
ECOLOGICAL PHYTOCENOLOGY AND GEOBOTANY



M. V. Netsvetov Dr. Sci. (Biol.), Senior Scientist

UDK 577.3

*Donetsk botanical garden of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Donetsk, Ukraine,
e-mail: disfleur76@live.fr*

MORPHOLOGICAL AND VIBRATIONAL FEATURES OF THE TURKISH HAZEL AT THE STAND EDGE

Abstract. The arboretum of Donetsk Botanical Garden consists of about 1 000 species and form of arbors and shrubs. Trees of most stands placed at a height of lands in steppe are primary in the zonal and ecological inadequacy with natural conditions. After more than 50 years growing the conditions under crops considerably were changed. As a result of the sylvatic effect steppe herbaceous plants under crops are suppressed. But there are mixed cenomorph observed at the merge of stands because the trees meet with fool steppe condition at the edge. Some morphological and dynamic treats might supposed as markers of the ecotone between steppe and tree stands. The main dynamic characteristics of the trees, i.e. frequency and damping ratio of oscillations, are derivatives from the general morphology, tissues mechanics, and soil type.

The idea of how dynamic characteristics correspond transition from inner part of stand to edges was the main aim of the paper. Thereafter differences of general morphology and vibrational parameters of trees at inner stand and margin are shown at the study. The conditions of the ecotone side of the stand affect on the value and correlations between morphological and vibrational characteristics investigated.

Studying stand consists of 35 age old *Corylus colurna* tree acclimatized in Donetsk Botanical Garden (48°00'29" N, 37°53'17"E). Primary stand density was 1600 tree per ha until 2007–2008 when one line of *Phellodendron amurense* tree was cut. This resulted increasing of light intensity under crop but subsequently low wind speed in inner site of the stand in 2009–2010. There were created two experimental groups of trees for studying the effect of wind on their general morphology and vibrational characteristics, 1) trees from the edge and 2) inner site of the stand, and two groups of trees for examination the effect of wind on leaves structure and biomechanics, 1) trees from the edge and 2) from the inner part with the cutting.

The trees from the margin part of the stand differ from the others by several treats. The trunks average height is smaller and the average diameter is greater than in inner part of the stand. The marginal conditions result crown asymmetry, i.e. increasing of mean vector value, and significant crown orientation for grouping data. The anchorage root distribution is bimodal both in the inner and marginal parts of the stand. Into inner part of the stand the mean direction of root primary growth correlates with crown horizontal projection orientation, but at the edge it is shifted toward mean wind direction. This indicates the roots of trees at the edge experience more intensive wind load and acclimatize by means of anchorage distribution around the stem.

© M. V. Netsvetov, 2013

The vibrational characteristics which are partially dependent from general morphology are also differing in the margin part of the stand. The frequency and damping ratio have greater value in the first two lines of the stand. At the growth period the dynamic characteristics of trees from edge differ about two times from inner part of the stand. After leaf fall mass of crowns diminish, damping ratio and frequency of stem oscillation increase in both sites. High dynamic characteristics and reduced crown vertical projection both lead to growth of the trees resistance to the wind loads.

There is also studied the leaves structure of trees from two contrasting by mean wind speed condition but same in light intensity. The wind effect consists mainly in petioles shortening and so higher wind resistance to the leaves. At ones petiole diameter growth is account for increasing of related value of collenchymas, i.e. a tissue more flexible and more resistant to the tension force than sclerenchyma. The allometry of leaves is also depends on wind load during their growth and maturing. The length of the petiole gradually falls, and the diameter and stiffness rise with the leaf area in both groups. But slopes of the lines are larger in group of leaves from opened to the wind sites.

Another leaves adaptation to the high speed winds is curling of the blade and same with many other plant species. So the leaves of the turkish hazel keep a stable position during moderate winds and prevent light hit under canopy but with mean wind speed higher ~10 mph they curl and reduce wind pressure on the crowns.

Among examine features the vibrational characteristics, i.e. frequencies and damping ratio, shown the most considerable changes of value and might be use for indicating of marginal zones of stands or ecotone conditions between arbor and herbaceous coenocis. The main results are discussed in the paper.

Key wards: tree stand, trunk, crown, asymmetry, vibrations.

УДК 577.3

М. В. Нецветов

д-р біол. наук,
пров. наук. спів.

