

УДК 502/504:631.459.22

М. С. ЗВЕРЬКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
Институт природообустройства имени А. Н. Костякова

АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КАПЕЛЬНОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВ

Приводятся конструкция макета и результаты испытаний прибора для диагностики капельной эрозии. Представлен анализ зависимостей максимальной дальности разлета, массы разбрызганных частиц почвы и акустической характеристики удара капли. Данные, полученные с помощью прибора, исследуются в среде программы математического моделирования MATLAB. Выявлено достоверное влияние величины звуковых колебаний капель на массу разбрызганной почвы (уровень значимости менее 0,05). Величины звуковых колебаний составляют 11,9...13,16 кГц. Полученные результаты могут быть использованы для расчета капельной эрозии. Использование данного прибора позволит своевременно прогнозировать и предотвращать это явление.

Эрозия, почва, капельная эрозия, удар капли, масса, расстояние разлета, разбрызганная почва, прибор, частота, частота Найквиста, MATLAB, преобразование Фурье, спектр звука, диагностика.

There is given a structure of the model and results of the device tests for diagnostics of the raindrop erosion. There is presented an analysis of dependencies of the maximal distance of flying-off, weight of soil splashed particles and acoustic characteristics of the drop impact. The data received by means of the device are studied in the program environment of mathematical simulation MATLAB. The reliable influence of the sound vibration of drops value on the weight of splashed soil (level of significance is less than 0,05) is revealed. Values of sound vibrations make 11,9...13,16 kHz. The obtained results can be used for calculation of the raindrop erosion. Usage of this device will allow simultaneously forecasting and preventing this phenomenon.

Erosion, soil, raindrop erosion, raindrop impact, weight, splash distance, splash of soil, device, frequency, the Nyquist frequency, MATLAB, Fourier transformation, acoustical spectrum, diagnostics.

Диагностика процесса капельной эрозии является сложной задачей. Однако своевременное выявление такого вида деградации может отсрочить и предотвратить некоторые виды потери плодородия, связанные прежде всего с разрушением структуры. Это особенно актуально при проектировании и реконструкции мелиоративных систем. Причем в Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 – 2020 годы запланированы мероприятия по реконструкции и строительству мелиоративных систем [1, 2]. Предусматривается существенное повышение экологической составляющей мелиоративных мероприятий за счет использования природоохран-

ных технологий и технических средств в мелиорации.

Прибор для акустической диагностики капельной эрозии разработан автором на базе способа измерения динамического действия дождя на почву и устройства для его реализации [3, 4]. Действующий макет прибора представлен на рис. 1. Акустическая диафрагма 3 служит для усиления колебаний звука, который по соединительной трубке 4 поступает к узлу регистрации звука 5. Этот узел состоит из микрофона, работающего в частотном диапазоне от 50 до 20 000 Гц. Для приема и обработки звуковых сигналов, генерируемых каплями, служит разъем подключения 7 типа 3,5 мм TRS («мини-джек»). Этот тип подключения характерен для

большинства звуковых плат персонального компьютера потребительского уровня, а также портативных устройств. Прибор

помещается в корпус 6, который защищает встроенную электронику от попадания влаги.

