

М. В. Нецветов**ВИБРАЦИОННЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ДЕРЕВА И ПОЧВЫ***Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: max@dongu.donetsk.ua*

Нецветов М. В. Вибрационные взаимосвязи дерева и почвы. – Исследованы вибрации деревьев, генерируемые при раскачиваниях, соударениях веток и в результате других причин. Диапазон частот таких вибраций лежит в области от долей герц до нескольких сотен. Через корневую систему и ствол вибрации дерева передаются почве, а также в обратном направлении. По мере распространения по неоднородному растительному или почвенному субстрату частотный спектр изменяется.

Ключевые слова: вибрации, дерево, почва.

Введение

Воздействие дождя, ветра, распространение звуковых волн по воздуху; питание, перемещения и вибрационное взаимодействие животных на растительном субстрате, технические устройства и некоторые другие причины приводят к формированию сложного вибрационного фона, создаваемого растениями. Упруго-механические свойства растительных волокон, особенно древесных, обуславливают возможность распространения по ним упругих колебаний с малой величиной затухания. Эти свойства используются в строительстве, производстве музыкальных инструментов и других отраслях. Однако значение распространяемых по растениям вибраций в их жизнедеятельности и тесно связанных с ними других организмов изучалось недостаточно, и лишь в последние годы им уделяется все больше внимания.

Некоторые примеры давно стали хрестоматийными: сейсмонастии и интенсификация газообмена при колебаниях листьев осины и многих других широколиственных видов. Относительно недавно было выяснено, что характер колебания хвоинок имеет большое значение при распространении верховых пожаров в лесу [1]. Регулярные исследования посвящены роли упругих свойств растительных субстратов в эволюции сигнализации животных, которые используют листья, стебли и другие части растений для передачи вибрационных сигналов [2, 3]. В наших предыдущих работах мы акцентировали внимание на низкочастотных колебаниях ветвей и стволов деревьев и их возможное значение в процессах почвообразования, когда энергия упругих колебаний от ствола и корней передается почве и сказывается на ее физических свойствах [4-6]. Кроме того, мы обратили внимание на значительную вариацию величины отклонения гнезд птиц, расположенных на деревьях. Было высказано предположение, подтвержденное модельным экспериментом, о влиянии раскачиваний на микроклимат гнезд и скорости остывания кладки [7].

Перечень известных эколого-биологических эффектов вибраций, распространяемых по растениям, постепенно увеличивается, и, по всей видимости, в дальнейшем будет значительно расширен. В связи с этим необходимо подробное изучение физических параметров вибраций и закономерностей распространения по частям и волокнам растений, передача их почве и др. *Целью* настоящей работы было определение диапазона частот вибраций деревьев, передаваемых от ветвей и ствола корням и почве, а также другим деревьям.

Материалы и методы исследований.

Регистрацию вибраций осуществляли пьезоэлектрическим датчиком, который без усилителя соединялся с осциллографом НРS 10 фирмы "Villeman". Калибровку датчика производили на виброустановке с регулируемой амплитудой колебаний в диапазоне 50-200 Гц. Звукосниматель, нерабочим концом закрепленный на штативе, располагали на корневой шейке деревьев, корнях или на почве. Регистрируемые упругие волны происходили при раскачивании ствола и ветвей дерева, соударений веток, при ходьбе человека и др. (см. результаты и обсуждение). Полученный сигнал оцифровывали и определяли его

амплитудно-частотные характеристики методом быстрого преобразования Фурье. Все измерения были проведены в декабре 2007 года в черте г. Донецка.

Результаты и обсуждение.

1. Распространение вибраций по корням от ветвей и ствола. Звукосниматель располагали на корнях груши (высота ствола $h = 4$ м, диаметр у основания $d = 6,5$ см) в двух точках: 1) на расстоянии 25 см от ствола (диаметр корня $d = 2$ см); 2) на его ответвлении на расстоянии 50 см от ствола. Регистрируемые вибрации производились при раскачивании ветки длиной 1,1 м на высоте 1 м. Смещение ветки – 20 см. Как видно на рис. 1, амплитуда сигнала значительно снизилась с расстоянием, ее максимальные значения $\sim 97,5$ и $14,2$ мВ для 25 и 50 см соответственно, а диапазон частот остался практически неизменным, снизились лишь амплитуды более высоких частот. В обоих случаях колебания максимальной амплитуды происходят на частотах около 70-ти Гц, в спектре (рис. 1) выделяются также частоты около 120, 150 и 185 Гц.

