

УДК 631.459.2.57

DOI: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.17

ДОЖДЕВАНИЕ КАК ЭКСПРЕСС-МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВ

Анастасия Викторовна Прущик¹, Юрий Петрович Сухановский²,
Владимир Алексеевич Вытовтов³, Александр Григорьевич Титов⁴

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Курский Федеральный Аграрный Научный Центр», г.Курск 305021, Курская область, г. Курск, ул. Карла-Маркса, 70 Б

¹E-mail: model-erosion@mail.ru; ²E-mail: soil-er@kursknet.ru ³E-mail: v.a.vitovtov@mail.ru; ⁴E-mail: titov_a_g@mail.ru

Аннотация. *Цель* — обоснование метода дождевания как экспресс-метода для изучения водной эрозии почв. *Методы.* В работе использован метод дождевания стоковых площадок, основанный на критериях подобия с применением разных дождевальных установок. *Результаты.* Представлены результаты экспериментов по изучению впитывающей способности почвы, выносу химических элементов, кумулятивному смыву почвы при разной степени проективного покрытия растениями с применением дождевальных установок разных типов. *Выводы.* Критерии подобия дают возможность для естественных дождей использовать данные, полученные при дождевании стоковых площадок.

Ключевые слова: дождевальная установка, впитывающая способность почвы, эрозия почвы, биогенные элементы, критерии подобия

Введение

Для получения количественных данных о негативных воздействиях дождевой эрозии на почву, окружающую среду (водоемы, растения) - необходимо проводить натурные наблюдения за выпадением осадков в течение длительного времени. Для проведения такого рода наблюдений необходимо провести топографическую съемку участка, картографирование почв, оборудовать осадкомерные пункты с соответствующей приборной базой (осадкомеры, плювеографы), заложить стоковые площадки. Эти мероприятия требуют больших финансовых затрат и не всегда могут соответствовать поставленной задаче, т.к. нельзя получить дождь с определенными характеристиками и по расписанию.

Использование дождевальных установок для изучения дождевой эрозии становится всё более актуальным [1, 2]. Используемый в наших экспериментах, метод дождевания стоковых площадок позволяет быстро и с малыми финансовыми затратами получить необходимые данные. В качестве критерия подобия для естественных дождей используется эрозионный индекс дождя AI : для разных дождей эрозионно-гидрологический эффект одинаковый, если эти дожди имеют одинаковые значения индекса AI . Эрозионная характеристика A является критерием подобия для искусственных дождей. Для этих двух критериев выполняется равенство $A = const AI$, где $const$ — постоянная величина. Это равенство даёт возможность в зависимостях, полученных по данным дождевания, величину A заменять на AI . Следовательно, при такой замене полученные зависимости можно использовать для естественных дождей. На этом основан метод дождевания стоковых площадок [3].

Для естественных и искусственных дождей потери почвы описываются линейными уравнениями, соответственно, от AI и A . Если в этом уравнении величину A заменить на индекс AI , то можно рассчитать потери почвы для любых естественных дождей. Чтобы рассчитать AI , необходимо для естественного дождя иметь зависимость

интенсивности дождя от времени. Следовательно, можно оценивать потери почвы для естественных дождей, используя экспериментальные данные для искусственных дождей. Когда впитывающая способность почвы меньше интенсивности дождя, то происходит сток. Для естественных и искусственных дождей впитывающая способность почвы описывается экспоненциальным уравнением [3]. При замене A на AI это уравнение можно использовать для естественных дождей (для расчёта стока). Критерии подобия позволяют экспериментальные данные, полученные в результате дождевания, использовать в расчетах для естественных дождей. Таким образом, применяя метод дождевания стоковых площадок, можно получить результаты за несколько дней. Для получения аналогичных результатов в натурных исследованиях необходимо проводить исследования в течение 20 лет. Используя критерии подобия можно применять дождевальные установки, создающие капли одного размера и падающие с одинаковой скоростью. Монодисперсный дождь снижает денежные затраты, исключая необходимость использования дорогостоящего оборудования для измерения спектра дождевых капель. Причем исследователь сам задает необходимые условия для проведения эксперимента.

Целью данной работы является обоснование метода дождевания как экспресс-метода для изучения водной эрозии почв.

Объекты и методы исследования

На базе ФГБНУ «Курского ФАНЦ» на протяжении нескольких десятилетий были разработаны разные виды конструкций дождевальных установок. В настоящее время постоянно применяются две: лабораторно-полевая и портативная лабораторно-полевая дождевальные установки.