*Донецький ботанічний сад НАН України,
м. Донецьк, Україна,
e-mail: disfleur76@live.fr*

МОРФОЛОГІЧНІ ТА ВІБРАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ ЛІЩИНИ ДЕРЕВОВИДНОЇ НА МЕЖІ ДЕРЕВОСТАНУ

Показано, що у дерев ліщини деревовидної з граничної та внутрішньої частин деревостану різниця загальних морфометричних характеристик та вібраційних параметрів відображають відповідні зміни фізичних умов зростання. Умови екотону впливають на величину та кореляцію між собою морфологічних та вібраційних параметрів. Найбільші зміни (на ~200%) при переході від центру до краю деревостану відмічено у вібраційних характеристик стовбурів (декремент згасання та частота коливань), що можуть використовуватись як індикатори маргінальної зони деревостану.

Ключові слова: деревостан, стовбур, крона, асиметрія, вібрація.

УДК 577.3

М. В. Нецветов

д-р биол. наук,
вед. науч. сотр.

*Донецкий ботанический сад НАН Украины,
г. Донецк, Украина,
e-mail: disfleur76@live.fr*

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ВИБРАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕЩИНЫ ДРЕВОВИДНОЙ НА ГРАНИЦЕ ДРЕВОСТОЯ

Показано, что у деревьев лещины древовидной с пограничной и внутренней частей древостоя разница общих морфометрических характеристик и вибрационных параметров отражают соответствующие изменения физических условий произрастания. Условия экотона влияют на величину и корреляцию между собой морфологических и вибрационных параметров. Наибольшие изменения (на ~200%) при переходе от центра к краю древостоя

отмечено у вибрационных характеристик стволов (декремент затухания и частота колебаний), которые могут использоваться как индикаторы маргинальной зоны древостоя.

Ключевые слова: *древостой, ствол, крона, асимметрия, вибрация*

ВВЕДЕНИЕ

В дендрарии Донецкого ботанического сада (ДБС) Национальной академии наук Украины произрастает около тысячи видов и форм древесных растений. Дендрарий примыкает к Богодуховской балке, но большая часть насаждений расположена на плакорной части. Насаждения представляют собой классический пример амфиценозов, в понимании А. Л. Бельгарда (1948, 1960, 1971): растительные группировки, представленные видами различных ценоморф, и как следствие не имеют строго выдержанной ценоморфической структуры. Несмотря на экологическое несоответствие условиям произрастания, большинство древостоев благодаря световой структуре, препятствуют развитию внутри них степной травянистой растительности. Конкуренция между древесными и травянистыми видами обостряется на границах куртин, массивов и групп, т.е. в экотонах, по Ф. Э. Клементсу (Clements, 1905, с. 277–278, 281): линия напряжения между двумя формациями, в которой происходят резкие или постепенно накапливаемые изменения их характеристик.

Специфические условия на границах древостоев обуславливают формирование морфологически отличных деревьев от основной массы растений внутри куртин. Однако не существует единого мнения, какие именно факторы приводят к таким отличиям: снижение конкуренции за свет с другими деревьями, увеличение конкуренции за влагу со степной растительностью, более интенсивное воздействие ветров (Brüchert, Gardiner, 2006). Морфологические отличия растений граничной зоны представляют собой «компромиссный» ответ на действие нескольких факторов, значения которых выходят за пределы экологического оптимума. Мало исследованными являются прямые или опосредованные следствия таких отличий. Например, изменение биомеханики дерева, от которой зависит его устойчивость к статическим, гравитационным, и динамическим, ветровым, нагрузкам, его вибрационные характеристики, которые имеют экологическое значение, воздействуя на компоненты биогеоценозов и структурные связи в нём (Нецветов, 2011, 2012).

В настоящей работе мы изучили морфологические особенности лещины древовидной на границе древостоя и определили, как они отражаются на их механической устойчивости и вибрационных свойствах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе определяли морфологические и динамические характеристики стволов, диаметр и направление роста поверхностных корней, а также строения и биомеханики черешков листьев медвежьего ореха *Corylus colurna* L. при действии ветра. Исследования проводили в одновозрастном (35 лет) древостое с доминированием медвежьего ореха *Corylus colurna*, успешно акклиматизированного (Поляков, 2009) в Донецком ботаническом саду, г. Донецк, юго-восток Украины (48°00'29" СШ, 37°53'17" ВД). Изначально плотность насаждения составляла 1600 деревьев/га при площади ~0,5 га, в 2007–2008 г. В 2007–2008 гг. была проведена вырубка одного ряда усыхающих растений *Phellodendron amurense* Rupr., приведшая к усилению освещенности внутри древостоя. Созданные условия позволили сформировать две группы деревьев, отличающихся по интенсивности действия ветра на крону: 1) произрастающие на краю древостоя восточной и юго-восточной экспозиции; 2) произрастающие в середине древостоя, обращенные к образованной просеке.