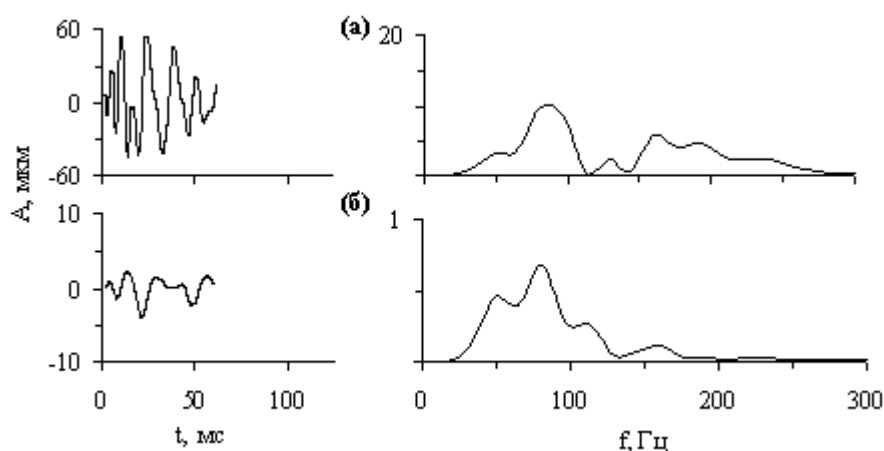


Рис. 1. Вибрации корней груши, вызванные качанием ветви, и их частотные спектры: а – точка регистрации в 25 см от ствола; б – 50 см

Проследить величину затухания вибраций на корне представляет некоторые сложности, т. к. для этого требуется либо одновременная работа нескольких установок для съема в разных точках, либо точное воспроизведение упругого возмущения. Другая сложность состоит в том, что корни часто касаются друг друга, обуславливая интерференцию упругих волн. Тем не менее нами проведены последовательные записи вибраций корня вяза (ствол: $h = 12$ м, $d = 30$ см; корень у основания: $d = 10$ см) с 5-ю повторностями в каждой точке. Как видно на рис. 2, затухание происходит неравномерно, частотный спектр также изменяется – с расстоянием доля более высоких частот спектра уменьшается.

В следующем эксперименте изучали вибрации на корневой шейке ясеня ($h = 3,5$ м, $d = 5$ см) при его раскачивании (отклонение 10 см на высоте 1,5 м). В отличие от предыдущего случая в спектре выделяется лишь одна частота ~ 120 Гц (рис. 3). При ударе веткой о ветку ($d_1 = 8$ см, $d_2 = 11$ см, длины $l_1 = l_2 = 30$ см, на высоте 1,3 и 1,5 м) частота вибраций снижается до 50 Гц, другие частоты в спектре менее выражены. При раскачивании верхушки ветви сталкиваются друг с другом и с ветвями соседнего дерева. В спектре частот, кроме двух предыдущих, появляются 65 и 95, 155 Гц.

