

**М. В. Нецветов**

## **СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ И ХИМИЧЕСКИХ МЕДИАТОРОВ НА РОСТ ЯЧМЕНЯ ПОСЕВНОГО**

вибрации, соли, ячмень посевной, ростовые показатели

Механические колебания (МК) физических тел – вибрации – широко распространены в природе, на промышленных производствах, транспорте, в авиации, космических полетах и являются одним из важных физических факторов, действующих на живые организмы [5, 7, 10, 12, 15]. МК естественного происхождения, влиянию которых постоянно подвержены живые организмы, вызываются движением воздушных масс и воды, сотрясениями почвы под действием тектонических сил. Они генерируются также колебаниями биологического происхождения, тепловым движением атомов, молекул и их комплексов. Присутствие вибраций как экологического фактора, действующего на протяжении всей эволюции живого, способствовало выработке специальных структурных систем для приспособления организмов к действующим МК. В животном мире широкое распространение получила сенсорная форма распознавания МК – виброрецепция [9, 11, 12].

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 С. Н. Романовым [6], 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.

С. Н. Романовым показано [5], что в экспериментальных условиях вибрация с частотой  $f=70$  Гц, амплитудой 0,051 мм при 10-ти часовой экспозиции положительно влияет на всхожесть, рост проростков и скорость отрастания корешков лука. В опыте луковицы прорастали на 2-ые сутки, в контроле на 4-ые. Через две недели длины проростков в опыте – 6,1 мм, в контроле – 4,5 мм. Влиянию вибрации на растительные организмы уделялось существенно меньше внимания, чем на животных и человека [10]. Так, отмечены изменения ультраструктуру клеток *Chlorella vulgaris* Beijerinck, *Pisum sativum* L., *Haplorappus gracilis* L. под действием вибрации [10].

Одним из физиологических эффектов действия вибрации является изменение усвоения организмом химических веществ извне [2, 4] и нарушение ионного баланса внутри отдельных органов [16]. В эксперименте [3–4] сухие семена ячменя помещали на 4 часа в 20% раствор уксуснокислого свинца. Опытные выборки подвергали действию вибрации с  $f$  от 8 до 70 Гц (шаг 5–15 Гц). Затем семена промывали проточной водой, высаживали в ростовую камеру и проращивали в физически и химически чистых условиях в течение

7 дней. Одновременно семена ячменя опытной выборки замачивали в чистой воде в условиях действия вибрации и ее отсутствия. Эффективность совместного и обособленного действия химических и физических факторов оценивали по всхожести и средней длине проростков. Было показано, что с повышением частоты вибрации ростовые показатели ячменя резко падали и при  $f=30$  Гц доходили до нуля, при  $f=40$  и  $45$  Гц прорастало 1-2 зерновки из 100, а при  $f$  больше 45 Гц ростовые показатели приближались к контрольным значениям и даже превышали их. Отмечено, что кратковременное одноразовое химическое или вибрационное (на любой частоте) воздействие на последующий рост растений статистически значимого влияния не оказывало [2].

Приведенные результаты представляют не только самостоятельный интерес. Хорошо известно, что основными источниками антропогенного загрязнения свинцом почв, в т.ч. и сельскохозяйственных угодий, являются автомагистрали с интенсивным движением и предприятия цветной металлургии [1]. Количество автомобилей постоянно и быстро растет, расширяются и сети шоссежных дорог, которые, кроме ядовитых аэрозолей, являются еще и источниками пыли, шума и вибрации. Как было отмечено выше, вибрация сильно влияет на усвоение растворимых солей свинца семенами растений в период их набухания. Есть все основания предполагать, что механические колебания окажут влияние на накопление свинца растениями и в последующие этапы их развития.

Выяснение особенностей реагирования растений на воздействие вибрации при наличии загрязнения среды свинцом и составило основную цель настоящей работы.

В качестве объекта исследования использовали ячмень посевной 'Прерия' *Hordeum sativum* Jessen. Выбор объекта основан на том, что предыдущие работы по влиянию вибрации также были выполнены на ячмене. Кроме того, в условиях агроценозов отмечено накопление свинца ячменем, особенно вегетативными органами [8].

