

УДК 504.064.3:574

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОДНОГО РЕЖИМА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ КУСТАРНИКОВ НИЖНЕГО ЯРУСА В УСЛОВИЯХ ФИТОКЛИМАТА ПАРКОВ ЮБК

Ю.В. ПЛУГАТАРЬ, О.А. ИЛЬНИЦКИЙ, М.С. КОВАЛЕВ, С.П. КОРСАКОВА

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, г. Ялта

Проведен анализ особенностей водного режима и засухоустойчивости восьми видов кустарников парка Арборетума Никитского ботанического сада, произрастающих в условиях фитолимата нижнего яруса. Для этих целей использованы два экспресс-метода фитомониторинга, позволяющих получить их экофизиологические характеристики. В результате проведенных исследований построены динамические модели зависимости между экофизиологическими характеристиками исследуемых видов растений и основными факторами внешней среды, уточнены особенности их водного режима и засухоустойчивости. Выявленная зависимость дает возможность дифференцировать виды растений по степени засухоустойчивости, что позволит рекомендовать их для выращивания в условиях конкретного региона ЮБК с учетом его микроклиматических особенностей.

Ключевые слова: экспресс-методы, особенности водного режима, дефицит влажности ксилемы, относительная засухоустойчивость, математическая модель.

Введение

При выборе материала в ходе ландшафтного проектирования огромное значение имеют эстетические особенности деревьев и кустарников. Они характеризуются изменением размеров, формы, цвета, облиственности, что обусловлено их ростом и развитием, а также сезонными циклами жизнедеятельности [1, 2, 10]. Каждое растение, особенно отдельно стоящее, имеет свои индивидуальные черты: высоту, габитус и силуэт кроны. В то же время в групповых посадках деревья и кустарники приспособляются друг к другу, образуя не набор отдельных растений, а единую взаимосвязанную группу, обладающую определенной способностью к саморегулированию и формированию уравновешенного объема.

При формировании объемно-пространственной композиции парка габитусы насаждений, их высота, долговечность и динамика развития по отношению друг к другу имеют главенствующее значение [13].

Резкие колебания метеорологических факторов, варьирующие из года в год, очень часто приводят к возникновению стрессовых ситуаций для растений. Одним из таких стрессовых воздействий, часто возникающих на различных этапах онтогенеза растительного организма, является водный стресс. Значительная часть территории Крыма характеризуется недостаточным увлажнением, неравномерностью выпадения осадков и частыми засушливыми периодами. Кроме того, растения нередко подвергаются водному дефициту из-за высоких летних температур, резких изменений погодных условий, загрязнения окружающей среды, нерационального использования водных ресурсов и неправильных агротехнических мероприятий [8]. Устойчивость к комплексу агроэкологических факторов – один из наиболее сложных вопросов при интродукции растений, особенно в отношении декоративных видов. Поэтому вопрос реакции растений нижнего яруса на изменение факторов окружающей среды, оценка степени воздействия этих факторов на особенности водного режима представляет практический интерес при изучении их засухоустойчивости и теневыносливости для последующей разработки рекомендаций по выращиванию в конкретных условиях [3, 6].

В связи с вышеизложенным, была сформулирована цель исследования: исследовать изменения параметров водного обмена растений методами фитомониторинга и разработать общебиологический критерий оценки генотипической засухоустойчивости интродуцента, позволяющий оценить степень толерантности растительного объекта к стрессовому воздействию [3, 7, 9]

Объекты и методы исследования

В данных исследованиях мы применили методологию и приборную базу фитомониторинга [3, 6, 16]. Были использованы экспресс-методы:

- определение дефицита влажности ксилемы (древесины);
- измерения линейной скорости ксилемного потока в стволах древесных растений.

Для определения дефицита влажности ксилемы нами 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. Нами был разработан и запатентован новый способ определения этого параметра [5].

Датчик для измерения данного показателя находился на высоте 0,6 - 1,1 м от поверхности почвы.

При помощи этого же датчика мы измеряли линейную скорость ксилемного потока [12, 14, 15]. Этот параметр позволяет определить взаимосвязь между коэффициентом водного стресса и засухоустойчивостью изучаемых видов растений. Коэффициент водного стресса находится по формуле:

$$Кв.с. = V_{утр.}/V_{с.дня} , \text{от.ед.}$$

где: $V_{утр.}$ – линейная скорость ксилемного потока в утренние часы;

$V_{с.дня}$ - линейная скорость ксилемного потока в послеполуденные часы.

Примененные нами экспресс-методы при синхронном измерении параметров внешней среды в условиях микроклимата (освещенности, температуры воздуха, влажности воздуха, температуры почвы и ее влажности, дефицита влажности воздуха) позволили изучить некоторые экофизиологические характеристики исследуемых видов кустарников нижнего яруса. Параметры внешней среды измерялись стандартными методами, применяемыми в метеорологических измерениях [11].

В качестве модельных объектов для исследований были отобраны 8 видов растений [13], различных по особенностям водного режима, засухоустойчивости и теневыносливости (табл. 1): *Pittosporum heterophyllum* Franch. (Питтоспорум разнолистный), *Buxus sempervirens* L. (Самшит вечнозеленый), *Euonymus japonica* Thunb. (Бересклет японский), *Chimonanthus praecox* (L.) Link (Зимоцвет ранний), *Viburnum tinus* L. (Калина вечнозеленая), *Cornus mas* L. (Кизил мужской), *Laurocerasus officinalis* M. Roem. (Лавровишня лекарственная), *Aucuba japonica* Thunb. (Аукуба японская).

Таблица 1

**Биоэкологическая характеристика некоторых видов кустарников нижнего яруса парков
Южного берега Крыма**

Растение	Частота встречаемости	Теневыносливость	Засухоустойчивость	Цветение, плодоношение	Группы по декоративности	Функциональное назначение
<i>Pittosporum heterophyllum</i> (Питтоспорум разнолистный)	ед	++	++	пл	1	2
<i>Buxus sempervirens</i> (Самшит вечнозеленый)	м	+++	++	пл	1	1, 2
<i>Euonymus japonica</i> (Бересклет японский)	ч	++	++	пл	1	2
<i>Chimonanthus praecox</i> (Зимоцвет ранний)	ед	++	++	пл	3	2
<i>Viburnum tinus</i> Калина вечнозеленая)	ед	+++	++	цв	1	2
<i>Cornus mas</i> (Кизил мужской)	ч	++	+++	пл	3	2
<i>Laurocerasus officinalis</i> (Лавровишня лекарственная)	ч	++	++	пл	1	1, 2
<i>Aucuba japonica</i> (Аукуба японская)	ед	+++	+	цв	1	2

Частота встречаемости: ед – единично (от 1 до 5 экземпляров); ч – часто (от 20 до 100 экз.); м – массово (свыше 100 экз.)
Теневыносливость: +++ – очень теневыносливые, ++ – менее теневыносливые
Засухоустойчивость: +++ переносят засуху без всяких видимых повреждений и могут развиваться без искусственного орошения в летний период; ++ нуждаются в поливе в засушливый период (это виды устойчивые к воздушной засухе, но требовательные к почвенной влажности); + необходим систематический полив в течение всего летнего периода; - растения, страдающие даже в условиях постоянного полива как от воздушной засухи, так и от дефицита влажности почвы.
Группа по декоративности: 1 – растение декоративно круглый год, 3 – в период цветения и плодоношения
Функциональное назначение: 1 – лечебно-профилактические свойства, 2 – эстетический и декоративный эффект.