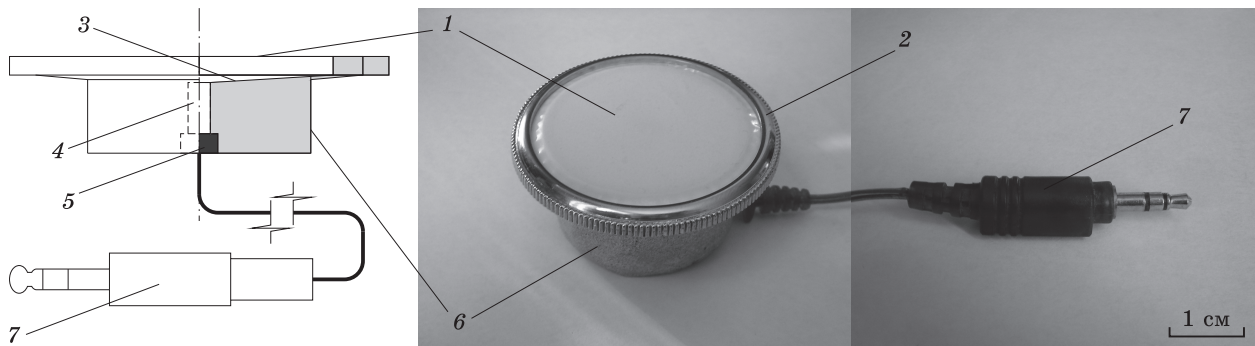


Рис. 1. Прибор измерения динамического действия дождя на почву: а – схема с разрезом; б – фотография действующего макета; 1 – пластиковая мембрана; 2 – крепление пластиковой мембраны; 3 – акустическая диафрагма; 4 – соединительная трубка; 5 – узел регистрации звука (микрофон); 6 – корпус прибора; 7 – разъем подключения «мини-джек» с кабелем

Макет использовался для исследований динамического воздействия падающих капель на специальной установке, описанной в работах [5, 6]. В этих работах также представлены результаты исследований дальности s и массы m разбрызганных частиц почвы.

Для моделирования пористой среды на пластиковую мембрану 1 помещали слой модельных почвогрунтов (минеральных дисперсных грунтов) с содержанием гумуса 0 %, по гранулометрическому составу супеси и легкие суглинки. Мощность слоя не более 1,5 мм. Исследовали образцы следующего фракционного состава: 3,0...1,0 мм; 1,0...0,5 мм; 0,5...0,25 мм; < 0,25 мм. Контроль – это образец, состоящий из смеси равных долей анализируемых фракций. Капли с диаметром d_d 1,73 и 2,73 мм падали с высоты h 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 м. Для исключения влияния химического состава капель использовали дистиллированную воду, подготовленную по ГОСТ 6709–72. Образцы увлажнялись до уровня НВ (наименьшей влагоемкости), так как в предыдущих исследованиях автором установлено, что в этом состоянии почва наиболее подвержена капельной эрозии [5, 6].

Повторность записи показаний прибора пятикратная. Изучение проводили по стандартным методикам лабораторных и полевых опытов.

Математический анализ выполнен в программном комплексе «Statistica 10.0». Принятый уровень значимости $p < 0,05$.

Также исследовались образцы почв из орошаемых хозяйств Коломенского района Московской области и опытного участка, расположенного в Шацком районе Рязанской области. Это аллювиальная агротемногумусовая глееватая супесчаная почва (PU-AUg-Cg⁻-Cca) фермерского хозяйства «ИП глава КФХ Бабунов Ю. А.», аллювиальная агрогумусовая (дерновая) легкосуглинистая почва (P-AU-C⁻) ЗАО «Акатьевский» и глинисто-иллювиальный агрочернозем (PU-AU-BI) опытного участка. Наименование горизонтов проводили по методике Почвенного института имени В. В. Докучаева [7]. Точечные пробы образцов отбирали в трехкратной повторности в трех местах по периферии орошаемых участков из агротемногумусового (PU) и агрогумусового (P) горизонтов по ГОСТ 28168–89 с глубины 5...10 см.

Анализ звука осуществлялся в среде программы математического моделирования MATLAB R2013b (version 8.2) для операционной системы Windows. С этой целью на интерпретируемом языке программирования записывали функции, выполняющие преобразование Фурье для спектрального анализа частоты колебаний звука, генерируемого ударом падающей капли о мембрану. Звук

записывали в файл с расширением WAV.

Преобразование Фурье является интегральным и определяется так:

$$f(v) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp(i2\pi vt) dt, \quad (1)$$

где t – время, с; v – линейная частота, Гц; i – мнимая единица.

