

ВИБРАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ ЛЕСА

М. В. Нецветов

*Донецкий национальный университет***ВІБРАЦІЙНА ЕКОЛОГІЯ ЛІСУ**

Розглянуто різноманітні шляхи генерації вібрацій деревами. Проведені дослідження та огляд літератури дозволяють визначити спектр коливань дерев та їх частин. Розглянуто вібраційні зв'язки дерев з тваринами та ґрунтом. Показано, що загальна закономірність впливу вібрацій на рослинний та тваринний організми полягає в модифікації біологічних ефектів інших екологічних чинників. Запропоновано поняття вібраційної екології.

Ключові слова: дерева, вібрації, екологія.

M. V. Netsvetov

*Donetsk National University***VIBRATIONAL ECOLOGY OF THE FOREST**

Different approaches to the generation of oscillation by trees are reviewed in the present article. Summarized results of investigations helps to define a spectre of the trees and their parts vibration. The observation of an interaction of trees, animals and soil carried out. It was found that the vibration influence on animals and vegetal organisms consists in modifying of biological effects of some ecological factors. The vibration ecology idea is suggested for the first time.

Key wards: trees, vibrations, ecology.

Среда обитания живых организмов обладает рядом черт, которые в большей или меньшей степени были присущи ей на протяжении всего или большей части времени существования жизни на Земле. К наиболее древним природным явлениям принадлежат сейсмические колебания, связанные с тектоническими процессами, грозовой деятельностью, приливами и прибоем. Периоды сейсмических волн определяются секундами и их долями, а частоты соответственно долями и единицами герц. Так, сейсмические колебания, производимые прибоем, имеют максимум энергии на частотах 0,14 и 0,07 Гц, вибрации поверхности почвы при ударах грома происходят на частотах около 20 Гц (*Frantii et al.*, 1962). Упругие колебания земной поверхности с частотами более 10–20 Гц быстро затухают по мере удаления от эпицентра, в то время как сверхнизкочастотные распространяются на десятки километров и более.

Со времен появления растений, возвышающихся над поверхностью воды или субстрата, геофизический сейсмический фон стал дополняться локальными вибрациями, генерируемыми при воздействии ветра на растения. По мере увеличения их размеров и масштабов их сообществ все более явными становились и производимые ими вибрации. Увеличение размеров представителей животного мира характеризуется той же закономерностью – возрастание амплитуд колебаний, распространяемых по субстратам, на которых они обитают или питаются. Разнообразие производимых животными и растениями вибраций вместе с явлениями чисто геофизического происхождения формирует своеобразные вибрационные и вибро-акустические ландшафты. Развитие техники также вносит свой вклад в формирование окружающего вибрационного фона, и здесь, с увеличением размера механизма или конструкции, генерируемые ими вибрации становятся все более ощутимыми. Конкретные причины их возникновения и воздействие на человека настолько важны с позиций техники и медицины соответственно, что для их изучения созданы специальные лаборатории, институты и общества.

Эффекты вибраций, не связанные со здоровьем человека и его деятельностью, изучаются менее интенсивно, а некоторые аспекты экологической роли вибрации и

вовсе остаются практически неизученными. Регулярному исследованию подлежат лишь отдельные аспекты этой проблемы, например вибрационная сигнализация (*Vibration*, 2001). Мало изучены общие закономерности влияния вибраций как экологического фактора на организмы. Не до конца ясны возможные экологические эффекты техногенных вибраций. Единичные исследования касаются вибрационных характеристик растений и их роли во взаимодействиях с другими тесно связанными с ними организмами или влияния на физические свойства и процессы в почве. Именно таким малоисследованным вопросам экологического значения вибраций посвящена настоящая работа.

Вибрационный фон, производимый растениями. Взаимодействие растений с факторами различного происхождения порождает сложный вибрационный фон. Вибрации образуются внутри самих растений, сопутствуя образованию каверн при недостатке влаги. Дождь создает не только звуковые хлопки, но и колебания листьев растений с частотой, определяемой местом попадания капли на листовую пластинку (*Casas et al.*, 1998; *Barth et al.*, 1998). Вибрации листьев могут вызываться распространяемым по воздуху звуком (*Cocroft and Rodriguez*, 2005). Звуковой вклад может быть значительным, если его источник присутствует длительное время. Такими источниками могут быть как разные приборы, механизмы, так и животные: большое количество цикад на дереве, лягушки в пруду и др.

Животные участвуют в создании вибрационного фона и непосредственно, используя растения в качестве основы для передачи вибрационных сигналов при внутривидовых и межвидовых взаимодействиях (*Vibrations ...*, 2001). Часто вибрации частей растений вызываются невынужденно при движении или во время питания на них. Например, дятел, ударяя клювом о дерево, вызывает не только звуковые колебания, но и вибрацию.