Лабораторно-полевая дождевальная установка (ДУ) (рис.1) предназначена для исследования влияния дождевых осадков на сток воды, смыв почвы, вынос химических веществ в различных агроэкосистемах (патент на изобретение 2417578).



Рис. 1 – Лабораторно-полевая дождевальная установка
Fig. 1 – Laboratory-field rainfall simulator

Диаметр капель дождя, создаваемый ДУ, составляет $4,5 \pm 0,3$ мм. Интенсивность дождя колеблется в диапазоне от 1,0 мм/мин до 1,9 мм/мин, при этом стабильность интенсивности дождя во время проведения одного эксперимента находится в пределах 3%. Высоту падения капель можно устанавливать от 0 до 2,5 м. Максимальная рабочая

площадь орошения составляет 3 м². Рабочая поверхность с каплеобразователями имеет прямоугольную форму размером 1х3 м.

ДУ и сопутствующее оборудование, необходимое для проведения эксперимента, весом примерно 300 кг транспортируется на двух стандартных прицепах (грузоподъемностью 500 кг). Для проведения экспериментов необходимо как минимум 5 человек.

Портативная лабораторно-полевая дождевальная установка (ПДУ) (рис. 2) предназначена для исследования впитывающей способности почвы и выноса химических элементов из почвы с поверхностным стоком в различных агроэкосистемах (патент на полезную модель 184625). Каплеобразователи ПДУ на рабочей поверхности расположены по спирали Архимеда. Благодаря этому и автоматически раскачивающему устройству, которое вращает установку, капли дождя равномерно распределяются по стоковой площадке, не образуя углубления в почве.



Рис. 2 – Портативная лабораторно-полевая дождевальная установка
Fig. 2 – Portable laboratory-field rainfall simulator

Диаметр капель дождя, создаваемый ПДУ, составляет $4,0 \pm 0,3$ мм. Интенсивность дождя задается в диапазоне от 1,2 мм/мин до 2,8 мм/мин, при этом стабильность интенсивности дождя во время проведения одного эксперимента находится в пределах 3%. Высоту падения капель можно устанавливать от 0 до 1,5 м. Рабочая площадь орошения составляет 0,05 м². Рабочая поверхность с каплеобразователями круглой формы диаметром 250 мм.

ПДУ и сопутствующее оборудование, необходимое для проведения эксперимента, весом примерно 10 кг можно транспортировать на одном стандартном прицепе (грузоподъемностью 500 кг) для легкового автомобиля. Для проведения экспериментов необходимо как минимум 3 человека.

Параметры дождя, производимого ДУ и ПДУ, и конструктивные особенности могут изменяться.

Эксперименты были проведены в Медвенском районе Курской области в опытном хозяйстве ФГБНУ «Курский ФАНЦ» на склоне северной экспозиции. Севооборот зернопаропропашной. Исследования по изучению впитывающей способности почвы и выносу биогенных веществ в растворимой форме проводились на полях с чёрным паром; по изучению кумулятивного смыва почвы при разной степени проективного покрытия - на посевах овса, на залежи и на паровом поле (контроль).

Органические и минеральные удобрения не вносились ни в один из вариантов исследования.

Объект – чернозём типичный слабосмытый, среднемощный, среднесуглинистый, подстилаемый палевым лёссовидным суглинком.

Дождевание проводили по методике дождевания стоковых площадок, разработанной в нашем институте [3] с применением ДУ в полевых условиях. В этот же день отбирали монолиты почвы в специальные цилиндрические ёмкости, перевозили их в лабораторию для проведения дождевания с использованием ПДУ. В начале и в конце каждого эксперимента измеряли интенсивность дождя. Отмечали время начала стока. Рассчитывали установившуюся скорость впитывания по установившемуся расходу стекающей воды и интенсивности дождя. Влажность определяли весовым методом, плотность сложения – методом буриков по Качинскому, структурно-агрегатный состав – по Саввинову. Растворенные формы аммонийного азота определяли фотометрическим методом с реактивом Нesslerа [4], фосфора – фотометрическим методом с молибдатом аммония [5], калия – методом пламенной фотометрии [6]. В почве определяли подвижные формы фосфора и калия по Чирикову [7], аммонийный азот – с использованием фотометрии, по методу ЦИНАО [8]. Полученные данные обрабатывались в программе Excel.

Результаты и обсуждение

Проверка уравнения впитывающей способности почвы для естественных дождей привела к гипотезе: впитывание происходит, в основном, на межручейковой поверхности почвы. Поэтому для исследования впитывающей способности почвы площадь стоковой площадки может быть малой, а ручейковая эрозия должна отсутствовать. Результаты проведенных экспериментов с применением ДУ и ПДУ показали, что полученные уравнения впитывающей способности почвы близкие при дождевании на обеих установках; это подтвердило принятую гипотезу; что ПДУ можно использовать для исследования впитывающей способности почвы, а полученные результаты можно использовать для естественных дождей.

