

ВИБРАЦИОННОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ НАНО- И МИКРОЧАСТИЦ В ПОЧВЕ*Донецкий ботанический сад НАН Украины*

Исследованы вибрации корней и почвы, индуцированные раскачиванием деревьев ветром. Показано, что частоты вибрации находятся в диапазоне от нуля до сотен герц. Изучено влияние вибраций с частотами 100–400 Гц на перемещение частиц в почве в сухом состоянии и в составе гидропотока.

Ключевые слова: вибрации, почва, лессиваж.

М. В. Нецветов

*Донецький ботанічний сад НАН України***ВІБРАЦІЙНЕ ПЕРЕМІЩЕННЯ НАНО- ТА МІКРОЧАСТОК У ҐРУНТІ**

Досліджено вібрації коренів та ґрунту, індуковані розгойдуванням дерев вітром. Показано, що частоти вібрацій знаходяться в діапазоні від нуля до сотень герц. Вивчено вплив вібрацій з частотами 100–400 Гц на переміщення часток у ґрунті в сухому стані та у складі гідропотоку.

Ключові слова: вібрації, ґрунт, лєсіваж.

M. V. Netsvetov

*Donetsk botanical garden of NAS of Ukraine***VIBRATION TRANSFERENCE OF THE NANO- AND MICROPARTICLES IN SOIL**

Plantbom vibrations caused by the wind were investigated. The range of these vibrations were found to be a low band. The influence of soil vibration (because of the wind) at micro- and nanoparticles transference is studied. It is showed that 100–400 Hz vibration induces particles transference and velocity of water stream.

Key wards: vibrations, lessivage, soil.

Механический перенос почвенных коллоидов – лессиваж – явление, которое обуславливает внешнее сходство серых лесных и некоторых других типов почв с подзолами, но вместе с тем и определяет принципиальное от них отличие – отсутствие химического разрушения минералов. В настоящее время представления С. В. Зонна о политипности почвообразования под лесом и биоклиматогенном характере взаимодействия древесной растительности и почвы многократно и убедительно подтверждены (Травлев, 2008). Тем не менее ряд особенностей взаимодействия леса и почвы остается малоисследованным. В их числе – вибрационное воздействие деревьев на почву. Хотя факт раскачивания деревьев под действием ветра является совершенно очевидным, колебания или вибрации корней в почве вызывали сомнения у ряда исследователей (см. Данилик, 1989). В. Н. Данилик и соавторы (1989) измерили смещения корней деревьев при сильном раскачивании; в наших работах ранее отмечено доминирование низкочастотных колебаний корней под воздействием ветра (Нецветов 2006). Кроме механического смещения корня, при сильном раскачивании на него должны передаваться упругие волны, возникающие в результате деформации древесных волокон при изгибах стволов и ветвей, а также от биения и трения ветвей. Однако такие вибрации корневой системы дерева и заключенной в ризосфере почвы остаются практически не исследованными. В связи с этим в настоящей работе изложены результаты прямых измерений вибрации корней и прилегающей к ним почвы и лабораторных исследований их влияния на перемещение нано- и микрочастиц в почве.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Измерение вибраций корней дуба черешчатого *Quercus robur* L. и ясеня высокового *Fraxinus excelsior* L. проводили в искусственной кленово-ясеновой дубраве возрастом 40–45 лет в черте г. Донецка в ветреную погоду. Участок расположен в верхней трети склона северной экспозиции. Тип лесорастительных условий – суглинок сухо-

ваты. Увлажнение – атмосферное. Корни откапывали до глубины 1 м. В качестве преобразователя механических колебаний в электрический сигнал использовали откалиброванный пьезоэлектрический датчик (радиола «Беларусь-59») со штативом, выход с которого без усилителя подавали на осциллоскоп НПС-10 фирмы «Виллеман» (Бельгия) с возможностью записи и хранения измеренных данных. Для получения спектров мощности использовали метод быстрого преобразования Фурье. Вычисления производили в программе Mathcad 11.0a, Mathsoft Engineering & Education.