Наибольшее значение в формировании вибрационного фона в растительных сообществах имеет ветер (Нецветов, 2003а, 2003б; *Cocroft, Rodriguez*, 2005). В соответствии с теорией упругости и колебаний в результате воздействия однородного потока воздуха элементы деревьев колеблются с частотами, близкими к собственным. Однако даже при неоднородном потоке, характерном для ветра, собственные частоты будут обязательно присутствовать в спектре колебаний, так как какое-то время между порывами поток будет иметь однородный характер. Сила ветра, выражающаяся в его скорости, определяет амплитуду отклонения листьев, ветвей, стволов и других колеблющихся элементов.

Характер колебаний, индуцированных ветром, различен среди растений разных видов, а на одном и том же растении он отличается для листьев, черешков, ветвей, ствола, корней (*Barth et al.*, 1988; *McVean, Field*, 1996; Нецветов, 2003б, 2003в; *Cocroft, Rodriguez*, 2005). В исследованиях Ф. Г. Барта с соавторами (1988) показано, что основная часть спектра колебаний растений относится к области ниже 30 Гц, частоты выше этого значения появляются при трении листьев и ветвей друг об друга. При соприкосновении листьев и стеблей разных растений происходит передача вибраций от растения к растению (*Ichikawa, Ishii*, 1974). При действии ветра на дерево вибрационный шум характеризуется не только набором собственных частот колеблющихся частей дерева, но и дополняется их модуляциями. В спектре (1,9–70 Гц) колебаний обдуваемой сосновой веточки с хвоинками содержится несколько частот, число которых определяется основными частотами отдельных колеблющихся элементов и модуляциями (Гришин, 2001). Р. Б. Кокрофт и Р. Л. Родригез (2005) указывают, что энергия вибрации черешков листьев ореха черного и робинии псевдоакации максимальна на сверхнизких частотах ниже 10 Гц.

Нами (Нецветов, 2003б, 2003в; *Netsvetov*, 2005) были проведены полевые измерения и теоретические оценки вибраций и раскачиваний стволов и ветвей деревьев. Отметим наиболее важные результаты и выводы. Сезонные колебания влажности и массы кроны за счет листьев обуславливают соответствующую периодичность изменений частот вибрации дерева. Радиальный прирост ствола и ветвей увеличивает частоты f колебаний ($f \sim d$). Более существенным оказывается рост в длину l (рис. 1), который приводит к снижению частоты собственных колебаний ($f \sim 1/l^2$). Однако при

одной и той же длине ствола растения с большей конусностью (d/l или d/l^2) ствола обладают более высокими частотами. В результате в пределах одной популяции вибрационные характеристики растений варьируют в зависимости от их возраста, сезона и жизненных состояний.

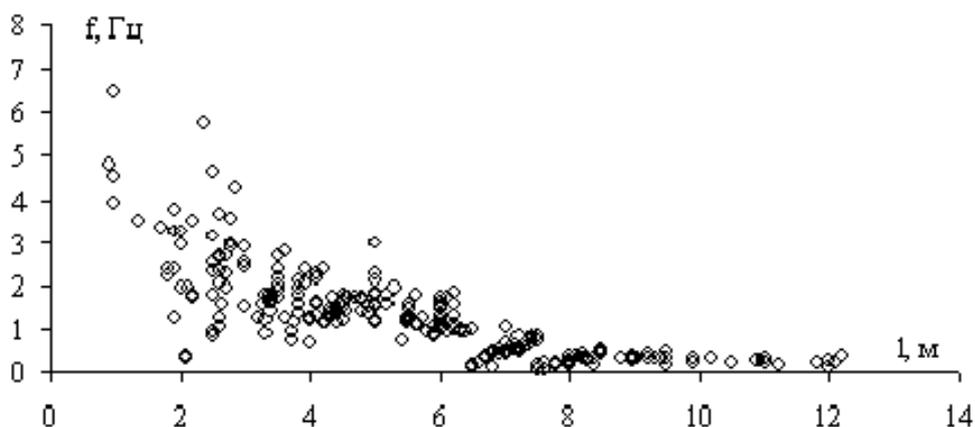


Рис. 1. Значения измеренных частот колебаний 256 ветвей и стволов дуба черешчатого в зависимости от их линейных размеров (Нецветов, 2003в)

Видовые особенности архитектуры кроны и отличия плотности древесины обуславливают разнообразие в характере спектров колебаний растений разных видов. «Тяжеловесные» виды, в наших лесах принадлежащие к родам *Quercus*, *Acer* и др., в силу свойств древесины обладают более высокими частотами, по сравнению с «легкими», например *Tilia* (Нецветов, 2003в). Свойствами древесины определяется и затухание вибраций, распространяемых по дереву и ветвям. Различный характер вибраций деревьев, кустарников и травянистых растений определяет, по всей вероятности, разнообразие вибрационных ландшафтов при переходе от открытых пространств с низкорослой травянистой растительностью степи к опушке и от опушки в глубь леса.

