

УДК 502/504:631.6.02:620.193.15

А. Е. КАСЬЯНОВ, М. С. ЗВЕРЬКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

ВЛИЯНИЕ ПОЛИАКРИЛАМИДА НА РАЗБРЫЗГИВАНИЕ ПОЧВЫ

Одним из способов предупреждения и борьбы с эрозией является применение различных химических полимеров и структурообразователей почв, например полиакриламид (ПАА), который на орошаемых землях уменьшает поверхностное уплотнение и образование корки, предотвращает проявление последствий эрозии. В рамках федеральной целевой программы «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы» одной из важнейших задач является охрана земель от эрозии. Предусматривается существенное повышение экологической составляющей мелиоративных мероприятий за счет использования природоохранных технологий и технических средств в мелиорации. Поэтому актуальным становится вопрос разработки и исследований оперативных способов контроля показателей эрозии. В статье анализируется влияние полиакриламида на процесс разбрызгивания частиц почвы в момент удара ее каплями диаметром 1,73 и 2,73 мм. Лабораторные исследования выполнены с помощью устройства для оперативного способа контроля показателей эрозии при искусственном дождевании с добавками ПАА в концентрации 0,4 г/м². Контактная поверхность прибора выполнена в виде пористой мембраны, моделирующей поверхность почвы. Исследования показали, что при ударе капли 1,73 мм разлет частиц отсутствовал. От удара капли 2,73 мм с высоты 1,0 м расстояние разлета частиц 0,7...1,2 см, с высоты 2,5 м – 4,4...5,3 см. Масса разбрызганных частиц 0,004...0,006 г. Полученные результаты подтверждаются исследованиями других авторов по снижению величины капельной эрозии с помощью полиакриламида.

Удар капли, гидродинамический удар, капельная эрозия, полиакриламид, пористая мембрана, частота колебаний, преобразование Фурье.

One of the ways of erosion prevention and control is application of different chemical polymers and soils amendments, for example, polyacrylamide (PAM) which on the irrigated lands decreases surface compaction and crust formation, prevents from erosion effects. In the frame of the federal target program «Development of agriculture and regulation of markets of agricultural produce, raw materials and foodstuff for 2013–2020» one of the most important tasks is lands protection from erosion. It is provided to significantly increase the ecological constituent of reclamation measures due to usage of environmental technologies and technical means in melioration. Therefore the question of development and investigations of efficient ways of erosion control indicators becomes urgent. The article analyzes the influence of polyacrylamide on the splashing process of soil particles in the moment of raindrops falling of diameter 1,73 and 2,73 mm. Laboratory researches were performed by means of the device for the efficient control method of erosion indices under artificial spray irrigation with additions of PAM in the concentration of 0,4 g/m². The contact surface of the device is made as a porous membrane modeling the soil surface. The investigations showed that under the drop of 1,73 mm impact there was no recession of particles. From the 2,73 mm drop impact from the height 1,0 m the recession distance of particles 0,7...1,2 cm, from the height 2,5 m – 4,4...5,3 cm. The weight of splashed particles – 0,004...0,006 g. The obtained results are confirmed by researches of other authors on reducing the value of drop erosion by means of polyacrylamide.

Drop impact, hydrodynamic impact, drop erosion, polyacrylamide, porous membrane, vibration frequency, Fourier transformation.

Капельная эрозия – первый предшествующий эрозии стоком процесс разрушения и разбрызгивания частиц почвы по ее поверхности. В результате часть частиц участвует в образовании почвенной корки, другая – транспортируется стоком воды. Такие выводы описаны в работах [1–3] и др. Капельная эрозия также способствует развитию кольматации, снижению водопроницаемости и стимулирует другие виды деградации почв.

В рамках федеральной целевой программы «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы» к первому уровню приоритетов относится мелиорация земель сельскохозяйственного назначения и повышение плодородия почв. При этом одной из важнейших задач является охрана земель от эрозии. Предусматривается существенное повышение экологической составляющей мелиоративных мероприятий за счет использования природоохранных технологий и технических средств в мелиорации. Поэтому актуальным становится вопрос разработки и исследований оперативных способов контроля показателей эрозии [4].

Для предупреждения и борьбы с этим опасным явлением используют различные методы, например, применяют различные химические полимеры и структурообразователи. Полиакриламид (ПАА) – это полимер, обладающий высокой молекулярной массой. Известно, что ПАА на орошаемых землях уменьшает поверхностное уплотнение и образование корки, предотвращает проявление последствий эрозии [5–7].

Для контроля эрозии используют анионные растворимые в воде соединения ПАА. Исследования показали, что для достижения этой цели требуется в 10...100 раз меньшее количество полиакриламида по сравнению с другими видами полимеров [8, 9]. Но применение ПАА ограничено из-за их высокой стоимости [7].