Во время выпадения дождя образуется почвенная корка, способная намного уменьшать впитывающую способность почвы. Чем меньше впитывающая способность почвы, тем больше почва подвержена негативному воздействию дождевой эрозии. Экспериментально, методом дождевания стоковых площадок с применением ДУ и ПДУ, можно оценивать эффективность мероприятий для предотвращения отрицательных воздействий дождевой эрозии. Проводить эксперименты можно на опытных участках поля, оценивать эффективность мероприятий (обработки почвы, технологии возделывания сельскохозяйственных культур), при этом экономя время и финансовые средства на закладку больших опытов. По результатам проведенных экспериментов можно выбрать более эффективные методы защиты почвы.

Для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур в засушливых зонах страны важно правильно регулировать водный режим почв с помощью механизированного полива. Однако из-за превышения интенсивности дождя впитывающей способности почвы происходит сток, который способствует развитию эрозии почв. Используя метод дождевания, можно определить впитывающую способность почвы для конкретного участка и разработать нормы полива до стока.

В связи с увеличением применения удобрений и пестицидов при выращивании сельскохозяйственных культур с целью увеличения их урожайности остро стоит проблема загрязнения окружающей среды, т.к. происходит вынос химических веществ с полей вместе со стоком воды и аккумуляция их в водоёмах. В нашей лаборатории

проводились опыты по изучению выноса растворенных биогенных веществ из почвы с применением ПДУ. Дождевание проводили дистиллированной водой для исключения влияния соединений химических веществ, находящихся в водопроводной или природной воде, на ход эксперимента. Определяли содержание следующих элементов: $N-NH_4$, P_2O_5 , K_2O - в почве и в стоке. Зависимости потерь изучаемых элементов от слоя стока описывали полученные уравнения линейной регрессии. Зная концентрацию биогенных веществ в почве и слой стока можно рассчитать потери элемента с площади поверхности почвы. Используя полученные данные можно рассчитать вынос различных химических элементов вместе со стоком.

Используя ДУ также можно рассчитывать кумулятивный смыв почвы в зависимости от состояния почвы (при различной степени защищенности растительным покровом почвы, при мульчировании и т.д.). Приведем пример, в лаборатории защиты почв от эрозии ФГБНУ «Курский ФАНЦ» был поставлен эксперимент, при котором проводили дождевание на стоковых площадках: с посевами овса (фенофаза третьего листа) и на залежи (возраст примерно 25 лет), в качестве контроля использовали площадку с черным паром (рис. 3).

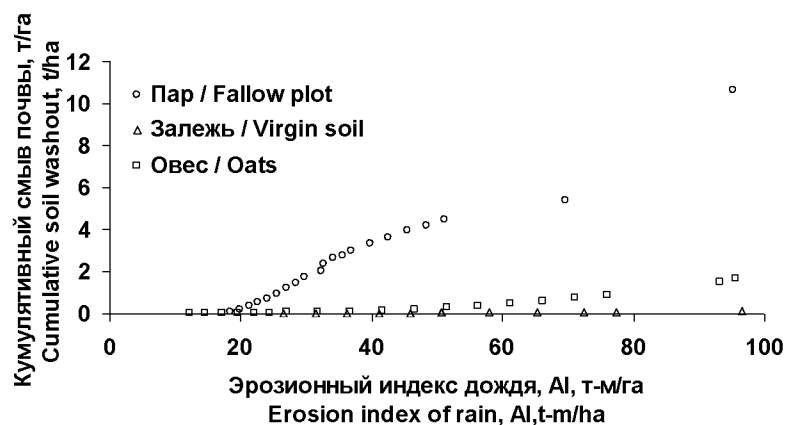


Рис. 3 – Зависимость кумулятивного смыва почвы от эрозионного индекса дождя AI (для естественных дождей) при различной степени проективного покрытия почвы
Fig. 3 – Dependence of the cumulative soil washout on the erosion index of rain (for natural rain) with varying degrees of protected soil cover

На рис.3 наглядно показана зависимость смыва почвы от степени защищенности почвы от воздействия дождя. Смыв почвы на контрольном варианте с черным паром в несколько раз превышает варианты с растительностью. Наиболее благоприятные условия для предотвращения смыва почвы наблюдаются на варианте с залежью, т.к. почва хорошо защищена растениями.