Интенсивность света, падающего на листья исследованных деревьев внутри древостоя в ясные дни, составляла $28,3 \pm 7,94 \cdot 10^3$ люкс, а на опушке $29,7 \pm 8,14 \cdot 10^3$ люкс. Скорость ветра в защищенном месте за период наблюдений колебалась от 0 до $1,9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, на открытом – от 0 до $11,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Влияние ветра на морфологию и динамические свойства деревьев изучали, сравнивая деревья, произрастающие на краю древостоя

Среднюю скорость ветра и интенсивность света измеряли в период формирования и роста листовых пластинок (апрель–май 2010 г.).

У деревьев на разном расстоянии от опушки определяли средний диаметр на высоте 1,3 м и в основании ствола, высоту ствола, средний диаметр и длину кроны. С помощью пьезоэлектрического датчика и осциллоскопа определяли динамические параметры деревьев: частоту и декремент затухания (Netsvetov, Nikulina, 2010). Измерение дендрометрических и динамических параметров проведено в 2009 г.

Для исследования в середине лета (конец июля) отбирали целые листья на высоте 1,8–2,5 м с побегов старше двух лет, незатененные другими листьями с ровным в основании черешком и листовой пластинкой, расположенной в плоскости, близкой к горизонтальной ($\pm 30^\circ$). Всего было отобрано 75 листьев: 40 из открытого и 35 из защищенного от ветра места. Сразу после сбора и удаления листовой пластинки края черешков замачивали варом для подтверждения потери влаги и определяли их коэффициент жесткости (C), модуль упругости (E) и гибкость ($1/E$). Измерения проводили по К. Дж. Никласу (Niklas, 1996).

Определяли длину черешка (L), массу (m) и площадь поверхности (S) листовой пластинки (л/п). Затем готовили поперечные срезы вдоль черешка и определяли диаметры: усредненный по всей длине (D), в базипетальной (db), срединной (dm) и акропетальной частях (da). На поперечных срезах черешков определяли абсолютные значения площади тканей, которые затем относили к площади всего сечения. Достоверность отличий средних значений полученных данных определяли с использованием теста Манна-Уитни. В пределах каждой группы определяли коэффициенты корреляции и их достоверность.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общие морфологические и динамические характеристики деревьев

Деревья с края древостоя отличаются большими значениями суммарного и среднего диаметров основания поверхностных корней (в $\sim 1,3$ раза) и площади горизонтальной проекции крон (в 1,9 раз). Условия произрастания на краю древостоя отражаются на асимметрии кроны, что численно выражается увеличением среднего вектора ориентации горизонтальной проекции кроны r (рис. 1, I, II). При расчете групповых значений r крон выявляется достоверная ориентация крон: в середине древостоя они направлены на юг, на краю – преимущественно в сторону открытого пространства (рис. 1, III, A, B). Значения суммарного и среднего диаметра основания поверхностных корней в наибольшей мере связаны с диаметром основания ствола, максимальным радиусом горизонтальной проекции кроны и средним вектором ее ориентации r (табл. 1).

Развитие поверхностных корней происходит в двух направлениях, о чём свидетельствует бинарное распределение их вокруг ствола (рис. 1, III, B, Г). Во внутренней части древостоя средний угол ориентации корней близок углу ориентации крон или отличается на ~ 180 градусов (коэффициент круговой корреляции равен 0,95). На краю древостоя распределение биомассы корней у основания ствола также бинарное, его связь с ориентацией проекции крон слабее (коэффициент круговой корреляции равен 0,86), но угол ориентации ($357 \pm 7^\circ$) соответствует среднему направлению ветра – $343 \pm 73^\circ$ (в выбранных координатах 0° – направление на юго-восток).

В исследованном древостое по мере удаления от его края высота стволов деревьев увеличивается, диаметр снижается (рис. 2, a). С позиций устойчивости к

действием ветра важным является соотношение высоты и диаметра ствола (Niklas, 1992; Peltola, 2006; Нецветов, 2009). Как видно из табл. 1, конусность ствола, выраженная через уменьшение диаметра в см на 1 м высоты, достоверно больше у деревьев с опушки. Эта особенность морфологии придает жесткость стволу в основании и гибкость верхней части кроны, что существенно увеличивает устойчивость дерева к действию ветра (Jaffe, 1973; Brüchert, Gardiner, 2006; Telewsky, 2006).

