УДК 631.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КРУТИЗНЫ СКЛОНА И ИНТЕНСИВНОСТИ ОСАДКОВ НА РАЗВИТИЕ ЭРОЗИИ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОГО ДОЖДЕВАНИЯ

Нуруллаев А.К., Джалилова Г.Т.

Национальный Университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент,
e-mail: nurullayevazamxon@gmail.com

Аннотация. Инфильтрация осадков в почву и ее влияние на смыв почвы вызывают особый интерес в последние несколько лет. В результате водной эрозии происходит смыв плодородного слоя почвы. Причинами этого процесса являются неравномерность рельефа местности, т.е. крутизна склонов, одновременно с интенсивностью выпадающих осадков. В связи с этим в ходе исследований по выявлению и оценке смываемой почвы в результате эрозионных процессов необходимо считать основными причинами возникновения эрозии интенсивность, количество и характер осадков наравне с крутизной склона. В данной статье приведены материалы результатов исследований по смыву почв, проведенных в лабораторных условиях с использованием модели искусственного дождевания. Модель искусственного дождевания создана авторами статьи, устройство получило авторское свидетельство № 006707 Государственного учреждения «Центр интеллектуальной собственности» при Министерстве юстиции Республики Узбекистан. Модель искусственного дождевания дает возможность искусственно изменять крутизну склона, а также интенсивность осадков. Результаты экспериментов показали, что при одинаковых условиях выпадения осадков с увеличением крутизны склона образовывался большой сток, что приводило к более глубокой эрозии почвы и подъему фронта увлажнения. В ходе исследований также учитывались глубина просачивания в зоне насыщения влагой и крутизна склона. Эти результаты дадут представление о разрушении верхнего слоя почв, вызванном дождями.

Ключевые слова: климат, эрозия, рельеф, крутизна склона, смыв почвы, монолит почвы

DETERMINING THE INFLUENCE OF SLOPE STEPLESS AND PRECIPITATION INTENSITY ON THE DEVELOPMENT OF SOIL EROSION UNDER THE CONDITIONS OF THE ARTIFICIAL IRRIGATION MODEL

Nurullaev A.K., Djalilova G.T.

National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent,
e-mail: nurullayevazamxon@gmail.com

Annotation. Sediment infiltration into soil and its effect on soil loss has been of particular interest in the last few years. As we know, as a result of water erosion, the fertile layer of soil is washed away. The reason for this process is the unevenness of the terrain, that is, the steepness of the slopes simultaneously with the intensity of precipitation. In this regard, in the course of research to identify and assess washed away soil as a result of erosion processes, it is necessary to determine the intensity, amount and nature of precipitation, along with the steepness of the slope, as one of the main causes of erosion. This article presents the results of studies on soil loss conducted in laboratory conditions using an artificial irrigation model. The artificial sprinkling model was created by the authors of the article and the device received copyright certificate No. 006707 from the State Institution “Center for Intellectual Property” under the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan. The artificial irrigation model has the ability to artificially change the steepness of the slope, as well as the intensity of precipitation. The experimental results showed that under the same precipitation conditions, with increasing slope steepness, a large runoff was generated, which led to more serious soil erosion and a rise in the wetting front. During the research, the depth of seepage in the zone of moisture saturation and the steepness of the slope were also taken into account. These results will provide insight into the destruction of topsoil caused by rainfall.

Keywords: climate, erosion, relief, slope exposure, water flow, soil monolith

Эрозия почв, а точнее, водная эрозия, является частью процесса денудации и заключается в перемещении, смещении, выветривание и отложении почвы и горных пород под влиянием осадков и поверхностных течений [1]. В настоящее время процессы водной эрозии настолько распространены во многих странах мира, что ее негативные последствия, прежде всего, влияют на сельскохозяйственные угодья, становясь одной из экономических и экологических проблем, определяя продовольственную безопасность этих стран [2, 3].

