
ЛІСОВА БІОГЕОЦЕНОЛОГІЯ

УДК 630*181.1

М. В. Нецветов

ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ ВЕТРА ПО РАДИАЛЯМ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Донецкий ботанический сад НАН Украины

Рассмотрена схема передачи энергии ветра в вертикальной структуре лесных биогеоценозов и ее влияние на процессы почвообразования. Показано, что растительный покров биогеоценозов является трансмиттером энергии ветра, по которому она передается эдафотопу в виде вибраций, колебаний и смещений, оказывая влияние на свойства почвы и процессы почвообразования.

Ключевые слова: биогеоценоз, ветер, вибрации, почва.

М. В. Нецветов

Донецький ботанічний сад НАН України

ПЕРЕДАЧА ЕНЕРГІЇ ВІТРУ ПО РАДІАЛЯХ ЛІСНИХ БІОГЕОЦЕНОЗІВ ТА ЇЇ ЗНАЧЕННЯ В ПРОЦЕСАХ ҐРУНТОУТВОРЕННЯ

Розглянуто схему передачі енергії вітру в вертикальній структурі лісних біогеоценозів та її вплив на процеси ґрунтоутворення. Показано, що рослинний покрив біогеоценозів є трансмітером енергії вітру, по якому вона передається едафотопу у вигляді вібрацій, коливань та змішень, впливаючи на властивості ґрунту та процеси ґрунтоутворення.

Ключові слова: біогеоценоз, вітер, вібрації, ґрунт.

M. V. Netsvetov

Donetsk Botanical Garden of NAS of Ukraine

WIND ENERGY TRANSFER THROUGH FOREST BIOGEOCENOSIS RADIALS AND ITS ROLE IN PEDOGENESIS PROCESSES

The wind energy transfer through vertical structure of forest biogeocenosis and its soil-forming are discussed. The plant stand is considered as wind energy transmitter. The wind kinetic energy transforms into roots periodical shifts and vibrations and influences on soil traits and pedogenesis.

Key wards: biogeocenosis, wind, vibration, soil.

Ветер как экологический фактор имеет большое значение для функционирования лесных биогеоценозов и жизнедеятельности отдельных организмов. Он оказывает прямое воздействие на организмы и биологические системы более высоких порядков, а также опосредованное, например, через колебания и вибрации растительного полога. Последнее относится и к влиянию на процессы почвообразования, в основе которых часто лежат гравитационные явления, такие как лессиваж (Duchaufour, 1951), кутанообразование (Таргульян, 1986, Бронникова, 2005) и другие, которые усиливаются вибрационными процессами, возникающими при взаимодействии ветра с растительным покровом (Нецветов, 2009).

© Нецветов М. В., 2011

ISSN 1726-1112. *Екологія та ноосферологія*. 2011. Т. 22, № 3–4

99

Исследования эколого-биологической роли взаимодействия ветра с древесной растительностью относятся к следующим направлениям. 1. Возникновение педотурбационных явлений (Карпачевский, 1993). 2. Физиологические эффекты ветра – влияние на газо- и теплообмен (Vogel, 2009), фотосинтез (Roden, 2003). 3. Значение во взаимодействии организмов: растений между собой (Сахаров, 1947; Tong, Hipps, 1996), растений с животными и животных между собой (Cocroft, Rodrigues, 2005; Hill, 2009). 4. Влияние ветра на рост (Jacobs, 1939; Coutand, Moulia, 2000; Smith, Ennos, 2003) и строение растений (Раздорский, 1949, 1955; Jaffe, 1973, Сытник и др., 1984; Niklas, 1996; Paul-Viktor, Rowe, 2011); повреждения и гибель деревьев под действием ветра (James et al., 2006; Dupont, Brunet, 2006); акклимация (Brüchert, Gardiner, 2006; Sellier, Fourcaud, 2009) растений к ветровым нагрузкам. В основе многих эколого-биологических эффектов ветра лежат вибрационные процессы, порождаемые при его взаимодействии с древесной растительностью. Хотя значение колебательных процессов в структуре биогеоценозов было отмечено Ю. П. Бялловичем в 1960 г., влияние их на взаимосвязь компонентов лесных биогеоценозов требуют дальнейшей разработки.

В настоящей работе рассмотрена схема передачи и трансформации энергии ветра по радиалам лесного биогеоценоза и ее влияние на процессы почвообразования и свойства почвы.

