

ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОЧВЫ И ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК ПРИ ДОЖДЕВАНИИ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ

И. А. Левшунов, соискатель

Н. Н. Дубенок, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук

А. В. Гемонов, кандидат сельскохозяйственных наук

*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
г. Москва, Россия*

Аннотация

Исследование водопроницаемости дерново-подзолистых легкосуглинистых почв и формирования поверхностного стока при поливе дождеванием в условиях восточной части Беларуси показало, что величина поверхностного стока напрямую зависит от интенсивности дождя, поливной нормы, уклона участка и обратно пропорциональна развитию листовой поверхности суданской травы. Разработана конструкция мелкодисперсного дождевального насадка с двумя отражательными дисками для оптимизации размера капель и снижения эрозионной опасности. Получено эмпирическое уравнение для расчета радиуса захвата дождя в зависимости от напора и диаметра сопла. Результаты исследования позволяют рекомендовать для использования дождевальную технику с низкой интенсивностью дождя, а также проведение поливов в фазе развития культуры с хорошо развитой листовой поверхностью.

Ключевые слова: водопроницаемость почвы, инфильтрация, поверхностный сток, полив дождеванием, интенсивность дождя, суданская трава, дерново-подзолистые почвы, дождевальный насадок.

Abstract

I. A. Levshunov, N. N. Dubenok, A. V. Gemonov
**SOIL PERMEABILITY AND SURFACE RUNOFF BY
SPRINKLING OF SUDAWAN GRASS IN THE CONDITIONS
OF THE EASTERN PART OF BELARUS**

A study of the water permeability of sod-podzolic light loamy soils and the formation of surface runoff during sprinkling in the conditions of eastern Belarus was shown that the amount of surface runoff is directly dependent on the intensity of rain, the irrigation rate, and the slope of the plot, and is inversely proportional to the development of the leaf surface of Sudan grass. A design of a fine-mist sprinkler nozzle with two reflective discs has been developed to optimize the size of droplets and reduce the risk of erosion. An empirical equation has been obtained for calculating the rain capture radius depending on the pressure and nozzle diameter. The results of the study allow us to recommend the use of low-intensity sprinkling systems and irrigation during the development phase of crops with sufficiently developed leaf surfaces to minimize surface runoff.

Keywords: soil permeability, infiltration, surface runoff, sprinkling irrigation, rain intensity, Sudan grass, sod-podzolic soils, sprinkler nozzle.

Введение

Водопроницаемость представляет собой ключевое гидрофизическое свойство почвенного покрова, влияющее на расчет поливной нормы, определяющее интенсивность поглощения атмосферных осадков (дождевых и талых вод), эффективность использования оросительных вод, формирование продуктивных запасов почвенной влаги. Изучение фильтрационных свойств почв имеет важное прикладное значение для различных отраслей сельскохозяйственного производства, мелиорации, гидрологии, дорожного строительства.

Основным экологическим требованием при расчете поливной нормы является проведение орошения до возникновения поверхностного стока – в пределах безнапорной фазы инфильтрации и стадии аккумуляции воды в микрозападинах.

Изучению вопроса водопроницаемости и впитывания воды в почву посвящены работы многих ученых. Так, для изучения водопроницаемости был создан специальный дождеватель [1], и различная интенсивность дождя достигалась путем поддержания разного уровня

воды. На основании полученных данных автор делает вывод, что водопроницаемость почвы при прочих равных условиях зависит от интенсивности дождя.

В [2] отражены результаты исследования инфильтрации на полевых площадках: проводилась серия опытов с использованием передвижной дождевальной установки, позволяющей искусственно воспроизводить дождь различной интенсивности, которая имеет площадь захвата 1,5 м².

В. С. Болдышев проводил опыты [3] с осадками интенсивностью 1 и 2 мм/мин при общем расходе воды 30 л. Дождевание интенсивностью 1 мм/мин продолжалось 30 мин, интенсивностью 2 мм/мин – 15 мин. Автор отмечает, что с увеличением интенсивности дождя (с 1-й до 2 мм/мин) водопроницаемость также увеличивается почти вдвое. Влияние влажности на водопроницаемость, сток и смыв изучалось в полевых условиях на примере таких культур, как овес, озимая рожь; интенсивность осадков на свежеспаханном участке – 2 мм/мин. Из приведенных данных видно, что с увеличением влажности почвы при прочих равных условиях снижается водопроницаемость, увеличивается смыв и сток.