На возникновение водной эрозии влияют многие факторы. Одним из основных считается крутизна склона, негативно воздействующая на смыв почвы. Результаты многих исследований показали, что наименьшая эрозия почвы наблюдается на склонах с уклоном до 2^0. При крутизне склона более 5^0 смыв почвы со склона становится более значительным. Помимо крутизны склона, существуют еще пороговые характеристики интенсивности дождя, которые зависят от многих свойств почвы, например от механического состава. При пере-

ходе от почв с более легким механическим составом к почвам с тяжелым составом наблюдается увеличение скорости гравитационной фильтрации почвы [4, 5].

Скорость водной эрозии определяется также размером дождевых капель, которые разбивают почвенные частицы, повышая при этом плотность почвы и уменьшая водопроницаемость почв, что приводит к рассеянию почвенных частиц и вымыванию водных фракций из почвенных пор [6, с. 246]. На формирование эрозионных процессов влияет и вид дождя. Если дождевое ядро наблюдается в конце дождя, то эрозионные процессы будут сильнее, так как дождь увлажняет верхний слой почвы, и в это время на эту землю с силой попадает дождевое ядро, происходит моментальный смыв верхнего слоя почвы. Увеличение водной эрозии зависит также и от размера дождевых капель. Дождевые капли, попадая на землю, разрушают фрагменты почвы, также происходят сжимание и уменьшение водопроницаемости почв, в итоге наблюдается вымывание почвенных частиц и глинистых фракций в почвенные поры. Вид дождя также влияет на формирование эрозионных процессов. По наблюдениям ученых, если максимальная интенсивность осадков за 1–2 минуты составляет 5–6 мм/с, то происходит в десятки раз больше смыва, чем при дожде, выпавшем в течение дня с низкой интенсивностью [7, с. 240].

Использование моделей искусственного дождевания в прикладных эрозионно-почвенных исследованиях допустимо на всевозможных уровнях [8-10], ибо задачи на этих уровнях разнообразны; соответственно, неодинаковы и применяемые данные, и средства работы с ними [11, 12]. Искусственное дождевание почв основано на тех же механических законах, что и природные осадки, но процессы смыва, эрозии и отложений почвы существенно различаются [13, 14]. Отличия состоят в том, что, во-первых, в естественных условиях происхождение стока воды образуется за счет осадков (интенсивность и продолжительность выпадения осадков), во-вторых, по-разному формируется водный сток [15, 16].

Сильный дождь характеризуется значительным количеством осадков, которые выпадают за короткий промежуток времени и не успевают впитаться в почву. Увеличение интенсивности осадков может привести к увеличению размера капель, что способно вызвать различное механическое воздействие на почву при одном и том же количестве осадков. Большая часть энергии капель дождя расходуется на уплотнение почвы, а остальная часть тратится на перемещение и смыв почвы с верхнего слоя земли [17, с. 335].

Целью исследований является определение влияния крутизны склона и интенсивности осадков на развитие эрозии горных почв в условиях модели искусственного дождевания.

Материалы и методы и исследования

Впервые в горных регионах Узбекистана при исследовании эрозионных процессов были использованы модели искусственного дождевания. Для лабораторного эксперимента были подготовлены почвенные монолиты. Устройство искусственного дождевания было создано авторами статьи. Данное устройство получило авторское свидетельство № 006707 Государственного учреждения «Центр интеллектуальной собственности» при Министерстве юстиции Республики Узбекистан. Устройство модели искусственного дождевания имеет пластиковый резервуар объемом 200 л, который заполняется водой с помощью простого полиэтиленового шланга. Вода в этом резервуаре поступает к разбрызгивателям по полиэтиленовым трубам, предназначенным для пропускания воды. Клапан контроля дождя (вентиль) используется для нормирования скорости потока воды, т.е. для установки количества осадков при заданной скорости. Излишки воды стекают из полиэтиленовых труб в резервуар для сточных вод. Вода из дренажных труб полностью покрывает орошаемую из разбрызгивателей площадь, т.е. монолит почвы. Интенсивность дождя контролируется клапаном контроля дождя, количество используемой воды определяется счетчиком потребления воды. Также необходимо отметить, что в устройстве предусмотрена возможность с помощью рычагов подъема создавать искусственный склон желаемой крутизны. Следовательно, моделируя интенсивность искусственных осадков и изменяя крутизну склона, на котором расположен почвенный монолит, можно имитировать водную эрозию. В процессе искусственного дождевания смытая почва из верхнего слоя почвенного монолита попадает через лоток для сбрасывания промытой почвы на сито-уловитель промытой почвы, снабженное фильтровальной бумагой. Излишек воды в сите уходит в канализационную емкость, а промытая почва остается на фильтровальной бумаге.

