

ВОЗНИКНОВЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВЫ НА СКЛОНОВЫХ ПОЛЯХ И ПУТИ ЕЁ СНИЖЕНИЯ

Рахимов З.С., Мударисов С.Г., Рахимов И.Р.

Реферат. Работа посвящена математическому описанию процесса возникновения и протекания механической эрозии почвы на склоновых полях и пути её снижения. Приведены зависимости механической эрозии от крутизны склона, типа и параметров рабочего органа, направления движения агрегата относительно горизонтали поля. Полученные математические зависимости позволяют вычислять смещение почвы вниз по склону в зависимости от типа и параметров рабочего органа и от используемой технологии обработки почвы. Цель исследования: снижение механической эрозии почвы на склоновых полях путем совершенствования технологий и конструктивно-технологических параметров почвообрабатывающих и посевных машин. Расчеты показали, что при движении агрегата под углом $\theta = 45 \div 70^\circ$ к горизонтали поля происходит максимальное смещение почвы нижним крылом рабочего органа (Δ_1). Минимальная механическая эрозия почвы обеспечивается для стрельчатых рабочих органов при движении агрегата относительно горизонтали поля под углом $90 \pm 35^\circ$, для односторонних рабочих органов – $120 \pm 40^\circ$. Желательно избегать направлений движения агрегата $\theta \approx 0 \dots 70^\circ$, когда наблюдается максимальная механическая эрозия при обработке односторонними рабочими органами (корпусами плугов), превышающая механическую эрозию при движении по горизонталям поля в 1,5 раза.

Ключевые слова: крутизна склона, механическая эрозия, стрельчатая лапа, односторонний рабочий орган.

Введение. При возделывании сельскохозяйственных культур на полях с холмистым рельефом сток по полю талых или дождевых вод приводит к смыву верхнего плодородного слоя почвы. Ежегодная потеря слоя почвы при водной эрозии в среднем составляет 1 мм. Но такие потери гумуса перекрываются за счет разложения пожнивных остатков и корневой системы растений, т.к. при этом образуется до 18-21 т гумуса на 1 га ежегодно [1]. Однако на склоновых полях, кроме водной эрозии, дополнительно возникает такой вид деградации почвы как механическая эрозия [2].

Механическая эрозия почвы – это смещение почвы вниз по склону рабочими органами почвообрабатывающих и посевных машин. Механическая эрозия оголяет верхнюю часть склонов от плодородной почвы и намного усиливает водную эрозию.

Освещению данной проблемы посвящена работа Шведас А.И. [1], где показано, что заметные потери почвы от механической эрозии совпадают по времени с началом использования отвального плуга для обработки склонов. Приведен большой объем экспериментальных данных по механической эрозии.

Теоретическая и экспериментальная работа по изучению механической эрозии почвы на склоновых полях при вспашке отвальными плугами проведена Макаровой М.С. и Зацаринным В.А. [3,4], где рассмотрено изменение углов постановки лезвия лемеха к стенке и дну борозды в зависимости от крутизны склона и от направления движения агрегата. Показано, что смещение почвы вниз зависит и от дальности полета почвы после схода с отвала.

D.A. Lobb [5] отмечает, что многие техно-

логические операции приводят к перемещению почвы. При этом обработка почвы является наиболее распространенной из этих видов деятельности.

W. Van Muysen, G. Govers [6] показали, что эрозия почв происходит не только при основной обработке почвы, но и дополнительные обработки вносят значительный вклад в перемещение почвы и эрозию почвы.

В статье W Van Muysen, G Govers, K Van Oost [7] отмечается, что среднее расстояние перемещения почвы зависит не только от крутизны склона, но и зависит от скорости обработки, глубины обработки и направления обработки почвы.

В работе C Kosmas, St Gerontidis, M Marathianou, B Detsis, Th Zafiriou, W Nan Muysen, G Govers, T Quine, K Vanoost [8] указывается, что при обработке почвы полей с холмистым рельефом происходит транспортирование большого количества почвы из выпуклых склонов (верхней части склонов). Применение полученных эмпирических функций показало, что при существующих климатических условиях и методах обработки почвы площадь убыточных производственных площадей увеличится с 4,1 до 6,8% в течение 7 лет.

В работе G. Heckrath, U. Halekoh, J. Djurhuus, G. Govers [9] сообщается, что наименее эрозионным направлением обработки почвы является движение агрегата под углом 45° .

В работах Бледных В.В. и Рахимова З.С. [10] было представлено теоретическое описание механической эрозии, где рассматривался процесс возникновения механической эрозии при работе стрельчатых лап поперек склона.

ния движения агрегата обозначим Ω_n , а вдоль направления движения агрегата Ω_b .

