

УДК 577.3

© М. В. Нецветов<sup>1,3</sup>, О. Н. Самотой<sup>2</sup>

**НАКОПЛЕНИЕ ИОНОВ СВИНЦА ПРОРОСТКАМИ *FRAXINUS EXCELSIOR* L.  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВИБРАЦИЙ**

<sup>1</sup>Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46

<sup>2</sup>Донецкий НИИ судебных экспертиз; 83102, г. Донецк, ул. Ливенская, 4

<sup>3</sup>Донецкий ботанический сад НАН Украины; 83059, г. Донецк, пр. Ильича, 110

e-mail: donetsk-sad@mail.ru

**Нецветов М. В., Самотой О. Н. Накопление ионов свинца проростками *Fraxinus excelsior* L. под действием вибраций.** – В работе изучали накопление свинца проростками *Fraxinus excelsior* из раствора для полива при одновременном трехчасовом действии вибрации в низкочастотном диапазоне 0-200 Гц. Показано, что на всех исследованных частотах вибрация вызывает усиленное накопление ионов свинца в тканях проростков. При увеличении амплитуды вибрации и использовании 10% раствора уксуснокислого свинца у проростков наступает необратимое увядание через 2 ч экспозиции.

**Ключевые слова:** вибрации транспорта, свинец, накопление, увядание.

### **Введение**

Реакции живых организмов на динамические механические нагрузки обусловлены постоянным на протяжении эволюции и жизни отдельных организмов действием ветра и некоторых других геофизических и биологических факторов. Так, в ответ на частые и интенсивные ветры в растительном организме запускается каскад биохимических и физиологических процессов, которые вызывают морфологические изменения, приводящие к упрочнению тканей и, следовательно, повышению механической устойчивости растения [8]. Совокупность морфологических изменений в растительном организме, вызванных динамическими механическими факторами, принято называть сейсмоморфогенезом.

В условиях урбоэкосистем, кроме естественных факторов, растения подвержены действию техногенных вибраций. В первую очередь это относится к воздействию транспортного потока на растения, которые произрастают вдоль автомобильных и железных дорог [2, 4]. Ситуация усугубляется комплексным загрязнением воздуха и почвы, при котором растения постоянно подвержены совместному действию химических загрязнителей и вибраций. Диапазон частот вибраций растений, вызванных движением транспорта, значительно перекрывается диапазоном вибраций растений естественного происхождения. В ряде работ показана биологическая активность вибраций отдельных частот [3-7]. Однако вибрации растений от транспорта характеризуются амплитудной и частотной модуляцией и биениями. Таким образом, остается открытым вопрос об экологической значимости вибраций транспортного происхождения. В связи со сказанным выше целью настоящей работы было определить эффективность воздействия на растения вибраций с параметрами, характерными для вибраций растений и грунта, вызванных движением транспорта.

### **Материал и методы исследования**

*In situ* оценить вклад вибрационного воздействия на растения не представляется возможным из-за следующих обстоятельств. Уровень вибрационного фона снижается с удаленностью от дорожного полотна; вместе с ним снижается концентрация поллютантов в воздухе и почве. Кроме того, их концентрация не равномерна вдоль дорог; на перекрестках она возрастает. Таким образом, вдоль дорог существует градиент концентраций химических загрязнителей и амплитуды вибрационного воздействия на растения. В связи с этим для ответа на поставленный вопрос об экологической значимости вибраций необходимо проведение лабораторных исследований в контролируемых условиях.

Эксперимент проводили на проростках ясеня обыкновенного *Fraxinus excelsior* L. Предварительно стратифицированные семена проращивали в течение 10 дней в ростовых камерах. Для опытов отбирали проростки одного размера  $8 \pm 1$  см. Растения разделяли на контрольные и опытные группы по 20 шт. в каждой. Растения 1-ой контрольной группы

высаживали в химически чистый кварцевый песок 10 мл пластиковых цилиндрических емкостях с дренажными отверстиями на дне. Песок обильно увлажняли 10 мл дистиллированной воды. Растения второй группы увлажняли 10 мл 0,5; 2,5; 5; 10% растворами уксуснокислого свинца. Растения опытных групп увлажняли растворами таких же концентраций, одна группа увлажнялась дистиллированной водой. Опытные группы подвергали воздействию вибраций с частотой 100 Гц. В дополнительном эксперименте изучали совместное действие 2,5 % раствора свинца вибрации с частотами 50, 150, 200 Гц и с плавающей частотой от 0 до 200 Гц. Проход от нижней до верхней частоты осуществлялся за 5 секунд. Амплитуда вибрации –  $70 \pm 10$  мкм на частотах 0-70 Гц и  $50 \pm 05$  мкм на более высоких частотах. Вибрации создавались вибростолом с акустическим динамиком в основе, соединенным с аудиокартой компьютера, сигнал задавался в программе "MathCad 12".

Для выяснения влияния вибрации на проницаемость мембран семян эксперимент проводили во время замачивания с плавающей частотой. После 3-х часов экспозиции все растения промывали в проточной водопроводной воде, а затем ополаскивали дистиллятом и высушивали.