Выводы

Использование метода дождевания позволяет быстро получить информативные данные по впитывающей способности почвы, выносу химических элементов в растворенной форме, по количеству смываемой почвы при проявлении дождевой эрозии. Данные полученные методом дождевания можно использовать при расчете норм механизированного полива в засушливых регионах для предотвращения стока.

Благодарности

Коллектив авторов выражает благодарность сотрудникам лаборатории агрохимии и ГИС за помощь в проведении химических анализов воды и почвы.

Работа выполнена в соответствии с п.142 Программы фундаментальных научных исследований Государственных академий наук на 2013 – 2020 гг. (тема № 0632–2019–0017).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 18309–2014. Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ. – М.: Стандартинформ, 2015. – 21 с.
2. ГОСТ 26204–91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. Комитет стандартизации и метрологии СССР. – М., 1992. – 6 с.
3. ГОСТ 26427–85. Почвы. Метод определения натрия и калия в водной вытяжке. Комитет стандартизации и метрологии СССР. – М., 1985. – 4 с.
4. ГОСТ 26489–85. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. Комитет стандартизации и метрологии СССР. – М., 1985. – 5 с.
5. ГОСТ 33045–2014. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. – М.: Стандартинформ, 2015. – 19с.
6. Патент на полезную модель 171157 Рос. Федерации: МПК A01G 25/00 Лабораторная дождевальная установка / Демидов В.В., Шульга П.С., Есафова Е.Н., Абдулханова Д.Р., Полубнев А.А.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ МГУ им. М.В. Ломоносова – №2016110105; заявл. 21.03.2016, опубл. 23.05.2017, Бюллетень Изобретений – № 15.
7. Соболев Н.В., Габбасова И.М., Комиссаров М.А. Влияние различной интенсивности дождей и крутизны склонов на развитие эрозии почв в Южном Предуралье (модельный опыт) // Почвоведение, 2017. – № 9. – С.1134-1140.
8. Сухановский Ю.П. Модификация методики дождевания стоковых площадок для исследования эрозии почв // Почвоведение. 2007. – №2. – С. 215–222.

REFERENCES

1. GOST 18309–2014. Water. Methods for phosphorus containing species determination. Moscow: Standartinform, 2015. 21 p.
2. GOST 26204–91. Soils. Exchangeable phosphorous and potassium compounds determination by Chirikov's method in modification of TsINAO. Committee on standards and metrology by USSR. Moscow, 1992. 6 p.(in Russian)
3. GOST 26427–85. Soils. Method for sodium and potassium determination in soil–water extract. Committee on standards and metrology by USSR. Moscow, 1985. 4 p.
4. GOST 26489–85. Soils. Exchangeable ammonium determination by TsINAO's method. Committee on standards and metrology by USSR. Moscow, 1985. 5 p.
5. GOST 33045–2014. Water. Methods for nitrogen containing species determination. Moscow: Standartinform, 2015. 19 p. [in Russian].
6. Patent 171157 of the Russian Federation: IPC A01G 25/00 Laboratory sprinkler system / Demidov V.V., Shulga P.S., Esaphova E.H., Abdulkhanova D.R., Polubnev A.A.; applicant and patent holder of Lomonosov Moscow State University - № 2016110105; claiming. 21.03.2016; publ. 23.05.2017. - B.I. 2017. No. 15.

7. Sobol N.V., Gabbasova I.M., Komissarov Effect of rainfall intensity and slope steepness on the development of soil erosion in the Southern Cis-Ural region (A model experiment). *Eurasian Soil Science*. 2017. 50 (9): 1098-1104. [in Russian].

8. Sukhanovskii Yu.P. Modification of a rainfall simulation procedure at runoff plots for soil erosion investigation. *Eurasian Soil Science*. 2007. 40 (2): 195-202. [in Russian].

Prushchik A.V., Sukhanovskii Y.P., Vytovtov V.A., Titov A.G. Rainfall simulation as an express-method for studying soil water erosion // Works of the State Nikit. Botan. Gard. – 2019. – Vol.148. – P. 163-169.

Abstract. *Aim* – justification of a method Rainfall simulation as an express-method for studying soil water erosion. *Methods.* In work the method of Rainfall Simulation Procedure at Runoff Plots, based on similarity criteria with use of different rainfall simulation. *Results.* Results of experiments on studying are presented soil infiltration capacity, loss of dissolved chemical substances, the cumulative soil washout with varying degrees of protected soil cover with use of different rainfall simulation. *Main conclusions.* Similarity criteria allow for natural rains to use the data obtained from the sprinkling of runoff plots.

Keywords: *rainfall simulation; soil infiltration capacity; soils erosion; biogenic substances; similarity criteria*