При обтекании стволов и ветвей воздушным потоком большой скорости они начинают колебаться с частотами в звуковом диапазоне (Нецветов, 2003б). Кроме параметров ветра, конкретные значения частот колебаний в этом случае зависят от сечения обтекаемой воздухом части растения. Так, чем тоньше ветви, тем выше частоты их колебаний. Отсюда понятно, что вибрации в звуковом диапазоне будут проявляться на верхушках деревьев и в ветвях кустарников и деревьев с малым диаметром на опушке (рис. 2). Кроме того, упругие колебания в звуковом диапазоне хорошо передаются вдоль древесных волокон, возникая от разных причин: столкновения и трения ветвей друг о друга, сжатия и растяжения волокон при ударах или в местах ответвления при раскачивании ветвей.

Раскачивание различных частей растения и в первую очередь ствола вызывают вибрации и смещения корней в различных направлениях (рис. 3) (Нецветов, 2006). В полевых исследованиях, проведенных В. И. Даниликом с соавторами (1989), установлено, что смещение стволов около 1 м при раскачивании вызывает отклонение корней на величины порядка 0,1–1 мм.

Поскольку древесные растения находятся в центре межвидовых связей, можно ожидать разнообразие эффектов их вибрационного взаимодействия с консортами и компонентами биогеоценозов, часть из них представлена на рис. 4 и рассмотрена далее.

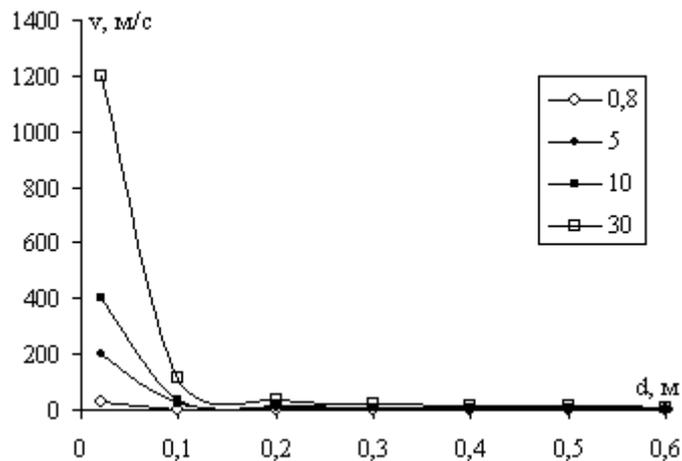


Рис. 2. Зависимость частоты аэродинамических вибраций стволов и ветвей деревьев от скорости ветра (Нецветов, 2003б)

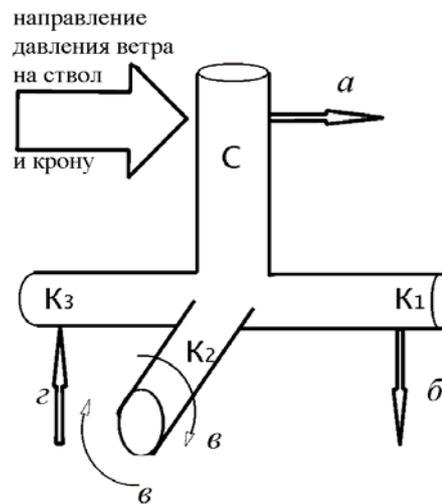


Рис. 3. Силы (а, б, в, г), действующие на ствол (С) и корни дерева ($\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$) под давлением ветра (Нецветов, 2006)

Вибрационное влияние растений на физические свойства почвы. Через корни растение оказывает вибрационное воздействие на почву, оно зависит от типа корневой системы растения, увеличиваясь при наличии длинных поверхностных корней. Поскольку своим строением и упруго-механическими свойствами почва сильно отличается от растений, значительная часть энергии колебаний будет рассеиваться в виде тепла. Тем не менее вибрации регистрируются на участках почвы между корнями дерева и оказывают влияние на скорость прохождения воды в глубь почвы (Данилик, 1989), уплотнение или разрыхление почвы под колеблющимися частями дерева (Hartge et al., 1983), что облегчает проникновение микрофлоры к ризосфере (Hintikka, 1973).