Известно несколько исследований, посвященных изучению влияния полиакриламида на капельную эрозию. Ученые из Ирана изучали влияние ПАА при дождевании на мергелистых почвах.

Boroghani M. и др. в [9] установили, что применение ПАА в концентрации 0,2, 0,4 и 0,6 г/м² позволяет снизить капельную эрозию при орошении интенсивностью 65...120 мм/ч, но статистических различий между результатами опытов с полимером не найдено. Статистически значимыми оказались различия между контрольным испытанием без ПАА и его различным содержанием в образцах почвы. Максимальный эффект от полиакриламида в снижении капельной эрозии на 40% по сравнению с контролем наблюдался при концентрации 0,4 г/м². Похожие результаты получены в работах [10, 11].

В Молдавском комплексном отделе УкрНИИГиМ разработан способ дождевания с добавками полиакриламида для снижения крупности капель искусственного дождя. Рекомендуется концентрация полимера 0,1...0,5 г/л. В результате уменьшаются размеры капель, улучшается впитывание воды в почву [12].

Под руководством профессора А. Е. Касьянова в ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева разработан патент 2518744 [13], с помощью которого выполнены исследования влияния полиакриламида на капельную эрозию. Цель исследований заключалась в создании оперативного способа контроля показателей эрозии при искусственном дождевании с добавками ПАА. В данной работе изменена конструкция прибора, но сохранен принцип и методика изучения удара капли. Вместо тензодатчиков, расположенных под мембраной, в действующем макете применена акустическая диафрагма с установленным в ее основании микрофоном, работающим в частотном диапазоне 50...20 000 Гц и имеющего разъем подключения типа 3,5 мм TRS («мини-джек»). В результате получился «симбиоз» патента [13] и макета устройства из работы [3]. Такая модификация не влияет на точность исследований и необходима для сопоставления результатов данной работы и предыдущих исследований авторов.

Пористая пластина моделирует по-

верхность почвы и изготовлена из кремнийорганического полимера – силиконового каучука (содержание около 45 %). Химическое взаимодействие ПАА и силиконового каучука отсутствует. Диаметр пор 1...3 мм, толщина пластины 3 мм. Ранее в [3,4] установлено, что наиболее активно разрушение почвы капельным потоком наблюдается при наименьшей влагоемкости, после чего происходит постепенное снижение расстояния разлета и массы разбрызганных частиц до достижения полной влагоемкости. Поэтому пористая пластина заполнялась раствором полиакриламида, содержание которого соответствовало каплям дождя

с добавками ПАА, моделировалось состояние почвы близкое к наименьшей влагоемкости (НВ). Устройство размещалось перпендикулярно оси капельного потока жидкости. При ударе капль возникает гидродинамическое давление, которое вызывает деформацию мембраны, возникают звуковые колебания, по частоте ν которых судят о величине капельной эрозии, то есть о массе разбрызганных частиц m и расстоянии их разлета s . Использовались результаты исследований авторов из [3, 4]. Схема устройства и пористая пластина показаны на рисунке 1. Концентрация ПАА 0,4 г/м² принята по работе [10].



Рис. 1. Схема устройства (а) и пористая пластина (б): 1 – пористая пластина; 2 – акустическая диафрагма; 3 – соединительная трубка; 4 – узел регистрации звука (микрофон); 5 – корпус прибора; 6 – разъем подключения «мини-джек» с кабелем

Удар и перемещение капли регистрировались по передней кромке в направлении ее движения. Для образования капль использовали сосуд Мариотта и установленные в его основании иглы (инъекторы) с внутренним диаметром 0,060 (34G) и 0,410 (22G) мм, с помощью которых получены капли диаметром 1,73 и 2,73 мм соответственно. Капли падали с высоты h 1,0 и 2,5 м. Рабочая жидкость для образования капль – дистиллированная вода (ГОСТ 6709–72), температура 20 °С, коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 0,07286$ Н/м, плотность 998,203 кг/м³. Температура лабораторного помещения 21 °С, относительная влажность воздуха 53 %. Также проведены эксперименты с поверхностными образцами глинисто-иллювиального агрочернозема (PU–AU–BI), отобранные с опытного участка в Шацком районе Рязанской обла-

сти. Описание образцов приведено в [4]. Образцы доводились до влажности НВ с помощью раствора ПАА с концентрацией 0,4 г/м². Удар капль для каждого образца однократный.

Повторность опытов пятикратная. Математическая обработка результатов опытов выполнена в программном комплексе «Statistica 10.0». Принятый уровень значимости $p < 0,05$. Для обработки результатов измерений прибор подключался к звуковой плате персонального компьютера, а частота звуковых колебания мембраны анализировалась с помощью преобразования Фурье в разработанной и официально зарегистрированной для этого программе [14].

