

УДК 631.674.5(470.31)

ОРОШЕНИЕ ДОЖДЕВАНИЕМ СКЛОНОВЫХ УЧАСТКОВ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РСФСР

Н. Н. ДУБЕНОК

(Кафедра геодезии и мелиорации)

В условиях холмистого рельефа Нечерноземной зоны РСФСР значительная часть земель расположена на склонах, подверженных эрозионным процессам [5]. Эти процессы приводят к заметному снижению плодородия пахотных почв склоновых участков. Даже при слабой степени смывности дерново-подзолистых и серых лесных почв значительно снижается урожайность сельскохозяйственных культур, ухудшаются водно-физические свойства почвы, в частности, водопроницаемость, увеличивается плотность [6, 8]. Эродированные почвы обладают слабой противозрозионной устойчивостью. В ряде хозяйств Нечерноземной зоны РСФСР значительные площади, расположенные на склонах, практически уже превратились в бросовые земли. В связи с этим производство зеленых кормов и сена почти полностью переместилось на пахотные земли. Возрастающая интенсификация сельского хозяйства в условиях ограниченных земельных ресурсов Нечерноземной зоны РСФСР обуславливает необходимость вовлечения в земледелие склоновых земель, их залужение с использованием орошения [7]. При дождевании на склоновых участках под влиянием уклона местности, а также ветра равномерность распределения осадков ниже, чем на участках с плоским рельефом, наблюдается переувлажнение отдельных частей склона. Кроме того, фактическая интенсивность дождя при работе отечественной и зарубежной дождевальной техники на тяжелых почвах склонов значительно превышает допустимую. Следует отметить также, что из-за недостаточной разработанности технологии полива на склонах нередко применяют приемы орошения, практикуемые на равнинном рельефе. Все это приводит к образованию ирригационной эрозии [1].

Опыт орошения сельскохозяйственных культур на склоновых участках для данной зоны незначительный. Целью наших исследований было установить оптимальный режим полива дождеванием склоновых участков, при котором распределение поливной нормы 30—50 мм не сопровождается образованием стока.

Исследования проводили в 1977—1980 гг. в учхозе «Дружба» Тимирязевской академии (Ярославская область), который находится на северном склоне Клинско-Дмитровской гряды. В качестве объекта изучения был выбран участок, расположенный на склоне южной экспозиции с уклоном i 0,04—0,06. Плотность твердой фазы почвы в слое 0—40 см в верхнем участке склона 2,43—2,47, в основании — 2,60—2,63 г/см³, плотность сложения — соответственно 1,15—1,23 и 1,39—1,47 г/см³, порозность — 47 %, ВЗ — 10,7 %, НВ — 27,3 %. Участок в 1977 г. был засеян многолетними травами; направление посева поперек склона. Орошение проводили установками ДДН-70 и КИ-50. Для определения поверхностного стока были построены стоковые площадки размером 2,5×10 м по методике Государственного гидрологического института.

При поливе ДДН-70 нормами m 30, 40 и 50 мм (фактическая интенсивность дождя y 0,43—0,50 мм/мин) средний поверхностный сток S соответственно составил 8, 11 и 13 мм (табл. 1). При поливе сверху вниз по склону сток суммируется со слоем осадков, образуются ручейки, а затем и ручьи. Такая же картина наблюдалась и при поливе установкой КИ-50. Снижение фактической интенсивности дождя до 0,19—0,21 мм/мин (самый малый диаметр сопел) привело к заметному уменьшению поверхностного стока, который составил по вариантам полив-

Поверхностный сток в зависимости от поливных норм и технологии полива склонового участка, занятого многолетними травами ($I=0,04 \div 0,06$)

Дождевальная установка	у, мм/мин	Полив сверху вниз		Полив снизу вверх	
		S, мм	H, см	S, мм	H, см
<i>m=30 мм</i>					
КИ-50	0,20	5	25—30	—	—
»	0,30	7	25—30	—	32—34
ДДН-70	0,43	8	25—28	5	30—32
<i>m=40 мм</i>					
КИ-50	0,20	7	30—36	—	—
»	0,30	9	30—36	4	35—38
ДДН-70	0,43	11	30—34	7	35—38
<i>m=50 мм</i>					
КИ-50	0,20	9	35—42	—	—
»	0,30	11	35—40	6	40—46
ДДН-70	0,43	13	35—38	9	40—44

ных норм соответственно 5, 7 и 9 мм (табл. 1). Наибольшая глубина промачивания (H) достигалась при фактической интенсивности дождя 0,2 мм/мин. В варианте с поливной нормой 30 мм она была 25—30 см, при норме 50 мм — 35—42 см.