Программа обращается к файлу с расширением WAV через функцию чтения, синтаксис которой имеет вид

$y = \text{wavread}(\text{file name})$,

где y – параметры звука (частота); wavread – функция чтения; file name – имя анализируемого файла (путь).

Пусть частота дискретизации исходного файла определяется значением fs . Тогда длительность звука будет вектором времени, модуль которого изменится в интервале от 0 до t с шагом $1/fs$. Затем выполняется быстрое преобразование Фурье с помощью функции fft и производится

градуировка частотной оси и нормировка полученных результатов. Синтаксис функции fft имеет вид

$$Y = \text{fft}(x),$$

где Y – результаты преобразования; x – анализируемые значения (файл со звуком).

Чтобы полученные в быстром преобразовании результаты совпадали со значениями по формуле (1), необходимо умножить Y на шаг времени $1/fs$ [8]. Нормировка частоты v звукового колебания выполняется в соответствии с теоремой отсчетов как частота Найквиста, равная половине частоты дискретизации. Результат анализа представлен в виде осциллограммы и гармонического спектра данного звукового колебания [9]. Также исследуется окрестность максимума частоты v (рис. 2). Это значение принимается за результирующее колебание.

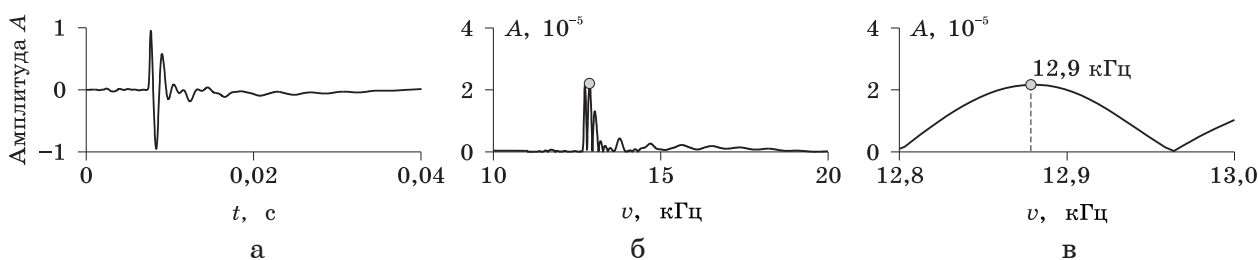


Рис. 2. Пример результата анализа для образца агрочернозема при ударе капли 1,73 мм с высоты 2,5 м: а – осциллограмма; б – преобразование Фурье; в – окрестность максимального значения частоты

Показания прибора с модельными почвогрунтами изменяются в интервале 11,9...12,96 кГц. При ударе капель в почву величины v составили 12,32...13,16 кГц, причем меньшие значения соответствуют супесчаным образцам, более высокие – суглинистым и глинистым.

Всего исследовано 280 образцов почв и грунтов и такое же количество соответствующих им звуковых файлов. Прибор с помещенной на мембрану исследуемой почвой представлен на рис. 3.



Рис. 3. Прибор с исследуемой почвой

Установлено достоверное влияние высоты h падающих капель на частоту v звуковых колебаний (уровень значимости $p = 0,017...0,038$). Влияние диаметра d_d капель на частоту v отмечено только на некоторых образцах, вероятно, из-за рассмотрения в данной работе только двух вариантов капель ($p = 0,001...0,5$). Хорошую корреляционную связь между контрольными и почвенными образцами можно объяснить значением структуры в процессе капельной эрозии (коэффициент корреляции $r = 0,84...0,89$ и уровень значимости $p = 0,03...0,035$). Однако это характерно не для всех образцов, поскольку контрольные образцы содержат равное соотношение исследуемых фракций, а в образцах из хозяйств и опытного участка эти фракции обусловлены стадией почвообразования. Так, образцы агрогумусового (Р) горизонта слабо коррелируют ($r = 0,21$) с контрольными. Это также объяснимо влиянием органоминерального,

гранулометрического состава и структуры на величину v звуковых колебаний.