Нами изучено влияние вибраций на перемещение микро- и наночастиц через почвенные образцы и модельный субстрат (Нецветов, 2007). Показано, что вибрация сухих образцов почвы или модельного субстрата приводит к разобщению частиц между собой, уменьшению сцепления с субстратом и прохождению в поровые пространства. Значения эффективных частот лежат в диапазоне от 1 до ~100 Гц. Скорость перемещения при неизменных параметрах вибрации увеличивается с уменьше-

нием размера частиц. Наличие небольшого количества влаги приводит к сцеплению с поверхностью почвы. Если же влага заполняет все пространство пор в субстрате, вибрация оказывает влияние лишь на наиболее крупные частицы, соприкасающиеся с колеблющейся поверхностью. Мелкие частицы во взвешенном состоянии действию вибрации практически не подвержены. Частицы, оседающие на дно, под действием вибрации снова переходят в объем жидкости.

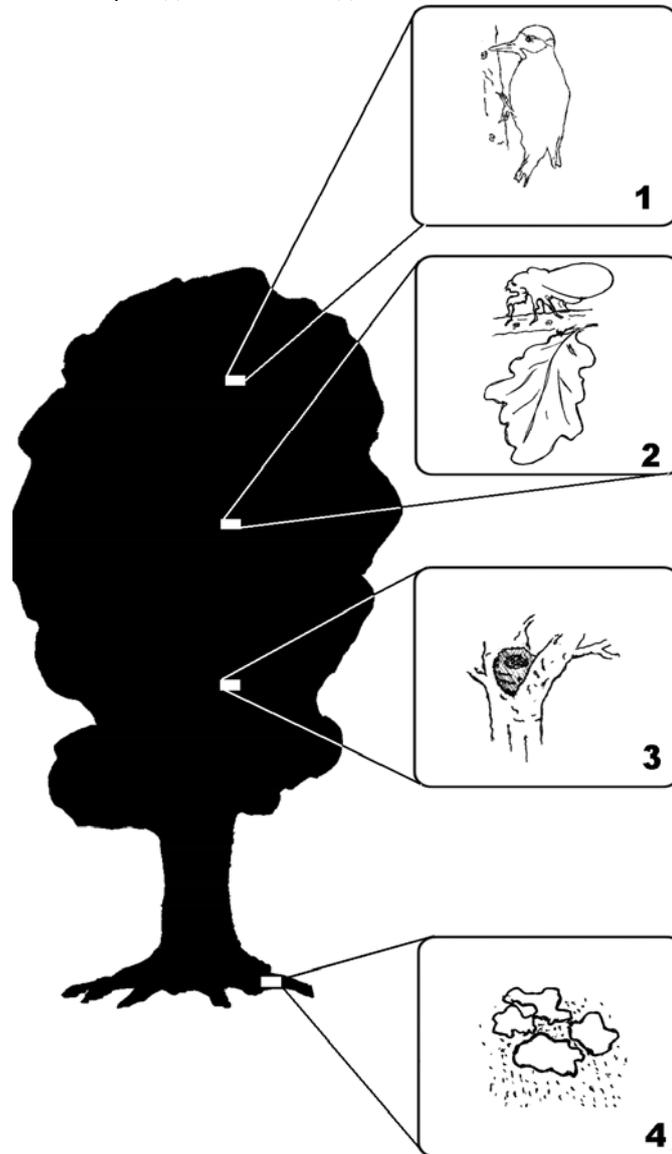


Рис. 4. Вибрационные взаимодействия между деревом, животными и почвой:

1 – питание на дереве вызывает упругие колебания его волокон в диапазоне звуковых частот, передаваемые по стволу и ветвям; 2 – вибрационная и акустическая сигнализация животных, вызывает колебания частей растений в низкочастотной области; 3 – воздействие вибраций и раскачиваний дерева на микроклимат гнезд и непосредственно на животных; 4 – вибрационное влияние на почву через корневую систему

Применение магнитной вибрации (Нецветов, 2007) позволило провести тестовые измерения скорости прохождения частиц разных размеров через образцы почвы, отобранные с различной глубины профиля чернозема. Выявлено неравномерное изменение скорости экспериментального лессиважа с увеличением глубины, что связано со изменением морфологии различных генетических горизонтов (рис. 5). На основе результатов наших исследований и работ других авторов нами были обобщены возможные механизмы влияния вибраций на процесс лессиважа: 1) уплотнение или разрыхление почвы под колеблющимися частями дерева, стволом и корнями, механическое измельчение агрегатов; 2) формирование трещин и свободного пространства вокруг корней; 3) уменьшение сил взаимодействия между частицами и стенками пор и, как следствие, облегчение перемещения под действием гравитации; 4) увеличение скорости гидротока; 5) предположительно, влияние на неравновесные процессы в почвенных коллоидных растворах.

