

УДК 577.3

© М. В. Нецветов, В. О. Корниенко

**ВЛИЯНИЕ ЛИСТЬЕВ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ACER SACCHARINUM L. И *ACER IBERICUM* VIEB.**

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: eco99@i.ua

Нецветов М. В., Корниенко В. О. Влияние листьев на динамические характеристики *Acer saccharinum* L. и *Acer ibericum* Vieb. – О влиянии листьев и их расположения на частоту и коэффициент затухания колебаний клена с широкой листовой пластинкой и жестким черешком (*Acer saccharinum*) и узкой листовой пластинкой и гибким черешком (*A. ibericum*). Показано, что эффективность снижения частоты и увеличения коэффициента затухания колебаний при наличии листьев в большей мере проявляется у *A. saccharinum*. Наибольшее влияние на динамические характеристики *A. saccharinum* оказывают листья, расположенные в его верхней части. У *A. ibericum* высота расположения листьев имеет меньшее значение.

Ключевые слова: колебания, частота, коэффициент затухания, листья.

Введение

Эффективность приспособления растений к ветровым нагрузкам определяет их целостность, сохранность и жизнеспособность. Комплекс биохимических, физиологических и морфологических изменений, направленных на увеличение механической устойчивости растения, называют тигмоморфогенез [1, 2]. Наиболее известным примером реакции растительного организма является увеличение диаметра основания и укорочение ствола или стебля. Величина нагрузки на ствол дерева зависит от площади кроны, обдуваемой ветром, т.е. от наличия и количества листьев. Однако уменьшение площади листьев означает снижение интенсивности фотосинтеза и жизнеспособности растения, в связи с чем у древесных растений развиты механизмы временного изменения площади кроны за счет складывания листьев в кластеры или сворачивания в конус [3]. Такое «поведение» листьев проявляется при скорости ветра около 20 м/с, при меньших скоростях листья одних деревьев остаются относительно неподвижными, сохраняя эффективное для восприятия света положение, у других – легко отклоняются, создавая минимальную нагрузку на ветви. Очевидно, что листья с различным строением и биомеханикой оказывают неодинаковое влияние на динамические характеристики (частоту и затухание колебаний) растения при различном распределении вдоль ствола. В устойчивости дерева к ветровым нагрузкам частота колебаний ствола определяет возможность резонансного увеличения амплитуды раскачивания, которое может привести к выкорчевыванию или облому растения, а коэффициент затухания – эффективность рассеивания энергии колебаний [4]. В связи с этим целью работы было определить отличия влияния на параметры колебания листьев двух видов клена с различными размерами, морфологией и биомеханикой листьев.

Материал и методы исследования

Эксперименты проводили в дендрарии Донецкого ботанического сада НАН Украины на сеянцах интродуцированных клена серебристого *Acer saccharinum* L. и грузинского *A. ibericum* Vieb. Определение динамических характеристик проводили по Д. Селлеру и Т. Фурко [5] и М. Нецветову и В. Никулиной [6]. В ходе эксперимента растения подвергали последовательной дефолиации.

Результаты и обсуждение

Acer saccharinum. Высота сеянцев варьировала в пределах 0,90-1,38 м; диаметр основания 0,6-1,1 см; масса листьев от 20 до 37 г (табл. 1). Распределение массы листьев вдоль стволов сеянцев 1 и 4 (рис. 1 а и г) неравномерно, листья размещались в нижних 2/3. У сеянцев 2, 3 и 5 распределение листьев более равномерно по всей высоте. На всех опытных растениях изучали частоту и затухание колебаний в облиственном состоянии и после полной дефолиации. На разных растениях листья удаляли частично на нижних 2/3 (сеянец 2), верхних 2/3 (сеянец 3), верхней и нижней 1/3 высоты (сеянец 4) (рис. 1 б, в, г).

Таблиця 1

Высота h , диаметр основания d ствола, масса $m1$ листьев и ствола $m2$ семянцев *A. saccharinum* L.