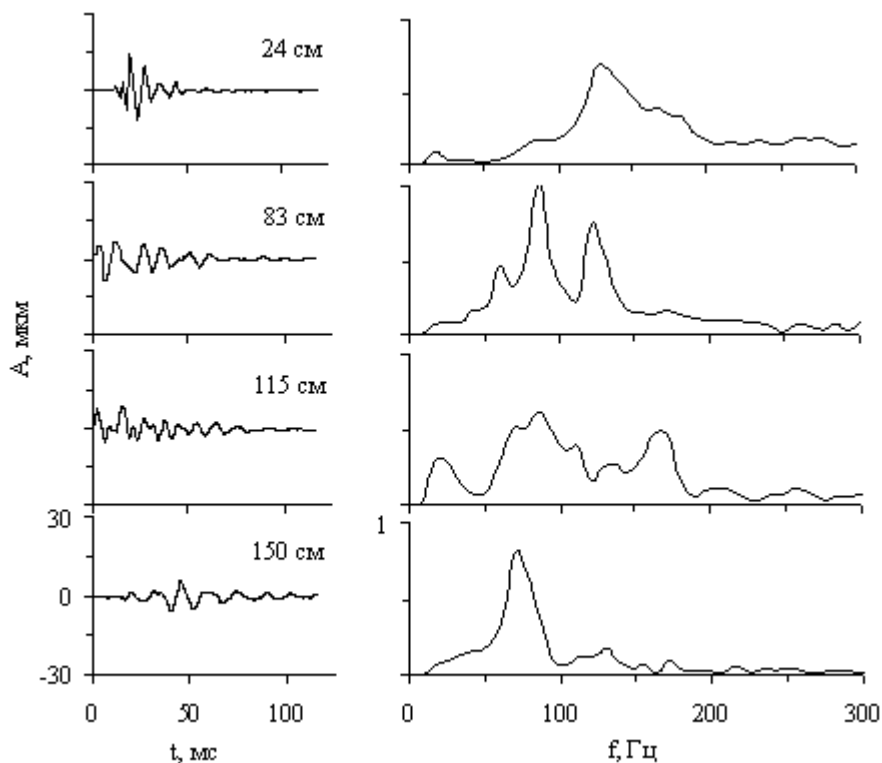


Рис. 2. Вибрации на корне вяза и их частотные спектры при ударе о ствол вяза на различном удалении от него

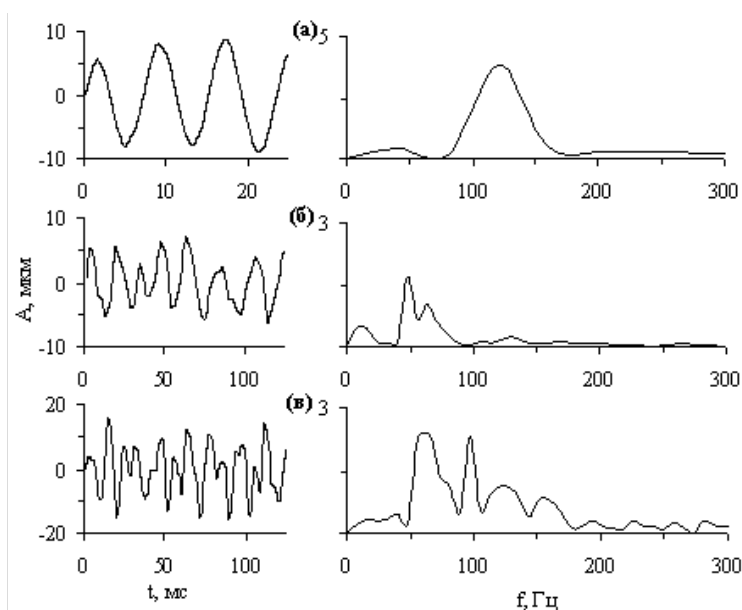


Рис. 3. Вибрации на корневой шейке ясеня и их частотные спектры: а – при раскачивании ствола; б – при соударении двух ветвей; в – при соударении и раскачивании многих ветвей кроны

2. Вибрационное взаимодействие дерева и почвы. При расположении звукоснимателя на почве (под подстилкой) спектр частот богаче, чем при съеме с корневой шейки ближайшего дерева. При колебании верхушки ясеня (см. предыдущий пункт), расположенного в 25 см от точки съема вибраций, выделяются частоты 60-70, 85-90, ~150 Гц (рис. 4 а). При более коротком времени регистрации выделяется частота ~200 Гц. Колебание отдельной ветви на ясене приводит к значительному снижению амплитуды вибрации на почве (рис. 4 б). В спектре доминируют частоты 70-80, 95-100, 120 Гц.