Вибрационные процессы в природе весьма разнообразны по происхождению и своим основным параметрам. Вибрации (от лат. *vibratio* – колебание), как правило, возникают в результате деформаций на поверхности или в объеме физических тел и распространяются во всех направлениях, переходя из одной среды или объекта на другие. При этом объекту, на который переходит вибрация, передается и механическая энергия. По отношению к биогеоценозу вибрации являются фактором среды и могут возникать как в его пределах (эндогенные), так и распространяться на его элементы извне (экзогенные). Независимо от происхождения совпадение вибрационных процессов по частоте с любыми другими явлениями могут приводить к резонансному поглощению энергии или синхронизации. Как показано на рис. 1, биологические и абиотические явления характеризуются разбросом диапазонов частот, но в значительной мере они перекрываются друг другом. Вполне очевидно, что в эволюции и филогенезе некоторых видов живых организмов отражена периодическая структура вибрационных процессов окружающей среды.

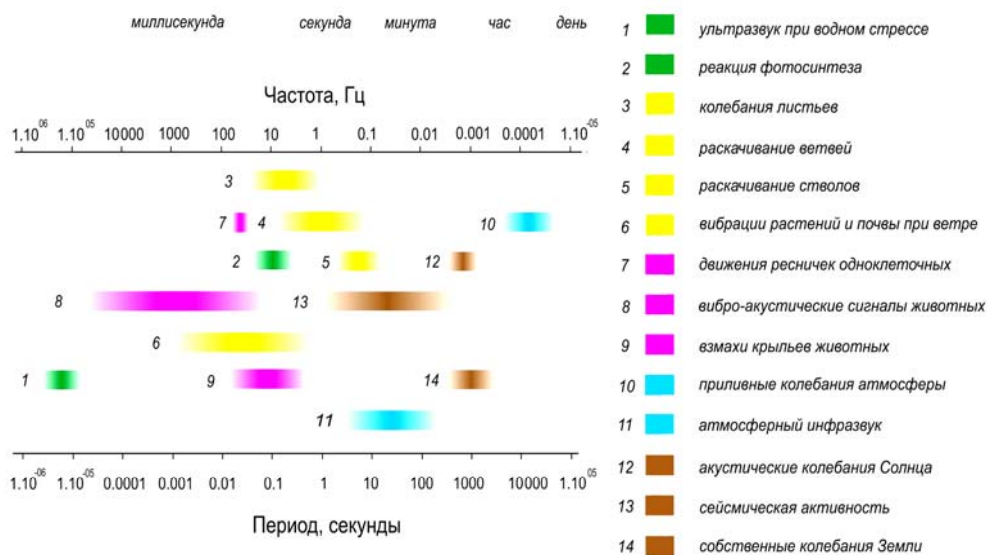


Рис. 1. Частоты (Гц) и периоды (секунды) биологических и абиотических процессов и явлений

Экзогенные вибрационные процессы, как правило, имеют глобальные масштабы, часто связаны между собой и распространяются на значительные расстояния с низкими частотами и малым затуханием (табл. 1). Например, смещения тектонических плит и колебания земной коры, вызываемые цунами, сами являясь колебательными процессами, порождают атмосферный инфразвук – звуковую волну сверхнизких частот. Инфразвуковые волны генерируются и при деятельности вулканов, во время грозы, сопутствуют приливным явлениям, полярным сияниям и геомагнитным возмущениям. Кроме того, волны в объеме и на поверхности океана, вызванные различными причинами, передаются суше во время прилива. Такие явления часто регулярны, происходят с определенными периодами, например, гравитационное влияние Луны и Солнца, и имеют информационное значение для жизнедеятельности организмов.

Таблица 1

Вибрационные процессы эндогенного и экзогенного происхождения

Вибрационные процессы		Характеристики частот и периодов	Ссылки
экзогенные	Гравитационное влияние Луны и Солнца (прилив/отлив)	Ритмы: 1) лунно-суточный (24,8 ч) 2) лунно-месячный (14,76 суток) 3) долгопериодный лунно-месячный (29,5)	Neumann D., 1981
	сейсмическая активность	Частоты колебаний в свернизком диапазоне <16 Гц, пик энергии приходится на частоты <1 Гц, сопровождаются также акустическим шумом в звуковом и ультразвуковом диапазоне	Космос и биологические ритмы, 1995; Кожевникова, 2008; Сокол, Харченко, 2009
	вулканическая активность		
	вибрации ледников		
	грозовая активность		
	прибой		
	цунами		
	ураганы		
	смерчи		
атмосферный инфразвук			
эндогенные	метеорологические явления (осадки, сели и др.)	Вызывают сейсмические сигналы – сверхнизко- и низкочастотные	Cocroft, Rodriguez, 2005
	взаимодействие ветра с растительным покровом	Сверхнизкие частоты колебаний полога и отдельных растений, звуковые частоты при несимметричном отрыве воздуха от поверхности стволов, камней и т.д.	см. Нецветов и др., 2009; Нецветов, 2007, 2008
	взаимодействие ветра с различными субстратами (песок, камни, поверхность воды и др.)		
	вибрационная сигнализация животных с использованием субстратов	В основном в звуковом диапазоне от единиц до тысяч герц. Сейсмические сигналы крупных животных в области сверхнизких частот	Cocroft, Rodriguez, 2005 Hill, 2009
	двигательная активность животных	Сверхнизкие и низкие частоты колебаний грунта (волна Релея)	Narins et al., 2007
антропогенные	акустические шумы	Частоты от инфра- до ультразвуковых	Lacusic, 2006 Нецветов и др., 2009; Сокол, Харченко, 2009
	вибрации транспорта		
	работа стационарных механизмов (в т.ч. ветровые, гидроэлектростанции и др.)		
	взрывные мероприятия		