Для изучения зависимостей между показаниями v прибора и величинами s и m , характеризующими капельную эрозию, проведен регрессионный анализ. В результате получены выражения:

$$m = -0,034 + 0,0006 s + 0,0027 v, R^2 = 0,998 \pm 0,001; \quad (2)$$

$$m = 0,0076 + 0,0006 s - 0,0005 v, R^2 = 0,997 \pm 0,001, \quad (3)$$

где m – масса разбрызганной почвы, г; s – дальность разлета частиц, см; v – частота звуковых колебаний, кГц.

Выражение (2) соответствует массе частиц супеси, (3) – суглинку. Коэффициент детерминации R^2 свидетельствует о высокой точности подбора уравнений множественной регрессии.

Также получены выражения для прямого подсчета массы m разбрызганной почвы:

$$m = -0,78 + 0,0622 v, R^2 = 0,73 \pm 0,07; \quad (4)$$

$$m = -0,135 + 0,0115 v, R^2 = 0,68 \pm 0,05. \quad (5)$$

Выражение (4) соответствует массе

частиц супеси, (5) – суглинку. Значение коэффициента детерминации R^2 невысокое, что говорит о более слабой прогностической способности уравнений регрессии по сравнению с (2) и (3). Однако регрессор достоверно влияет на величину m (уровень значимости $p < 0,05$). Можно предположить, что введение поправки, учитывающей почвенную разность, позволит существенно увеличить точность расчета. Для агрочернозема поправка на показания прибора составила $k = 0,95$. При этом значение коэффициента детерминации возросло до $R^2 = 0,99$. С учетом этого рекомендуется использовать выражения (4) и (5) в следующем виде:

$$m = -0,78 + 0,0622 v k; \quad (6)$$

$$m = -0,135 + 0,0115 v k, \quad (7)$$

где k – поправка на почвенную разность.

Выражение (6) соответствует массе частиц супеси, (7) – суглинку. На рис. 4 приведены результаты расчета и сопоставление с натурными данными.

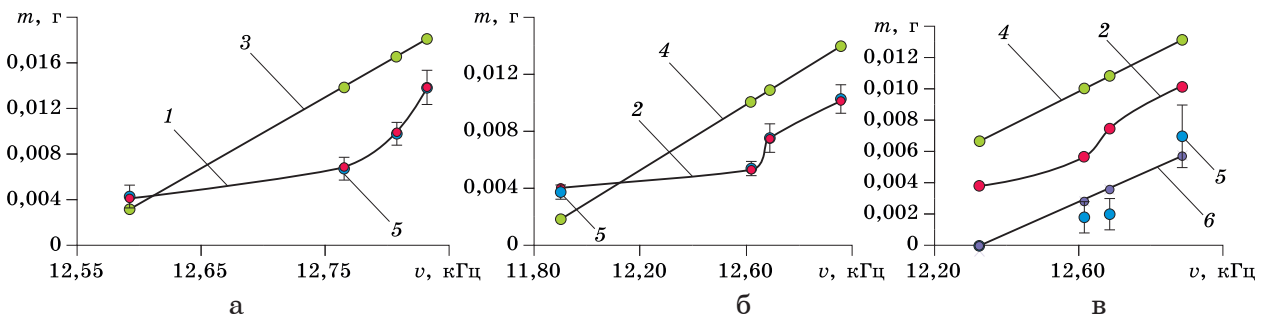


Рис. 4. Сопоставление результатов при ударе капли 1,73 мм: а – образцы супеси; б – образцы суглинку; в – расчет для агрочернозема; 1 – кривая по уравнению (2); 2 – кривая по уравнению (3); 3 – кривая по уравнению (4); 4 – кривая по уравнению (5); 5 – натурные данные; 6 – кривая по уравнению (7)

Дальнейшие исследования автора связаны с натурными испытаниями прибора и определением суммарной массы разбрызганной почвы *in situ*. Это позволит увеличить прогностическую способность прибора и расширить спектр его применения.