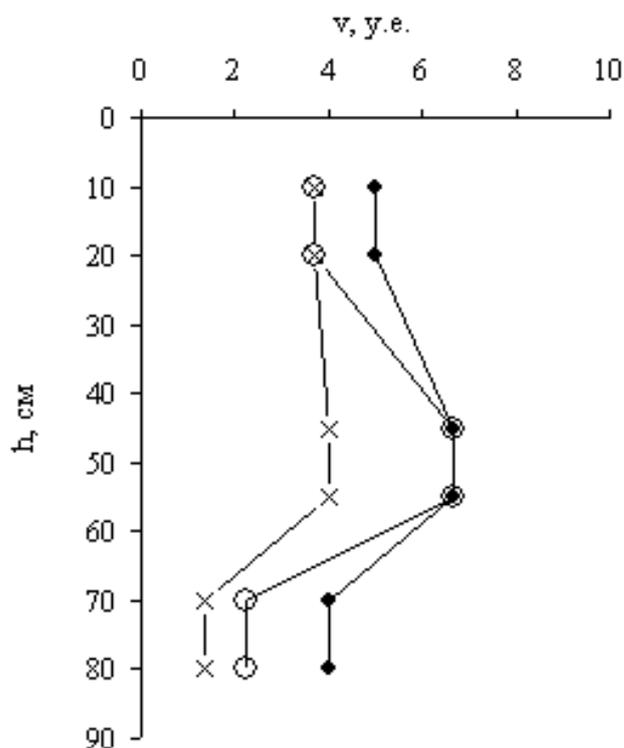


Рис. 5. Скорость магнитного вибрационного перемещения микро- и наночастиц вдоль профиля чернозема лесоулучшенного

Частота магнитного поля – 40 Гц, напряженность – 150 Э. ● – частицы никеля от 5 нм до 20 мкм; ○ – 20–100 мкм; x – 100–200 мкм (Нецветов, 2007)

2. Вибрации в консортивных взаимосвязях. Свойства растений генерировать и передавать по своим тканям упругие колебания не могут не отражаться на жизнедеятельности тесно связанных с ними организмов. Это обусловлено, по крайней мере, высокой чувствительностью животных различных таксонов к вибрациям. Для их восприятия животные пользуются органами слуха, которые в процессе эволюции развились из органов восприятия механических колебаний, передаваемых от субстрата через квадратную кость во внутреннее ухо. Другой механизм вибрационной чувствительности у животных – соматосенсорный (Сравнительная физиология, 1977) – обеспечивается различными механорецепторами у наземных позвоночных, органами боковой линии у рыб и постоянно обитающих в воде амфибий. У членистоногих

наиболее известными сенсорами вибраций являются трихоботрии, сенсиллы и сколопидии, лировидные органы, органы Джонсона и некоторые другие образования (*Vibration ...*, 2001).

Экологическое значение вибраций растительного происхождения для животных стало изучаться лишь в последние десятилетия. Среди печатных работ основное внимание здесь уделяется роли вибрационных свойств растений в эффективности вибрационных взаимодействий обитающих на них животных (см. обзор *Cocroft, Rodrigues*, 2005). Работы, посвященные другим аспектам экологического значения колебаний растений, в литературе практически не встречаются. В то же время физиологическим эффектам вибраций посвящено большое количество статей и даже монографии (Романов, 1983). В некоторой степени этот пробел восполняется нашей работой, где изучалось изменение микроклимата гнезд сорок при раскачивании деревьев под действием ветра (*Netsvetov*, 2005).

Высота расположения гнезд сорок, отмеченная нами, варьировала от 1,80 м на берескете в посадке за чертой города до 16 м на пирамидальном тополе во дворе биологического факультета Донецкого университета (рис. 6). Однако разброс частот раскачиваний гнезд оказался небольшим, во всех случаях они относятся к диапазону до 10 Гц. Частота колебаний гнезда определяется породой дерева, высотой ствола и высотой расположения гнезда, массой кроны и самого гнезда. Амплитуда отклонения определяется силой ветра.

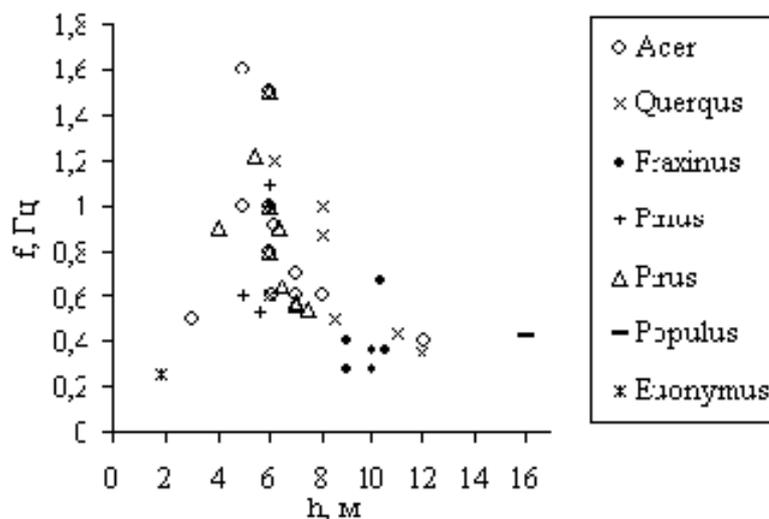


Рис. 6. Распределение гнезд сорок в поле высоты расположения и частоты раскачиваний (*Netsvetov*, 2005)