Для определения критической концентрации уксуснокислого свинца в растворе для полива проростков готовили 6 растворов – 0,5; 1; 1,5; 2; 3 и 4 %. Каждым раствором орошали 1 выборку (100 шт.) и одну контрольную – водой. После 5-ти дней проращивания семян определяли всхожесть и среднюю длину проростков; все выборки проращивали одновременно.

Совместное действие свинца и вибрации исследовали при частотах механических колебаний 2; 7,5; 14; 20-70 (шаг 10); 85 и 100 Гц. Выборки сухих семян по 100 штук помещали в камеры, закрепленные на вибростоле. Сразу после первого полива семян вибростол включали на 3 часа. Время экспозиции в условиях действия МК в последующие дни также составляло 3 часа. Каждая опытная выборка сопровождалась контрольной, проращиваемой в растворе, но без вибрационного воздействия. На 7 день определяли всхожесть ( $n$ ) и среднюю длину ростков ( $l_{\text{ср}}$ ). Поскольку контрольные показатели в силу причин, которые невозможно было контролировать (влажность, температура, освещенность, ионизация воздуха и др.), заметно варьировали, для оценок использовали относительные показатели всхожести семян –  $N = n_{\text{опыт}} / n_{\text{контроль}}$  и средних длин проростков –  $L = l_{\text{ср.оп}} / l_{\text{ср.контр.}}$ . Результаты оформляли графически.

Для более качественной оценки действия вибрации были проведены эксперименты с использованием для полива растений воды и стимулятора роста – раствора (0,2%) гумата калия. Здесь для оценок также использовали относительные ростовые показатели  $L$  и  $N$ .

На рисунке 1 показаны зависимости ростовых показателей от концентрации поливного раствора уксуснокислого свинца. В качестве оптимальной, наиболее пригодной для основного эксперимента, является концентрация  $C=1,5\%$ , при которой всхожесть семян составляет 50 %, а средняя длина проростков – 1/3 от контроля. Более высокие концентрации использовать нецелесообразно. При  $C$  меньше 1,5% в заметно меньшей степени будет проявляться эффективность исследуемого фактора. Отметим здесь, что действие одной только вибрации при замачивании семян в воде по 3 часа в

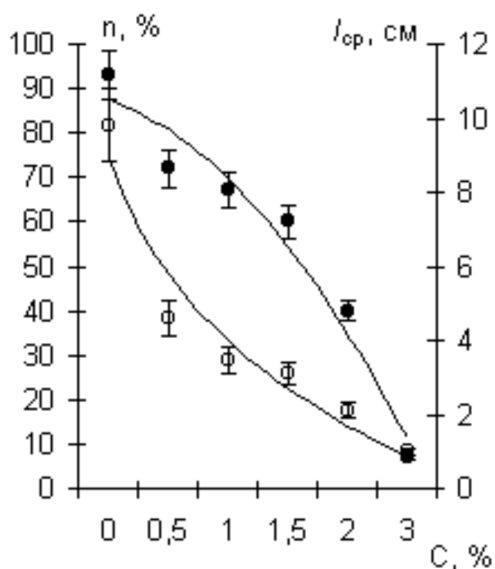


Рис. 1. Зависимость всхожести и средней длины проростков ячменя сорта 'Прерия' от концентрации (С) поливного раствора уксуснокислого свинца: 1 – всхожесть семян (n), 2 – средняя длина (lcp)

сутки статистически значимого эффекта не дает, а замачивание в растворе гумата калия выбранной концентрации статистически недостоверно сказывается на всхожести и длинах проростков.

Зависимости относительных показателей всхожести семян ячменя от частоты вибрации в условиях полива растворами соли свинца и гумата калия приведены на рисунке 2. В обоих случаях имеют место сложные непрямолинейные зависимости. Для свинца на частотах 2; 7,5; 20; 80 и 100 Гц наблюдается статистически достоверное ( $P < 0,05$ ) снижение всхожести семян, по сравнению с контролем (без действия вибрации), а при  $f=60$  Гц – ее повышение ( $P < 0,01$ ). При  $f=14, 30, 40, 50$  и  $70$  Гц относительная всхожесть семян в опыте не отличается от контроля либо различие статистически не достоверно. При использовании для полива раствора гумата калия вибрация либо не оказывает достоверное влияние ( $f=14, 20, 40, 85$  и  $100$  Гц), либо приводит к уменьшению ( $P < 0,05$ ) всхожести семян ( $f=2; 7,5; 30; 50; 60$  и  $70$  Гц).