Иногда вибрационные процессы обладают разрушительной силой, как, например, сейсмические явления, и приводят к катастрофическим для биогеоценозов и отдельных организмов последствиям. В связи с этим у многих животных вырабатываются механизмы определения предвестников таких явлений (Kirschvink, 2000).

Особое место среди источников вибраций занимают механические колебания антропогенного происхождения: ветровые станции, бурильные установки, взрывные мероприятия, движение транспорта и т.д. Большинство механизмов создают шум и вибрацию, которые распространяются на большие расстояния с малым затуханием и обладают негативным влиянием на животных и человека. Поэтому их частотный диапазон и величина регулируются санитарными нормами. Тем не менее, полное исключение вибраций от техногенных источников невозможно. Даже после применения специальных средств гашения вибрации регистрируются на значительном расстоянии от источника (Lacusic, 2006), в том числе и на растениях (Нецветов, 2007, 2008). Диапазон частот антропогенных вибраций очень широк – от сверхнизкой до ультразвуковой области. Он перекрывается диапазоном естественных источников (Нецветов, 2009).

Эндогенные вибрационные процессы вызываются взаимодействием ветра с растительным пологом и другими субстратами, например, скалами, утесами, обрывами, некоторыми метеорологическими явлениями и другими абиотическими и биотическими факторами. Животные создают вибрации почвы непреднамеренно либо для передачи коммуникационных сигналов (см. обзор Hill, 2009). Вибрации, вызываемые крупными животными, лежат в низко- и сверхнизкочастотном диапазоне и часто передаются на большие расстояния (O'Connell-Rodwell, 2007).

Вибрационные процессы в структуре лесных биогеоценозов. Согласно представлениям В. Н. Сукачева (1964), структура лесного биогеоценоза складывается из пяти компонентов: атмосферы (климатопа), почвы-грунта (эдафотоп), растительности (фитоценоза), животного населения (зооценоза) и микроорганизмов (микробоценоза). Отдельными компонентами можно также считать материнскую породу (Белова, 1999) и подстилку (Зонн, 1964). Важнейшей характеристикой биогеоценоза является взаимодействие его компонентов, в ходе которого происходит круговорот вещества, а также передача и превращение энергии. В большинстве случаев речь идет об энергии, запасенной в химических связях, поскольку эта ее форма сопутствует биологическому круговороту вещества. Вместе с тем, между компонентами биогеоценоза и их элементами происходит обмен энергией и в других ее формах, например, механической, которой характеризуются и вибрации. По всей видимости, впервые значение вибраций (в широком смысле) в структуре биогеоценозов было отмечено Ю. П. Бялловичем в 1960 г. при рассмотрении понятия биогеогоризонтов, или биогеоценологических горизонтов, и их границ. Ю. П. Бяллович, исходя из идеи В. И. Вернадского (1934) о вертикальной стратификации всех природных тел и их взаимообусловленности, заключил, что биогеоценоз «расчленяется в вертикальном направлении на качественно различные слои – биогеоценологические горизонты» (Бяллович, 1960, с. 44). Значение вибрационных процессов он видел в их влиянии на границы биогеогоризонтов, которые испытывают постоянные колебания разных периодов.

В лесных биогеоценозах компонентом-«организатором» является фитоценоз (Карпачевский, 1993). В его состав входят деревья, кустарники, травостой, мхи, лишайники, грибы. Важнейшая составляющая часть фитоценоза – травостой (Зонн, 1964), который пространственно расположен между почвой и атмосферой и находится в тесной связи с ними. На фоне рельефа и климатических особенностей состав и структура травостоя определяют направление и масштабы средообразующего (пертинентного в понимании Г. Н. Высоцкого (1929)) влияния, направление почвообразовательных процессов (Зонн, 1964). Особенно заметно это влияние в искусственных древесных насаждениях в степной зоне, которое проявляется не только в уравнивающем действии на температуру и влажность воздуха и почвы, освещенность в фитоценозе, но и в направлении почвообразовательных процессов (Белова, 1999).