В целом, без разделения деревьев по видам, зависимость частоты колебаний от высоты имеет колоколообразный вид. По замерам амплитуд и частот колебаний гнезд во время ветра были рассчитаны ускорения, величина которых в отдельных случаях возрастала до ~ 1 g. Однако, учитывая неодинаковую силу ветра во время исследования раскачиваний разных гнезд, можно предполагать, что значения ускорений бывают и более высокими при сильном ветре. Хотя мы изучали колебания гнезд сорок, очевидно, что они имеют место и у других видов, гнездящихся на деревьях, кустарниках или в высокой траве.

В связи с раскачиваниями и вибрациями ветвей и стволов (стеблей) растений с гнездами можно выделить несколько эффектов их влияния на биологию птиц (*Netsvetov*, 2005): 1. Изменение микроклимата гнезда и возрастание скорости остывания кладки. 2. Влияние на водные растворы белков, соотношение одно- и двухвалентных неорганических ионов. Эти эффекты предполагают наличие соответствующих поведенческих и физиологических адаптаций, указать на которые нам представ-

ляется сложным. Открытым остается вопрос о дополнительной стимуляции развивающихся органов равновесия и их анализаторов при раскачивании и вибрациях.

Особенности влияния вибраций на организмы животных и растений. Согласно современным представлениям влияние вибрации на живые организмы включает два аспекта: непосредственное механическое воздействие на организм в целом, на отдельные морфофункциональные системы, ткани и т.д. вплоть до молекул и атомов; далее следуют весьма разнообразные вторичные физиологические эффекты. Это частотно-зависимые реакции, непосредственно возникающие при вибрационных движениях или деформациях всего организма или его отдельных структур, что согласно С. В. Романову (1983) связано с явлением резонанса. Такие реакции включают также общие неспецифические ответы, как на любой другой стрессовый фактор и отражаются на энергетическом обмене клеток, органелл и белоксинтезирующего комплекса. В ответ на воздействие вибрации в организме могут реализовываться три типа реакций: 1) изменения в органах, тканях и клетках, вызываемые процессами распространения волн в упругих средах; 2) возвратно-поступательные перемещения всего организма, органов относительно друг друга и тела, структурных элементов клетки; 3) раздражение виброрецепторов, назначение которых – сенсорное восприятие механических колебаний.

Тем не менее, поскольку колебания субстратов являются широко распространенным явлением в естественной среде обитания, организмы должны были бы приобрести соответствующие адаптации к ним. Об их наличии и границах можно судить по реакциям на вибрационное воздействие у грызунов (Netsvetov *et al.*, 2003; Энглези, 2004).

При изучении ионного гомеостаза и биохимических показателей уровня стрессированности нами были получены результаты, которые свидетельствуют о различной реакции на вибрации разных частот, причем эффект вибрации заключается в основном в увеличении реакции на дополнительную стрессовую нагрузку на организм. Нами также было отмечено разнонаправленное изменение двигательной активности и поведенческой реакции мышей при довольно длительных (больше 30 мин в день), не свойственных для естественной среды вибрационных воздействиях. Так, вибрации с частотой 50 Гц, более характерные для промышленных механизмов, чем для естественных источников, вызывали выраженную аверзивную реакцию, которая не ослабевала на протяжении всего времени экспозиции.

Реакции некоторых растений на вибрации – сейсмонастии – давно и довольно подробно изучены, но вне этой проблемы влиянию вибрации на растительные организмы уделялось существенно меньше внимания, чем на животных и человека. Сведения о более ранних единичных исследованиях приведены в работе К. М. Сытника и соавторов (1972), где показаны также результаты изучения действия вибрации на ультраструктуру клеток *Clorella vulgaris*, *Funaria hydrometria*, *Pisum sativum*, *Naeplopappus gracilis*. Вибрации могут вызывать замедление или ускорение роста в присутствии его медиаторов. Так, нами было показано, что при замачивании семян злаков в воде низкочастотные вибрации не обладают статистически значимым эффектом на всхожесть и рост проростков (Хиженков, 2006). Но при добавлении в раствор для замачивания тяжелых металлов эти ростовые показатели снижаются на более, чем 80 %. В дальнейшем нами были установлены закономерности прорастания семян при вибрационном воздействии и добавлении органической соли свинца в раствор для полива. Выявлено, что величина и направление действия вибрации как при замачивании, так и при проращивании зависит от частоты и вещества медиатора. Действие вибрации совместно с ингибитором обладает эффектом, противоположным наблюдаемому при взаимодействии со стимулятором (рис. 7). Для растений разных видов частотные зависимости эффекта вибраций отличаются. Например, максимальный эффект в увеличении средних длин ростков ячменя наблюдали при частотах 40 и 85 Гц, при которых ростовые показатели ячменя и кукурузы не изменились по сравнению с контролем (Хиженков, 2006). В целом влияние вибраций на ростовые показатели растений можно оценить как регуляторное, модифицирующее эффект ингибиторов или стимуляторов роста.