№ п/п	h , м	d , см	$m1$, г	$m2$, г
1	1,01	0,6	20,1	28,5
2	1,38	0,6	36,2	34,5
3	1,22	0,8	32,6	35,1
4	1,30	1,1	37	34,8
5	0,90	0,8	58	29,0

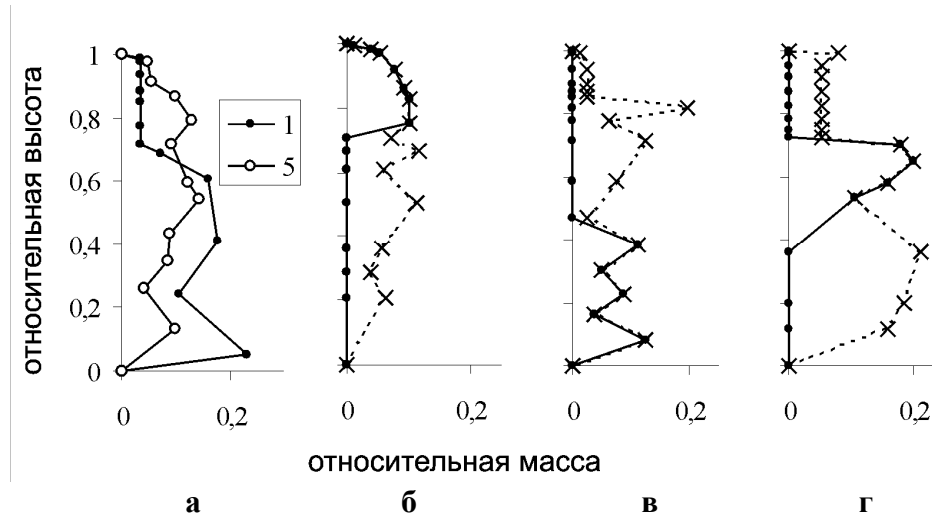


Рис. 1. Распределение массы листьев (m) по высоте стволов (h) сеянцев *A. saccharinum*: а – сеянцы № 1 и 5, б, в, г – сеянцы № 2, 3, 4 соответственно. Для сеянцев 2, 3, 4 пунктир – в интактном состоянии; сплошная – после частичной дефолиации. Масса и высота приведены в относительных единицах.

В облиственном состоянии сеянцы *A. saccharinum* совершали колебания с частотами 0,95-1,79 Гц, в среднем $1,23 \pm 0,339$ Гц (табл. 2), то есть различия в частотах были существенными, что связано с вариацией размеров растений и массы листьев на них. Частоты колебаний с листьями в среднем составляли $38 \pm 2\%$ от значений собственных частот колебаний растений без листьев. Близкое снижение частоты за счет листьев наблюдалось у сеянцев схожих размеров *A. platanoides* и *A. pseudoplatanus*: 37 ± 6 и $44 \pm 9\%$ соответственно, что более существенно по сравнению с *A. ibericum*.

Таблиця 2

Частота (Гц) колебаний сеянцев *A. saccharinum*

№ п/п	С листьями	Без листьев	Отношение
1	$1,05 \pm 0,254$	$2,98 \pm 0,063$	0,35
2	$0,95 \pm 0,011$	$2,45 \pm 0,074$	0,39
3	$1,05 \pm 0,052$	$2,58 \pm 0,066$	0,41
4	$1,29 \pm 0,028$	$3,36 \pm 0,024$	0,38
5	$1,79 \pm 0,423$	$4,59 \pm 0,195$	0,39
среднее	$1,23 \pm 0,339$	$3,19 \pm 0,859$	$0,38 \pm 0,020$