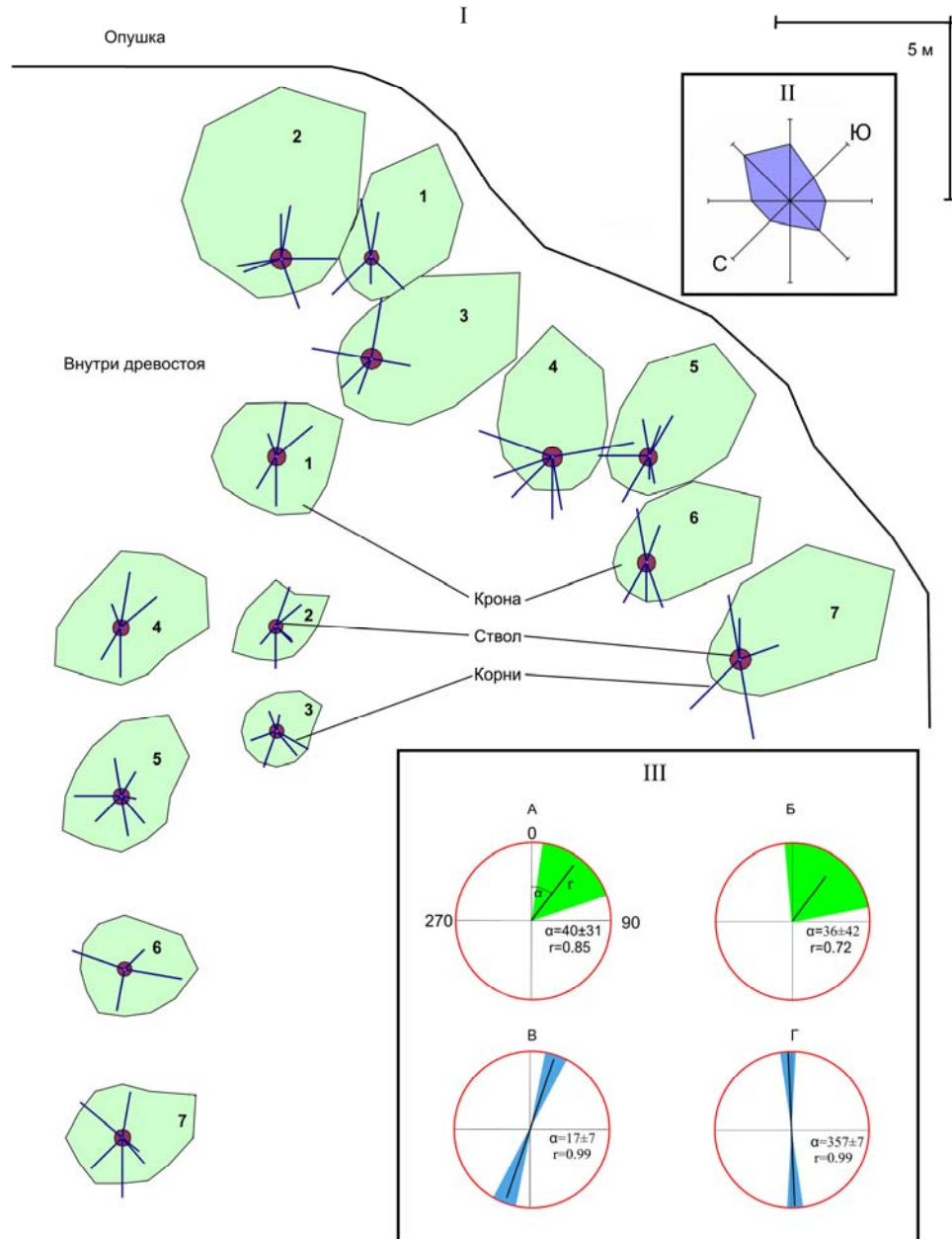


Рис. 1. Схема расположения деревьев в древостое, горизонтальные проекции кроны и направление роста корней (I); роза ветров (II); средний вектор α и угол α ориентации горизонтальной проекции кроны (а, б) и корней (в, г) (III):

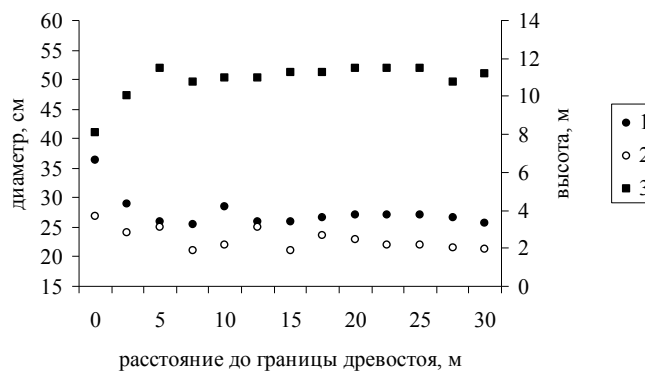
а, в – внутри древостоя; б, г – на краю древостоя