Для снижения влияния уклона местности на качество полива и ликвидации ирригационной эрозии поливы на склоновых участках рекомендуется начинать с нижней части склона [1]. Эти рекомендации основываются на том, что увлажненная почва труднее поддается смыву. При такой технологии струя движется вверх по склону, происходит редукция осадков, отодвигается время зарождения стока, улучшается впитывание воды в почву. Результаты наших исследований подтвердили целесообразность использования данной технологии. При поливе снизу вверх сток был минимальным, а глубина промачивания увеличилась. Так, при поливе снизу вверх дождевальной установкой КИ-50 поливной нормой 30 мм средняя глубина промачивания составила 32—34 см, что на 4—7 см больше, чем при поливе сверху вниз. При использовании дождевальной машины ДДН-70 новая технология (норма 40 мм) обеспечила уменьшение поверхностного стока до 7 мм, глубина промачивания в этом случае была 34—37 см.

По длине склона глубина промачивания оказалась неодинаковой. Так, при поливе ДДН-70 нормой 30 мм в верхней части склона она составила 15 см, при дождевании КИ-50 — 17 см, в середине склона — соответственно 23 и 25 см и в основании — 32 и 34 см (табл. 2). В случае западного рельефа глубина промачивания в западинах могла достигать 70—80 см, в последних при дождевании ($m=30$ мм) постоянно стоит слой воды 7—12 см.

Таблица 2

Средняя глубина промачивания (см) по частям склона в зависимости от технологии полива ($m=30$ мм)

Дождевальная установка	мм/мин	Полив сверху вниз			Полив снизу вверх		
		верхняя часть	середина	основание	верхняя часть	середина	основание
КИ-50	0,2	15	23	30	—	—	—
»	0,28	13	22	30	17	25	34
ДДН-70	0,43	10	20	28	15	23	32

Поверхностный сток в зависимости от интенсивности дождя и уклона
($m=30$ мм, предполивная влажность $x=19,6$ %)

I	$y=0,4+0,5$ мм/мин			$y=0,3$ мм/мин			$y=0,2$ мм/мин		
	S		H, см	S		H, см	S		H, см
	мм	л		мм	л		мм	л	
0,04	7,2	183	29	5,0	131	31	4,7	118	33
0,05	7,8	200	28	5,3	135	31	5,1	130	33
0,06	8,0	210	28	6,0	152	30	5,3	134	33

По данным наших наблюдений были составлены уравнения регрессии

$$S=0,25 m+0,7 \text{ при } y=0,4 \div 0,5 \text{ мм/мин; } (1)$$

$$S=0,2 m+1,0 \text{ при } y=0,3 \text{ мм/мин; } (2)$$

$$S=0,2 m-1,0 \text{ при } y=0,2 \text{ мм/мин; } (3)$$

при $I=0,04 \div 0,06$; $r_{xy}=0,99$.

По этим уравнениям построены графики (рис. 1).

Влиянию крутизны склона на поверхностный сток посвящено большое количество исследований. Однако до настоящего времени еще не сложилось единого мнения по этому вопросу. Многие исследователи считают, что объем поверхностного стока увеличивается по мере увеличения крутизны склона за счет уменьшения аккумулирующей емкости микрорельефа и увеличения скорости стекания, сокращения времени пребывания воды на склоне и времени впитывания [8, 9]. Но вместе с тем существует мнение, что крутизна склона не оказывает решающего влияния на объем склонового стока [3, 4]. Указанные разногласия можно объяснить тем, что наблюдения за поверхностным стоком проводились в большинстве случаев во время снеготаяния и выпадения ливневых дождей, а не в период дождевания.

В опытах [3] при орошении дождеванием многолетних трав, расположенных на склоне, поверхностный сток в основном зависел от влажности почвы и интенсивности дождя, а в опытах [4] он усиливался по мере увеличения крутизны склона в диапазоне $0-2^\circ$ и далее возрастал незначительно.

Важную роль в образовании поверхностного стока играет интенсивность дождя и водопроницаемость почвы [6].

В наших опытах глубина промачивания в основном определялась интенсивностью дождя и мало зависела от уклона (табл. 3). При интенсивности дождя $0,4-0,5$ мм/мин она была минимальной при всех уклонах. Наибольшая глубина промачивания (33 см) достигалась при $y=0,2$ мм/мин. При $y=0,4-0,5$ мм/мин, превышающей водопроницаемость почвы, образовывался поверхностный сток до 30 % от поливной нормы.