А. М. Ларионова исследовала безнапорное впитывание воды в почву в полевых условиях на стоковых площадках при поливе дождеванием с помощью опытной установки [4]. Результаты этих опытов сравнивались с на-

порным впитыванием воды в почву на заливаемых площадках. Эксперименты проводились на бурых полупустынных почвах. Автор отмечает, что при повышении интенсивности дождя (с 0,5 до 3,0 мм/мин) увеличивается скорость безнапорного впитывания воды в почву при поливе дождеванием (к концу первого часа полива – с 0,44 до 1,05 мм/мин); при интенсивности дождя около 3 мм/мин ее величина приближается к скорости при напорном режиме впитывания.

Вследствие множества факторов, влияющих на скорость впитывания воды в почву, и их совокупного действия мнения исследователей по поводу определения скорости инфильтрации весьма различны, поэтому необходима экспериментальная проверка почвы, выполненная в конкретных условиях.

Основные задачи полевых исследований: экспериментально обосновать показатель, характеризующий впитывающую способность дерново-подзолистых легкосуглинистых почв на территории Горецкого р-на; экспериментально определить величину поверхностного стока в зависимости от поливных норм и интенсивности искусственного дождя при орошении посевов суданской травы барабанно-шланговой дождевальной установкой (далее – БШДУ) типа *Bauer* «Rainstar T-61». В результате работы авторами предложено новое конструктивное решение, способствующее более качественному поливу дождеванием.

Основная часть

На базе учебно-опытного оросительного комплекса «Тушково-1» Горецкого р-на Могилевской обл. было организовано проведение специальных полевых исследований с целью экспериментального обоснования и количественной оценки процесса впитывания воды в почву, а также формирования поверхностного стока при орошении дождеванием в условиях минеральных почв.

Очевидно, что при изучении водопроницаемости методом искусственного дождевания искусственный дождь, подаваемый на площадку, должен иметь структуру, близкую природной. Поэтому устройство для создания искусственного дождя должно соответствовать следующим требованиям: иметь широкий диапазон интенсивности дождя; позво-

лять проводить дождевание в течение любого заданного промежутка времени при любых погодных условиях; быть компактным и удобным при использовании в полевых условиях.

На основании этих условий, а также в соответствии с методикой наблюдения над просачиванием воды в почву [5] нами был изготовлен опытный дождеватель, характеризующийся нижеприведенными техническими параметрами.

Диаметр отверстий в дне устройства, в которые вставлялись каплеобразователи, – 2,5 мм, расстояние между отверстиями по длине и ширине – 5 см; площадь дождевания – 0,5 м². Вода подается на поверхность почвы в виде капель, разбиваемых сеткой. Интенсивность дождевания – в пределах 0,2–4,7 мм/мин, по-

стоянная или переменная. Дозаправка в процессе опыта возможна. Вес установки – 6,6 кг, для ее обслуживания достаточно двух человек.

Высота установки опытного устройства для имитации естественного дождя – 1,5 м. Под дождевателем устанавливалась сетка с размером ячеек $1,2 \times 1,2$ мм, выполненная из нейлона, цель которой – повышение равномерности дождевания.

Интенсивность искусственного дождя изменялась путем поддержания заданного уровня воды в предложенном нами устройстве. Перед началом опыта площадка ограждалась по периметру для защиты от ветра с помощью гибкого материала.

Участок для проведения искусственного дождевания имел такие же почвенные и рельефные условия, как и участки с посевами суданской травы [6], то есть характеристика пахотного слоя участка дождевания следующая: суглинок легкий темно-серого цвета, пылеватый, свежий, комковатый, уплотненный. Для экспериментального измерения объема по-

верхностного стока при орошении на опытном участке были заложены стоковые площадки, представляющие собой участки склона, изолированные от окружающей территории бортиками и оборудованные устройствами в виде мерных баков для измерения поверхностного стока.

В ходе полевых экспериментов на стоковых площадках фиксировались такие параметры, как временной интервал до возникновения поверхностного стока, объем образовавшегося стока. Показатель впитывания, численно равный достокowej, эрозионно-допустимой поливной норме, определялся как количество подаваемой воды до момента появления первых признаков поверхностного стока; скорость инфильтрации при дождевании вычислялась как отношение толщины слоя впитавшейся воды к продолжительности процесса впитывания (табл. 1).