При плавающей частоте проводили дополнительные эксперименты для определения точки увядания проростков. Растения этих выборок подвергали действию вибрации с указанной выше амплитудой и в три раза большей при концентрации раствора уксуснокислого свинца 10%. Растения выводили из эксперимента через каждые  $\frac{1}{2}$  часа, промывали проточной водой, высаживали в чистый песок и поливали водопроводной водой. Определяли процент необратимо увядших растений.

В растениях определяли массовые доли химических элементов методом энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа с использованием анализатора ЭКОЛОГ (НПП Институт аналитических методов контроля, г. Киев). Анализатор работает по методу фундаментальных параметров с возбуждением характеристического излучения атомов пробы фотонами тормозного спектра маломощной рентгеновской трубки и с последующей регистрацией этого излучения полупроводниковым PIN-детектором с термоэлектрическим охлаждением [1]. Анализатор состоит из блока измерения и блока обработки. В блоке измерения исследуемая проба облучается рентгеновским излучением, генерируемым устройством рентгеновского возбуждения. При этом возникает вторичное излучение атомов пробы, которое регистрируется энергодисперсионным полупроводниковым детектором. Детектор с предусилителем преобразует энергию фотона в электрический импульс с амплитудой пропорциональной энергии фотона. Затем в спектрометрическом усилителе электрические сигналы подвергаются формированию и усилению. Импульсы сортируются по амплитудам путем цифрового кодирования в спектрометрическом аналого-цифровом преобразователе. Полученные коды накапливаются в течение времени измерения в буфере накопления, формируя исходный аппаратный спектр вторичного рентгеновского излучения исследуемой пробы.

После экспозиции полученный спектр загружается в буфер обработки, для этого используется оперативное запоминающее устройство компьютера. С помощью программно-методического обеспечения выполняется полная математическая обработка спектра. Результаты измерений представляются в виде графиков и таблиц со списком обнаруженных элементов и указанием их концентраций (массовых долей).

### **Результаты и обсуждение**

Как видно из табл. 1, при нулевой концентрации свинца в растворе для полива в растениях он не накапливается, т.е. его возможные дополнительные источники отсутствуют. При концентрации раствора уксуснокислого свинца 0,5% он накапливается в минимальном количестве в группе с отсутствием вибрационного воздействия. Увеличение концентрации до 2,5; 5 и 10% приводит к увеличению его накопления в растениях при трехчасовом эксперименте. Воздействие растворов разной концентрации при одновременном действии вибрации на частоте 100 Гц привело к существенному увеличению накопления ионов свинца

в растениях. Максимальные отличия концентраций свинца в растениях опытной и контрольной групп наблюдаются при низких концентрациях свинца 0,5 и 2,5%.

Вибрационное воздействие на других частотах проводили при поливе раствором уксуснокислого свинца 2,5%. Вибрация всех используемых частот приводила к увеличенному, по сравнению с контролем, накоплению ионов свинца из раствора для полива. Отличия между действием вибраций разных частот минимальные. Воздействие на проростки вибрации с плавающей частотой, т.е. изменяющейся от 0 до 200 Гц, обладало аналогичным эффектом. Максимальное накопление ионов отмечено при воздействии раствора свинца на семена *Fraxinus excelsior* как при действии вибрации, так и при ее отсутствии. Однако вибрационное воздействие и в данном опыте привело к значительному увеличению концентрации ионов в семенах.

При действии вибрации указанных частот с амплитудами 50-70 мкм, соответствующей сейсмическим сигналам на грунте и растениях в непосредственной близости от железнодорожного полотна [4], необратимого увядания растений не наблюдали. При использовании вибрации с увеличенной в три раза амплитудой и концентрацией раствора свинца 10% необратимое увядание наблюдали менее чем у 1/2 (9 из 20 шт.) растений после 1-часового воздействия. После 1,5 часов количество необратимо увядших проростков превысило 50% (13 шт.), а к двум часам действие вибрации и раствора уксуснокислого свинца привело к увяданию 100% экспериментальных растений.

Таблица 1

**Массовая доля (%) свинца в экспериментальных проростках *Fraxinus excelsior* L.**

Частота вибрации, Гц	Концентрация уксуснокислого свинца в растворе для полива, %				
	0	0,5	2,5	5	10
0	–	–	40,984±1,257	–	–
0	0	1,632±0,136	10,255±0,240	27,948±0,426	34,805±0,689
50	0	–	24,945±0,453	–	–
100	0	4,791±0,277	25,563±0,618	29,964±1,852	45,418±0,792
150	0	–	24,546±0,247	–	–
200	0	–	23,497±0,415	–	–
0-200	0	–	25,781±0,952	–	–
0-200*	0	–	45,928±1,146	–	–

Примечание. \* – опыт проведен на семенах.