На этой же пробной площадке отбирали образцы почвы с глубины 10–20, 40–55, 70–80 см. Образцы неповрежденными помещали в цилиндрические емкости ($d=3$ см, $h=4$). Исследование вибрационного перемещения частиц в почву проводили по методике, описанной ранее (Нецветов, 2008). Использовали частицы карбонильного железа ($d=5$ нм) и никель-алюминиевые с диаметрами от 5 нм до 20 мкм, 20–100 мкм, 100–200 мкм. Регистрировали время, за которое навеска частиц (0,2 мл) полностью погружалась в почвенный образец. В отдельных экспериментах изучали скорость прохождения воды со взвешенными в ней нанометровыми частицами через почву. Для этого над почвенным образцом располагали цилиндр диаметром 1 см с 10 мл воды. Дно цилиндра резко убирали, вода выливалась в емкость с почвенным образцом и постепенно проходила вглубь. Регистрировали время исчезновения воды с поверхности почвы. Все эксперименты были проведены не менее чем в пяти повторностях на различных почвенных образцах. В экспериментах с почвенными образцами использовали вибрации с частотами от 100 до 400 Гц и амплитудами от $0,4 \pm 2$ до 10 ± 2 мкм. Методика вибрационного воздействия описана в нашей более ранней работе (Нецветов, 2008).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Измерение вибраций корней дуба черешчатого проводили на глубине от 20 до 60 см при скорости ветра до 15 м/с (по данным Гидрометеоцентра). В основном вибрации корней регистрируются при сильных порывах ветра и соударениях ветвей. Поскольку направление действия ветра на крону, сила и наличие турбулентностей ветра непредсказуемы, то провести точные исследования изменения амплитуды от глубины расположения и длины корня не представлялось возможным. Тем не менее, по нашим наблюдениям, при удалении корней от центрального стержня амплитуда вибраций с частотами более 10 Гц снижается, на этом фоне более существенными становятся сверхнизкочастотные колебания. Существенное снижение амплитуды колебаний видно из рис. 1, *а* и *б*. Как показано на спектрах мощности, вибрации корней лежат в низкочастотной области с максимумами до 450–500 Гц. Наиболее часто регистрируются вибрации с частотами до 200 Гц. Как правило, они вызваны раскачиванием ствола и ветвей. Вибрации более высоких частот индуцируются соударениями и трением ветвей. В большинстве наблюдаемых нами случаев амплитуды вибраций корней на расстоянии до 10 см от центрального корня не превышали 1 мкм, однако при резких порывах они кратковременно возрастали до ~ 10 мкм. Можно полагать, что при более значительных ветровых нагрузках амплитуда вибраций достигает еще больших значений.

О передаче вибраций корней почве свидетельствуют прямые измерения (рис. 2). Здесь амплитуды и частоты колебаний близки к наблюдаемым на корнях. Таким образом, при рассмотрении вибрационного воздействия дерева на почву следует учитывать диапазон частот не только в области сверхнизких, как указывалось ранее, но и низких звуковых частот.

Время погружения частиц вглубь почвенных образцов под действием вибрации приведено на рис. 3. Для частиц карбонильного железа характерно максимальное время перемещения на любой глубине, по сравнению с частицами никель-алюминия. В образцах с минимальной глубины максимальную скорость приобретают наиболее крупные частицы (более 100 мкм). Только для них наблюдается увеличение времени погружения с глубиной. Очевидно, это связано с тем, что энергия, приобретаемая частицами при вибрации, увеличивается с их размером. Кроме того, между коллоидальными частицами более значительно физическое взаимодействие, которое препятствует