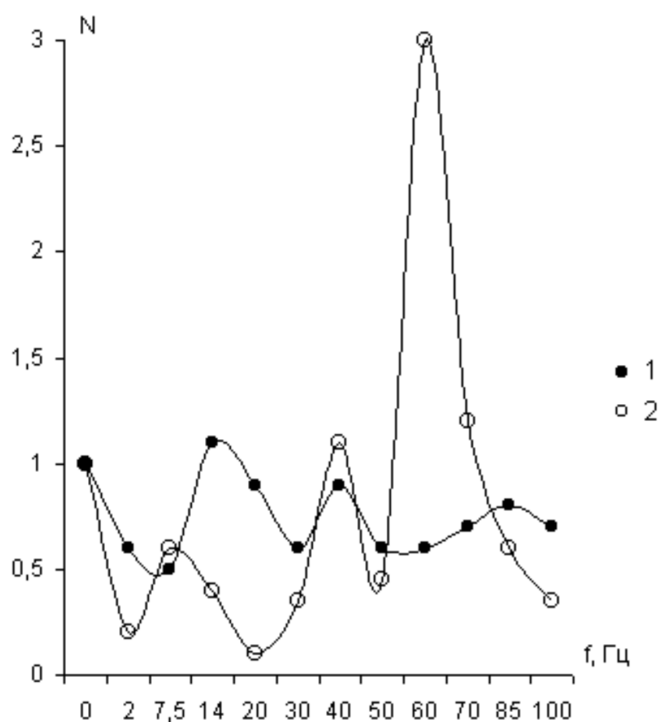


Рис. 2. Зависимость относительной всхожести (N) семян ячменя сорта 'Прерия' (N) от частоты (f) вибрации в условиях полива растворами соли свинца (1) и гумата калия (2)

Зависимость относительной средней длины проростков от частоты механических колебаний показана на рисунке 3. Здесь, как и в предыдущем случае, наблюдаем непрямолинейную зависимость от частоты вибрации, но преобладает стимулирующий эффект. Для свинца он достоверен ( $P < 0,05$ ) при  $f = 20; 40; 50; 85$  и  $100$  Гц; эффективность действия остальных частот отсутствует. Для гумата калия достоверный стимулирующий эффект вибрации наблюдаем при  $f = 14, 30$  и  $100$  Гц; при  $60$  и  $70$  Гц продольный рост стеблей подавляется ( $P < 0,05$ ), статистически значимый эффект на остальных частотах отсутствует.

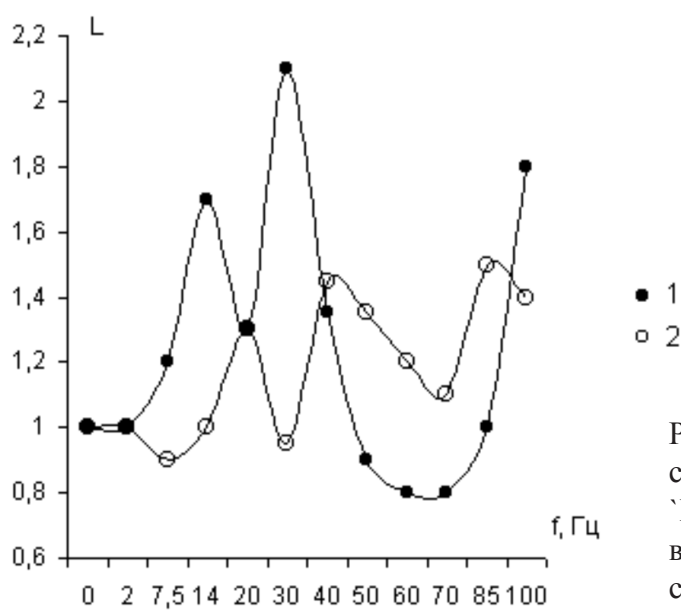


Рис. 3. Зависимость относительной средней длины проростков ячменя сорта 'Прерия' (L) от частоты (f) вибрации в условиях полива растворами соли свинца (1) и гумата калия (1)