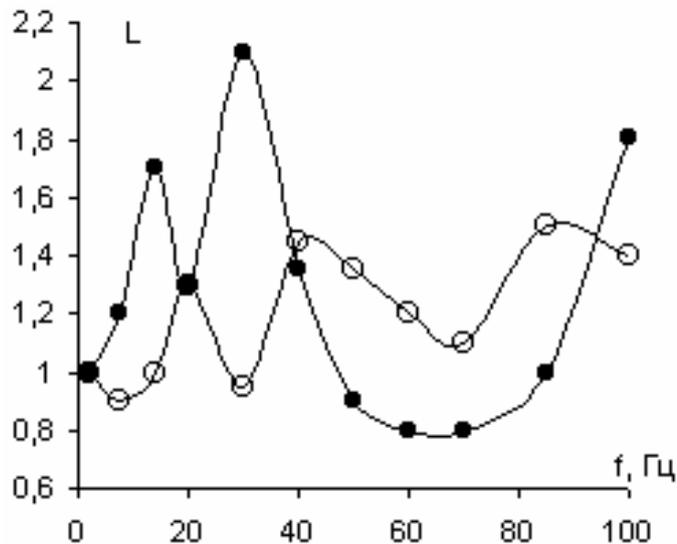


Рис. 7. Зависимость относительных средних длин ростков (L) от частоты вибрации в условиях полива растворами 1,5 % соли свинца (○) и 0,1 % гумата калия (●)

В заключение обобщим затронутые в работе проблемы.

1. На фоне колебаний, порождаемых естественными геофизическими сейсмическими процессами, вибрации производятся и живыми организмами. В случае растений основной причиной генерируемых колебаний является ветер. Физические характеристики вибраций деревьев определяются видоспецифичными свойствами их волокон, размерами и формой кроны, сезоном года и жизненным состоянием. Видовые отличия растений в составе различных фитоценозов, у опушки и в глубине леса являются основой для формирования разнообразных вибрационных ландшафтов при переходе от открытых пространств степей к лесам.

2. Посредством вибраций, передаваемых по ветвям и стволу к корням, растения оказывают дополнительное влияние на физические характеристики почвы, участвуя в дезагрегации, формировании дополнительных трещин и свободных пространств, индуцируя или изменяя скорость перемещения микро- и наночастиц.

3. Животные, чья жизнедеятельность тесно связана с растениями, могут испытывать на себе эффект вибраций и раскачивания, который может состоять как в физиологической и биохимической реакции, так и в изменении микроклимата гнезда в случае птиц.

4. Биологический эффект вибраций с параметрами, характерными для естественной среды обитания, состоит в основном в модификации реакции на другие факторы среды обитания, интенсивность или концентрация которых близка или выходит за пределы значений толерантности организмов.

Безусловно, работы, приведенные в обзоре, и полученные нами результаты не дают окончательных ответов на ряд вопросов об экологической значимости вибраций и требуют дополнительного подтверждения и дальнейшей детализации. Однако все сказанное выше служит достаточным основанием для определения понятия вибрационной экологии. В нашем понимании вибрационная экология – отрасль общей экологии, объектом которой являются вибрации геофизического, биологического, техногенного и комбинированного происхождения, распространяемые в среде обитания живых организмов. Ее предмет – значение вибраций в жизнедеятельности и эволюции организмов; их взаимодействие с другими экологическими факторами; вибрационная сигнализация во внутри- и межвидовых взаимодействиях; эффекты вибраций растений как ядра консорциев во взаимодействии со связанными с ними организмами (консортиями); вибраци-