Передача энергии ветра по радиалам биогеоценоза. В ходе взаимодействия с климатическими факторами древостой не только испытывает их влияние, но и существенно изменяет их параметры в коротко- и долговременном масштабе. В наибольшей мере это относится к ветру. Основные причины глобального перемещения воздушных масс – неравномерный нагрев поверхности Земли Солнцем и вращение Земли вокруг своей оси. Эти явления вызывают циркуляцию атмосферы с формированием постоянных ветров (пассатов, западных ветров умеренных широт и восточных ветров полярных областей) и циклонов. Ветры могут возникать и вследствие более локальных причин, например, в результате различной теплоемкости соседних участков. Так, в прибрежных зонах возникает днем морской и ночью континентальный бриз. Энергия ветра – кинетическая энергия движения воздушных масс – пропорциональна его скорости в кубе.

Скорость и характер ветра сильно изменяются вблизи границы полога древостоя (Finnigan, Brunet, 1995; Finnigan, 2000; de Langre, 2008). В основе влияния любого растительного покрова на воздушный поток лежит явление неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, которое возникает на границе между двумя средами при движении хотя бы одной из них либо, если среда распадается на слои с разной скоростью движения (см. Ру et al., 2006). В случае взаимодействия ветра и древостоя потоки воздуха и полог становятся неоднородными, что придает им пространственную и временную периодичность, которая имеет вид волн на пологе, называемых *хонами* (Іппоє, 1955). Ю. П. Бяллович (1960) отмечал значение этих процессов в непостоянстве границ биогеогеографических горизонтов.

Трансформация энергии ветра в энергию колебаний и вибраций растений. Энергия ветра передается деревьям, которые расходуют ее путем раскачивания и трения при взаимодействии с воздухом, почвой, другими растениями, а также при внутреннем трении в растительных тканях (Spatz et al., 2007). При этом в местах изгибов частей растений и соударений ветвей происходят упругие и пластические деформации, вызывающие упругие волны (рис. 2), или вибрации (Netsvetov, Nikulina 2010). Они распространяются по растению и частично передаются в окружающую среду – почву и воздух. Собственно гул в лесу во время ветра – это результат передачи вибрации ветвей и листьев воздуху.

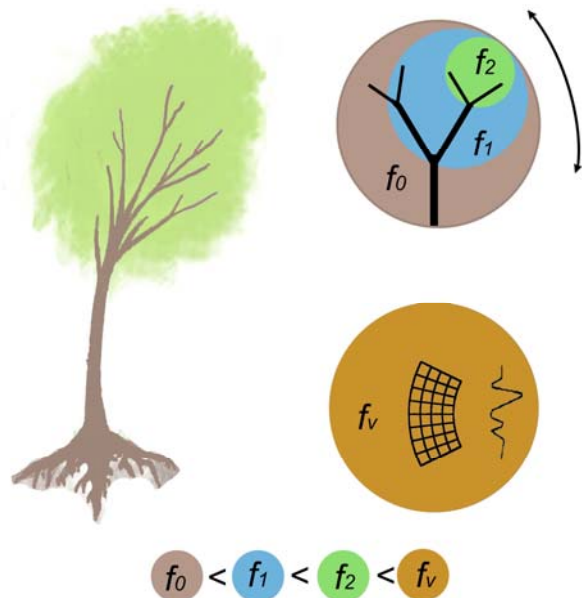


Рис. 2. Колебания и вибрации ветвей, ствола и корней дерева при действии ветра:
 f_0 – частоты колебаний ствола и корней; f_1, f_2 – частоты колебаний побегов различного порядка;
 f_v – частота вибрации ствола и ветвей в результате деформации тканей при изгибах и соударениях

Спектр ветра относится к области сверхнизких частот, в основном ниже 1 Гц, он зависит от скорости воздушного потока и некоторых других факторов (Pu et al., 2006). Частотный спектр хонами, т.е. частоты колебаний полога растительных сообществ, лежит в том же диапазоне, но частоты колебаний отдельных растений могут несколько отличаться, в основном около 1 Гц. Если частота колебаний какого-либо растения совпадет с частотой следования порывов ветра, то передача энергии произойдет более эффективно, в данном случае говорят о резонансной перекачке энергии (Sellier, Foucaud, 2009). В таком случае растение может быть серьезно повреждено или вывалено в зависимости от ряда факторов, например, типа почвы, типа корневой системы, архитектуры кроны и некоторых других. Повторим, что кроме низкочастотных раскачиваний и соударений частей растений, их деформации приводят к формированию упругих волн с более высокими частотами в звуковом диапазоне (Нецветов, 2009). Поскольку деформации и изгибы ветвей и стволов причинно связаны, вибрации оказываются модулированными (Netsvetov, Nikulina 2010).