При частичній дефолиації з сохраненням листків лише в верхній 1/3 висоті стовпа частота знижується більше ніж на 50% по порівнянню з повністю облиственним станом (рис. 2 а). При сохраненні листків в середній треті рослини частота становить приблизно 80%, а при сохраненні листків в нижній треті вона незначительно вище, ніж в облиственном стані. В інтактному стані значення ξ в середньому було $0,201 \pm 0,0342$, а після дефолиації – $0,062 \pm 0,0302$ (табл. 3), тобто знизився до $30 \pm 9,7\%$. Таким чином, ефект листків *A. saccharinum* в збільшенні коефіцієнта затухання вище, ніж у досліджуваних саджанців *A. pseudoplatanus* ($42 \pm 12\%$) і *A. ibericum* ($47 \pm 7,5\%$), але нижче *A. platanoides* ($22 \pm 8\%$). При однакових лінійних розмірах (довжині центральної жилки) листових пластинок їх площа нижче у *A. saccharinum*, ніж у *A. saccharinum*. Можливо передбачити, що у першого була більша площа проекції, що сприяє опору повітря при качанні стовпа.

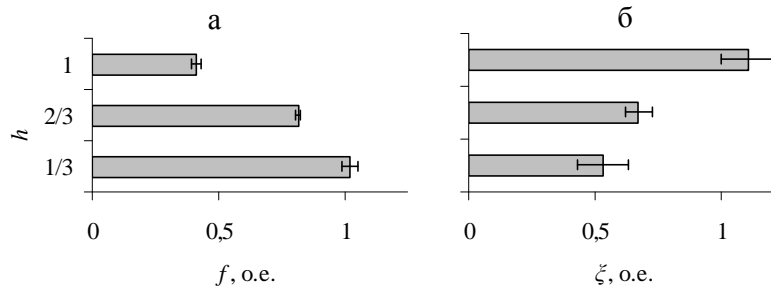


Рис. 2. Частота (а) і коефіцієнт затухання (б) коливань саджанця *A. saccharinum* при сохраненні листків на різній висоті стовпа.

Таблиця 3

Коефіцієнт затухання коливань саджанців *A. saccharinum*

№ п/п	С листьями	Без листків	Відношення
1	$0,188 \pm 0,0201$	$0,054 \pm 0,0096$	0,29
2	$0,183 \pm 0,0128$	$0,041 \pm 0,0117$	0,22
3	$0,165 \pm 0,0186$	$0,052 \pm 0,0061$	0,32
4	$0,252 \pm 0,0094$	$0,115 \pm 0,014$	0,46
5	$0,218 \pm 0,0175$	$0,047 \pm 0,009$	0,22
середнє	$0,201 \pm 0,0342$	$0,062 \pm 0,0302$	$0,30 \pm 0,097$

При частичній дефолиації з сохраненням листків лише в верхній треті рослини коефіцієнт затухання вище, ніж в повністю облиственном стані (рис. 3 б). При сохраненні листків в середній треті рослини частота становить приблизно 80%, а при сохраненні листків в нижній треті вона незначительно вище, ніж в облиственном стані. Цей ефект збігається з даними, отриманими на *A. platanoides* і *A. pseudoplatanus*, коли сохранення мінімального кількості листків на верхівці рослини в найбільшій мірі збільшувало затухання коливань [6]. Таким чином, для кленів з широкою листовою пластинкою, порівняльно жорстко фіксованою на черешку, розподілення листків на дереві має вирішальне значення в затуханні раскачиваний.

***Acer ibericum*.** Загальні морфологічні характеристики саджанців *A. ibericum* представлені в табл. 4. Висота саджанців варіювала від 0,68 до 1,09 м, маса листків від 5,61 до 14,59 г. Листові пластинки *A. ibericum* відрізняються значительно меншими розмірами по порівнянню з *A. saccharinum*, *A. platanoides* і *A. pseudoplatanus*. Як було показано вище, при наявності листків на саджанцях їх маса не має суттєвого значення в гашенні і формуванні частоти коливань при умові сохранення листків в верхній треті стовпа. Тому в експериментах з *A. ibericum* був проведений один експеримент з частичною дефолиацією, коли на саджанці № 1 сохранялись листки в верхній треті. На інших рослинах досліджували параметри раскачивания в двох станах: інтактному (повністю облиственном) і після повної дефолиації.