Довольно интересными и в тоже время трудно объяснимыми являются соотношения эффективности вибрационных воздействий на характерных частотах, полученные при использовании для полива растворов соли свинца и гумата калия. Противофазность зависимостей  $N(f)$  на частотах  $2 - 30$  Гц и  $L(f)$  в диапазоне  $2 - 40$  Гц можно считать вполне объяснимой, если рассматривать эффект с позиций усиления или ослабления проницаемости клеточных мембран и, вследствие этого, накопления ионов при действии физического фактора определенной частоты. Подобный эффект четко прослеживается при сравнении результатов других работ [13] и [12], где семена замачивали в растворах соли свинца и гумата натрия и затем проращивали в чистых условиях. Иначе обстоит дело с однофазными эффектами. Таких явно выраженных участков на частотных зависимостях два. Всхожесть семян ячменя под действием МК с  $f = 30$  и  $40$  Гц при поливе растворами свинца и гумата натрия растет и при  $40$  и  $50$  Гц падает. Средняя длина проростков от  $40$  до  $70$  Гц уменьшается, а от  $70$  до  $100$  увеличивается. Если сравнить зависимости  $N(f)$  и  $L(f)$  для каждого раствора между собой, то тут получаем практически однофазную зависимость для гумата (от  $7,5$  до  $85$  Гц) и с чередованием фазности для свинца — однофазность при  $f = 30$  и  $50$  Гц и противофазность при  $f = 2 - 30$  и  $50 - 85$  Гц.

Напомним, что в графиках использованы относительные ростовые показатели: близость или равенство значений  $N$  или  $L$  для свинца и гумата на определенных частотах вибрации не говорит о равенстве их абсолютных показателей  $n$  или  $l_{cp}$ . Например, на частотах  $7,5$  и  $50$  Гц значения  $n$ , соответственно, равны для свинца  $10$  и  $4$ , а для гумата  $20$  и  $24$  шт. Значения  $l_{cp}$  на частотах  $2; 20$  и  $40$  Гц для свинца  $15, 24$  и  $29$  мм, для гумата  $32, 86$  и  $91$  мм. То же относится и к случаям, когда  $N$  и  $L$  для свинца значительно превышает показатели для гумата, например, на частотах  $60$  и  $70$  Гц. Всхожесть, соответственно, равна  $12$  и  $5$  шт. (свинец),  $27$  и  $31$  (гумат),  $l_{cp}$   $43$  и  $38$  мм (свинец),  $107$  и  $105$  мм (гумат). При рассмотрении данных для всех опытных и контрольных групп на одной плоскости

в координатах абсолютной всхожести семян и средней длины видно, что реакции ростовых показателей отличаются для всех экспериментальных групп (рис. 4). Так, в целом, наибольшая всхожесть семян наблюдается при использовании гумата калия при замачивании и поливе, а действие вибрации снижает данный показатель и увеличивает среднюю длину – область реакции смещена вниз и растянута вправо. Действие свинца снижает оба показателя – область находится ниже и левее, по сравнению с предыдущими, а вибрационное воздействие в целом расширяет ее в сторону увеличения средней длины (вправо). Следует отметить, что на рисунке 4 есть две «выпавшие» из очерченных областей точки, принадлежащие к группам гумат- и свинец-контроль (т.е. вне действия вибрации). Учитывая их периферическое положение, можно утверждать, что вибрация разных частот если не расширяет диапазон физиологических возможностей семян, то, по крайней мере, приводит к равномерному его заполнению вплоть до границ.

