli in the tracheids of Thuja occidentalis L. // Plant Physiol. – 1994. – Vol. 106. – P. 1639-1646.
- OLSON J., CHANG I., WANG C. Nuclear magnebic resonanse imaging: a noninvasive analysis of moisture distributions in white lumber// Can. J. of Forest Research. – 1990. – Vol. 20, №5. – P. 586-592.
- SPERRY J.S., TYREE M.T. Mechanism of water stress-induced xylem embolism // Plant Physiol. – 1988. – Vol. 88. – P. 581-587.
- TYREE M.T., COCHART F.L. Summer and winter embolism in oak: impact on water relations // Arm. Sci. Forest. – 1996. – Vol. 53. – P. 173-180.
- TYREE M.T., DAVIS SIX, COCHARD H. Biophysical perspectives of xylem evolution. Is there a tradeoff of hydraulic efficiency for vulnerability to dystunction? // IAWA J. – 1994. – Vol. 15. – P. 335-360.
- TYREE M.T., DIXON M.A. Cavitation events in Thuja occidentalis. Ultrasonic acoustic emission from the sapwood can be measures // Plant Physiol. – 1983. – Vol. 72. – P. 1094-1099.
- TYREE M.T., SALLEO S., NARDINI A., LO GIULO M.A., MOSCA R. Refilling of embolism vessels in young stems of laurel? Do we need a new paradigm // Plant Physiol. – 1999. – Vol. 120. – P. 11-21.
- TYREE M.T., SPERRY J.S. Do woody plants operate near the point of catastrophic xylem disfunction caused by dynamic water stress // Plant Physiol. – 1988. – Vol. 88. – P. 574-580.
- TYREE M.T., YANG S. Hydraulic conductivity recovery versus water pressure in xylem of Acer saccharum // Plant Physiol. – 1992. – Vol. 100. – P. 669-676.
- YANG S., TYREE M.T. A theoretical model of hydraulic conductivity from embolism with comparison to experimental data of Acer saccharum // Plant. Cell. Environ. – 1992. – Vol. 15. – P. 633-643.

Рекомендує до друку

А.П. Орлюк

Отримано 15.11.2006 р.

Адреса авторов:

О.А. Ильницький

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр УААН,

Ялта, 98648

АР Крым, Украина

e-mail: ilnitsky@yalta.crimea.ua

Author's address:

O.A. Ilnitskiy

The Nikita Botanical Garden – National santific sentre,

Yalta, 98648,

Crimea, Ukraine

e-mail: ilnitsky@yalta.crimea.ua

М.Ф. Бойко

Херсонский государственный университет,

ул. 40 лет Октября, 27

Херсон, 73000

Украина

e-mail: netl@ksu.ks.ua

M.F. Boiko

Kherson State University

27, 40 Rociv Zhovtnya Str.,

Kherson, 73000,

Ukraine

e-mail: netl@ksu.ks.ua