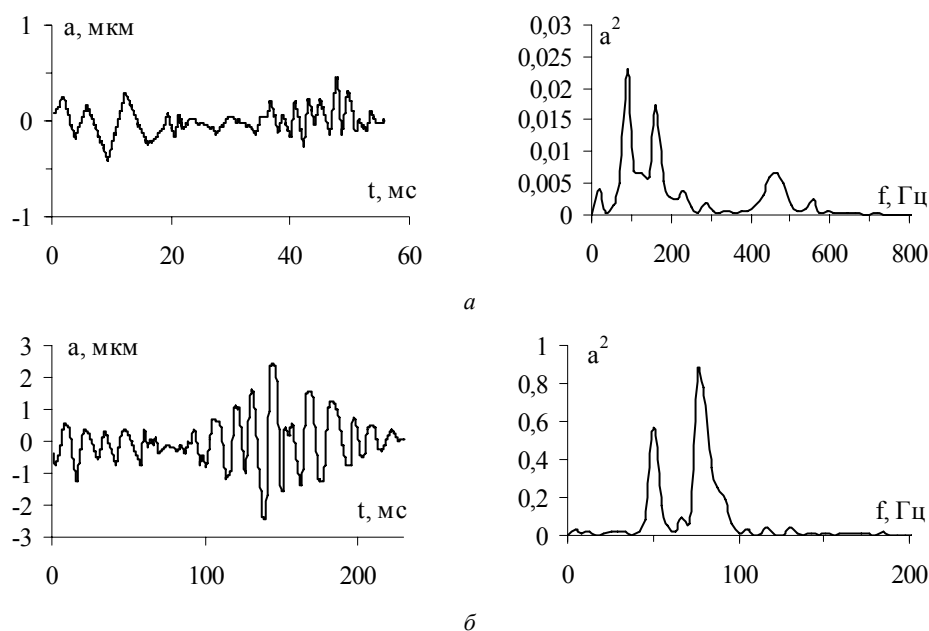


Рис. 1. Индуцированные ветром вибрации корней дуба черешчатого $a(t)$ и их спектры мощности $a^2(f)$:

a – корень ($d=1,8$ см) на глубине 30 см, точка измерения – в 5 см от центрального корня;
 $б$ – корень ($d=2$ см) на глубине 20 см, точка измерения – в 2 см от центрального корня

их диспергированию. Поэтому в верхних слоях почвы при диаметре пор большем, чем размеры частиц, вибрация наиболее эффективна при действии на крупные частицы. В нижних горизонтах их перемещение затрудняется из-за сужения пор.

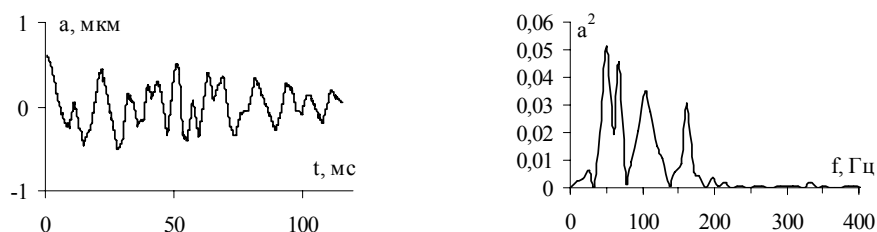


Рис. 2. Вибрация земли на расстоянии 1,5 см от ближайшего корня дуба черешчатого на глубине 32 см и ее спектр мощности

При неизменной массе частиц энергия, приобретаемая ими от вибрации, увеличивается пропорционально квадрату частоты, поэтому можно было бы ожидать соответствующего увеличения эффекта их перемещения. Однако такая картина наблюдается лишь в некотором диапазоне частот. В эксперименте на модельном субстрате с порами значительно большими, чем диаметр частиц, было измерено время погружения частиц под действием вибрации с частотами 100, 150, 200 и 250 Гц при фиксированной амплитуде.

Из рис. 4 видно, что как наиболее крупные (>20 мкм), так и нанометровые частицы с увеличением частоты до 200 Гц быстрее погружаются вглубь модельного субстрата. В опыте с частицами карбонильного железа с диаметром 5 нм частоту увеличивали до 400 Гц (рис. 5, a), но максимальным эффект вибрации оставался при 200 Гц, что, вероятно, связано с резонансными явлениями. Тем не менее даже при частоте 400 Гц эффект может быть достигнут увеличением амплитуды колебаний (рис. 5, $б$). Линейная зависимость времени погружения частиц от амплитуды является подтверждением того, что в основе механизма действия вибрации на частицы лежит ускорение.