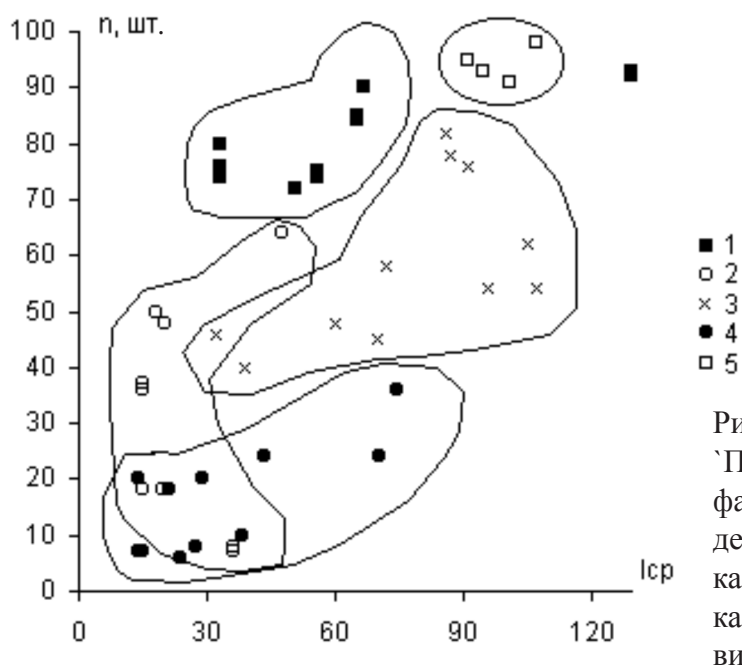


Рис. 4. Реакция семян ячменя сорта 'Прерия' на действие химических факторов и при их сочетанном действии с вибрацией: 1 – гумат калия, 2 – соль свинца, 3 – гумат калия и вибрация, 4 – соль свинца и вибрация, 5 – вода

Все вышесказанное свидетельствует о существовании, по меньшей мере, нескольких независимых механизмов действия вибрации на растительные организмы. Это изменение проницаемости клеточных мембран для различных классов химических веществ и перераспределение уже имеющихся в органах и тканях неорганических и органических ионов и более сложных соединений. Важная роль в данном случае отводится резонансным явлениям и генерации токов проводимости. Возможно, вибрация также может оказывать влияние на эффективность функционирования фитохелатинов – молекулов-ловушек, связывающих тяжелые металлы и, таким образом, защищающих растения от их токсического воздействия. Все это сопровождается изменениями морфологических и физиологических характеристик растительных организмов на уровне целого, а также отдельных органов и органелл клеток, продолжительности жизни, угнетением процессов жизнедеятельности либо благотворным влиянием на них.

Исходя из результатов экспериментов, можно сделать следующие выводы. Влияние вибрации на ростовые характеристики семян ячменя посевного 'Прерия' проявляется в изменении эффекта химического медиатора (в растворе для замачивания и полива). Направленность таких изменений определяется частотой вибрации. Действие вибрации разных частот в целом изменяет распределение семян ячменя в поле их физиологических возможностей. Так, ее сочетание с обоими медиаторами приводит к более плотному заполнению поля (в координатах  $n, l_{ср}$ ) вблизи ее границ, соответствующих максимальной длине проростков.