В ходе исследований для определения смыва почвы в условиях искусственного дождевания были подготовлены почвенные монолиты. Отбор монолитов проводился в зависимости от типа почвы и степени эродированности почв (табл. 1).

Таблица 1

Индексы монолитов, подготовленных для эксперимента

№ монолита	Степень эродированности почвенного монолита	Установленная крутизна склона, °С
М-1	I – намытая, аккумулятивная зона	А-5
М-1	II – водораздел	В-10
М-1	III – эродированная транзитная зона, склон	С-15
		D-20

Все эксперименты проводились в 3 проворностях, их результаты приводились к среднему значению. В каждой повторности эксперимента сита с фильтровальной бумагой для улавливания промытой почвы обновлялись. Грунт, оставшийся на фильтровальной бумаге, высушивался, его массу измеряли с помощью электронных весов.

В ходе экспериментов скорость дождя устанавливалась на уровне 2,4 мм/с, а эксперимент продолжался до 20 минут. Эксперименты проводились при крутизне склона 5, 10, 15, 20 градусов. Высота падения капли дождя составляла от 60 см до 1 м в зависимости от склона, а диаметр капли составлял 2,4 мм.

Результаты исследования и их обсуждение

Эксперименты проведены на монолитах, подготовленных из темных сероземов, распространенных в горном массиве Байсун в Сурхандарьинской области. В таблице 2 приведены результаты эксперимента.

По результатам эксперимента можно увидеть, что масса смытой почвы увеличивается по мере возрастания крутизны склона. Например, в монолитах М-1.III, М-2.III при норме осадков 2 мм при крутизне склона до 5° смыто 0,5696 т/га, при крутизне склона 10° смыто 0,7250 т/га, а при крутизне склона 15° – 1,0634 т/га, при крутизне склона 20° количество смытой почвы составляло 1,5741 т/га. При интенсивности осадков 4 мм эти значения составили 0,700 т/га при 5°, 1,0946 т/га при 10°, 1,4589 т/га при 15° и 1,7705 т/га при 20°.

Данная ситуация обусловлена расположением участка почвы, то есть увеличением мощности гуминового слоя в зависимости от того, какой элемент склона, уменьшением пылеватых фракций в механическом составе, уплотнением структуры, изменение структуры, увеличение водоупорной ореховидной структуры, более глубокое расположение карбонатного слоя, то есть с увеличением эрозионной устойчивости почв.