Передача вибраций от растения почве. Действие ветра на дерево вызывает не только периодические движения кроны, но и движения корней. Так, В. Хинтика (Hintikka, 1973) установил поднятие и растрескивание глинистой почвы над корнями ели европейской *Picea abies* (L.) Karst. при отклонениях ствола до 3°. Позже В. Н. Данилик с соавторами (1989) зафиксировали смещение корней при раскачивании деревьев. Д. М. Рицо и Т. С. Харрингтон (Rizzo, Harrington, 1988) установили, что движение боковых корней определяется глубиной их расположения и скоростью ветра. Движению корней в почве противостоит трение. Чем больше коэффициент трения, тем больше энергии колебаний рассеивается, что в значительной степени определяет ветроустойчивость дерева (England et al., 2000). При действии ветра корни испытывают периодические напряжения, деформации и, как их результат, вибрации (Нецветов, 2009). Через корневую систему и ствол вибрации деревьев с относительно малым затуханием передаются почве (Нецветов, 2009). От дерева почве может передаваться более 25 % энергии вибрации в зависимости от соотношения физических характеристик древесных тканей и почвы (Нецветов, 2010а). Иногда они регистрируются на расстоянии нескольких метров от дерева (Нецветов, 2007). Частотные характеристики упругих волн могут изменяться при переходе с дерева на почву и при дальнейшем распространении по ней. Поскольку воздушные потоки распространяются над растительным покровом значительной площади, то в ветреную погоду вибрации растительности носят глобальный в масштабах биогеоценоза характер. Понятно, что эффекты вибраций растений, вызванных ветром, зависят от его скорости и количества ветреных дней в году. Регистрируемые приборами вибрации корней и почвы возникают уже при скорости ветра 5 м/с, которая равняется усредненной для степной зоны на юго-востоке Украины (рис. 3). Однако часто она возрастает до 10–15 м/с, а иногда до 20–30 м/с.

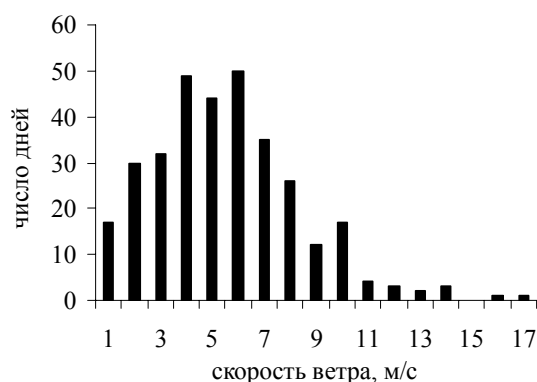


Рис. 3. Распределение дней в году (2010) по среднесуточной скорости ветра

Таким образом, вибрационные явления в структуре лесных биогеоценозов имеют различную природу, внешнего и внутреннего для биогеоценоза происхождения. Вибрации внутри биогеоценоза возникают при взаимодействии его компонентов и их элементов. В экологическом аспекте важнейшее значение имеют вибрации, порождаемые в ходе взаимодействия древостоя и ветра. Древесные растения являются транзиттерами механической энергии ветра, которая поглощается в верхнем биогеогоризонте фотосинтеза первого древесного яруса, преобразуясь в энергию колебаний кроны (рис. 4). Здесь же она в значительной степени рассеивается в виде тепла при трении ветвей и листьев с воздухом. В местах изгибов и соударений элементов кроны энергия колебаний также рассеивается в тепло (в результате внутреннего трения) и преобразуется в энергию упругой волны, которая распространяется по тканям растений в основном радиально. Энергия упругой волны передается в воздушную среду в биогеогоризонтах фотосинтеза, почве – в почвенных биогеогоризонтах и организмам-консортиям, вызывая ряд эколого-биологических эффектов.