Корреляционный анализ показал, что поверхностный сток (S , мм) зависит от интенсивности дождя (y , мм/мин) и предполивной влажности (x , % от массы). Для склонов, засеянных многолетними травами, при $m=30$ мм, $I=0,04 \div 0,06$, $y=0,2 \div 0,5$ мм/мин, $10 \% < x < 26 \%$ справедливо следующее уравнение регрессии

$$S=0,07x+16,3y+0,5 \text{ мм. } (4)$$

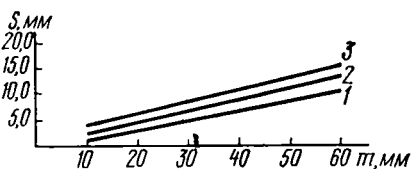


Рис. 1. Зависимость между поливной нормой (m) и поверхностным стоком (S) при различной интенсивности дождя (y) и уклонах $J=0,04 \div 0,06$.

1, 2, 3 — соответственно $y=0,2$ мм/мин; $y=0,28$; $y=0,41$ мм/мин.

Сток при дождевании (мм) при $y=0,41$ мм/мин, $m=30$ мм

J	Данные опыта	По формуле (5)	По формуле (4)	По формуле (4) при введении в нее $\beta=0,88$
0,04	7,2	9,6	8,8	7,74
0,05	7,8	9,7	8,8	7,74
0,06	8,0	9,8	8,8	7,74

При подстановке в уравнение (4) значений интенсивности дождя и предполивной влажности значения S соответствуют полученным экспериментально. Сравним значения поверхностного стока, вычисленные по формуле (4) и по формуле Е. А. Гаршинева (4).

$$S = t(y - K) - 0,5KL/V, \text{ мм}, \quad (5)$$

где t — время выпадения осадков, мм; K — водопроницаемость, мм/мин; L — длина склона, м; V — скорость течения воды по склону, м/с. Скорость течения воды по склону, покрытому сеянными травами, определяется по формуле [11]

$$V = 11,75Q^{0,4} \cdot I^{0,5} \text{ м/с}, \quad (6)$$

где Q — расход воды с 1 пог. м ширины склона, м³/с. Расход воды в формуле (6) определяем по разности $y - K$ для склона длиной 250 м и шириной 1 м. Для расчета стока по формуле (5) примем значения переменных данных, полученных на наших опытных участках: $K = 0,25$ мм/мин, $t = 73$ мин, $I = 0,04$, $L = 250$ м.

Из данных табл. 4 видны заметные расхождения между значениями стока, полученными экспериментальным путем и по формуле (5). Эти расхождения объясняются тем, что формула (5) выведена для определения объема поверхностного стока при снеготаянии и ливневых дождях и не учитывает слой осадков, который задерживается травостоем. Значения стока, полученные при помощи формулы (4), значительно ближе к экспериментальным данным.

Разность составляет от 1,6 мм до 0,8 мм (табл. 4), т. е. она равна величине разового задержания осадков травостоем, полученной в опытах [10]. Учитывая, что наши данные получены при высоте бобово-злаковой смеси 55—80 см и поливной норме 30 мм, можно считать, что в формулу (4) необходимо ввести поправочный коэффициент на слой осадков, задерживаемых на листьях и стеблях травостоя при дождевании. Расчетным путем определяем поправочные коэффициенты. Для наших условий они равны 0,82—0,91, $\beta = 0,88$. Введя средний поправочный коэффициент в полученную нами формулу (4), получаем значения поверхностного стока, близкие к экспериментальным (табл. 4).

В конечном итоге формула (4) будет иметь следующий вид:

$$S = (0,07x + 16,3y + 0,5)\beta, \text{ мм}, \quad (7)$$

а расход воды по формуле (6) для наших условий будет равен

$$Q = \beta(y - K) \text{ м}^3/\text{с}. \quad (8)$$

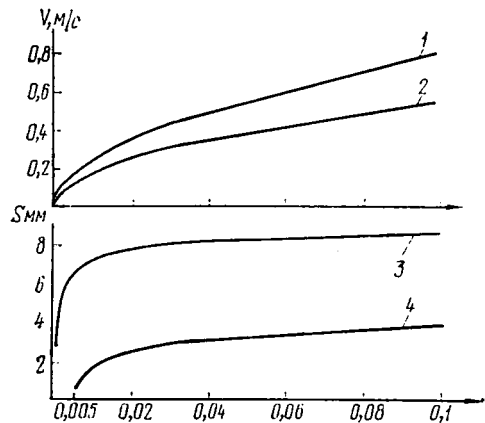


Рис. 2. Зависимость скорости стекания воды V (вверху) и слоя стока S от уклона (J) и интенсивности дождя (y) при $m=30$ мм.

1 — $y=0,41$ мм/мин, $V=2,44 \cdot 10^5$; 2 — $y=0,3$ мм/мин, $V=1,7 \cdot 10^5$; 3 — $y=0,41$ мм/мин; 4 — $y=0,3$ мм/мин.