Результаты и обсуждение

Данные виды растений нижнего яруса, кроме зимоцвета раннего (нижний парк, высота 115 м над уровнем моря), произрастают в верхнем парке Арборетума Никитского ботанического сада (высота 145-165 м над уровнем моря) в условиях разного микроклимата [10]. Их можно разделить на три основные группы: одни находятся в затененных условиях в течение всего онтогенеза, другие – в период активной вегетации в теплое время года, а третьи произрастают на относительно открытом участке.

1 группа (затененные условия в течение всего онтогенеза):

– Питтоспорум разнолистный – вечнозеленый декоративный кустарник с простыми кожистыми блестящими листьями, произрастает под кроной кедра атласского на расстоянии 1 м от ствола.

– Самшит вечнозеленый – вечнозеленый декоративный кустарник, находится в пределах совместного проективного покрытия кедра атласского и лавра благородного, и равноудален от их стволов на 2,5 м.

– Зимоцвет ранний – декоративный кустарник, цветущий зимой, с опадающими на зиму продолговато-эллиптическими листьями. Расположен под пологом кипариса крупноплодного (3,5 м от ствола).

– Аукуба японская – декоративный вечнозеленый кустарник, произрастает в подкроновом пространстве группы вечнозеленых деревьев: дуба каменного,

секвойдендрона гигантского и плосковеточника, расстояние от стволов соответственно составляет 4, 5 и 2,5 м.

2 группа (затененные в период активной вегетации в теплое время года), произрастает под кроной листопадных деревьев:

– Бересклет японский – ценное декоративное вечнозеленое растение, находится под кроной бобовника анагерон (1 м от ствола).

– Калина вечнозеленая – вечнозеленый кустарник с небольшими, блестяще-зелеными листьями и щитками белых цветков, расположен в подкроновом пространстве, которое образуют орех грецкий и гледичия трехколючковая, на расстоянии от стволов деревьев соответственно 1 и 2,5 м.

– Лавровишня лекарственная – кустарник с простыми кожистыми, вечнозелеными листьями, с юга, запада и северо-запада окружен тремя деревьями липы сердцевидной на расстоянии 3,5 - 4,5 м, а с севера затеняется периферийной частью кроны каштана конского.

К 3 группе мы отнесли кизил мужской – листопадный кустарник, растущий на относительно открытом участке.

Краткая биометрическая характеристика изучаемых видов кустарников нижнего яруса и деревьев, в подкроновом пространстве которых они произрастают, их местоположение относительно ствола представлены в таблице 2.

Таблица 2
Биометрическая характеристика растений нижнего яруса и их местоположение относительно ствола дерева в подкроновом пространстве

Вид	Биометрическая характеристика растения				Местоположение относительно ствола в подкроновом пространстве		Биометрическая характеристика деревьев верхнего яруса			
	Возраст, лет	Высота, м	Структура кроны	Форма кроны	расстояние от ствола, м	направление	Вид	Возраст, лет	Высота, м	Радиус кроны, м
<i>Pittosporum heterophyllum</i> (Питтоспорум разнолистный)	30	4	рыхлая	обратнойцевидная	1	С	Кедр атласский	80	20	4
<i>Viburnum sempervirens</i> (Самшит вечнозеленый)	60	4	плотная	обратнойцевидная	2,5	В	Кедр атласский	150	27	5
					2,5	С	Лавр благородный	60	11	3
<i>Eucalyptus japonica</i> (Бересклет японский)	30	3,5	рыхлая	обратнойцевидная	1	С	Бобовник анагрон	40	12	3
<i>Chimonanthus praecox</i> (Зимостеп ранний)	40	4,5	рыхлая	раскидистая	3,5	В	Кипарис крупноплодный	160	34	8
<i>Viburnum tinus</i> (Калина вечнозеленая)	30	3,5	рыхлая	обратнойцевидная	1	С	Орех грецкий	30	10	3
					2,5	СВ	Гледичия трехколочковая	60	22	3,5
<i>Cornus mas</i> (Кизил мужской)	40	5	рыхлая	обратнойцевидная	0	0	Кизил мужской	40	5	2
<i>Laurocassia officinalis</i> (Лавровишня лекарственная)	30	5	рыхлая	раскидистая	4,5-3,5-3,5	С-В-ЮВ	Липа сердцевидная	60	17	5
					5	Ю	Каштан конский	60	15	5,5
<i>Aucuba japonica</i> (Аукуба японская)	30	3	рыхлая	обратнойцевидная	5-5-4-4	ЮВ-Ю-ЮВ-ЮЗ	Дуб каменный	80	20	6-7
					5	В	Секвойдендрон	50	20	3
					2,5	З	Плосковеточник	30	10	3

Под пологом насаждений пространственные вариации многих метеопараметров, в первую очередь солнечной радиации и атмосферных осадков, очень велики и зависят от архитектуры крон. Температурный режим воздуха и почвы как определяющий фактор физиологической активности растений зависит от величины солнечной радиации, поступающей к растениям и к поверхности почвы. Растения, высаженные под высокие деревья разных пород, оказываются в совершенно несходных инсоляционных условиях. Наиболее очевидные влияния растения на внешнюю среду проявляются в изменении освещенности, температуры и влажности. При параллельных наблюдениях освещенность, измеренная на открытых участках, не затененных кронами деревьев, в ясную погоду 28 августа достигала 47000 – 50000 лк. Под пологом деревьев в условиях интенсивного затенения в подкрановое пространство кустарников нижнего яруса проникало от 200 до 550 лк. В подкрановое пространство кизила мужского, растущего на открытом месте – в несколько раз больше – до 1450 лк. В конце августа 2014 г., в связи с продолжительным отсутствием значительных осадков, на фоне высоких летних температур растения Арборетума Никитского ботанического сада на участках без орошения находились в условиях водного дефицита. Для сравнения фитоклиматических особенностей под древесным пологом исследуемых растений нижнего яруса были проведены параллельные измерения освещенности, температуры и влажности воздуха, а также температуры и влажности почвы (табл. 3).

Таблица 3

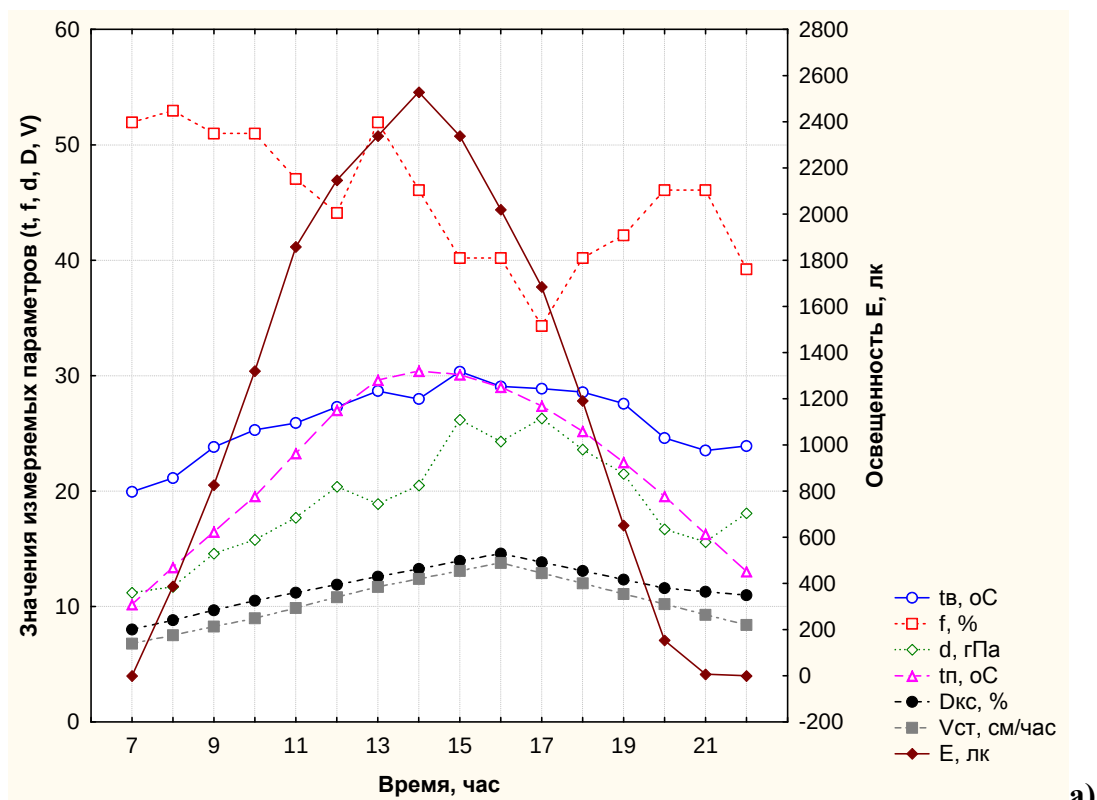
**Фитоклиматические особенности под пологом растений нижнего яруса
(28.08.2014 г., 10 ч 30 мин московского времени)**