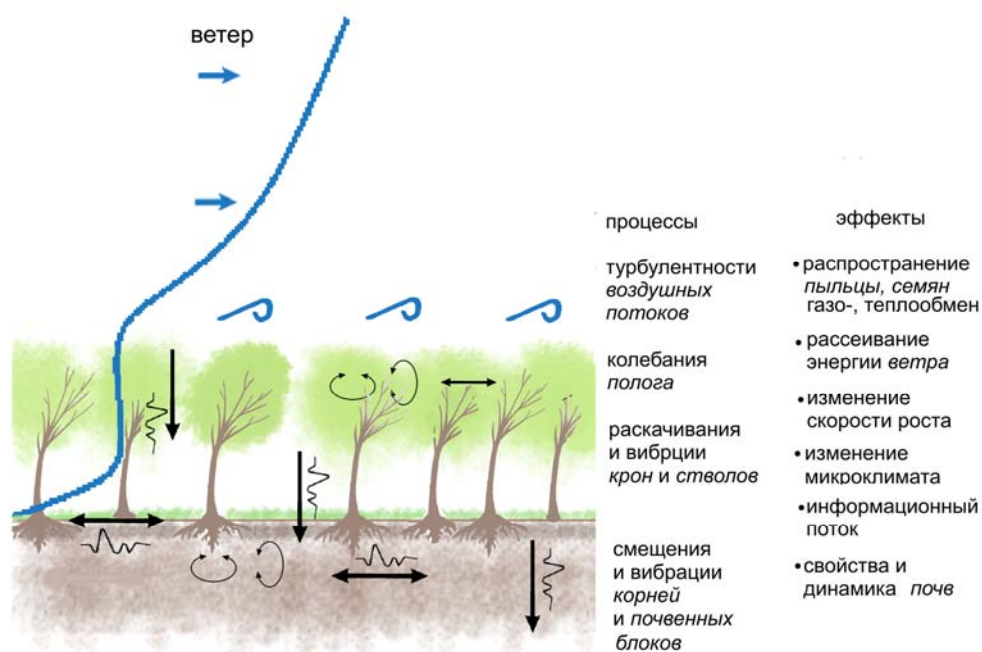


Рис. 4. Схема возникновения и распространения вибрационных процессов в лесном биогеоценозе при взаимодействии ветра с древостоем

Стрелками показаны направления распространения упругих волн и колебаний листьев, ветвей, стволов, корней растений, а также почвенных блоков

Влияние вибрационных процессов на почву. Результатом передачи энергии ветра через древостой почве являются следующие процессы (Нецветов, 2010): трение между корнями и почвой, смещение и колебание крупных блоков почвы (Травлеев, 2007), образование в ней трещин различного размера, периодическое образование зон сжатия и растяжения, разрушение блоков размера, измельчение агрегатов, вибрация почвы, педотурбации (Карпачевский, 1993). Как следствие перечисленных процессов – денудация, вибрационное перемещение и сепарация почвенных частиц различных фракций, изменение скорости гидротока. Механизм вибрационного воздействия на почву – приобретение энергии и смещение почвенных блоков, агрегатов, частиц, новообразований. Поэтому любые процессы, связанные с их механическим перемещением усиливаются или индуцируются вибрациями.

Лессиваж – механическая, т.е. без химического разрушения, вертикальная миграция почвенных коллоидов под действием гравитации (Duchaufour, 1951; Белова, 1999), определяет текстурную дифференциацию лесных черноземов в степной зоне Украины. Его усиление и индукция вибрациями показана в модельных экспериментах на различных типах почв (Нецветов, 2009). В почвенном профиле эффект вибрационного воздействия на вертикальную миграцию частиц изменяется в зависимости от глубины, физических и физико-химических свойств генетических горизонтов. Максимальные скорости вертикальной миграции частиц при действии вибрации зависят от пористости и некоторых других свойств почвы, содержания коллоидов в пептизированном состоянии. Их постепенное накопление в иллювиальных горизонтах при достижении определенной величины приводит к формированию физического барьера для вновь поступающих коллоидов.

Можно предположить, что влияние вибрационных процессов распространяется и на образование различных типов кутан, которые представляют собой новообразования на поверхностях пор, трещин, минеральных зерен, агрегатов и др. (Бронникова, 2005). По крайней мере, косвенно о таком влиянии свидетельствуют эксперименты по стеканию суспензии почвенных частиц по наклонной поверхности (Нецветов, 2010б).

Характер вибраций древесных растений вдоль катены изменяется (Нецветов, 2008) таким образом, что на плакоре они носят более высокочастотный характер, а на склонах и в тальвегах балок – сверхнизкочастотный. Однако, при возрастании скорости ветра до 10 м/с и более диапазон частот вибраций расширяется до звуковой области. Среднесуточная скорость ветра на юго-востоке Украины значительно ниже этого значения (см. рис. 3). Поэтому можно предполагать, что вибрационные процессы оказывают различное влияние на почвы вдоль катены и, таким образом, участвуют в формировании характерных особенностей педонов и полипедонов.

ВЫВОДЫ

Вибрационные процессы в лесных биогеоценозах возникают в результате эндогенных и экзогенных причин и оказывают влияние на организмы, их взаимодействие между собой и с экотопом. Основной эндогенной причиной возникновения вибраций различных субстратов в биогеоценозах является взаимодействие древостоя с потоками воздушных масс. С точки зрения функциональной и пространственной организации лесных биогеоценозов древесные растения являются трансмиттерами кинетической энергии ветра, которая передается радиально от верхних биогеогоризонтов фотосинтеза к почвенным биогеогоризонтам. Энергия воздушных потоков, полученная древесными растениями, передается по ним в почвенные биогеогоризонты в виде вибрационных процессов (попеременных смещений, сжатий, растяжений и упругих волн (вибраций)), которые оказывают влияние на физические свойства почвы и процессы почвообразования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Белова Н. А.** Естественные леса и степные почвы / Н. А. Белова, А. П. Травлев. – Д. : ДГУ, 1999. – 348 с.
- Бронникова М. А.** Кутанный комплекс текстурно-дифференцированных почв / М. А. Бронникова, В. О. Таргульян. – М. : Академкнига, 2005. – 197 с.
- Бяллович Ю. П.** Биогеоценотические горизонты / Ю. П. Бяллович // Труды МОИП. – 1960. – Т. III. – С. 43-60.
- Высоцкий Г. Н.** Учение о лесной пертиненции. Курс лесоведения, ч.3 / Г. Н. Высоцкий // Прилож. к ж. «Лесное хозяйство и лесная промышленность». – Л., 1929. – Вып. 6. – С. 3-72.
- Зонн С. В.** Почва как компонент лесного биоценоза / С.В. Зонн // Основы лесной биогеоценологии. – М. : Наука, 1964. – С. 372-457.
- Карпачевский Л. О.** Экологическое почвоведение / Л. О. Карпачевский. – М. : Изд-во МГУ, 1993. – 189 с.
- Кожевникова Т. Ю.** Электронная база эталонов сейсмических сигналов и сопутствующих им вулканических событий для вулкана Карымский / Т. Ю. Кожевникова //

Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. – Петропавловск-Камчатский, 2008. – С. 171-175.

Космос и биологические ритмы / Б. М. Владимирский, В. Г. Сидякин, Н. А. Темурьянц и др. – Симферополь, 1995. – 206 с.

Нецветов М. В. Вибрационные взаимосвязи дерева и почвы / М. В. Нецветов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2007. – Вып. 7. – С. 248-254.

Нецветов М. В. Вибрации деревьев, индуцированные движением трамваев / М. В. Нецветов, Е. П. Суслова // Вісник Запорізького національного університету. Серія біологічна. – 2008. – № 2. – С. 151-156.

Нецветов М. Вібраційний вплив автомобільного транспорту на дерева придорожніх смуг / М. Нецветов, О. Суслова // Вісник Львів. ун-ту. Серія Біологічна. – 2008. – Вип. 48. – С. 75-82.

Нецветов М. В. Вибрационная экология леса / М. В. Нецветов // Екологія та ноосферологія. – 2008. – Т. 19, № 3-4. – С. 40-50.

Нецветов М. В. Введение в вибрационную экологию / М. В. Нецветов, П. К. Хиженков, Е. П. Суслова. – Донецк : Вебер, 2009. – 164 с.

Нецветов М. В. Скорость звука и модуль упругости почвы: измерение и роль в передаче вибраций дерева на почву / М. В. Нецветов // Грунтознавство. – 2010а. – Т. 11, № 1-2. – С. 48-52.

Нецветов М. В. Вібрації коренів дуба звичайного та ґрунту, викликані дією вітру / М. В. Нецветов // Грунтознавство. – 2010б. – Т. 11, № 3-4. – С. 60-66.

Раздорский В. Ф. Архитектоника растений / В. Ф. Раздорский. – М. : Советская наука, 1955. – 431 с.

Раздорский В. Ф. Анатомия растений / В. Ф. Раздорский. – М. : Советская наука, 1949. – 524 с.

Сахаров М. И. О роли ветра в развитии лесных биогеоценозов / М. И. Сахаров // Докл. АН СССР. – 1947. – Т. 58, № 9.

Сокол Г. И. Экологическая проблема взаимодействия инфразвука с атмосферными явлениями / Г. И. Сокол, М. Е. Харченко // Збірник наукових праць СНУЯЕтаП. – 2009. – № 3. – С. 86-95.

Сукачев В. Н. Основы лесной биогеоценологии / В. Н. Сукачев. – М. : Наука, 1964. – 564 с.

Сытник К. М. Растительная клетка при изменении геофизических факторов / К. М. Сытник, Е. Л. Кордюм, Е. М. Недуха и др. – К. : Наук. думка, 1984. – 136 с.

Таргульян В. О. Почвообразование и элементарные почвообразовательные процессы / В. О. Таргульян // Почвоведение. – 1985. – № 11. – С. 36-45.

Травлеев А. П. Микроморфология лессиважных процессов в байрачных лесных черноземах степной Украины / А. П. Травлеев, J. M. Recio Espejo, Н. А. Белова, Е. В. Кузнецов, А. К. Балалаев, В. Е. Кузнецов // Грунтознавство. – 2007. – Т. 8, № 1-2. – С. 6-24.

Brüchert F. The effect of wind exposure on the tree aerial architecture and biomechanics of Sitka spruce (*Picea sitchensis*, Pinaceae) / F. Brüchert, B. Gardiner // American Journal of Botany. – 2006. – 93. – P. 1512-1521.

Cocroft R. B. The behavioral ecology of insect vibrational communication / R. B. Cocroft, R. L. Rodriguez // BioScience. – 2005. – 55. – P. 323-334.

Coutand C. Biomechanical study of the effect of a controlled bending on tomato stem elongation: local strain sensing and spatial integration of the signal / C. Coutand, B. Moulia // Journal of Experimental Botany. – 2000. – 51. – P. 1825-1842.

Dupont S. Simulation of turbulent flow in an urban forested park damaged by a windstorm / S. Dupont, Y. Brunet // Boundary-Layer Meteorology. – 2006. – 120. – P. 133-161.