Пример графической интерпретация данных, полученных при исследовании впитывания при дождевании, представлена на рис. 1.

Таблица 1. Показатели непрерывного дождевания интенсивностью $i = 1$ мм/мин

Показатели		Уклон 0,003		Уклон 0,006	
		С рыхлением	Без рыхления	С рыхлением	Без рыхления
Средние значения продолжительности (мин) до образования поверхностного стока		19	13	12	8
Скорость (мм/мин) впитывания (мин) к концу процесса	20	0,62	0,38	0,36	0,32
	60	0,25	0,23	0,23	0,22

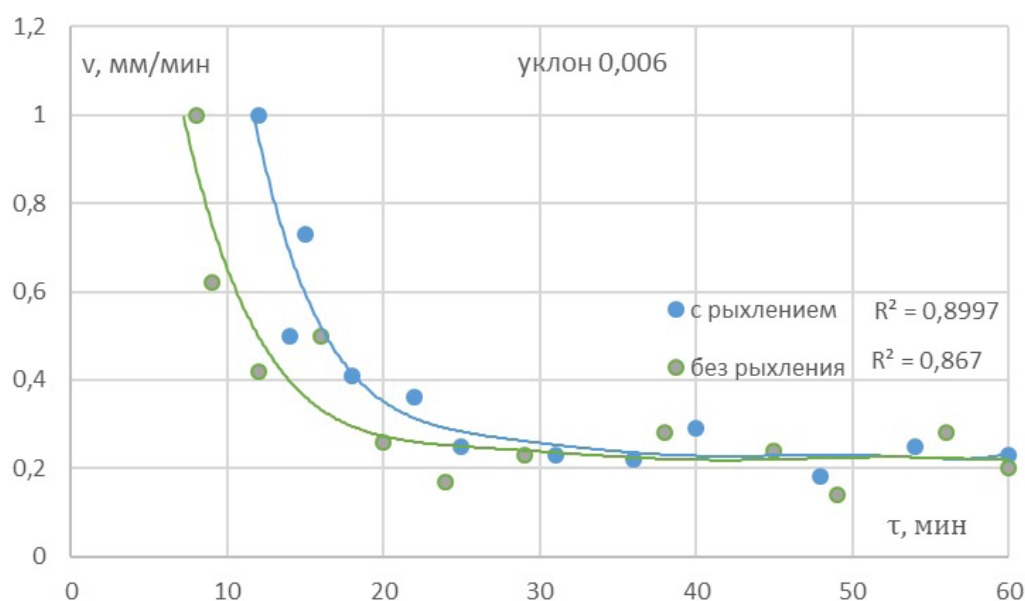


Рис. 1. Динамика скорости впитывания воды в почву при непрерывном дождевании интенсивностью $i = 1$ мм/мин

Для наблюдений за поверхностным стоком использовались стоковые площадки размером 2 × 5 м с расположением длинной стороны вдоль уклона поверхности. Сток замерялся объемным способом. Дождевание проводили поливными нормами 30 и 40 мм БШДУ типа *Bauer* «Rainstar T-61» со сменными диаметрами насадка, позволяющими изменять интенсивность искусственного дождя (табл. 2).

Площадь листа определяли по формуле О. Б. Соломко [7]:

$$S = L \cdot \frac{(2h_1 + 2h_2 + 2h_3)}{8}, \quad (1)$$

где L – длина листа, см;

h_1 – ширина листа у его края, см;

h_2 – ширина середины листа, см;

h_3 – ширина листа у основания, см.

Как видно из табл. 2, поверхностный сток образуется во время орошения данным типом дождевальной техники в начале фазы развития суданской травы при небольшой площади листовой поверхности. Для его уменьшения

авторами предложено новое конструктивное решение «Мелкодисперсный дождевальный насадок» (авторы: И. А. Левшунов, Н. Н. Дубенок, М. И. Голубенко, Ю. А. Мажайский) (рис. 2).

Данный насадок предназначен для формирования капель дождя поливной воды на выходе из щели между нижним и верхним отражательными дисками с соплом диффузора водопроводящего вертикального патрубка дождевальных машин с гибким или жестким поливным трубопроводом. Технические результаты – оптимальный размер капель и интенсивности дождя в процессе полива; повышение надежности работы насадка при поливе оросительной водой; упрощение конструкции и улучшение условий эксплуатации дождевальных машин.