Вид	Параметры среды					
	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Температура почвы, °С	Влажность почвы на глубине 20 см, %	Освещенность, Лк	Коэффициент пропускания, %
<i>Pittosporum heterophyllum</i> (Питтоспорум разнолиственный)	25,0	49	20,0	7,2	500	1,94
<i>Buxus sempervirens</i> (Самшит вечнозеленый)	24,5	57	20,0	13,7	200	0,68
<i>Euonymus japonica</i> (Бересклет японский)	25,0	54	20,0	7,2	200	0,58
<i>Chimonanthus praecox</i> (Зимоецвет ранний)	25,7	48	20,1	14,8	370	0,64
<i>Viburnum tinus</i> (Калина вечнозеленая)	27,1	49	21,0	12,4	550	1,11
<i>Cornus mas</i> (Кизил мужской)	25,5	50	20,5	11,4	1450	3,18
<i>Laurocerasus officinalis</i> (Лавровишня лекарственная)	25,2	52	20,0	10,2	300	0,69
<i>Aucuba japonica</i> (Аукуба японская)	25,2	57	20,5	14,9	450	1,14

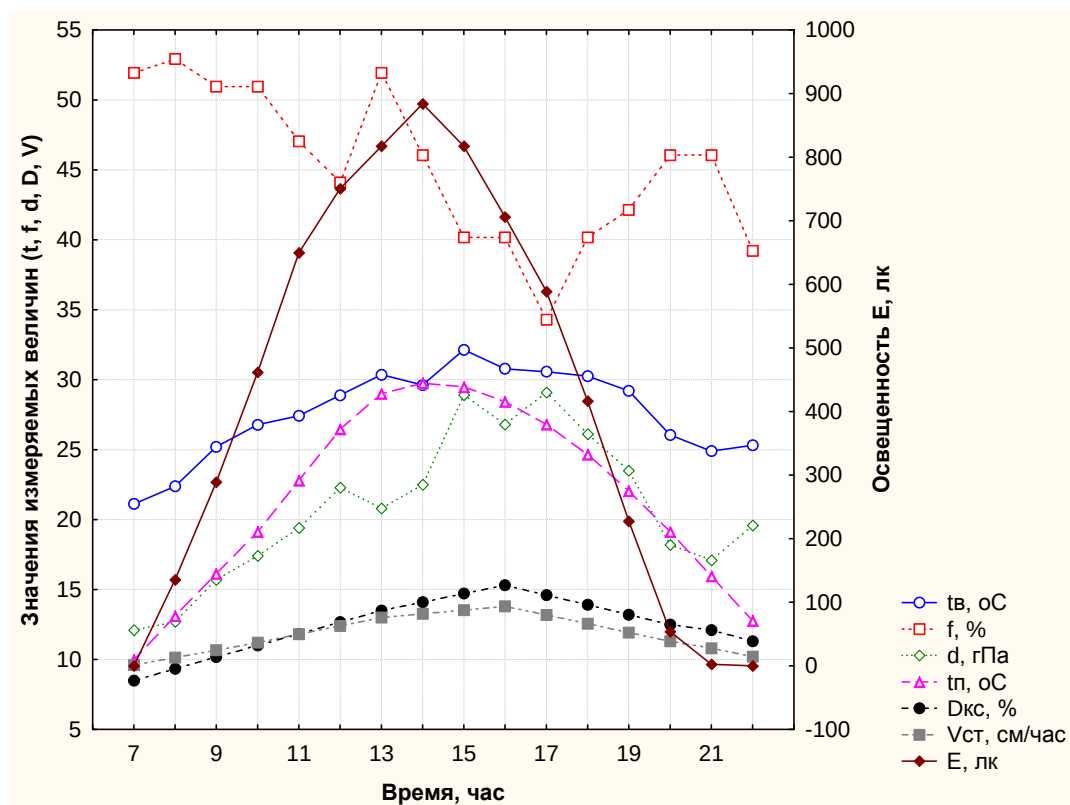
Известно, что засухоустойчивость вида определяется реакцией растения на изменяющиеся условия внешней среды. При воздействии экстремальных факторов внешней среды растения, приспособившиеся в процессе эволюции к определенным условиям обитания, по-разному реагируют на эти воздействия. В условиях низкого водного потенциала корнеобитаемой среды у растительных объектов различных экологических групп происходит заметное снижение параметров водного обмена (скорости ксилемного потока), которые являются важнейшими регуляторами основных физиолого-биохимических процессов в растении. Растения с различными эколого-

физиологическими характеристиками обладают различной чувствительностью к изменению водного потенциала почвы, что проявляется в определенном характере изменения интенсивности их метаболизма в ответ на водный стресс. Характер ответной реакции на негативное воздействие, ее скорость и глубина, выражают степень толерантности растительного объекта к действующему стрессу. При водном дефиците более устойчивые виды характеризуются быстрым снижением интенсивности метаболизма (скорости ксилемного потока), тем самым предохраняя себя от чрезмерного обезвоживания и более длительным сохранением тургора [3]. Такой тип реакции характерен для растений из засушливых мест и вообще для ксерофитов (рис. 1 а, б). Неустойчивые виды для поддержания водного режима на достаточно высоком уровне мобилизуют свой массо- и энергообмен (рис. 2б), что приводит к активному расходу воды в системе почва – растение – атмосфера и неспособности поддерживать оводненность тканей на оптимальном уровне. Эти различия могут быть использованы для разработки критерия при определении относительной физиологической засухоустойчивости различных видов растений, основанного на изучении механизмов транспорта воды в растении.

Использование методологии фитомониторинга позволяет выявить общие закономерности изменения параметров водного обмена, характеризующие качественные и количественные зависимости между физиологическими характеристиками водного режима растений (дефицит влажности ксилемы и линейная скорость ксилемного потока) и параметрами внешней среды (температура и влажность воздуха, дефицит влажности воздуха, температура почвы и освещенность). На рисунках 1 – 2 показана динамика этих параметров в светлое время суток для четырех изучаемых видов растений, отличающихся степенью засухоустойчивости и занимающих в построенных нами рядах относительной засухоустойчивости крайние (кизил мужской и калина вечнозеленая – ксерофиты, аукуба японская – мезофит) и промежуточное (бересклет японский – ксеро-мезофит) положения.