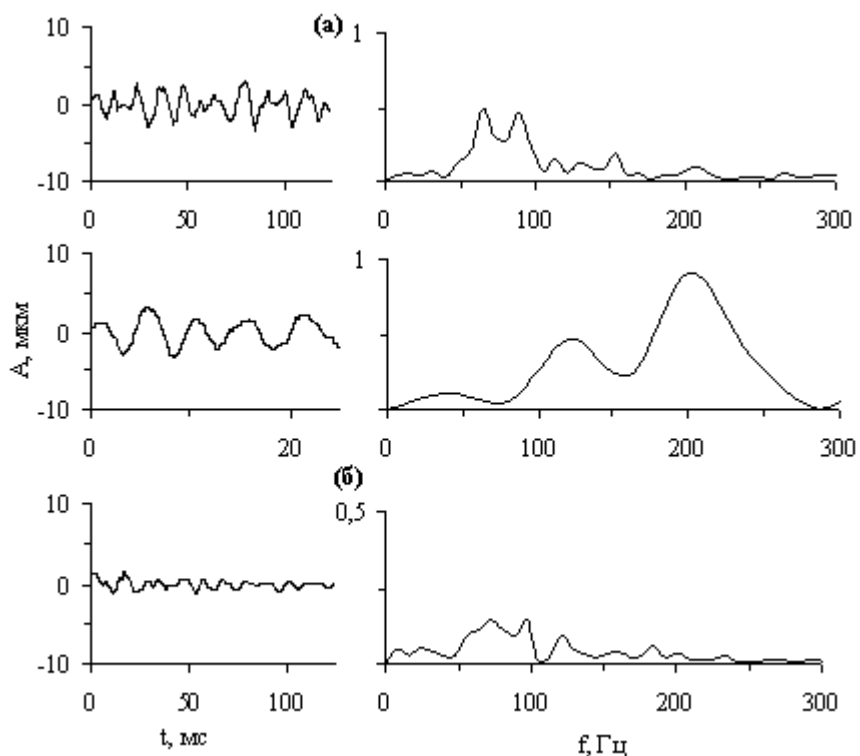


Рис. 4. Вибрации почвы и их частотные спектры: а – при колебании верхушки ясеня; б – при колебании ветви

Наличие нескольких частот в спектрах колебаний почвы, по всей видимости, обусловлено несколькими источниками упругих возмущений древесных волокон, т. к. колебания лишь одной из многих ветвей практически не бывает. Отчасти это подтверждается тем, что при ударе о ствол вызванные на корнях и почве вибрации в своем спектре имеют в основном одну частоту (рис. 5).

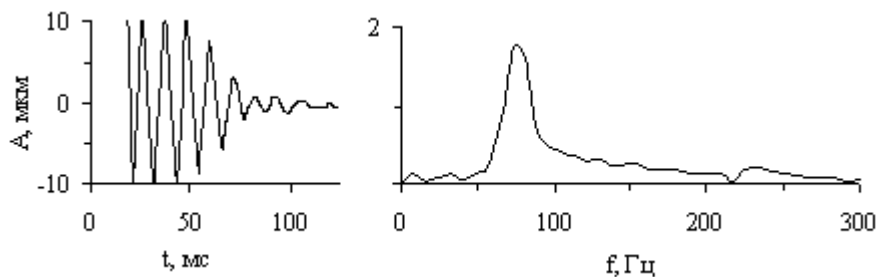


Рис. 5. Вибрации почвы и их частотный спектр от удара о ствол дуба

Напротив, колебания ясеня ($h = 8$ м, $d = 10$ см), ветви которого соударяются друг с другом и с ветвями других деревьев, вызывают вибрации почвы (25 см от ствола) с набором частот (рис. 6): около 2, 6-7, 10, 19, 25, 60, 75 Гц. При удалении от ствола амплитуда вибраций снижается, но если на пути их распространения встречается дерево, то на нем вибрации снова увеличиваются, за счет их более эффективного распространения по корням. Вибрации передаются не только от дерева почве, но и в обратном направлении. Например, шаги человека вызывают упругие колебания почвы, которые передаются корням и стволу растения (рис. 7). Кроме того, упругие свойства почвы и возможность контакта корней деревьев обуславливают распространение вибраций от одного дерева другому (табл. 1).