онное воздействие растений на свойства почв и происходящие в них процессы; деформация естественного вибрационного фона техногенными колебаниями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Вибрационная биомеханика.** Использование вибрации в биологии и медицине / К. В. Фролов, А. С. Миркин, В. Ф. Машанский и др. – М.: Наука, 1989. – 142 с.
- Гришин А. М.** О возникновении колебаний элементов лесных горючих материалов и их влиянии на режимы воспламенения и горения / А. М. Гришина, А. Н. Голованов, В. В. Медведев // Прикладная механика и техническая физика. – 2001. – Т. 42, № 4. – С. 127-135.
- Данилик В. Н.** Влияние колебаний корней деревьев на водопроницаемость почвы / В. Н. Данилик, Г. П. Макаренко, О. В. Толкач // Лесоведение. – 1989. – № 1. – С. 40-45.
- Нецветов М. В.** Вертикальное перемещение микрочастиц в почве под действием вибрации сверхнизких частот // Грунтознавство. – 2003а. – Т. 4, № 1-2. – С. 62-65.
- Нецветов М. В.** Вибрации в лесу под действием ветра (теоретический аспект оценки частот) // Екологія та ноосферологія. – 2003б. – Т. 13, № 1-2. – С. 87-92.
- Нецветов М. В.** Сверхнизкочастотные колебания *Quercus robur* L. и *Acer platanoides* L. // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона: Межведомственный сборник научных работ. – Донецк: ДонГУ, 2003в. – Вып. 3. – С. 58-62.
- Нецветов М. В.** Влияние вибраций 1-100 Гц на перемещение микрочастиц в почве // Грунтознавство. – 2006. – Т. 7, № 3-4. – С. 92-96.
- Нецветов М. В.** Нанотехнологии в моделировании лессиважа / М. В. Нецветов, П. К. Хиженков // Матеріали Міжнар. наук. конф. з проблем екологічної мікрморфології ґрунтів // Грунтознавство. – 2007. – Т. 8, № 1-2. – С. 140.
- Романов С. Н.** Биологическое действие механических колебаний. – Л.: Наука, 1983. – 208 с.
- Сравнительная физиология** животных. Т. 2. – М., 1977. – 571 с.; Т. 3. – М., 1978. – 654 с.
- Сытник К. М.** Растительная клетка при изменении геофизических факторов / К. М. Сытник и др. – К., 1984. – 136 с.
- Хиженков П. К.** Накопление свинца растениями под влиянием электрических токов и вибраций / П. К. Хиженков, М. В. Нецветов // Екологія та ноосферологія. – 2006. – Т. 17, № 1-2. – С. 51-54.
- Энглези А. П.** Влияние низкочастотных физических факторов на ионный обмен в очагах травматической деструкции. 3. Сравнительный анализ / А. П. Энглези, П. К. Хиженков, М. В. Нецветов // Вісник проблем біології і медицини. – 2004. – Вип. 4. – С. 19-24.
- Barth F. G., Bleckmann H., Bohnenberger J., Seyfarth E. A.** Spiders of the genus *Cupiennius* Simon 1891 (Araneae, Ctenidae), II: On the vibratory environment of a wandering spider // *Oecologia*. – 1988. – V. 77. – P. 194-201.
- Casas J., Bacher S., Tautz J. et al.** Leaf vibrations and air movements in a leafminer-parasitoid system // *Biological Control*. – 1988. – V. 11. – P. 147-153.
- Cocroft R. B., Rodriguez R. L.** The behavioral ecology of insect vibrational communication // *BioScience*. – 2005. – V. 55. – P. 323-334.
- Frantii G. F., Willis D. E., Wilson J. T.** The spectrum of seismic noise // *Bull. Seismol. Soc.* – 1962. – V. 52. – P. 113.
- Hartge K. H., Bläsing D., Herklotz K.** Veränderungen des Bodengefügen unter dem Einfluss mehrjähriger Baumwurzeln // *Fortwiss. Cbl.* – 1983. – B. 102, N 2. – P. 99-110.
- Hill P. S. M.** Vibration and animal communication: a review // *Amer. zool.* – 2001. – V. 41. – P. 1135-1142.
- Hintikka V.** Wind-induced root movements in forest trees // *Metsäntuki muslaitok julk.* – 1973. – V. 76, N 2. – P. 1-56.
- Ichikawa T., Ishii S.** Mating signal of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal (Homoptera: Delphacidae): Vibration of the substrate // *Applied Entomology and Zoology*. – 1974. – V. 9. – P. 196-198.
- McVean A., Field L. H.** Communication by substratum vibration in the New Zealand tree weta, *Hemideina femorata* (Stenopelmaticidae: Orthoptera) // *Journal of Zoology (London)*. – 1996. – V. 239. – P. 101-122.
- 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.
- Netsvetov M., Khizhenkov P., Englesi A. et al.** 50 Hz vibration effect on mice's ethology and nervous tissue's ionic balance // International Crimean Conference "Cosmos and Biosphere". Abstr. – Partenit, Crimea, Ukraine. – 2003. – P. 179-181.

O'Connell-Rodwell C. E., Hart L. A., Arnason B. T. Exploring the Potential Use of Seismic Waves as a Communication Channel by Elephants and Other Large Mammals // Amer. zool. – 2001. – V. 41. – P. 1157-1170.

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. – 1133-1240.

Virant-Doberlet M., Cokl A. Vibrational Communication in Insects // Neotropical Entomology. – V. 33., N 2. – P. 121-134.

Надійшла до редколегії 19.12.07