а)

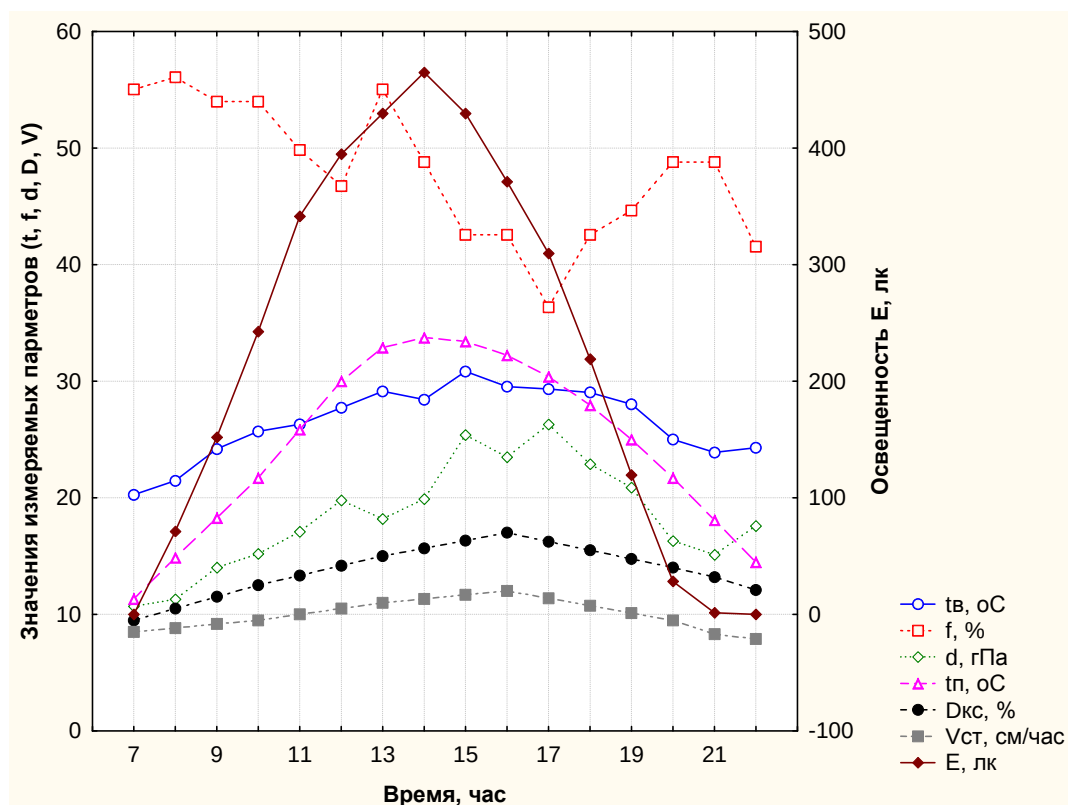


б)

Рис. 1 Суточный ход изменения параметров среды и водного режима

а) *Cornus mas* (Кизил мужской)б) *Viburnum tinus* (Калина вечнозеленая)

Где: t_b — температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; f — относительная влажность воздуха, %; d — дефицит влажности воздуха, гПа; t_p — температура почвы, $^{\circ}\text{C}$; E — освещенность, лк; $D_{кс}$ — дефицит ксилемы, %; $V_{ст}$ — линейная скорость ксилемного потока, см/час)



а)

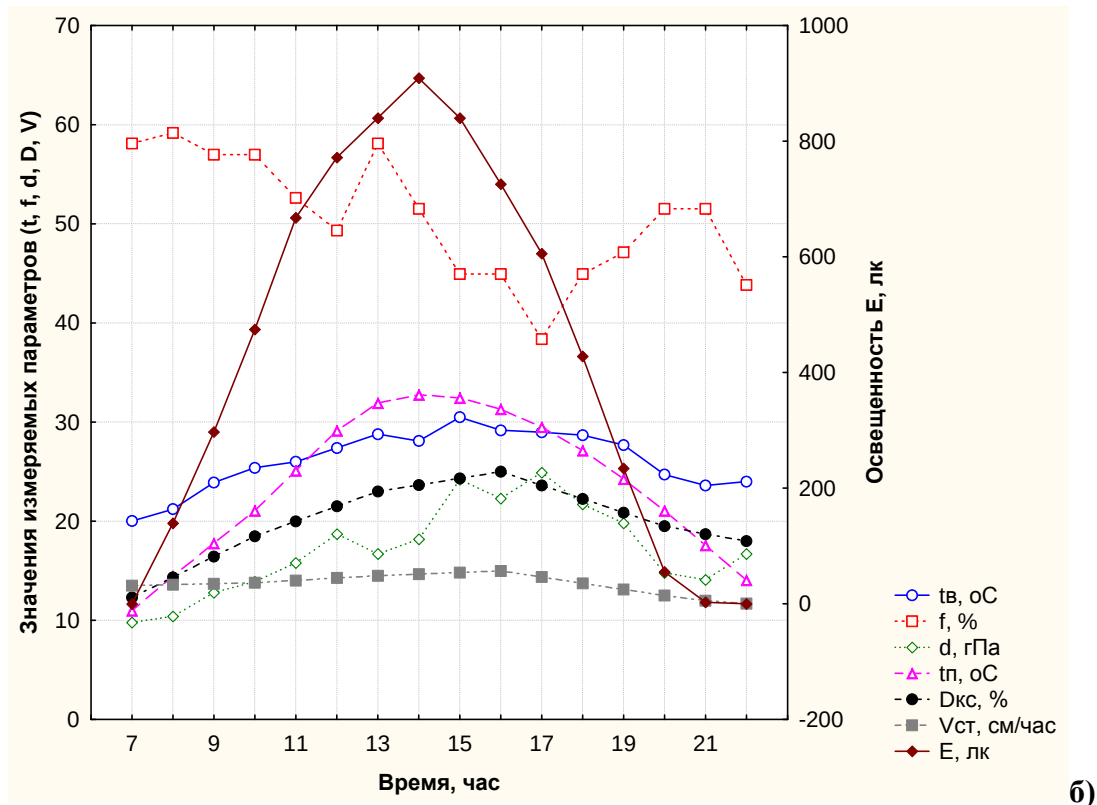


Рис. 2 Суточный ход изменения параметров среды и водного режима

а) *Euonymus japonica* (Бересклет японский)

б) *Aucuba japonica* (Аукуба японская)

Где: t_v – температура воздуха, °C; f – относительная влажность воздуха, %; d – дефицит влажности воздуха, гПа; t_p – температура почвы, °C; E – освещенность, лк; $Дкс$ – дефицит ксилемы, %; $V_{ст}$ – линейная скорость ксилемного потока, см/час)

Ранее нами был разработан ряд методов для определения относительной засухоустойчивости растений [3, 4, 5]. Применительно к нашим исследованиям для 8 видов растений дефицит влажности ксилемы рассчитывался по формуле (1):

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

где: $Дкс.$ – дефицит влажности ксилемы, %;

A – текущее значение амплитуды теплового импульса, отн. ед.;

A_{max} – максимальное значение амплитуды теплового импульса, отн. ед.

В наших экспериментах дефицит влажности ксилемы изучаемых видов находился в диапазоне 14,6% - 25,0% и был равен в порядке убывания: *A. japonica* (аукуба японская) – 25,0%, *P. heterophyllum* (питтоспорум разнолистный) – 18,9%, *L. officinalis* (лавровишня лекарственная) – 17,5%, *E. japonica* (бересклет японский) – 17,3%, *B. sempervirens* (самшит вечнозеленый) – 16,6%, *Ch. praecox* (зимоцвет ранний) – 16,2%, *V. tinus* (калина вечнозеленая) – 15,7%, *C. mas* (кизил мужской) – 14,6%.

Чтобы выявить общие закономерности изменения параметров водного обмена, характеризующие количественные зависимости между физиологическими характеристиками водного режима растений и параметрами внешней среды, мы попытались построить математическую модель, позволяющую прогнозировать

изучаемые зависимости с приемлемой точностью. Для этого мы построили уравнение множественной линейной регрессии, в котором независимыми переменными являлись условия внешней среды $X_1 - X_5$ (см. ниже), зависимой переменной являлся дефицит влажности ксилемы в стволе растения – Дкс, %.