Таким образом, применяемые нами механические колебания с параметрами вибраций деревьев, вызванных движением транспорта, обусловили усиленное накопление ионов свинца проростками *Fraxinus excelsior* из раствора для полива. В проводимых нами ранее исследованиях [3, 4], где проростки подвергали действию вибрации ежедневно в течение нескольких суток, было установлено, что существуют частоты, при которых эффект химического медиатора может уменьшаться. Различную реакцию растений на звук разной частоты наблюдали и другие авторы [7]. Точно указать механизм дифференцированного действия вибраций различных, но близких частот на растительный организм не представляется возможным. Можно предполагать, что на вибрации некоторых частот у растений выработаны врожденные реакции, например, на вибрации насекомых вредителей или вибрации, вызванные воздействием ветра или другими механическими воздействиями биологической и абиотической природы. Классическим примером моментальной реакции на вибрации является *Mimosa pudica* L. Среди растений реакции на динамические и статические механические нагрузки получили название сейсмо- и тигморреакции соответственно [8]. Их механизмы довольно подробно изучены, но ответа на вопрос о дифференцированном действии вибраций разных частот они не дают.

Вибрационное воздействие транспортного потока на растительный организм характеризуется набором частот в довольно широком диапазоне с основными пиками от 0 до 200 Гц. Вместе с тем многие виды транспорта издаю интенсивные шумы в звуковом диапазоне, т.е. совместное вибрационно-акустическое воздействие на растения происходит в еще более широком диапазоне частот. Поэтому наиболее адекватная модель влияния транспортных вибраций на растения должна обладать набором по крайней мере тех частот, на которые приходится пики в амплитудно-частотных характеристиках.

### Выводы

1. Действие на растительный организм механических колебаний с параметрами, характерными для вибрационного воздействия транспорта на растения придорожных полос, заключается по крайней мере в усилении накопления ионов тяжелых металлов корневой системой. Эффект вибраций зависит от концентрации раствора свинца, используемого для полива. Частота вибрации не имела существенного влияния на ее эффект.

2. Увеличение амплитуды вибраций в несколько раз приводит к необратимому увяданию проростков *Fraxinus excelsior* после двухчасового воздействия совместно с 10% раствором уксуснокислого свинца.

### Список литературы

1. *Анализатор* элементного состава. Экологический паспорт. Техническое описание. Руководство по эксплуатации. – К.: НПП Институт аналитических методов контроля, 2007. – 35 с.
2. *Нецветов М.* Вібраційний вплив автомобільного транспорту на дерева придорожніх смуг / М. Нецветов, О. Сулова // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. Біол. – 2008. – Вип. 48. – С. 75–82.
3. *Нецветов М. В.* Совместное действие вибрации и химических медиаторов на рост ячменя / М. В. Нецветов // Промышленная ботаника. – 2008. – С. 35–40.
4. *Нецветов М. В.* Введение в вибрационную экологию / М. В. Нецветов, П. К. Хиженков, Е. П. Сулова. – Донецк: Вебер, 2009. – 164 с.
5. *Berthier S.* Phototropic response induced by wind loading in Maritime pine seedlings (*Pinus pinaster* Ait.) / S. Berthier, A. Stokes // Journal of Experimental Botany. – Vol. 56, N 413. – P. 851–856.
6. *Cipollini D. F.* The induction of soluble peroxidase activity in bean leaves by wind-induced mechanical perturbation / D. F. Cipollini // American journal of botany. – 1998. – Vol. 85, N 11. – P. 1586–1591.
7. *Plant gene responses to frequency-specific sound signals* / M.-J. Jeong, C.-K. Schim, J.-O. Lee [et al.] // Mol. Breeding. – 2008. – 21. – P. 217–226.
8. *Telewski F. W.* A unified hypothesis of mechanoperception in plants / F. W. Telewski // American Journal of Botany. – 2006. – Vol. 93. – P. 1466–1476.

**Нецветов М. В., Самотой О. М. Накопичення іонів свинцю проростками *Fraxinus excelsior* L. під дією вібрацій.** – У роботі вивчали накопичення свинцю проростками *Fraxinus excelsior* з розчину для поливу при одночасній трьохгодинній дії вібрації у низькочастотному діапазоні 0-200 Гц. Показано, що на всіх досліджуваних частотах вібрація викликає посилене накопичення іонів свинцю в тканинах проростків. При збільшенні амплітуди вібрації та використанні 10% розчину оцтовокислого свинцю в проростків відбувається невідновне прив'ядання через 2 години експозиції.

*Ключові слова:* вібрації транспорту, свинець, накопичення, прив'ядання.

**Netsetov M. V., Samotoi O. N. Accumulation of lead ions by *Fraxinus excelsior* L. seedling under vibration treatment.** – The accumulation of lead ion from watering solution by seedlings of *Fraxinus excelsior* under vibrations treatment is investigated in this work. The main dynamical parameters of vibrations were the frequencies from 0 to 200 Hz, which are correspond the vibrations of transport traffic. It is shown that all the frequencies were applied are the same biological effect consist in increasing of lead accumulation by plants roots. While magnitude of vibration was increased three times the plants were droop irreversibly after 2 hours of treatment by experimental conditions.

*Key words:* transport vibrations, lead, accumulation, droop.