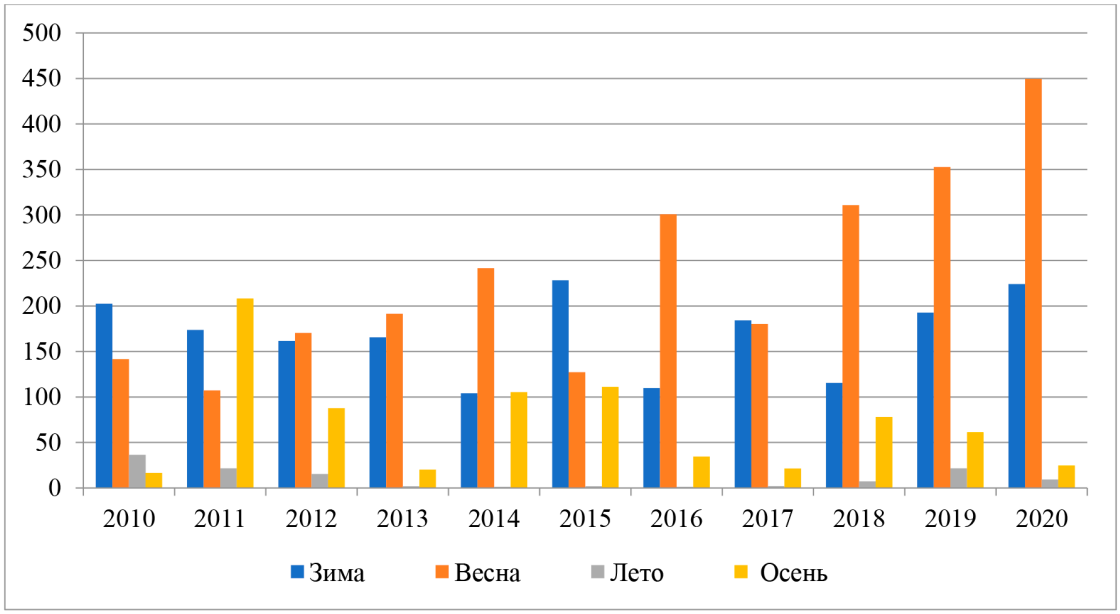
Одним из важных показателей дождя при возникновении эрозии является время его выпадения, поскольку последствия дождя одинаковой интенсивности в разные периоды различны, а течение этого процесса зависит от растительного покрова и состояния почвы. Известно, что растительность обладает способностью предохранять почвы от эрозионных процессов, а когда эта способность снижается, то есть когда растительность слаба, почва становится менее устойчивой к эрозии.

По гидрометеорологическим данным объекта исследования отмечено, что среднее многолетнее (2010–2020 гг.) количество осадков выпало в весенние и зимние месяцы. А если это рассматривать по годам, то наибольшее количество осадков выпало весной 2020 года, величина составила 449,7 мм (рисунок).

Таблица 2

Влияние крутизны склона на развитие эрозии почв в условиях искусственного дождевания

№ монолита	Интенсивность дождя, мм/мин	Количество смытой почвы, т/га			
		Склон А-5°	Склон В-10°	Склон С-15°	Склон D-20°
М-1.I	2/20	0,3982	0,6571	0,8241	1,4089
М-1.II		0,5241	0,6679	0,9268	1,4607
М-1.III		0,5696	0,7250	1,0634	1,5741
М-2.I	4/20	0,5188	0,8866	1,2830	1,5295
М-2.II		0,5464	0,9330	1,3313	1,5411
М-2.III		0,7000	1,0946	1,4589	1,7705



Среднее многолетнее (2010–2020 гг.) количество осадков в объекте исследований (мм)

Таблица 3

Классификационные показатели дождевых капель
в возникновении эрозионных процессов

Диаметр дождевой капли, мм	Энергия одной дождевой капли, Дж	Характеристика эрозионных процессов
Ниже 0,2	Ниже $1{,}1 \cdot 10^{-9}$	Наблюдается умеренное и равномерное увлажнение почвы
0,2–0,8	$1{,}1 \cdot 10^{-9} – 1{,}4 \cdot 10^{-6}$	В верхнем слое почвы наблюдается небольшое взбалтывание небольшими струйками воды
0,8–1,5	$1{,}4 \cdot 10^{-6} – 2{,}6 \cdot 10^{-5}$	В верхнем слое почвы наблюдается небольшое нарушение, потоки воды слегка перемешивают верхний слой
1,5–3,0	$2{,}6 \cdot 10^{-5} – 4{,}7 \cdot 10^{-4}$	В верхнем слое почвы наблюдается сильное нарушение, он разбросан и уплотнен
Выше 3,0	Выше $4{,}7 \cdot 10^{-4}$	Наблюдаются очень сильное нарушение структуры почвы, насыщение мелкоземных стоков

Пороговое значение диаметра капель дождя при смывании почвы составляет 0,2–0,8 мм. Как правило, капли диаметром до 1,5 мм вызывают небольшое нарушение верхнего слоя почвы и небольшое взбалтывание верхнего слоя почвы стоками, вызванными дождями. Капли диаметром от 1,5 до 3,0 мм вызывают сильное нарушение и рассыпание структуры верхнего слоя почвы, уплотнение верхнего слоя почвы. При попадании капель такого диаметра в почву на верхнем слое почвы после высыхания почвы образуется плохо проницаемая корка. В то же время, даже если интенсивность осадков одинакова, но диаметр капли различен, наблюдается иная ситуация. Например, капли дождя диаметром 2,5 мм вызывают смыв почвы в 5 раз больше, чем капли диаметром 1,4 мм [18].