Таблица 1

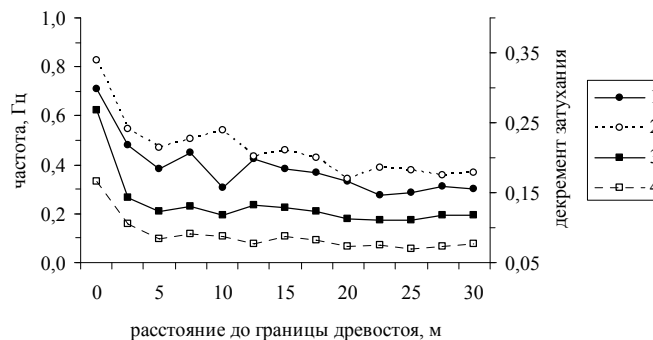
Дендрометрические параметры *Corylus colurna* из опушки и середины древостоя

Параметр	Опушка	Середина древостоя	P-значение
Количество, шт.	7	23	
Высота, м	8,1±0,23	11,1±0,7	<0,001
Диаметр на высоте 0,35 м, см	36,4±5,06	26,6±1,75	<0,001
Диаметр на высоте 1,3 м, см	26,9±1,95	22,2±1,95	<0,001
Конусность ствола, см/м*	7,4±3,29	3,4±1,62	<0,01
Высота ствола/Диаметр ствола**	30,2±1,43	50,2±5,22	<0,001
Длина кроны, м	4,6±1,48	6,6±2,51	>0,05
Диаметр кроны, м	4,9±1,18	2,8±0,67	<0,001
Максимальный радиус кроны, м	4,1±0,62	2,1±0,47	<0,001
Площадь горизонтальной проекции кроны, м ²	15,2±5,2	8,1±3,1	<0,001
Частота, Гц (август)	0,71±0,04	0,35±0,087	<0,001
Декремент затухания (август)	0,267±0,0127	0,122±0,0142	<0,001
Частота, Гц (ноябрь)	0,83±0,058	0,43±0,093	<0,001
Декремент затухания (ноябрь)	0,167±0,007	0,082±0,0133	<0,001

Примечания: * – конусность по Ф. Брюкерт и Б. Гардинер (Brüchert, Gardiner, 2006); ** – при расчете использовался диаметр ствола на высоте 1,3 м.



а



б

Рис. 2. Морфологические (А) и динамические (Б) характеристики стволов *Corylus colurna* в зависимости от расстояния до границы древостоя:

а: 1 – диаметр основания ствола; 2 – диаметр ствола на высоте груди; 3 – высота дерева;

б: 1 – частота колебаний в период вегетации; 2 – частота колебаний в период покоя;

3 – декремент затухания в период вегетации; 4 – декремент затухания в период покоя

Общие морфологические характеристики, эффективность закрепления в почве и механические свойства тканей определяют динамические свойства дерева. По мере увеличения расстояния до края древостоя декремент затухания и частота колебаний стволов деревьев уменьшаются (см. рис. 2, б). Очевидно, это связано с изменением соотношения диаметра и высоты ствола, а также с особенностями расположения массы листьев вдоль него (Netsvetov, Nikulina, 2009). Низкие значения динамических характеристик увеличивают риск повреждения деревьев ветром (Sellier, Fourcaud, 2009). При большой сомкнутости значительная часть энергии колебаний расходуется в результате соударений ветвей и стволов соседних деревьев. Кроме того, площадь контакта кроны с потоками воздуха в середине древостоя значительно ниже, чем на его краю. В период вегетации динамические характеристики деревьев с опушки в среднем в ~2,0 раза выше, чем во внутренней части древостоя (табл. 1). После листопада декремент затухания у деревьев с края и середины древостоя снижается на 38 и 33 % соответственно, а частота возрастает на 20 и 25 %. Сбрасывание листьев приводит не только к снижению массы кроны, но и уменьшению площади ее вертикальной проекции, в результате снижается сила действия ветра на дерево. Вместе с увеличением частоты колебаний это приводит к возрастанию устойчивости дерева к ветровым нагрузкам.

Морфологические, анатомические и биомеханические характеристики черешков листьев

В средней части древостоя, защищенной от интенсивных ветров, черешки листьев испытывают преимущественно статическую нагрузку, обусловленную массой листовой пластинки. С массой и площадью листовой пластинки в наибольшей мере связан диаметр черешка в основании (рис. 3, а), где изгибающая сила максимальна. Длина черешков слабо растет с увеличением размеров листа (рис. 3, б). В результате однонаправленного изменения соотношение этих морфологических показателей варьирует слабо, но достигаемая при этом жесткость (рис. 3, в) обеспечивает стабильность положения листовых пластинок разной массы. У листьев, которые подвергались действию ветра, зависимость диаметра черешка от размеров листовой пластинки выражена сильнее, чем у листьев, собранных с закрытой от ветра стороны (рис. 3, а). Вместе с тем, при действии ветра на листья обнаруживается тенденция к укорочению черешка и росту его жесткости с увеличением размера листа (рис. 3, б, в). При обдувании ветром листья на укороченных жестких черешках испытывают большую нагрузку, чем на гибких (Vogel, 2009). По всей видимости, это свойство компенсируется: 1) способностью листьев *Corylus colurna* сворачиваться в конус, что мы наблюдали при действии ветра со скоростью более 10 м/с; 2) значительным ростом относительного объема колленхимы у поверхности черешка и уменьшением объема склерифицированной ткани (табл. 2).