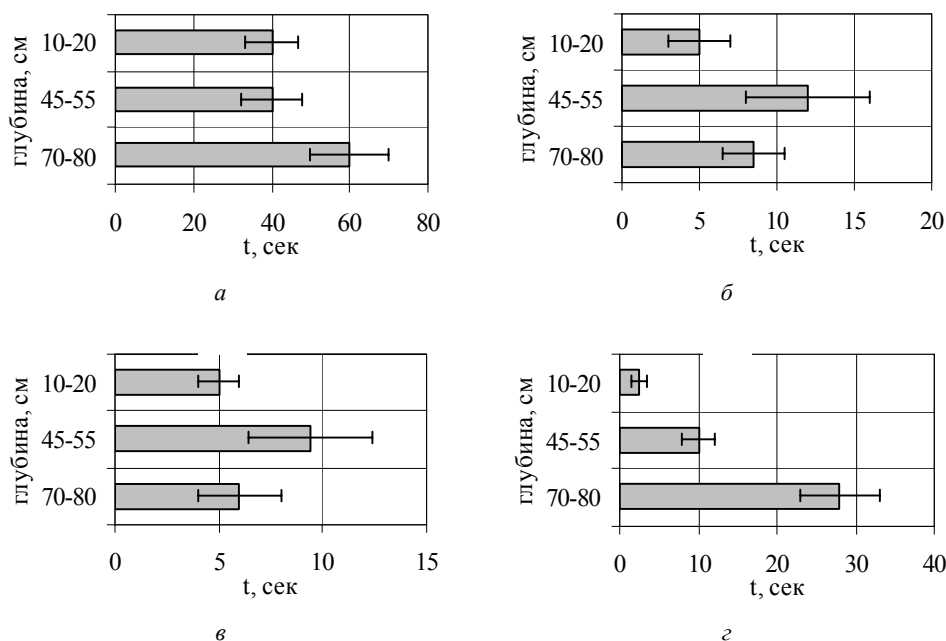


Рис. 3. Время вибрационного погружения нано- и микрочастиц в образцы почвы, отобранные на различной глубине:

a – карбонильное железо, диаметр 5 нм;

б, в, г – никель, плакированный алюминием, диаметр 5 нм – 20 мкм, 20 – 100 мкм, 100–200 мкм соответственно.

Частота вибрации – 200 Гц, амплитуда – 0,003 мм

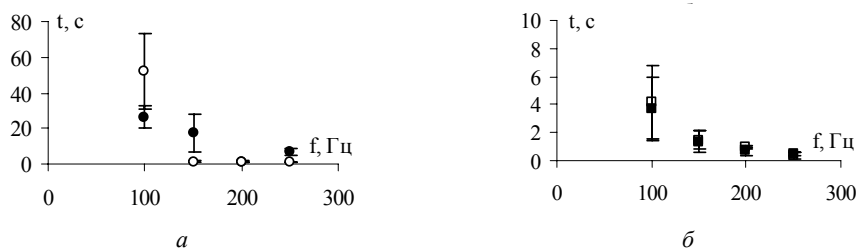


Рис. 4. Зависимость времени погружения частиц в модельный субстрат от частоты вибрации:

a – карбонильное железо, диаметр 5 нм (●) и никель-алюминий, диаметр от 5 нм до 20 мкм (○);
б – никель-алюминий, диаметр от 20 до 100 мкм (■) и от 100 до 200 мкм (□)

Ещё одна возможность влияния вибрации на перемещение частиц заключается в изменении скорости гидропотока (Травлеев, 2008). Для подтверждения этого заключения в случае вибрации с частотами выше 100 Гц мы провели дополнительный эксперимент. Образцы почвы с разной глубины подвергали действию вибрации и регистрировали время прохождения через них 10 мл воды со взвешенными и диспергированными частицами карбонильного железа с диаметром 5 нм. Как видно из рис. 6, скорость гидропотока вне действия вибрации изменялась в зависимости от глубины отбора образцов. При действии вибрации она возросла в 1,4 – 4,4 раза в зависимости от глубины отбора образцов. О прохождении наночастиц в составе гидропотока сквозь почву судили по их наличию в воде, собранной под образцом, путем осаждения магнитным полем, при котором частицы образуют видимые невооруженным глазом цепи.