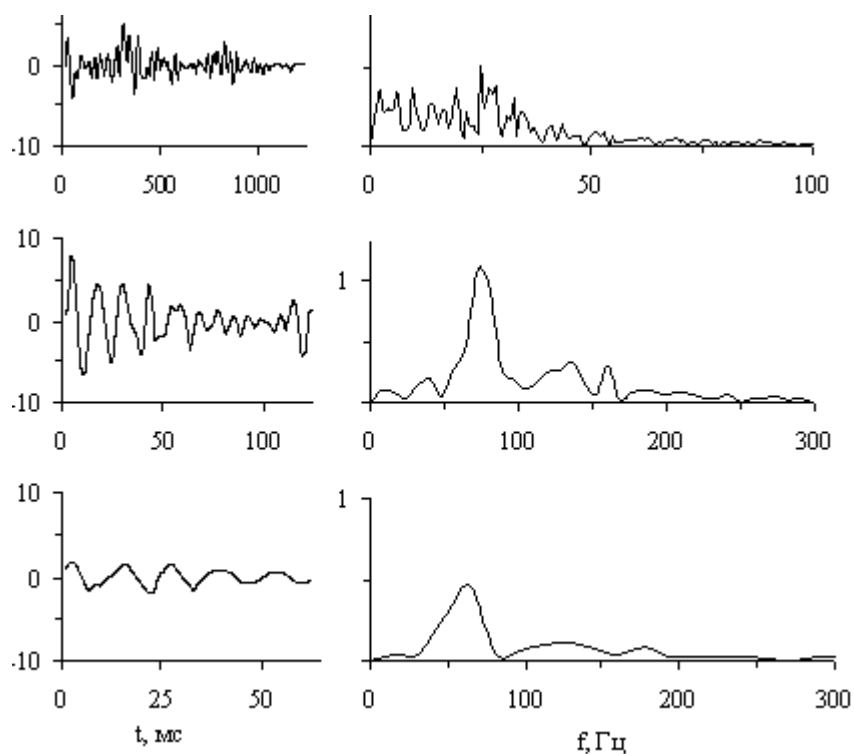


Рис. 6. Вибрации почвы и их частотные спектры от раскачивания ясеня при различной временной развертке

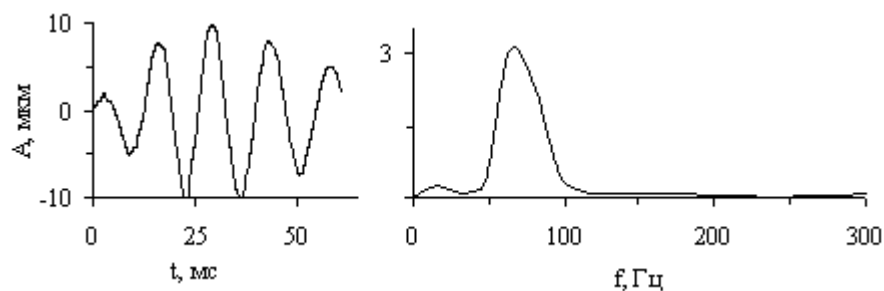


Рис. 7. Вибрация почвы и ее частотный спектр от шага человека. Расстояние до точки регистрации – 1 м

Выводы

Полученные в настоящей работе результаты свидетельствуют о довольно широком диапазоне частот вибрационных характеристик деревьев – от долей герца до нескольких сотен герц. В зависимости от конкретного источника и пути распространения они имеют вид от почти синусоидального до сложного модулированного по частоте и амплитуде колебания. Спектр частот при распространении вдоль ствола и корней дерева может претерпевать изменения, что подтверждает результаты исследования травянистых растений и черешков листьев древесных (см. [3]). В отличие от мягких растительных волокон, ветви, ствол и корни деревьев передают вибрации с малым затуханием, что обеспечивает их наличие в почве на расстоянии от ствола более 1 м. Наиболее интересным является вопрос о биологических и экологических эффектах вибраций растительного происхождения. Здесь можно отметить несколько аспектов: 1) влияние на эволюцию сигнализации животных, пользующихся вибрациями [3, 4]; 2) физиологические эффекты [8, 9]; 3) влияние на микроклимат гнезд [7]; 4) влияние на физику почвы и процессы почвообразования [4-6]. Отдельный интерес представляет вопрос о значении техногенных вибраций.