Таблица 2

Относительная площадь тканей в поперечном сечении черешка листа <i>Corylus colurna</i>			
Ткань	Опушка	Середина древостоя	P-значение
Колленхима	0,23±0,02	0,19±0,02	<0,001
Паренхима	0,37±0,02	0,39±0,04	>0,05
Проводящие пучки	0,31±0,02	0,32±0,05	>0,05
Склеренхима	0,08±0,01	0,10±0,01	>0,05

Изменение морфологии ствола медвежьего ореха в опушке может быть вызвано несколькими причинами или их сочетанием: 1) деформацией и напряжением, вызванными изгибами ствола под действием ветра; 2) статической гравитационной

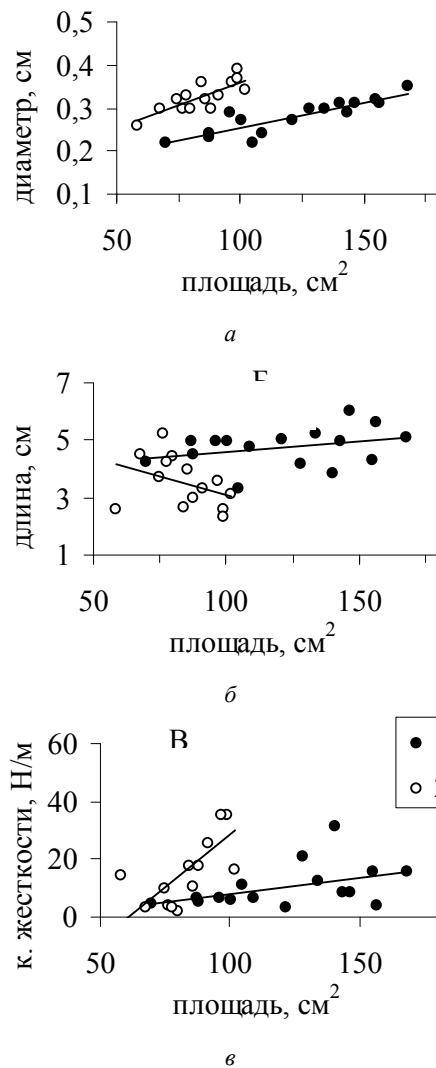


Рис. 3. Зависимость диаметра основания (а), длины (б) и коэффициента жесткости (в) черешка от площади листовой пластинки *Corylus colurna* на краю (1) и в середине древостоя (2).

Уравнения регрессии: а: $y_1 = 0,001x + 0,11$ ($R^2 = 0,78$); $y_2 = 0,002x + 0,14$ ($R^2 = 0,65$);
 б: $y_1 = 0,007x + 3,8$ ($R^2 = 0,11$); $y_2 = -0,0265x + 5,746$ ($R^2 = 0,15$);
 в: $y_1 = 0,12x - 3,6$ ($R^2 = 0,20$); $y_2 = 0,74x - 45,3$ ($R^2 = 0,48$)

механической нагрузкой, создаваемой значительной массой кроны; 3) гидравлическими особенностями, связанными с маргинальным местом произрастания (Niklas, Spatz, 2004). Наблюдаемые нами изменения направления и интенсивности роста поверхностных корней, способствующие эффективному закреплению дерева в почве, и морфологии ствола, увеличивающие жесткость, приводят к возрастанию частоты колебаний растения. Такая же закономерность была обнаружена Ф. Брюкерт и Б. Гардинер (Büchert, Gardiner, 2006) в насаждениях ели ситкинской *Picea sitchensis*. Однако в их исследовании декремент затухания колебаний снижался пропорционально расстоянию от границы древостоя, что противоречит полученным нами данным. Очевидно, противоречие связано с тем, что Ф. Брюкерт и Б. Гардинер в качестве опушечных изучали деревья, произрастающие на расстоянии 10 м от границы древостоя, а в нашей работе это были

деревья непосредственно из опушки. Как показано выше, у деревьев на расстоянии 10 м от опушки морфологические и динамические показатели ближе к деревьям из середины древостоя.