Таблиця 4

Высота h , диаметр основания d ствола и масса $m1$ листьев и стволов $m2$ сеянцев *A. ibericum*

№ п/п	h , м	d , см	$m1$, г	$m2$, г
1	1,093	0,70	14,59	16,2
2	0,869	0,50	10,63	13,6
3	0,857	0,50	6,85	13,1
4	0,867	0,65	11,65	13,8
5	0,681	0,40	5,61	12,7

Распределение массы листьев вдоль ствола всех сеянцев было похожим и отличалось от распределения, характерного для *A. platanoides* и *A. pseudoplatanus*, большей равномерностью (рис. 3). Можно отметить, что у сеянцев 3 и 5 относительно большая масса листьев находилась в нижней трети растения, а у сеянцев 1 и 2 максимальные значения относительной массы листьев соответствуют верхней части стволов.

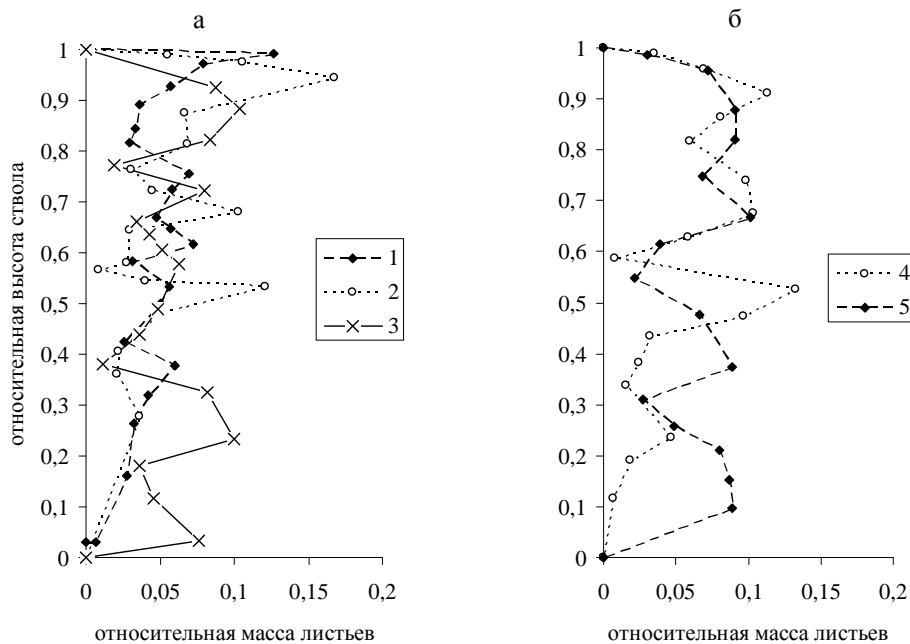


Рис. 3. Распределение массы листьев вдоль стволов сеянцев *A. ibericum*.

В интактном состоянии с листьями сеянцы совершали колебания с частотой в среднем $1,34 \pm 0,199$ Гц. После полной дефолиации частоты выросли почти в 2 раза ($P > 0,99$), среднее значение составило $2,53 \pm 0,349$ (табл. 5). Частичная дефолиация сеянца 1, с сохранением листьев лишь в верхней 1/3 части растения, привела к увеличению собственной частоты колебаний ствола до $1,65 \pm 0,026$, но не до уровня состояния без листьев. Жесткость стволов после дефолиации увеличилась в среднем в $7,0 \pm 0,41$ раз, что выше, чем у *A. platanoides* и *A. pseudoplatanus*.

Таблиця 5

Частота (Гц) колебаний сеянцев *A. ibericum*

№ п/п	С листьями	Без листьев	Отношение
1	$1,10 \pm 0,022$	$2,19 \pm 0,029$	0,51
2	$1,17 \pm 0,041$	$2,25 \pm 0,071$	0,52
3	$1,37 \pm 0,054$	$2,47 \pm 0,085$	0,55
4	$1,44 \pm 0,033$	$2,71 \pm 0,048$	0,53
5	$1,60 \pm 0,034$	$3,04 \pm 0,186$	0,53
среднее	$1,34 \pm 0,199$	$2,53 \pm 0,349$	$0,53 \pm 0,016$