Радиус захвата дождем зависит соответственно от диаметра сопла, напора перед насадком, высоты установки над поверхностью участка. Некоторые экспериментальные данные представлены в табл. 3.

Таблица 2. Величина поверхностного стока на посевах суданской травы в зависимости от поливных норм и интенсивности дождя

Уклон участка	Диаметр насадка, мм	Интенсивность дождя, мм/мин	Поливная норма, мм	Время распределения поливной нормы, мин	Площадь листовой поверхности, см ²									
					До 25		25–60		60–100		100–130		Более 130	
					Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см	Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см	Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см	Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см	Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см
0,003	16	0,21	30	140	4	29	2	28	–	28	–	27	–	26
	22	0,28		107	6	27	4	27	2	26	–	26	–	25
	30	0,36		80	8	26	5	25	3	24	–	24	–	24
0,006	16	0,21	30	140	6	27	4	26	1	25	–	25	–	24
	22	0,28		107	8	25	6	24	3	24	–	23	–	22
	30	0,36		80	9	24	7	24	4	23	2	23	–	22
0,003	16	0,21	40	190	7	34	5	33	2	33	–	32	–	31
	22	0,28		142	8	33	6	33	4	32	2	32	–	30
	30	0,36		110	11	32	8	31	6	31	3	30	–	29
0,006	16	0,21	40	190	8	33	7	33	4	32	2	30	–	30
	22	0,28		142	10	31	7	30	5	29	3	28	–	28
	30	0,36		110	13	30	9	29	7	28	5	27	2	27

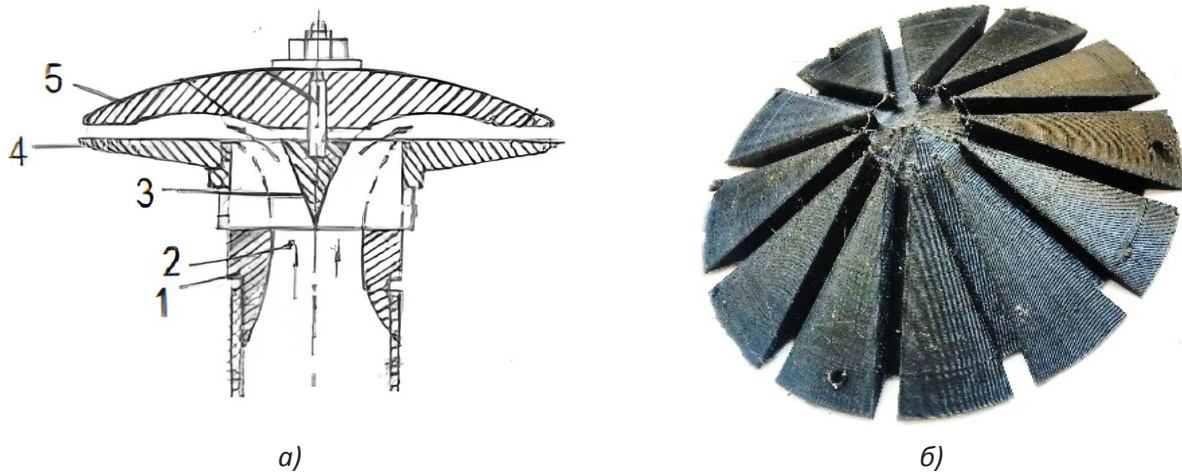


Рис. 2. Элементы насадка:
 а) 1 – корпус; 2 – диффузор с соплом; 3 – конус;
 4 – нижний отражательный диск; 5 – верхний отражательный диск;
 б) прототип верхнего отражательного диска, совмещенного с конусом

Таблица 3. Радиус захвата дождем в зависимости от напора перед насадком при высоте установки 2,0 м, диаметре сопла 16 мм

Напор, м. в. ст.	Радиус полива R , м	Средняя площадь охвата дождем, m^2	$X = h/D$	$Y = h/R$	$X \cdot Y$	X^2
22,1	8,6	232	1,381	2,570	3,549	1,908
29,5	10,4	340	1,844	2,837	5,230	3,399
38,4	11,8	437	2,400	3,254	7,810	5,760
42,1	12,4	483	2,631	3,395	8,934	6,923
49,7	13,1	539	3,106	3,794	11,785	9,649
61,2	13,8	598	3,825	4,435	16,963	14,631
Сумма			15,188	20,284	54,271	42,270

В табл. 3 приняты следующие обозначения: h – напор, м. в. ст., R – радиус, м, D – диаметр сопла, мм.