Высокоэффективные адаптации листа к ветру обеспечиваются анатомо-морфологическими изменениями листьев в ущерб другим их функциям (Read, Stokes, 2006), поэтому, как правило, в полной мере они развиваются лишь при наличии ветра во время формирования листа. Так, у сассафраса беловатого *Sassafras albidum* на открытом ветреном месте формируются более широкие листья с выраженными лопастями (Soyza, Kinkaid, 1991). У листьев с верхней обдуваемой ветром части кроны *Pourouma tomentosa* базальные лопасти более глубокие (Kinkaid et al., 1998), что облегчает сворачивание листа в конус.

Механическая стимуляция *Arabidopsis thaliana* приводит к формированию короткой и гибкой оси соцветия (Paul-Victor, Rowe, 2011). У овсяницы тростниковой *Festuca arundinacea* в результате механической нагрузки увеличиваются модуль упругости и жесткость (Grace, Russell, 1977). Аналогичная реакция растений различных видов на механические стимулы была описана ранее многими авторами (см. обзор Telewski, 2006), в том числе и отечественным ученым В. Ф. Раздорским (1955).

По мнению некоторых исследователей (Biddington, 1986), направление морфологической и биомеханической реакции на механическую стимуляцию зависит от жизненной формы и характера жизненного цикла растения. Однако оно может быть также связано со стратегией внутри- и межвидовой конкуренции в древостое или травостое, экологическими свойствами вида и конкретными условиями произрастания. Черешки листьев медвежьего ореха, изученных нами, имели высокие значения жесткости, достаточной для стабильного удержания листовой пластинки в положении, эффективном для восприятия света и предотвращения его проникновения в нижние ярусы. На открытом для ветра месте листовые пластинки испытывают значительное его давление, и для сохранения их положения в пространстве их черешки должны приобретать большую жесткость, которая достигается в первую очередь за счет морфологических изменений.

При скорости ветра выше 20 м/с листья деревьев испытывают очень существенные нагрузки, которые могут привести к повреждению ветвей и кроны (Vogel, 2009). В этом случае жесткость листовых пластинок является нежелательной, она компенсируется скручиванием листовой пластинки в конус. Другая приспособительная реакция – уменьшение относительного объема склеренхимы и увеличение колленхимы и паренхимы. Такое изменение анатомического строения увеличивает пластичность механических свойств черешка, поскольку колленхимная ткань может сильно растягиваться без разрушения (Jarvis et al., 1984), а ее упругость зависит от тургора и контролируется физиологическими механизмами и внешними факторами (Niklas, 1999).

ВЫВОДЫ

Деревья *Corylus colurna*, произрастающие в экотоне, приобретают следующие особенности, отличные от деревьев внутренней части древостоя. Ствол меньшей высоты и увеличенного диаметра основания. Распределение направлений роста корней первого порядка и их средний вектор ориентации, связанные с асимметрией кроны и доминирующим направлением ветра. Относительно высокие частота и декремент затухания колебаний ствола. Черешки листьев развиваются утолщёнными и укороченными, что придает им значительную жесткость для противостояния силе гравитации и ветровой нагрузке. Увеличение относительного объема колленхимы и уменьшением объема склеренхимы в тканях черешка, что позволяет испытывать значительные деформации без повреждения при обдувании и регулировать гибкость черешка при действии ветра. Адаптация к действию сильных ветров (со скоростью более 10 м/с) проявляется в способности листьев сворачиваться в конус, уменьшая сопротивление потоку воздуха и снижая