Доминирующие частоты вибраций деревьев и почвы

Источник вибрации	Место регистрации	Доминирующие частоты (Гц)
<i>Fraxinus excelsior</i> L. раскачивание ствола	корневая шейка	~120
-//- соударение ветвей	-//-	50-65, 100
<i>Quercus robur</i> L. удар по стволу	корень 1-го порядка, 30 см от ствола, глубина 15 см	40-50, 160
<i>Fraxinus excelsior</i> L. удар по стволу	корень 1-го порядка, 40 см от ствола, глубина 5 см	65-95
<i>Pyrus communis</i> L. раскачивание ветви	корень 1-го порядка, 25 см от ствола	60-80, 140-150
-//-	корень 2-го порядка, 50 см от ствола	~30, ~50, 60-70
<i>Ulmus laevis</i> Pall. удар по стволу	корень 1-го порядка, 24 см от ствола	~120
-//-	-//- 39 см	~60, ~110
-//-	-//- 83 см	~75, ~110
-//-	-//- 115 см	~75, ~155
-//-	-//- 130 см	~60
-//-	-//- 150 см	~60
-//-	-//- 198 см	65-80
<i>Fraxinus excelsior</i> L. раскачивание ствола с соударением ветвей	почва 25 см от ствола	1,5-2,5; ~6; ~9; ~20; ~25 ~65, ~75,
-//-	-//- 75 см	0,1-0,5; 1,2; 2,6; ~75; ~80;
-//-	-//- 115 см	0,4-0,5; 70-80
<i>Fraxinus excelsior</i> L. раскачивание ствола с соударением ветвей	<i>Fraxinus excelsior</i> L. корневая шейка	1,5; 47-55; ~70
<i>Pyrus communis</i> L. раскачивание	-//- в 1,5 м от <i>Pyrus</i>	~80
-//- удар по стволу	-//-	~40
шаг	-//-	~60

Список литературы

1. Гришин А. М., Голованов А. Н., Медведев В. В. О возникновении колебаний элементов лесных горючих материалов и их влиянии на режимы воспламенения и горения // Прикладная механика и техническая физика. – 2001. – Т. 42, № 4. – С. 127-135.
2. *Vibration as a Communication Channel*. Symposium presented at the Annual Meeting of the Society for Integrative and Comparative Biology, 3–7 January 2001, at Chicago, Illinois // Amer. zool. – 2001. – V. 41, N 5. – P. 1133-1240.
3. *Cocroft R. B., Rodriguez R. L.* The behavioral ecology of insect vibrational communication // BioScience. – 2005. – V. 55. – P. 323-334.
4. *Нецветов М. В.* Вертикальное перемещение микрочастиц в почве под действием вибрации сверхнизких частот // Грунтознавство. – 2003. – Т. 4, № 1-2. – С. 62-65.
5. *Нецветов М. В.* Вибрации в лесу под действием ветра (теоретический аспект оценки частот) // Экологія та ноосферологія. – 2003. – Т. 13, № 1-2. – С. 87-92.

6. *Нецветов М. В.* Влияние вибраций 1-100 Гц на перемещение микрочастиц в почве // Грунтознавство. – 2006. – Т. 7, № 3-4. – С. 92-96.

7. *Netsvetov M. V.* The possible effects of oscillations of tree-located magpies (*Pica pica* L.) nests // Ecology and noospherology. – 2005. – Vol. 16, N 3-4. – P. 202-207.

8. *Хиженков П. К., Нецветов М. В.* Накопление свинца растениями под влиянием электрических токов и вибраций // Экологія та ноосферологія. – 2006. – Т. 17, № 1-2. – С. 51-54.

9. *Энглези А. П., Хиженков П. К., Нецветов М. В.* Влияние низкочастотных физических факторов на ионный обмен в очагах травматической деструкции. 3. Сравнительный анализ // Вісник проблем біології і медицини. – 2004. – Вип. 4. – С. 19-24.

Нецветов М. В. Вібраційні взаємозв'язки між деревом та ґрунтом. – Досліджено вібрації дерев, що генеруються при коливанні, зіткненні гілок та з інших причин. Діапазон частот таких вібрацій лежить у межах від часток до сотень герц. Вібрації дерев через стовбур та корені передаються у ґрунт, а також у зворотному напрямку. При поширенні по неоднорідному рослинному або ґрунтовому субстрату спектр частот змінюється.

Ключові слова: вібрації дерева, ґрунт.

Netsvetov M. V. Vibrational coupling between tree and soil. – Plantborne vibrations induced by wind, branch oscillations and other reasons. The frequency band include low frequencies from parts of hertz to hundreds. Vibration plant-soil transmissions is possible along both directions. While vibrations transmit to soil or through plant parts the band is changing.

Key words: vibrations, tree, soil.