Влияние листьев *A. ibericum* на затухание колебаний стволов проявилось в снижении коэффициента затухания со среднего $0,083 \pm 0,0204$ до $0,038 \pm 0,0076$ (табл. 6.). Таким образом, без листьев его значение составляет около $47 \pm 7,5\%$ от интактного состояния. Частичная дефолиация сеянца 1 привела к существенному ($P > 0,99$) снижению коэффициента затухания колебаний ствола. При этом оно оставалось выше, чем после удаления всех листьев, но отличия были статистически недостоверными. Из полученных данных ясно, что листья *A. ibericum* на верхушке дерева не являются настолько эффективными, как листья *A. platanoides* и *A. pseudoplatanus* с большими листовыми пластинками [6].

Таблица 6

Коэффициенты затухания колебаний сеянцев *A. ibericum*

№ п/п	С листьями	Без листьев	Отношение
1	$0,119 \pm 0,0285$	$0,0498 \pm 0,0060$	0,41
2	$0,078 \pm 0,0113$	$0,045 \pm 0,0052$	0,57
3	$0,072 \pm 0,0058$	$0,035 \pm 0,0069$	0,49
4	$0,058 \pm 0,0053$	$0,031 \pm 0,0052$	0,53
5	$0,084 \pm 0,0064$	$0,031 \pm 0,0052$	0,37
среднее	$0,083 \pm 0,0204$	$0,038 \pm 0,0076$	$0,47 \pm 0,075$

Здесь необходимо отметить, что при качании сеянца листья *A. ibericum* раскачиваются отличным от листьев *A. saccharinum*, *A. platanoides* и *A. pseudoplatanus* [6] образом. Если у последних видов листовые пластинки движутся вместе со стволом напоподобие парашюта или паруса, то есть создают максимальное лобовое сопротивление воздуху, то у *A. ibericum* листья совершают трепещущие движения вокруг положения, в котором плоскость листовой пластинки расположена параллельно движению стебля или потока воздуха. При этом высокая жесткость листа *A. ibericum* препятствует изменению его формы. Тем не менее большое количество листьев на сеянце даже при таком механизме взаимодействия с воздушным потоком приводит к эффективному затуханию колебаний. В среднем коэффициент затухания после удаления всех листьев составил 47% от облиственного состояния. Для сравнения у *A. platanoides* после дефолиации он составил $22 \pm 7,7\%$, а у *A. pseudoplatanus* – $42 \pm 12\%$. Таким образом, адаптации листьев деревьев рода *Acer* к ветровым нагрузкам могут принципиально отличаться.

Подведем общий итог влияния листьев на параметры колебания исследованных видов кленов. Собственные частоты и коэффициент затухания колебаний сеянцев *A. saccharinum*, как и других кленов с широкими листовыми пластинками, существенно изменяются в зависимости от массы листьев и их распределения вдоль ствола. Для собственных частот колебаний характерно снижение их значений с увеличением массы листьев. Этот результат согласуется с другими экспериментальными работами [4, 5, 7]. Отсутствие значительных отличий в зависимостях $f(l)$ для листьев и после их замещения пластилиновыми сферами свидетельствует об отсутствии или весьма незначительном влиянии аэродинамического или структурного демпфирования на частоту колебаний [6]. Таким образом, основной физический механизм влияния листьев на частоту исследованных широколиственных кленов сводится к увеличению массы растения. Наибольший эффект массы листьев в снижении частоты наблюдается при их размещении на периферии, то есть на верхушке растения. Высота размещения листьев оказывает существенное влияние на эффективность аэродинамического демпфирования, поскольку сила трения воздуха и листовой пластинки увеличивается пропорционально квадрату скорости перемещения последней. Скорость, в свою очередь, увеличивается с удалением от основания ствола. Листья в нижней части увеличивают площадь кроны, которая оказывает сопротивление воздуху при раскачивании, но влияние их массы на снижение затухания оказывается более существенным. Наличие двойного эффекта листьев исследованных широколиственных кленов – как массы, снижающей демпфирование, и одновременно как аэродинамического демпфера – приводит к тому, что листва наиболее эффективно гасит колебания при ее малой общей массе, размещенной на верхушке дерева или ветви. У мелколистного *A. ibericum* этот эффект не выражен.