- 1 – температура воздуха, °C (X_1);
- 2 – относительная влажность воздуха, % (X_2);
- 3 – дефицит влажности воздуха, гПа (X_3);
- 4 – температура поверхности почвы, °C (X_4);
- 5 – освещенность, лк (X_5).

Уравнение имеет следующий вид:

$$\text{Дкс, \%} = a_0 + a_1 \times X_1 + a_2 \times X_2 + a_3 \times X_3 + a_4 \times X_4 + a_5 \times X_5.$$

Подставив полученные параметры среды (28.08.2014 г.) в уравнение имеем для *P. heterophyllum* (Питтоспорум разнолистный):

$$\text{Дкс, \%} = 2,8089 - 0,5040 \times X_1 + 0,1802 \times X_2 + 0,5464 \times X_3 + 0,2528 \times X_4 - 0,0001 \times X_5,$$

$$R^2 = 0,9895 \text{ – коэффициент детерминации.}$$

Для *B. sempervirens* (Самшит вечнозеленый):

$$\text{Дкс, \%} = 11,69 + 0,1636 \times X_1 - 0,1478 \times X_2 - 0,1888 \times X_3 + 0,3488 \times X_4 - 0,0065 \times X_5$$

$$R^2 = 0,9479.$$

Для *E. japonica* (Бересклет японский):

$$\text{Дкс, \%} = 8,1090 + 0,1101 \times X_1 - 0,0806 \times X_2 - 0,0304 \times X_3 + 0,3594 \times X_4 - 0,0070 \times X_5$$

$$R^2 = 0,9793$$

Для *Ch. praecox* (Зимоцвет ранний):

$$\text{Дкс, \%} = 3,7516 - 0,0502 \times X_1 + 0,008 \times X_2 + 0,1714 \times X_3 + 0,4227 \times X_4 - 0,0057 \times X_5$$

$$R^2 = 0,9812$$

Для *V. tinus* (Калина вечнозеленая):

$$\text{Дкс, \%} = 8,4648 + 0,0994 \times X_1 - 0,0986 \times X_2 - 0,0369 \times X_3 + 0,3651 \times X_4 - 0,0034 \times X_5$$

$$R^2 = 0,9717$$

Для *C. mas* (Кизил мужской):

$$\text{Дкс, \%} = 9,0391 + 0,1964 \times X_1 - 0,1268 \times X_2 - 0,0837 \times X_3 + 0,2667 \times X_4 - 0,0008 \times X_5$$

$$R^2 = 0,9626$$

Для *L. officinalis* (Лавровишня лекарственная):

$$\text{Дкс, \%} = 14,3608 + 0,4695 \times X_1 - 0,2416 \times X_2 - 0,3897 \times X_3 + 0,3380 \times X_4 - 0,0047 \times X_5$$

$$R^2 = 0,9726$$

Для *A. japonica* (Аукуба японская):

$$D_{кс}, \% = 16,7119 + 0,8671 \times X_1 - 0,3375 \times X_2 - 0,6430 X_3 + 0,4076 \times X_4 - 0,0019 \times X_5$$

$$R^2 = 0,9814$$

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что точность моделей достаточно высокая, коэффициенты детерминации находятся в пределах 0,9479 – 0,9895, что вполне приемлемо для биологических объектов.

Полученные таким образом зависимости позволяют рассчитать дефицит влажности ксилемы исследуемых видов в зависимости от параметров окружающей среды в любой момент времени с шагом 1 час.

На рисунках 3 - 4 показаны экспериментальные и расчетные значения дефицита влажности ксилемы для *C. mas* (Кизил мужской), *V. tinus* (Калина вечнозеленая), *E. japonica* (Бересклет японский) и *A. japonica* (Аукуба японская).

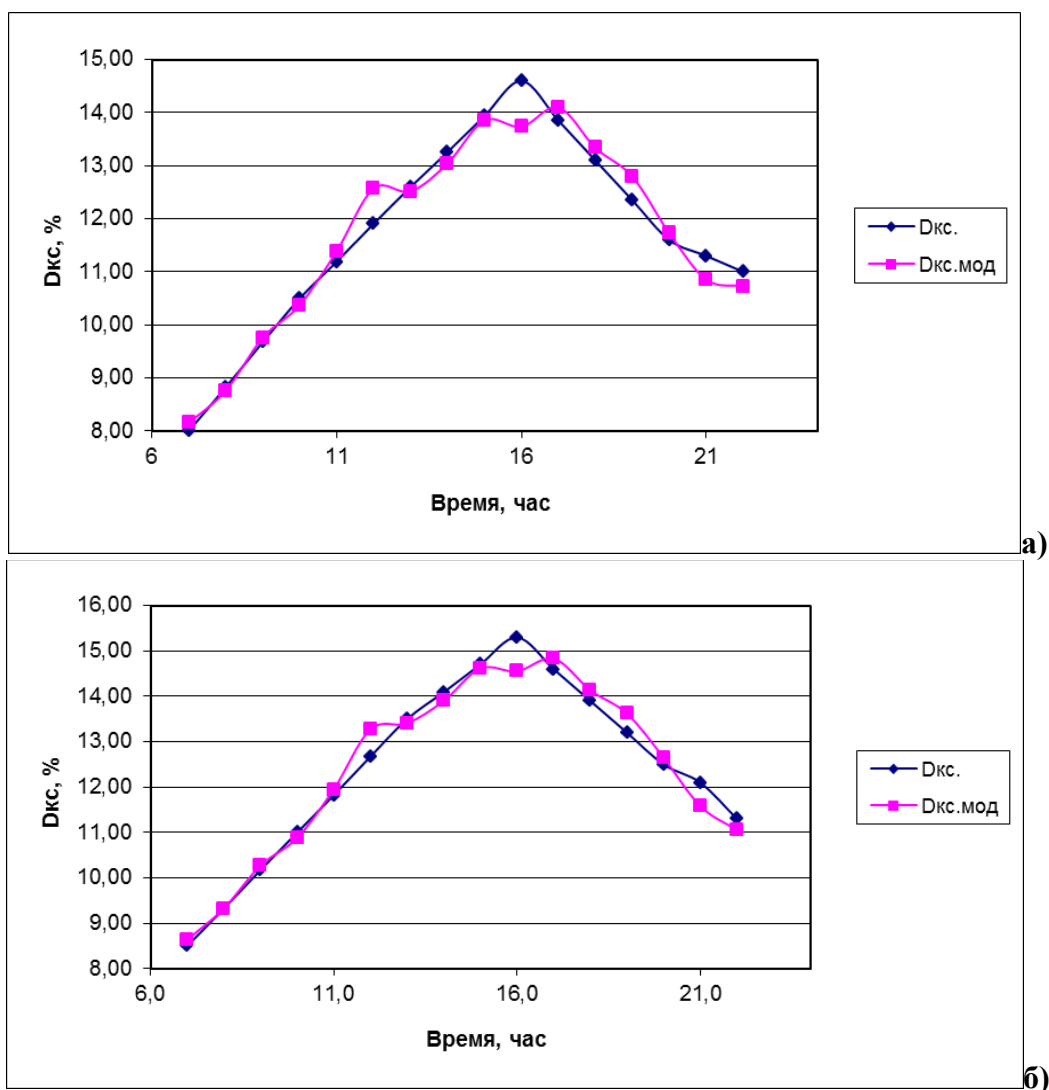


Рис. 3 Суточные изменения дефицита влажности ксилемы

а) *Cornus mas* (Кизил мужской)

б) *Viburnum tinus* (Калина вечнозеленая)