Классификационные показатели дождевых капель в возникновении эрозионных процессов представлены в таблице 3.

Диаметр капель дождя зависит от интенсивности падающего дождя. Например, если скорость дождя 0,02 мм/с, то диаметр капель дождя составляет 0,6 мм, если скорость дождя 1–2 мм/с, то диаметр капель дождя варьирует в пределах 2–3 мм, а при дожде со скоростью выше 4 мм/с размер капель дождя превышает 4,5 мм. Обычно эрозионные процессы не наблюдаются во время дождя малой интенсивности и с малым диаметром дождевых капель [19, с. 58; 20, с. 255].

Таблица 4

Показатели влияния интенсивности осадков на развитие эрозии почв в условиях искусственного дождевания

№ монолита	Начало время смыва почвы, мин/сек	Глубина промачивания почвенного профиля, мм	Количество смытой почвы	
			г	т/га
Интенсивность дождя 2/20 мм/мин				
М-1.I-A	5,08	41	4,46	0,3982
М-1.II-A	5,06	41	5,87	0,5241
М-1.III-A	5,0	41	6,38	0,5696
М-1.I-B	4,41	38	7,36	0,6571
М-1.II-B	4,38	38	7,48	0,6679
М-1.III-B	4,35	37	8,12	0,7250
М-1.I-C	4,15	32	9,23	0,8241
М-1.II-C	4,13	32	10,38	0,9268
М-1.III-C	4,09	30	11,91	1,0634
М-1.I-D	3,42	26	15,78	1,4089
М-1.II-D	3,39	25	16,36	1,4607
М-1.III-D	3,37	24	17,63	1,5741
Интенсивность дождя 4/20 мм/мин				
М-2.I-A	4,48	38	5,81	0,5188
М-2.II-A	4,42	38	6,12	0,5464
М-2.III-A	4,31	37	7,84	0,7000
М-2.I-B	4,28	39	7,42	0,6625
М-2.II-B	4,13	38	7,61	0,6795
М-2.III-B	4,03	36	8,83	0,7884
М-2.I-C	3,54	34	9,86	0,8804
М-2.II-C	3,48	32	10,52	0,9393
М-2.III-C	3,42	31	12,74	1,1375
М-2.I-D	3,34	29	14,56	1,3000
М-2.II-D	3,27	27	15,13	1,3509
М-2.III-D	3,16	26	17,71	1,5813

Наблюдения в ходе экспериментов показали, что в темных сероземах при крутизне склона 5° и при продолжительности дождя 20 минут с интенсивностью 2 мм смыв почвы начинается с 5 минут 08 секунд, а глубина проникновения воды и смачивание монолитного профиля почвы составляют 41 мм, что составляет 0,3982 т. Также наблюдался и смыв почвы. При сохранении этого количества осадков, но при крутизне склона 10°, 15°, 20° время начала смыва почвы уменьшается, а масса смываемой почвы увеличивается (табл. 4).

Заключение

На основании вышеизложенного следует отметить, что основными природными факторами, определяющими скорость эрозионных процессов, являются климатические условия (количество, интенсивность осадков и т. д.) и крутизна, экспозиция склонов. При увеличении крутизны склона, увеличении скорости выпадения осадков происходит увеличение кинетической силы дождевых капель, в результате чего почва быстро вымывается, водопроницаемые поры закупориваются, снижаются водопроницаемые свойства почвы и увеличивается ее склонность к смыву.