Выводы

1. Влияние листьев на динамические характеристики сеянцев рода клен *Acer* зависит от их морфологии, размеров и удаленности от основания ствола.
2. Наличие листьев на растениях снижает частоту колебаний и увеличивает коэффициент затухания колебаний.
3. У *A. saccharinum* с относительно большой площадью листовых пластинок наибольшее влияние на параметры колебания оказывают листья, размещенные на периферии растения. У мелколистного вида *A. ibericum* листовые пластинки оказывают меньшее сопротивление воздуху, их размещение на растении имеет меньшее значение.
4. Адаптации листьев деревьев рода *Acer* к ветровым нагрузкам могут принципиально отличаться: у видов с широкой листовой пластинкой развивается относительно жесткий черешок, у вида с мелкой и жесткой листовой пластинкой черешок более гибкий и подвижный, что снижает лобовое сопротивление листа при обтекании потоком воздуха.

Список литературы

1. Jaffe M. Thigmomorphogenesis: the response of growth and development to mechanical stimulation with special reference to *Bryonia dioica* / M. Jaffe // *Planta*. – 1973. – V. 114. – P. 143–157.
2. Telewski F. W. A unified hypothesis of mechanoperception in plants / F. W. Telewski // *American Journal of Botany*. – 2006. – V. 93. – P. 1466–1476.
3. Vogel S. Leaves in the lowest and highest winds: temperature, force and shape / S. Vogel // *New Phytologist*. – 2009. – V. 183. – P. 13–26.
4. Sellier D. A mechanical analysis of the relationship between free oscillations of *Pinus pinaster* Ait. saplings and their aerial architecture / D. Sellier, T. Fourcaud // *J. Exp. Bot.* – 2005. – Vol. 56, No. 416. – P. 1563–1573.
5. Sellier D. Crown structure and wood properties: influence on tree sway and response to high winds / D. Sellier, T. Fourcaud // *American Journal of Botany*. – 2009. – V. 96. – P. 885–896.
6. Netsvetov M. Oscillation damping by foliage of *Acer platanoides* L. saplings / M. Netsvetov, V. Nikulina // *Forest Science*. – 2009. – Vol. 42, No 2. – P. 21–30.
7. Moore J. R. Natural sway frequencies and damping ratios of trees: influence of crown structure / J. R. Moore, D. A. Maguir // *Trees*. – 2005. – V. 19. – P. 363–373.

Нецветов М. В., Корнієнко В. О. Вплив листя на динамічні характеристики *Acer saccharinum* L. та *Acer ibericum* Bieb. – Визначено вплив листя та його розташування на частоту й коефіцієнт згасання коливань у двох видів кленів: із широкою листовою пластинкою та жорстким черешком (*Acer saccharinum*) та вузькою пластинкою і гнучким черешком (*A. ibericum*). Показано, що ефективність зменшення частоти та зростання згасання коливань більшою мірою проявляється у *A. saccharinum*. На динамічні характеристики *A. saccharinum* впливають переважно листя, що розташоване у верхній третині рослини. У *A. ibericum* висота розташування листя має менше значення

Ключові слова: коливання, частота, коефіцієнт згасання, листя.

Netsvetov M. V., Kornienko V. O. Leaves effect on dynamic characteristics of *Acer saccharinum* L. и *Acer ibericum* Bieb. – The of leaves presence and distribution along main axis on oscillation frequency and damping ratio were examined. It is studied seedlings of two maple species with broad laminas and rigid petiole (*Acer saccharinum*) and small laminas and elastic petioles of leaves (*A. ibericum*). In *A. saccharinum* the frequency decreasing and damping ratio augmentation are more significant. In this maple value of dynamic characteristics changes strongly depend on the leaves distribution along stem. In *A. ibericum* the height of the stem is less significant.

Key words: oscillations, frequency, damping ratio, leaves.