Для определения влияния уклона поверхности на скорость стекания воды по склону были проведены модельные опыты для $I=0,001 \div 0,1$. Расход воды определяли при интенсивностях дождя y 0,43, 0,41 и 0,3 мм/мин, средней водопроницаемости $K_{ср}$ 0,25 мм/мин. Высота стояния трав была 10—15 см. Построен график зависимости скорости стекания воды по склону от уклона местности (рис. 2). Полученная кривая представляет собой параболу, которая описывается уравнениями $V=2,44I^{0,5}$ (9) для $y=0,41$ мм/мин и $y=1,7I^{0,5}$ (10) для $y=0,3$ мм/мин. Анализ кривых показывает, что с увеличением уклона скорость стекания воды увеличивается. Однако при одних и тех же уклонах скорость стекания воды и объем стока в большей степени зависит от интенсивности дождя, чем от уклона. Наиболее сильно увеличивается сток в пределах $I=0,002 \div 0,04$ (рис. 2). По приведенному на рис. 2 графику и по формулам (9) и (10) можно определить скорость стекания воды по склону для указанных интенсивностей дождя. Их можно также использовать для определения скорости стекания воды при орошении культурных пастбищ и сенокосов, расположенных на склоновых участках.

Таким образом, наши исследования показали, что влияние крутизны склона на поверхностный сток неоднозначно и в большинстве случаев невелико. На показателях стока с увеличением уклона значительно сказывается интенсивность дождя, а также водопроницаемость почвы, которая по длине склона неодинакова. Это вызывает необходимость изменять интенсивность дождя по длине склона или применять другие приемы, которые уменьшают поверхностный сток. Объем поверхностного стока может также значительно зависеть от водопроницаемости почвы, состояния растительности и деятельности человека.

Выводы

1. Для условий Центрального района Нечерноземной зоны РСФСР (среднесуглинистые почвы) поверхностный сток при орошении дождеванием зависит от поливной нормы, уклона местности, интенсивности дождя, влажности почвы, высоты надземной массы растений. При поливной норме 30 мм и уклоне $I=0,04 \div 0,06$, интенсивности дождя 0,2—0,5 мм/мин и высоте растений более 30 см поверхностный сток составляет 16—26 %. В целях его уменьшения полив следует производить против уклона местности.

2. Для обеспечения наиболее эффективного режима полива дождеванием участков с $I=0,04 \div 0,06$ расчет поверхностного стока рекомендуется вести по формуле $S=(0,07x+16,3y+0,5)\beta$, в которую введен поправочный коэффициент β .

ЛИТЕРАТУРА

1. Болдырев А. П., Горничко Г. К. Изд-во МГУ, 1978. — 6. Дубенок Н. Н. Полив дальнеэрозийными дождевателями на склонах. — Гидротехника и мелиорация, 1980, № 5, с. 46—47. — 2. Волковский П. А., Розова А. А. Практикум по с.-х. мелиорациям. М.: Колос, 1980. — 3. Гутаускас Л. В. Исследование режима орошения культурных пастбищ в условиях холмистого рельефа ЛитССР. — Автореф. канд. дис. Минск, 1978. — 4. Гаршинев Е. А. О влиянии уклона на поверхностный сток. — В кн.: Водная эрозия почв и борьба с ней. М.: Колос, 1977, с. 56—65. — 5. Добровольский Г. В. и др. Вопр. рационального использования почв Нечерноземной зоны РСФСР. М.: Водопроницаемость почв склоновых участков при орошении. — В кн.: Проблемы химизации и мелиорации почв. М.: Колос, 1981, с. 19—121. — 7. Дубенок Н. Н. Повышение продуктивности травосмеси, выращиваемой на склоновых участках в условиях Нечерноземной зоны РСФСР, под влиянием поливов. — Докл. ВАСХНИЛ, 1982, № 5, с. 45—47. — 8. Дудкин П. А. Скорости течения воды по поверхности водосбора и методы их изучения. — Метеорол. и гидрол., 1937, № 9, с. 51—57. — 9. Ларионов Г. А. Влияние крутизны склонов на впитывание воды в почву. — В сб.: Эрозия почв и русловые процессы.

М.: Изд-во МГУ, 1973, вып. 3, с. 142—186. — 10. Ханзафаров В. В. Особенности технологии полива дальнеструйной машины фронтального действия ДДФ-100. — Автореф. канд. дис. Новочеркасск,

1982. — 11. Шумаков Б. Б. Гидроме-лиоративные основы лиманного орошения. Л.: Гидрометеиздат, 1979, с. 36—66.

Статья поступила 6 июня 1983 г.

SUMMARY

Investigations were carried out in the Timiryazev Academy training farm "Druzhba" of the Yaroslavl region in 1977-1980. In sprinkling irrigation of perennial grasses grown on slope lands the surface runoff depends on the locality declination, rain intensity, irrigation rate, grass stands height and watering technique. Regression equation was formulated for determining the surface runoff.