Dкс – экспериментальная кривая;

Dкс.мод. – теоретическая кривая

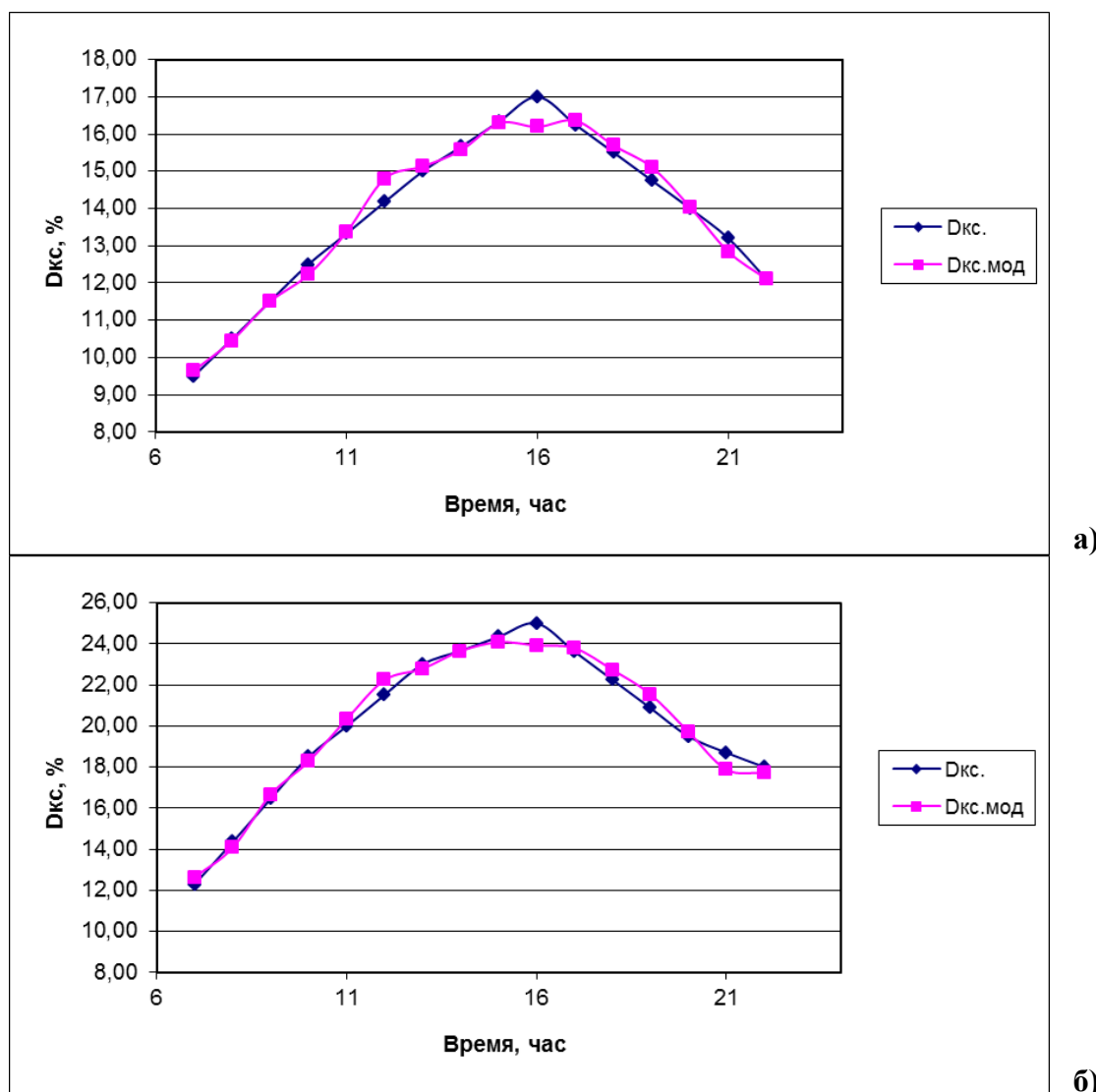


Рис. 4 Суточные изменения дефицита влажности ксилемы

а) *Euonymus japonica* (Бересклет японский)

б) *Aucuba japonica* (Аукуба японская)

Дкс – экспериментальная кривая;

Дкс.мод. – теоретическая кривая

Учитывая, что наиболее чувствительным при изучении особенностей водного режима и засухоустойчивости является метод определения коэффициента водного стресса, одновременно с определением влажности ксилемы при помощи этого же датчика мы измеряли линейную скорость ксилемного потока [3]. Этот параметр позволяет определить взаимосвязь между коэффициентом водного стресса и засухоустойчивостью изучаемых видов растений. Линейная скорость ксилемного потока, определялась по формуле (2):

$$V = K/t_0 \quad (2)$$

где : V - линейная скорость, см/ч;

K - постоянный коэффициент при определенной геометрии элементов датчика;

t_0 – время прохождения импульса между нагревателем и микротермопарой датчика (ч).

Зависимость линейной скорости ксилемного потока ($V_{ст}$) от условий внешней среды ($X_1 - X_5$ обозначения те же, что и в уравнениях дефицита влажности ксилемы Дкс) выражается уравнением регрессии:

для *P. heterophyllum* (Питтоспорум разнолистный):

$$V_{ст}, \text{ см/час} = -1,40379 - 1,0550 \times X_1 + 0,3832 \times X_2 + 0,9943 \times X_3 + 0,0893 \times X_4 - 0,0010 \times X_5,$$

$$R^2 = 0,9728 - \text{коэффициент детерминации.}$$

Для *B. sempervirens* (Самшит вечнозеленый):

$$V_{ст}, \text{ см/час} = 11,37 - 0,0732 \times X_1 - 0,0410 \times X_2 + 0,0447 \times X_3 + 0,1124 \times X_4 + 0,00003 \times X_5$$

$$R^2 = 0,8875.$$

Для *E. japonica* (Бересклет японский):

$$V_{ст}, \text{ см/час} = -0,6976 - 0,5293 \times X_1 + 0,2158 \times X_2 + 0,5982 \times X_3 + 0,1379 \times X_4 - 0,00002 \times X_5$$

$$R^2 = 0,9658$$

Для *Ch. praecox* (Зимоцвет ранний):

$$V_{ст}, \text{ см/час} = 2,5629 - 0,4506 \times X_1 + 0,1933 \times X_2 + 0,5415 \times X_3 + 0,0368 \times X_4 + 0,0008 \times X_5$$

$$R^2 = 0,8866$$

Для *V. tinus* (Калина вечнозеленая):

$$V_{ст}, \text{ см/час} = 6,542 - 0,1909 \times X_1 + 0,0549 \times X_2 + 0,1934 \times X_3 + 0,1945 \times X_4 - 0,0004 \times X_5$$

$$R^2 = 0,9873$$

Для *C. mas* (Кизил мужской):

$$V_{ст}, \text{ см/час} = 2,2083 - 0,3830 \times X_1 + 0,0759 \times X_2 + 0,4031 \times X_3 + 0,3779 \times X_4 - 0,0010 \times X_5$$

$$R^2 = 0,9785$$

Для *L. officinalis* (Лавровишня лекарственная):

$$V_{ст}, \text{ см/час} = 2,1884 - 0,6604 \times X_1 + 0,2669 \times X_2 + 0,7351 \times X_3 + 0,0761 \times X_4 + 0,0019 \times X_5$$

$$R^2 = 0,9573$$

Для *A. japonica* (Аукуба японская):

$$V_{ст}, \text{ см/час} = 5,1957 - 0,6370 \times X_1 + 0,2482 \times X_2 + 0,6446 \times X_3 + 0,0207 \times X_4 + 0,0024 \times X_5$$

$$R^2 = 0,9446$$

Коэффициент водного стресса данных видов в условиях водного дефицита (см. выше уравнения линейной регрессии) изменялся от 0,68 (*C. mas* (Кизил мужской)) до 0,90 (*A. japonica* (Аукуба японская)) и распределялся в порядке убывания: *A. japonica* (Аукуба японская) – 0,90; *Ch. praecox* (Зимоцвет ранний) – 0,83; *L. officinalis* (Лавровишня лекарственная) – 0,80; *B. sempervirens* (Самшит вечнозеленый) – 0,72; *E. japonica* (Бересклет японский) – 0,708; *P. heterophyllum* (Питтоспорум разнолистный) – 0,703; *V. tinus* (Калина вечнозеленая) – 0,69; *C. mas* (Кизил мужской) – 0,68.