Duchaufour Ph. Lessivage et podsolisation / Ph. Duchaufour // Revue forestiere francaise. – 1951. – № 10. – P. 652-674.

Finnigan J. J. Turbulent airflow in forests on flat and hilly terrain / J. J. Finnigan, Y. Brunet // In. Wind and trees. Coutts M. P., Grace J. – Cambridge: Cambridge University Press, 1995. – P. 3-40.

Finnigan J. J. Turbulence in plant canopies / J. J. Finnigan // Annual Review of Fluid Mechanics. – 2000. – 32. – P. 519-571.

Hill P. S. M. How do animals use substrate-borne vibrations as an information source? / P. S. M. Hill // Naturwissenschaften. – 2009. – 96. – P. 1355-1371.

Hintikka V. Wind-induced root movements in forest trees / V. Hintikka // Metsäntuki muslaitok julk. – 1973. – 76, N 2. – P. 156.

Innoue E. Studies of phenomena of waving plants ('Honami') caused by wind. II. Spectra of waving plants and plants 'vibration' / E. Innoue // Journal of Agricultural Meteorology (Tokyo). – 1955. – 11. – P. 87-89.

- Jacobs M. R.** A Study of the Effect of Sway on Trees / Commonwealth Forestry Bureau Bulletin 26. – Canberra, Australia: Commonwealth Forestry Bureau, 1939.
- Jaffe M.** Thigmomorphogenesis: the response of growth and development to mechanical stimulation with special reference to *Bryonia dioica* / M. Jaffe // Planta. – 1973. – 114. – P. 143-157.
- James K. R.** Mechanical stability of trees under dynamic loads / K. R. James, N. Haritos, P. K. Ades // American Journal of Botany. – 2006. – 93. – P. 1522-1530.
- Kirschvink J. L.** Earthquake prediction by animals: evolution and sensory perception / J. L. Kirschvink // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2000. – 9, No. 2 – P. 312-323.
- Lacusic S.** Impact of tram traffic on noise and vibrations / S. Lacusic // Electronic Journal «Technical Acoustics». <<http://www.ejta.org>> – 2006. – 13.
- Langre E. de.** Effects of wind on plants / E. de Langre // Annual Review of Fluid Mechanics. – 2008. – 40. – P. 141-168.
- Narins P. M.** Seismic and Vibrational Signals in Animals / P. M. Narins, N. Losin, C. E. O'Connell-Rodwell / Larry R. Squire, Editor-in-Chief // Encyclopedia of Oxford: Neuroscience, Academic Press, 2009. – P. 545-549.
- Netsvetov M.** Seasonal variations of oscillation and vibration parameters of *Acer platanoides* L. / M. Netsvetov, V. Nikulina // Dendrobiology. – 2010. – 64. – P. 37-42.
- Neumann D.** Tidal and lunar rhythms / D. Neumann, Ed. J. Aschoff // Biological rhythms Handbook of behavioral neurobiology. – New York, 1981. – P. 351-380.
- Niklas K. J.** Differences between *Acer saccharum* leaves from open and wind-protected sites / K. J. Niklas // Annals of Botany. – 1996. – 78. – P. 61-66.
- O'Connell-Rodwell C. E.** Keeping an "Ear" to the Ground: Seismic Communication in Elephants / C. E. O'Connell-Rodwell // Physiology. – 2007. – 22. – P. 287-294.
- Paul-Victor C.** Effect of mechanical perturbation on the biomechanics, primary growth and secondary tissue development of inflorescence stems of *Arabidopsis thaliana* / C. Paul-Victor, N. Rowe // Annals of Botany. – 2011. – 107. – P. 209-218.
- Roden J.** Modeling the light interception and carbon gain of individual fluttering aspen (*Populus tremuloides* Michx) leaves / J. Roden // Trees Struct. Funct. – 2003. – 17. – P. 117-26.
- 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. – 96(5). – P. 885-896.
- Smith V. C.** The effects of air flow and stem flexure on the mechanical and hydraulic properties of the stems of sunflowers *Helianthus annuus* L. / V. C. Smith, A. R. Ennos // Journal of Experimental Botany. – 2003. – 54. – P. 845-849.
- Spatz H.-C.** Multiple resonance damping or how do trees escape dangerously large oscillations? / H.-C. Spatz, F. Brüchert, J. Pfisterer // Am. J. Bot. – 2007. – 94. – P. 1603-1611.
- Tong H.** The effect of turbulence on the light environment of alfalfa. Agric. / H. Tong, L. Hipps // Forest Meteorol. – 1996. – 80. – P. 249-261.
- Vogel S.** Leaves in the lowest and highest winds: temperature, force and shape / S. Vogel // New Phytologist. – 2009. – 183. – P. 13-26.

Надійшла до редколегії 01.06.11