1. Головкина Н.П., Шамарин В.Н., Муравьева Г.В. Гигиеническая оценка воздушной среды при эксплуатации автомобилей на сжиженном нефтяном газе // Гигиена и санитария. – 1993. – №1. – С. 15–16.
2. Кузик А.В., Хиженков П.К. Ионофоретическая активность низко- и сверхнизкочастотных электрических токов и механических колебаний // Праці наук. конф. Донецького національного університету за підсумками науково-дослідної роботи за період 1999–2000 рр. (Секція біологічних наук). – Донецьк, 2001. – С. 61–65.
3. Нецветов М.В., Кузик А.В., Хиженков П.К. К вопросу о механизме влияния низко- и сверхнизкочастотных механических колебаний на проницаемость растительных мембран // Біорізноманіття природних і техногенних біотопів України: Матеріали Всеукр. конф. студ., аспір. та молодих вчених. Ч. 2. – Донецьк, 2001. – С. 14–16.
4. Нецветов М.В., Хиженков П.К., Кузик А.В. Ионофоретическая активность низко- и сверхнизкочастотных механических колебаний // Екологія кризових регіонів України. Тези доп. міжнародної конференції. – Дніпропетровськ, вид-во Дніпроп. ун-та, 2001. – С. 86.
5. Романов С.Н. Биологическое действие механических колебаний. – Л., Наука, 1983. – 208 с.
6. Романов С.Н. Некоторые перспективы исследований биологического действия низкочастотных механических колебаний (вибрации) // Цитология. – 1972. – 14, №2. – С. 150–157.
7. Саксонов П.П., Антипов В.В., Давыдов Б. И. Очерки космической радиобиологии // Проблемы космической биологии. – М., 1966. – 9. – 532 с.
8. Свинец в окружающей среде. – М.: Наука, 1987. – 175 с.
9. Сравнительная физиология животных. – М., Мир, 1977. – 2. – 571 с.
10. Сытник К.М., Кордюм Е. Л., Незука Е. М. и др. Растительная клетка при изменении геофизических факторов. – К.: Наукова думка, 1984. – 136 с.
11. Физиология сенсорных систем. Ч. 2. – Л.: Наука, 1972. – 703 с.
12. Фролов К.В., Миркин А.С. Машанский В.Ф. и др. Вибрационная биомеханика. Использование вибрации в биологии и медицине. – М.: Наука, 1989. – 142 с.
13. Хиженков П.К., Добрица Н.В., Нецветов М.В. и др. Влияние низко- и сверхнизкочастотных переменных магнитных полей на ионную проницаемость клеточных мембран // Доп. НАН України. – 2001. – №4. – С. 161–164.
14. Хиженков П.К., Нецветов М.В., Кисляк Т.П. и др. Изменение проницаемости клеток семян ячменя для отрицательных органических ионов в зависимости от частоты действующего переменного магнитного поля // Доп. НАН України. – 2001. – №3. – С. 179–180.
15. Шарп М.Р. Человек в космосе. – М.: Мир, 1971. – 200 с.
16. Энглези А.П., Хиженков П.К., Нецветов М.В. Влияние низкочастотных физических факторов на морфологию и ионный обмен в очагах травматической деструкции головного мозга. 1. Механические колебания // Вісник проблем біології і медицини. – 2002. – Вип. 9–10. – С. 69–74.

Донецкий национальный университет

Получено 21.04.2008

УДК 581.17:581.84

## СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ И ХИМИЧЕСКИХ МЕДИАТОРОВ НА РОСТ ЯЧМЕНЯ ПОСЕВНОГО

М. В. Нецветов

Донецкий национальный университет

Показано, что в лабораторных условиях полив 1,5% раствором уксуснокислого свинца и гумата калия при ежедневном трехчасовом действии вибрации существенно сказывается на всхожести ( $n$ ) и длине проростков ( $l_{cp}$ ) проращиваемых семян ячменя. Получены немонотонные зависимости относительных показателей  $n$  и  $l_{cp}$  от частоты вибрации ( $f$ ). При поливе раствором соли свинца значения  $n$  в условиях действия вибрации с  $f=60$  и  $70$  Гц выше, а на других частотах ниже или равны контрольным. Действие вибрации при поливе раствором гумата приводит к снижению  $n$  на всех частотах, кроме  $14$  Гц. Значение  $l_{cp}$  на ряде частот выше контрольного и при поливе раствором соли свинца, и раствором гумата.

UDC 581.17:581.84

## COMBINED EFFECT OF VIBRATION AND CHEMICAL MEDIATORS ON BARLEY GROWTH

Netsvetov M. V.

Donetsk National University

It is shown that under laboratory conditions watering by 1.5% acetic acid lead or cilium humate solution with daily 3-hour effect of a vibration have significant influence on germination ( $n$ ) and average length ( $l_{cp}$ ) of the coleoptiles. We obtained the non-monotonous dependencies of these indexes from frequencies ( $f$ ) of the vibrations. Under the effect of watering by lead salt solution and vibration the value of  $n$  is largest upon  $f=60$  and  $70$  Hz and larger then control, upon the rest frequencies,  $n$  is equal to or lower than control. The treatment of the vibration and watering by humate leads to decreasing of  $n$  at all frequencies of vibration except  $14$  Hz. The value of  $l_{cp}$  at a number of frequencies are higher than control under the effect of watering by both kinds of solution.