Из экспериментов по изучению зависимости линейной скорости ксилемного потока от основных факторов внешней среды можно сделать вывод, что наиболее генотипически засухоустойчив из исследуемых нами видов кустарников *C. mas* (Кизил мужской), наименее – *A. japonica* (Аукуба японская).

На рисунках 5 – 6 отражены экспериментальные и расчетные изменения линейной скорости ксилемного потока в светлое время суток для *C. mas* (Кизил мужской), *V. tinus* (Калина вечнозеленая), *E. japonica* (Бересклет японский) и *A. japonica* (Аукуба японская).

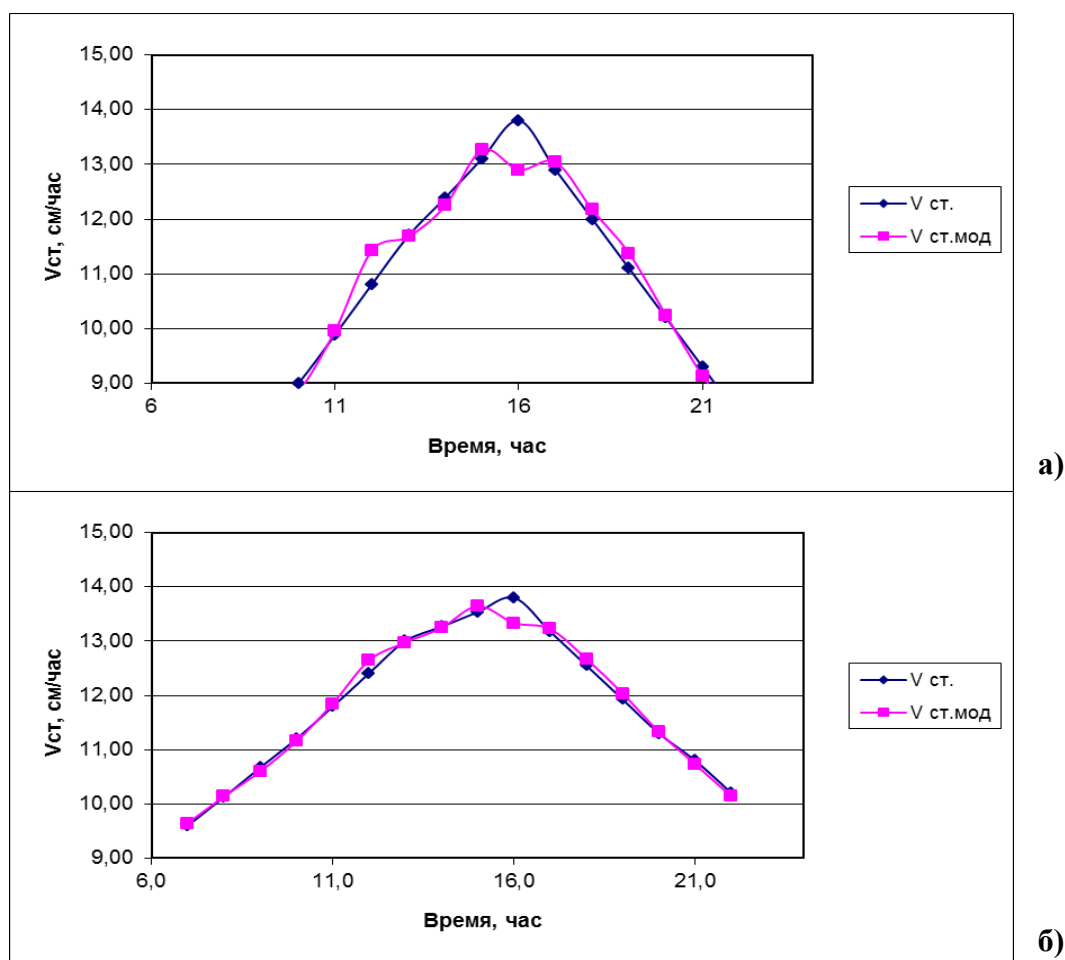


Рис. 5 Суточные изменения линейной скорости ксилемного потока

а) *Cornus mas* (Кизил мужской)

б) *Viburnum tinus* (Калина вечнозеленая)