При падении капль с высоты 1,0...2,5 м частота звука ν в момент удара о пористую мембрану без ПАА составила 11,76...15,76 кГц и 10,85...11,2 кГц для $d_m = 1,73$ мм и 2,73 мм

соответственно. Эти осредненные показатели достаточно точно совпадают с исследованиями [3], а разница вероятно обусловлена различием способности почвенных частиц и мембраны проводить и поглощать звук. Эта особенность требует дополнительных исследований.

При падении с высоты 1,0...2,5 м на пористую мембрану, заполненную раствором ПАА с концентрацией 0,4 г/м², капля диаметром $d_m = 1,73$ мм гене-

рировала звук 11,23...10,75 кГц, $d_m = 2,73$ мм – 10,14...9,56 кГц. При увеличении h наблюдалось уменьшение ν , кроме того частота ниже показателей без ПАА, который вызвал поглощение звука. Отмечены единичные «всплески» частоты звука на высоте 2,5 м до 15,11 и 21,64 кГц для $d_m = 1,73$ мм и 2,73 мм соответственно, эти показатели исключены из анализа. Результаты опытов представлены на рисунке 2.

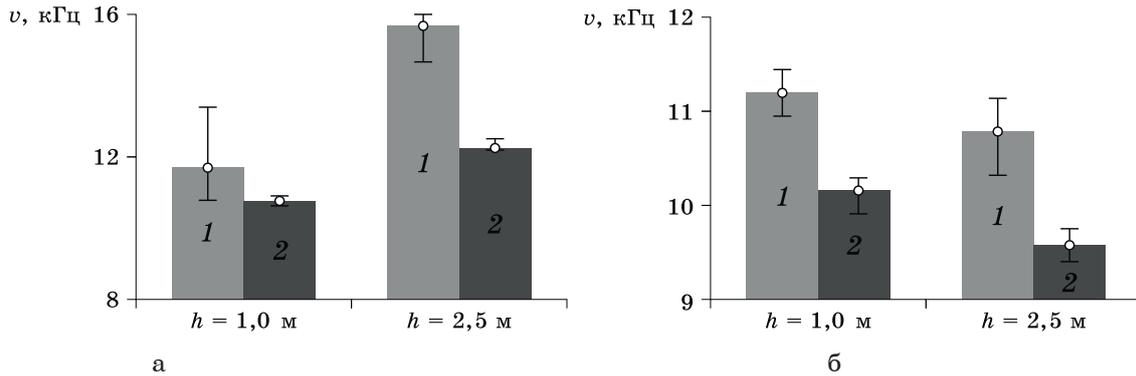


Рис. 2. Частота звука от удара капель в пустую (а) и заполненную раствором ПАА (б) пористую мембрану: 1 – $d_m = 1,73$ мм; 2 – $d_m = 2,73$ мм

Исследования разбрызгивания образцов почвы, обработанных раствором полиакриламида с концентрацией 0,4 г/м² и доведенных до влажности НВ, показали, что при ударе капли $d_m = 1,73$ мм разлет частиц отсутствовал. От удара капли 2,73 мм с высоты 1,0 м расстояние разлета частиц $s = 0,7...1,2$ см, с высоты 2,5 м – 4,4...5,3 см. Масса разбрызганных частиц $m = 0,004...0,006$ г. В исследовании [15] установлено, что для агрочернозема при ударе капель 2,73 мм с высоты 2,5

м m составила $0,013 \pm 0,002$ г. Полученные результаты свидетельствуют о снижении величины капельной эрозии до 54 %, что выше по сравнению с результатами ученых в работах [10, 11] при концентрации ПАА 0,4 г/м², так как в данном исследовании изучался максимальный эффект от однократного удара капель, а не интегральное воздействие искусственного дождя на почву. На рисунке 3 показана зависимость массы m от высоты падения h капель.