механическую нагрузку на крону. Развитие стратегии «укорочения и увеличения жесткости» черешка при действии ветра снижает интенсивность света, проходящего сквозь крону во время ветра, что создает стабильность освещения подпологового пространства. Маргинальная зона древостоя наиболее четко определяется по градиенту значений вибрационных показателей крон и включает два ряда деревьев насаждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Бельгард А. Л.** Об амфиценозах / А. Л. Бельгард // Науч. зап. ДГУ. – Д. : ДГУ, 1948. – С. 87-89.
- Belgard, A. L., 1948, "About amphicenosises", Scientific Notes of Dniepropetrovsk State University, Dniepropetrovsk, DSU, pp. 87–89.*
- Бельгард А. Л.** К теории структуры искусственного лесного сообщества в степи / А. Л. Бельгард // Искусственные леса степной зоны Украины. – Х. : Изд-во Харьков. ун-та, 1960. – С. 17-32.
- Belgard, A. L., 1960, "To theory of artificial forest association in the Steppe", Artificial forests of the Steppe zone of Ukraine, Kharkov, Kharkov University, pp. 17–32.*
- Бельгард А. Л.** Степное лесоведение / А. Л. Бельгард. – М. : Лесн. пром-сть, 1971. – 336 с.
- Belgard, A. L., 1971, "Forestation in Steppe", Moscow, Forest industry, 336 p.*
- Нецветов М. В.** Передача энергии ветра по радиалам лесных биогеоценозов и её роль в процессах почвообразования / М. В. Нецветов // Экология та ноосферология – 2011. – Т. 22, № 3-4. – С. 99-108.
- Netsvetov, M. V., 2011, "Wind energy transfer through forest biogeocenosis radials and its role in pedogenesis processes", Ecology and Noospherology, no. 3-4, pp. 99–108.*
- Нецветов М. В.** Вплив вітру на освітленість піднаметового простору *Acer saccharinum* L. та *A. pseudoplatanus* L. / М. В. Нецветов // Укр. бот. журн. – 2012. – Т. 69, № 1. – С. 46-53.
- Netsvetov, M. V., 2012, "Wind effect on light availability under canopy of A. saccharinum L. and A. pseudoplatanus L.", Ukrainian botanical journal, 69, no. 1, pp. 46–53.*
- Поляков А. К.** Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды / А. К. Поляков. – Донецк : Ноулидж, 2009. – 268 с.
- Poliakov, A. K., 2009, "Introduction of arbor plants in condition of anthropogenic environment", Donetsk, Knowledge, 268 p.*
- Раздорский В. Ф.** Архитектоника растений / В. Ф. Раздорский. – М. : Сов. наука, 1955. – 431 с.
- Razdorskiy, V. F., 1955, "Architectonics of plants", Moscow, Soviet science, 431 p.*
- Biddington, N. L., 1986,** "The effects of mechanically-induced stress in plants – a review", *Plant Growth Regulation*, 4, pp. 103–123.
- Brüchert, F., Gardiner, B., 2006,** "The effect of wind exposure on the tree aerial architecture and biomechanics of Sitka spruce (*Picea sitchensis*, Pinaceae)", *American Journal of Botany*, 93, pp. 1512–1521.
- Clements, F. E., 1905,** "Research methods in ecology", University Publishing Company, Lincoln, NE, US.
- Grace, J., Russell, G., 1977,** "The effect of wind on grasses. III. Influence of continuous drought or wind on anatomy and water relations in *Festuca arundinacea*", *Journal of Experimental Botany*, 28, pp. 268–278.
- Jarvis, M. C., Logan, A. S., Duncan, H. J., 1984,** "Tensile characteristics of collenchyma cell walls at different calcium contents", *Physiologia Plantarum*, 61, pp. 81–86.
- Kincaid, D. T., Anderson, P. J., Mori, S. A., 1998,** "Leaf variation in a tree of *Pourouma tomentosa* (Cecropiaceae) in French Guiana", *Brittonia*, 50, no. 3, pp. 324–338.
- Netsvetov, M., Nikulina, V., 2009,** "Oscillation damping by foliage of *Acer platanoides* L. saplings", *Forest Science*, XLVII, no. 2, pp. 21–30.
- Netsvetov, M., Nikulina, V., 2010,** "Seasonal variations of oscillation and vibration parameters of *Acer platanoides* L.", *Dendrobiology*, 64, pp. 37–42.
- Niklas, K. J., 1992,** "Plant biomechanics: an engineering approach to plant form and function", Chicago, University of Chicago Press, 622 p.
- Niklas, K. J., 1996,** "Differences between *Acer saccharum* leaves from open and wind-protected sites", *Annals of Botany*, 78, pp. 61–66.
- Niklas, K. J., Spatz, H.-Ch., 2004,** "Growth and hydraulic (not mechanical) constraints govern the scaling of tree height and mass", *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 104, pp. 15661–15663.

Peltola, H. M., 2006, “Mechanical stability of trees under static loads”, *American Journal of Botany*, 93, pp. 1501–1511.

Paul-Victor, C., Rowe, N., 2011, “Effect of mechanical perturbation on the biomechanics, primary growth and secondary tissue development of inflorescence stems of *Arabidopsis thaliana*”, *Annals of Botany*, 107, pp. 209–218.

Read, J., Stokes, A., 2006, “Plant biomechanics in an ecological context”, *American Journal of Botany*, 93, pp. 1546–1565.

de Soyza, A. G., Kincaid, D. T., 1991, “Patterns of leaf morphology and photosynthesis in shoots of *Sassafras albidum* (Lauraceae)”, *American Journal of Botany*, 78, pp. 89–98.

Telewski, F. W., 2006, “A unified hypothesis of mechanoperception in plants”, *American Journal of Botany*, 93, pp. 1466–1476.

Vogel, S., 2009, “Leaves in the lowest and highest winds: temperature, force and shape”, *New Phytologist*, 183, pp. 13–26.

Стаття надійшла в редакцію: 10.03.2013

Рекомендує до друку: чл.-к. НАНУ, д-р. біол. наук, проф. О. З. Глухов