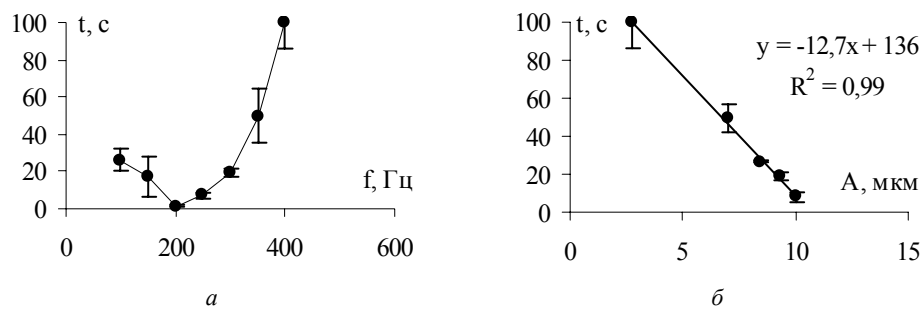


Рис. 5. Частотная (а) и амплитудная (б) зависимость времени погружения в модельный субстрат частиц карбонильного железа с диаметром 5 нм

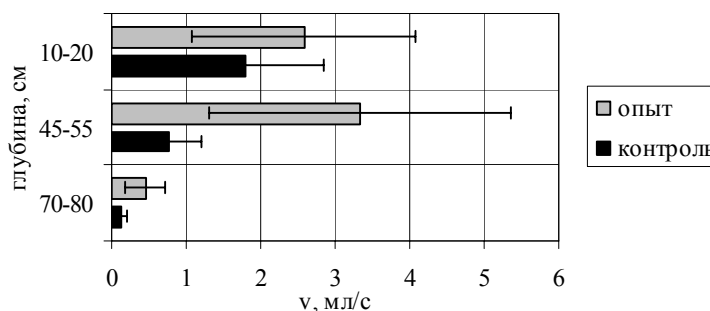


Рис. 6. Скорость гидротока через образцы почвы вне (контроль) и при действии вибрации с частотой 200 Гц и амплитудой 0,003 мм (опыт)

ВЫВОДЫ

1. Вибрации корней при действии ветра на крону дерева находятся в диапазоне частот от долей и единиц герц до 400 Гц и более. Основные пики на спектрах мощности приходятся на частоты от ~50 до 250 Гц. Амплитуды вибраций достигают 5 мкм и более при ветре до 15 м/с.
2. Вибрации корней передаются окружающей их почве, в которой их частоты и амплитуды близки к зарегистрированным на корнях.
3. Вибрации в диапазоне частот 100-400 Гц с амплитудами ~2-10 мкм индуцируют проникновение частиц в поры субстрата. Время перемещения навески частиц сокращается при увеличении их размера. Увеличение глубины отбора почвенных образцов приводит к увеличению этого времени. Для частиц с диаметром ~5 нм зависимость времени погружения в почвенный образец от глубины его отбора менее выражена.
4. Вибрация с частотой 200 Гц и амплитудой 3 мкм приводит к более быстрому прохождению сквозь почву воды со взвешенными в ней нанометровыми частицами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 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. Влияние вибраций 1-100 Гц на перемещение микрочастиц в почве // Грунтознавство. – 2006. – Т. 7, № 3-4. – С. 92-96.
- Нецветов М. В. Эффект увлажнения при вибрационном перемещении частиц в почве / М. В. Нецветов, П. К. Хиженков // Грунтознавство. – 2008. – Т. 9, № 1-2. – С. 114-118.
- Травлеев А. П. Экология почвообразования лесных черноземов / А. П. Травлеев, Н. А. Белова, А. К. Балалаев // Грунтознавство. – 2008. – Т. 9, № 1-2. – С. 19-29.

Надійшла до редколегії 16.09.08