V ст. – экспериментальная кривая; V ст. мод. – теоретическая кривая

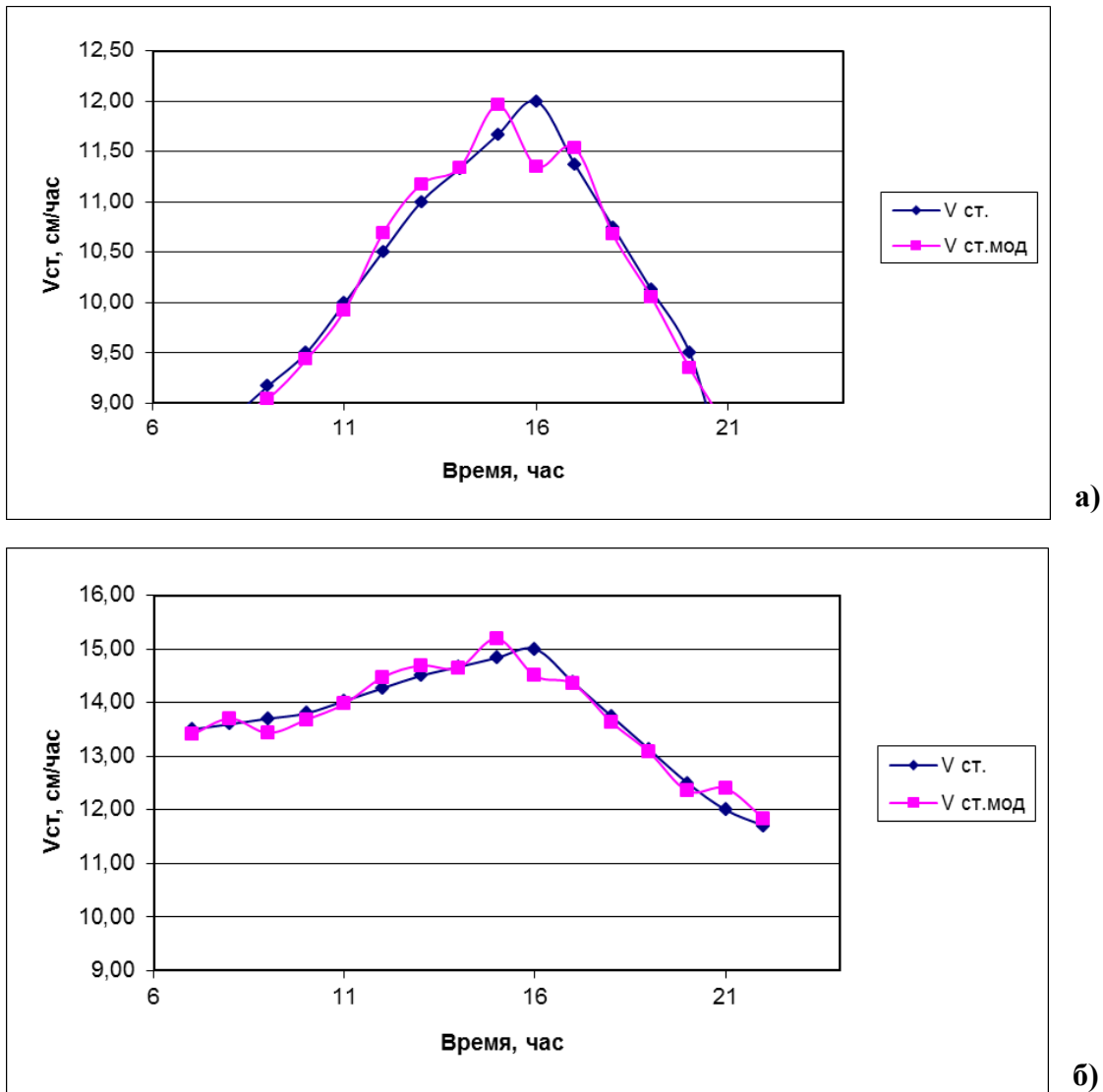


Рис. 6 Суточные изменения линейной скорости ксилемного потока

а) *Euonymus japonicus* (Бересклет японский)

б) *Aucuba japonica* (Аукуба японская)

V ст. – экспериментальная кривая;

V ст. мод. – теоретическая кривая

Анализ кривых (рис. 3 – 6) показывает, что разница между экспериментальными и расчетными значениями не превышает 10-15%, что вполне приемлемо для расчета модели биологических объектов.

Полученные результаты исследований позволяют уточнить известные из научной литературы данные об особенностях водного режима и засухоустойчивости изучаемых видов растений и рекомендовать их для выращивания в конкретном географическом регионе.

Выводы

1. Произведена оценка изменения факторов среды под кронами изучаемых видов кустарников (освещенности, температуры и влажности воздуха, влажности почвы).

2. Использование методологии фитомониторинга позволило исследовать физиологические характеристики водного режима изучаемых видов и выявить общие закономерности в изменении их водного обмена в зависимости от изменения основных факторов внешней среды. Показана возможность использования методов фитомониторинга в создании основ системного анализа водного стресса и разработке методов прижизненной диагностики относительной засухоустойчивости видов.

3. Предложены экспресс-методы диагностики особенностей водного режима и относительной засухоустойчивости изучаемых видов, на один из них нами получен патент (Способ определения дефицита влажности ксилемы).

4. Изучены зависимости между экофизиологическими характеристиками исследуемых видов растений и основными факторами внешней среды, построены динамические модели этих зависимостей, разница между экспериментальными и расчетными значениями не превышает 10-15%, что вполне приемлемо для прогностических целей в биологии.

5. Результаты проведенных исследований имеют общебиологическую значимость и могут рассматриваться как источник дополнительной информации при сравнительной оценке степени засухоустойчивости растительных объектов, а также разработке критерия оценки генотипической засухоустойчивости видов и сортов, позволяющего дифференцировать их при дальнейшей паспортизации.

6. Разработанные методы диагностики относительной засухоустойчивости могут быть рекомендованы для использования на практике при оценке свойств и выборе видов наиболее адаптированных к конкретным условиям выращивания.

Список литературы

1. *Антюфеев В.В.* Микроклиматическая изменчивость термических ресурсов вегетационного периода на Южном берегу Крыма // Труды Никит. ботан. сада. – 2003. – Т. 121. – С. 137 – 145.
2. *Важов В.И., Антюфеев В.В.* Оценка микроклимата территории Никитского ботанического сада // Труды Никит. ботан. сада. – 1984. – Т. 93. – С. 118 – 127.
3. *Ильницький О.А., Бойко М.Ф., Федорчук М.И.* и др. Основы фитомониторинга (мониторинг физиологических процессов в растениях. – Херсон, 2005. – 345 с.
4. *Ильницький О.А., Бойко М.Ф.* Динамика влажности ксилемы у ствола плодовых культур семейства *Rosaceae*. // Черноморский ботанический журнал. - Херсон, 2006. – Т. 2. – № 2. – С. 60 – 71.
5. *Ильницький О.А., Лищук А.И., Нилов Н.Г., Радченко С.С.* Способ определения дефицита влажности древесных интактных растений // Патент на изобретение Украина № 49791 приоритет от 17.02.1995 г. опубликовано 15.10.2002 г. – Бюлл. № 10.
6. *Ильницький О.А., Ушкаренко В.А., Федорчук М.И., Радченко С.С., Бондарчук С.В.* Методология и приборная база фитомониторинга. Учебное пособие./ Херсонский государственный аграрный университет. – Херсон, 2012. – 124 с.
7. *Ильницький О.А., Щедрін А.Н., Грамотенко А.П.* Экологический мониторинг. – Донецк, 2010. – 293 с.
8. *Казимирова Р.Н., Антюфеев В.В., Евтушенко А.П.* Принципы и методы агроэкологической оценки территории для зеленого строительства на Юге Украины. – К.: Аграрна наука. – 2006. – 118 с.
9. *Карманов В.Г., Рябова Е.П.* Прибор для регистрации относительных изменений скоростей водного потока по растению // Сб. тр. по агрономической физике. – Л., 1968. – Вып. 16. – С. 81 – 87.
10. *Куликов Г.В.* Вечнозеленые лиственные деревья и кустарники // Труды Никит. бот. сада. – 1971. – Т. 50. С. 49 – 86.

11. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3, часть 1 // Метеорологические наблюдения на станциях / Под ред. Г.И. Слабкович. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 302 с.

12. Тихов П.В. Применение импульсного метода для измерения водопотребления древесными растениями // Биофизические методы исследований в экофизиологии древесных растений. – Л.: Наука, 1979. – С. 98 – 106.

13. Улейская Л.И. Дендрофлора Массандровского парка и оценка ее состояния в начале 21-го столетия // Бюлл. Гос. Никитского ботанического сада. – 2007. – Вып. 94. – С. 31 – 37.

14. Huber B., Schmidt E. Aine Kompensationsmethode zur thermoelektrischen Messung landsamer Saftsrome // Ber. deut. B.t. Ges. – 1937. – Bd. 55. – P. 514 – 529.

15. Marschall D.C. Measurement of sap flow in conifers by heat transport // Plant Physiol. – 1958. – V. 33, №6. – P. 385 – 396.

16. TonYu., Kopyt M. Phytomonitoring information and decision-support system for crop growing // Proc. 2-nd ISIITA. – Ed. Zhao Chunjian. – Beijing, 2003. – P. 39-43.

Plugatar Yu.V., Ilitsky O.A., Kovalyov M.S., Korsakova S.P. A dynamic model of the water relationships of some bush species of lower canopy in the park phytoclimate conditions on South Coast of the Crimea // Works of the State Nikit. Botan. Gard. – 2014. – V. 139. – P. 15 – 31.

This article covers the analysis of peculiarities of water relationships and drought tolerance of eight bush species in Arboretum of Nikitsky Botanical Gardens, which grow in the lower layer phytoclimate conditions. With this purpose two rapid methods of phytomonitoring were used to get their ecophysiological characteristics. As a result of researches the dynamic models of dependence of the studied plant species ecophysiological characteristics on the main environmental factors were developed, some peculiarities of their water relationships and drought tolerance were detailed. Revealed dependence makes it possible to differentiate these plant species in accordance to drought tolerance that will allow recommend them for cultivation in the conditions of a particular region of South coast of the Crimea, taking into consideration its microclimatic features.

Key words: rapid methods, the peculiarities of the water relationships, xylem moisture deficit, relative drought resistance, simulator.