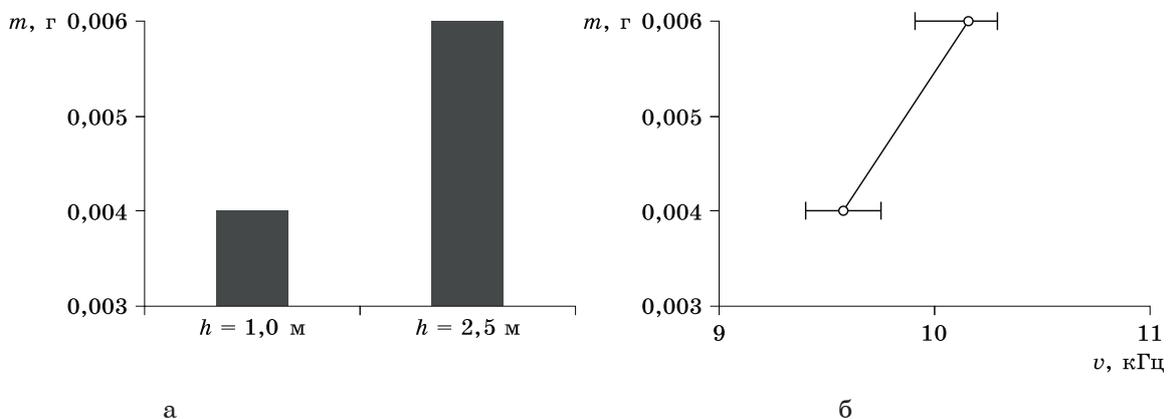


Рис. 3. Результаты опытов для обработанных полиакриламидом образцов почвы, подвергшихся воздействию капель $d_m = 2,73$ мм: а – зависимость массы m от высоты падения h капель; б – зависимость m от ν

Выводы

Полученные результаты подтверждают исследования других авторов по снижению величины каплевой эрозии с помощью полиакриламида. От однократного удара капли диаметром 2,73 мм возможно уменьшение массы разбрызганной почвы до 54 %. При увеличении высоты падения капель наблюдалось уменьшение частоты звука при исследовании мембраны прибора, заполненной ПАА.

Предложенную методику можно использовать для оценки эффективности ПАА в борьбе с каплевой эрозией орошаемых почв.

Для изучения возможности применения пористой мембраны для анализа интегрального воздействия дождя требуются дополнительные исследования.

1. Splash projection distance for aggregated soils: theory and experiment / S. Leguedois and [et al.] // Soil Science Society of America Journal. – 2005. – Vol. 69. – P. 30–37.

2. Van Dijk A. I. J. M., Bruijnzeel L. A., Eisma E. H. A methodology to study rain splash and wash processes under natural rainfall // Hydrological Processes. – 2003. – Vol. 17. – P. 153–167.

3. Зверьков М. С. Акустическая диагностика каплевой эрозии // Природообустройство. – 2014. – № 3. – С. 38–42.

4. Касьянов А. Е., Зверьков М. С. Оборудование для контроля эрозионной опасности дождя // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 2. – С. 13–16.

5. Green V. S., Scott D. E. Polyacrylamide: a review of the use, effectiveness, and cost of a soil erosion control amendment // Sustaining the Global Farm: the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24–29, 1999. – West Lafayette: Purdue University, 2001. – P. 384–389

6. Wallace A., Wallace G. A. Effects of soil conditioners on emergence and growth of tomato, cotton, and lettuce seedlings // Soil Science. – 1986. – Vol. 141. – P. 313–316.

7. Влияние гидрогелей полиакриламида на микрофлору почвы / Максимова Ю. Г. [и др.] // Вестник Пермского универ-

ситета. Серия «Биология». – 2010. – № 1. – С. 45–49.

8. Blanco H., Lal R. Principles of soil conservation and management. – Springer Netherlands, 2008. – 617 p.

9. Boroghani M., Hayavi F., Noor H. Affectability of splash erosion by polyacrylamide application and rainfall intensity // Soil & Water Res. – 2012. – Vol. 7. – P. 159–165.

10. Sepaskhan A. R., Bazrafshan-Janromi A. R. Controlling runoff and erosion in sloping land with polyacrylamide under a Rainfall Simulator // Biosystems Engineering. – 2006. – Vol. 93. – P. 474–497.

11. Aase J. K., Bjerneberg D. L., Sojka R. E. Sprinkler irrigation runoff and erosion control with polyacrylamide – laboratory test // Soil Science Society of America Journal. – 1998. – Vol. 62. – P. 1681–1687.

12. Способ полива дождеванием: Пат. 1768018 (SU, А 01 G 25/00 / А. О. Гаврилица [и др.]; заявитель и патентообладатель МКО УкрНИИГиМ. – № 4762886; заявл. 27.11.1989; опубл. 07.10.1992. – Бюл. № 37. – 6 с.

13. Устройство для измерения динамического действия дождя на почву: Пат. 2518744 (Российская Федерация, МПК G 01 N 33/24, А 01 G 25/00 / А. Е. Касьянов, М. С. Зверьков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО МГУП. – № 2013118078/15; заявл. 19.04.2013; опубл. 10.06.2014. – Бюл. № 16. – 5 с.

14. Анализ сигнала капли: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614657 / Автор и правообладатель М. С. Зверьков. – № 2015614657. – Заяв. № 2015612150; заявл. 05.03.2015; опубл. 20.05.2015. Бюл. № 5 – 1 с.

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

Материал поступил в редакцию 09.02.15.

Касьянов Александр Евгеньевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорации и рекультивации земель»
E-mail: kasian64@mail.ru

Зверьков Михаил Сергеевич, аспирант кафедры «Мелиорации и рекультивации земель»

E-mail: mzverkov@bk.ru