Список литературы

1. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Фиапшев А.Г. Анализ факторов, влияющих на возникновение и развитие эрозионных процессов на склоновых землях // Инновационная наука. 2016. № 3-3. С. 21-23.

2. Djalilova G., Mamatkulova F., Mamatkulova Z., Igamberdiyeva D., Eshquvatov Q. Long-term monitoring of the vegetation cover of mountain territories in the GIS for soil and land-

scape study of territories // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 264. P. 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/202126401004.

3. Gafurova L.A., Djalilova G.T., Ergasheva O.X., Abdukarimova K.D. Measures on erosion-preventive forest melioration in mountain areas of Uzbekistan // Journal of Critical Reviews. 2020. Vol. 7 (2). P. 283-287. DOI: 10.31838/jcr.07.02.52.

4. Уразбаев И.У., Хакбердиев О.Э., Ходжаев Н.Ж. Влияние эрозии на агрохимические и механические свойства богарных типичных и тёмных сероземов // Актуалные проблемы современной науки. 2020. № 6. С. 41-49.

5. Defersha M.B., Quraishi S., Melesse A. Interrill erosion, runoff and sediment size distribution as affected by slope steepness and antecedent moisture content // Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 2010. № 7. P. 6447-6489.

6. Заславский М.Н. Эрозия почв. М., 1979. 246 с.

7. Константинов И.С. Защита почв от эрозии при интенсивном земледелии. Кишинев: ШТИИНЦА, 1987. 240 с.

8. Прущик А.В., Сухановский Ю.П., Вытовтов В.А., Титов А.Г. Дождевание как экспресс-метод изучения водной эрозии почв // Сборник научных трудов ГНБС. 2019. Т. 148. С. 163-169.

9. Соболь Н.В., Ахметов А.М. Применение метода дождевания при изучении эрозионных процессов в лабораторных условиях // Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований: XV Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: Центр развития науч. сотрудничества, 2015. С. 152-155.

10. Соболь Н.В., Габбасова И.М., Комиссаров М.А. Влияние различной интенсивности дождей и крутизны склонов на развитие эрозии почв в южном предуралье (модельный опыт) // Почвоведения. 2017. № 9. С. 1134-1144.

11. Демидов В.В., Шульга П.С., Есафова Е.Н., Абдулханова Д.Р., Полубнев А.А. Лабораторная дождевальная установка // Патент RU 171157 U1. Заявитель и патентообладатель ФГБНУ МГУ им. М.В. Ломоносова. Заявка № 2016110105, заявл. 21.03.2016, опубл. 23.05.2017, Бюл. № 15.

12. Сироткин В.М., Максимов И.И. Устройство для исследования эрозионных процессов // Патент RU 2013941 C1. Заявитель и патентообладатель Чувашский сельскохозяйственный институт. Заявка № 4946063/15; заявл. 17.06.91; опубл. 15.06.94. Бюл. № 6.

13. Егоров И.Е. Капельно-дождевая эрозия – рельефообразующее значение и методы изучения // Биология. науки о земле. 2015. Т. 25, Вып. 2. С. 159-166.

14. Мищенко А.Е. Стабильность эрозионно-опасного склона // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 5 (43). С. 17-20.

15. Сухановский Ю.П. Модификация методики дождевания стоковых площадок для исследования эрозии почв // Почвоведение. 2017. № 2. С. 215-222.

16. Фетюхин И.В., Черненко В.В. Факторы развития, моделирование и прогнозирование эрозии почв // Земельные отношения и землеустройство. 2018. № 1 (361). С. 11-13. DOI: 10.24411/2587-6740-2018-11003.

17. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1996. 335 с.

18. Бредихин А.В. О роли капельно-дождевой эрозии в процессах денудации рельефа // Геоморфология. 1989. № 4. С. 51-58.

19. Wischmeir W.H., Smith D.D., Predicting rainfall erosion losses – quite to conservation planning // Agriculture handbook. № 537. Washington. 1978. 58 p.

20. Сухановский Ю.П. Методы моделирования эрозионных процессов и основы формирования противоэрозионных комплексов. дис. … д-ра с/х наук. Курск, 2000. 255 с.