Связь между отношением напора к диаметру сопла и напора к радиусу полива описывает уравнение регрессии:

$$Y = a \cdot X + b. \quad (2)$$

Параметры a и b уравнения регрессии рассчитываются следующим образом:

$$a = \frac{\sum Y \cdot \sum X^2 - \sum X \cdot \sum X \cdot Y}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}; \quad (3)$$

$$a = \frac{20,284 \cdot 42,270 - 15,188 \cdot 54,271}{6 \cdot 42,270 - 15,188^2} = 1,445;$$

$$b = \frac{n \cdot \sum X \cdot Y - \sum X \cdot \sum Y}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}; \quad (4)$$

$$b = \frac{6 \cdot 54,271 - 15,188 \cdot 20,284}{6 \cdot 42,270 - 15,188^2} = 0,765.$$

Тогда

$$R = \frac{H}{\left(1,445 + 0,765 \cdot \frac{H}{D}\right)}. \quad (5)$$

Заключение

Показатель свободного (безнапорного) впитывания воды в почву, численно равный достоевой поливной норме при поливе дождем с интенсивностью 1 мм/мин, уменьшается с увеличением уклона поверхности площадки с 19 мм до 12 мм на площадках с рыхлением и с 13 до 8 мм на площадках без рыхления. Скорость впитывания к концу 20-й минуты уменьшилась с 0,62 мм/мин до 0,38 мм/мин при уклоне 0,003 и с 0,36 мм/мин до 0,32 мм/мин при уклоне 0,006. К концу 60-й минуты скорость впитывания изменялась незначительно: от 0,25 мм/мин до 0,22 мм/мин (на рис. 1 это горизонтальная часть графика).

С повышением уклона поверхности и интенсивности искусственного дождевания барабанно-шланговой дождевальной установкой типа *Bauer* «Rainstar T-61» со сменными насадками значения поверхностного стока на участках с посевами суданской травы увеличиваются. При этом с расширением площади листовой поверхности растения поверхностный сток уменьшается: так, при площади более 130 см² сток практически равен нулю.

Полученное уравнение позволяет определить радиус полива предложенной конструкции устройства.

Библиографический список

1. Сурмач, Г. П. К методике определения водопроницаемости и ливневого стока / Г. П. Сурмач // Борьба с эрозией и повышение плодородия эродированных почв Украины : материалы Респ. совещания / Украин. акад. с.-х. наук ; отв. ред.: Н. К. Крупский. – Киев, 1962. – С. 265–279.
2. Олиферов, А. Н. Результаты комплексного изучения эрозии в бассейне р. Хуанхэ / А. Н. Олиферов // Борьба с эрозией и повышение плодородия эродированных почв Украины : материалы Респ. совещания / Украин. акад. с.-х. наук ; отв. ред.: Н. К. Крупский. – Киев, 1962. – С. 175–184.
3. Болдышев, В. С. Влияние интенсивности осадков и влажности почвы на водопроницаемость, сток и смыв / В. С. Болдышев // Почвоведение и агрохимия : сб. науч. тр. / БелНИИ почвоведения и агрохимии. – Минск : Ураджай, 1974. – Вып. 11. – С. 74–77.
4. Ларионова, А. М. Впитывающая способность почв при поливах дождеванием : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 06.01.03 / Ларионова Антонина Михайловна ; ФГУП науч.-исслед. ин-т по с.-х. использованию сточных вод «Прогресс». – Москва, 2004. – 39 с.
5. Методические указания управлениям гидрометслужбы № 84: производство комплексных воднобалансовых наблюдений на пунктах опорной сети / Гос. гидрологич. ин-т. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1973. – 160 с.
6. Левшунов, И. А. Возделывание суданской травы в условиях орошения / И. А. Левшунов // Актуальные научно-технические и экологические проблемы мелиорации земель : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 105-летию кафедры мелиорации и вод. хоз-ва / редкол.: В. И. Желязко [и др.]. – Горки : БГСХА, 2024. – С. 61–65.
7. Соломко, О. Б. Методика определения площади листьев / О. Б. Соломко, О. С. Клочкова, Г. В. Цветков // Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур : сб. ст. – Горки, 2011. – URL: <https://agrosbornik.ru/innovacii/106-2011-10-09-15-29-31.html> (дата обращения: 12.06.2025).

Поступила 27 августа 2025 г.