Выводы

Выявлено достоверное влияние величины v звуковых колебаний капель на массу m разбрызганной почвы ($p < 0,05$). Полученные результаты могут быть использованы для расчета капельной эрозии, но с учетом свойств отдельных почвенных разностей.

15 апреля 2014 г. № 315 О внесении изменений в Государственную программу развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 – 2020 годы. – URL: http://mcx.ru/documents/file_document/show/232220.htm (дата обращения 15. 05. 14).

2. Презентация Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 – 2020 годы. – URL: http://mcx.ru/documents/file_document/v7_show/22028.342.htm (дата обращения 15. 05. 14).

3. Способ измерения динамического действия дождя на почву и устройство для его

1. Постановление Правительства РФ от

осуществления: А. с. 1362418, МКИ⁴ А 01 G 25/00 / А. Е. Касьянов (СССР). – Оpubл. 30.12.87. – Бюл. № 48. – 4 с.

4. Касьянов А. Е. Природоохранные технологии мелиорации почв: монография. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2013. – 303 с.

5. Зверьков М. С. Капельная эрозия как фактор нарушения плодородия почв орошаемых агроландшафтов // Природообустройство. – 2013. – № 5. – С. 31–34.

6. Зверьков М. С. Масса и дальность разбрызгивания почвы в эксперименте капельной эрозии // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 3 (15). – С. 27–37.

7. Полевой определитель почв: – М.: По-

чвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. – 182 с.

8. Князев Б. А., Черкасский В. С. Дискретное преобразование Фурье – как это делается // Вестник Новосибирского государственного университета. – Сер. Физика. – 2008. – Т. 3. – № 4. – С. 74–86.

9. Элементарный учебник физики: учеб. пособие в 3 т.: Т. 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика; под ред. Г. С. Ландсберга. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 656 с.

Материал поступил в редакцию 16.05.14.

Зверьков Михаил Сергеевич, аспирант

E-mail: mzverkov@bk.ru

УДК 502/504:630*913(075.8):631.6

О. И. БАБОШКО, В. В. ТАНЮКЕВИЧ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

МЕЛИОРАТИВНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС

Приведены результаты исследований состояния полезащитных лесных полос смешанного породного состава и их мелиоративного влияния на снегораспределение и биологическую урожайность озимой пшеницы в условиях Ростовской области.

Лесные полосы, робиния лжеакация, жизненное состояние, межполосное поле, снегозадержание, биологическая урожайность.

There are given research results of studying the state of field protecting belts of mixed species composition and their reclamation influence on snow distribution and biological productivity of winter wheat in the Rostov region.

Forest belts, Robinia pseudoacacia L, life state, interstrip field, snow retention, biological productivity.

Мелиоративное влияние лесных полос, заключающееся в улучшении условий роста и повышении урожайности сельскохозяйственных культур межполосного поля, исследовали давно [1]. В настоящее время требует уточнения вопрос мелиоративной эффективности лесных полос смешанного породного состава, который связан с межвидовыми взаимоотношениями древесных пород в насаждении. По Л. С. Савельевой, эти взаимоотношения могут являться причиной взаимного ослабления и ухудшения жизненного состояния древостоя [2]. Активное проявление этого процесса влияет на конструкцию лесных полос и их мелиоративную эффективность. В угнетенном меж-

видовой конкуренцией древостоем существенно нарушаются физиологические процессы, в том числе и интенсивность фотосинтеза, что является одной из причин преждевременной гибели древесных пород [3].

Цель исследований, проведенных в 2011–2012 годах, заключалась в уточнении мелиоративной эффективности полезащитных лесных полос различного породного состава.

Объектом исследования служили полезащитные робиниевые лесные полосы в смешении с другими древесными породами в условиях Доно-Донецкого лесомелиоративного района Ростовской области (Бокровский административный район) [4].