Углы Ω_n и Ω_b при одной и той же крутизне склона Ω зависят от направления движения агрегата относительно горизонтали поля. Найдем эти углы в зависимости угла θ между направлением движения и горизонталью поля и от крутизны склона Ω . Примем за нулевое направление движение агрегата вдоль горизонтали поля с отваливанием пласта направо, а сам угол θ – увеличивающийся по часовой стрелке.

Наклон рабочего органа поперек направления движения будет:

$$\text{tg}\Omega_n = \text{tg}\Omega \cdot \cos \theta, \quad (4)$$

а вдоль направления движения:

$$\text{tg}\Omega_b = \text{tg}\Omega \cdot \sin \theta, \quad (5)$$

где θ – угол между линией горизонтали поля и направлением движения агрегата, град.

При движении агрегата под любым углом θ механическая эрозия определяется по выражению:

$$\Delta = |(\Delta_1 - \Delta_2) \cdot \cos \theta|. \quad (6)$$

Рассмотрим рабочий орган в виде лемеха с шириной L (рисунок 3). Лемех $AB_1M_1M_2$ представим как часть трехгранного клина.

Смещение почвы определяется как:

$$\Delta_1 = L \cdot \text{tg}\eta_{11} / \cos\Omega \sin\eta \cdot \cos\chi \quad (7)$$

Как видно, для определения смещений почвы необходимо вычислить технологические параметры рабочего органа – углы γ_i , ε_i и знать ширину лемеха L . Примем следующие обозначения этих углов: γ_1 и ε_1 – углы при движении агрегата поперек склона, град; γ_2 и ε_2 – углы при движении агрегата вдоль склона, град; $\gamma_{1,2}$ и $\varepsilon_{1,2}$ – углы при движении в любом направлении θ , град.

Расчет производим по выражениям:

$$\text{tg}\eta_r = \text{tg}\gamma - \text{cose} - \text{tg}\eta / 1 + \text{cose} \cdot \text{tg}\gamma \cdot \text{tg}\eta.$$

$$\text{tg}\gamma_1 = \text{tg}\gamma \cdot \sin\beta / \sin(\beta \pm \Omega_n);$$

$$\text{tge}_1 = \text{tg}(\beta \pm \Omega_n) / \cos\gamma_1;$$

$$\text{tg}\gamma_2 = \text{tg}\gamma \cdot \sin(\alpha + \Omega_b) / \sin\alpha$$

$$\text{tge}_2 = \text{tge} \cdot \text{tg}(\alpha + \Omega_b) / \text{tga} \cdot \sin\gamma / \sin\gamma$$

$$\text{tg}\gamma_{1,2} = \text{tg}\gamma \cdot \sin\beta / \sin(\beta \pm \Omega_n) \cdot \sin(\alpha + \Omega_b) / \sin\alpha$$

$$\text{tge}_{1,2} = \text{tg}(\beta \pm \Omega_n) \cdot \text{tg}(\alpha + \Omega_b) / \text{tga} \cdot \text{tg}\gamma_1 / \sin\gamma_2,$$

где углы α и β трехгранного клина определяются по выражениям $\text{tga} = \text{tge} \cdot \sin\gamma$ и $\text{tg}\beta = \text{tge} \cdot \cos\gamma$.

Теоретические данные, полученные по выражениям (8), соответствуют имеющимся расчетным, данным Макаровой М.С. и Зацаринна В.А. [4]. При движении агрегата поперек склона с оборотом пласта вниз по склону технологические углы при изменении крутизны склона то 0° до 9° меняются по их данным γ_1 в пределах от 38 до 28° и ε_1 – от 26 до 33° . Расчеты, проведенные по выражениям (8), показывают изменение этих углов γ_1 в пределах от 38 до $29,2^\circ$ и ε_1 – от 26 до $33,5^\circ$. При движении агрегата поперек склона с оборотом пласта вверх по склону, по данным Макаровой М.С. и Зацаринна В.А., эти

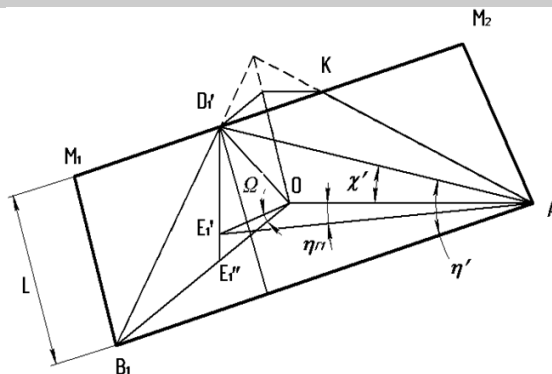


Рисунок 3 – Схема для определения смещения почвы лемехом на склонах

углы меняются γ_1 в пределах от 38 до 53° и ε_1 – от 26 до 22° , а по выражениям (8) изменение этих углов γ_1 происходит в пределах от 38 до $53,4^\circ$ и ε_1 – от 26 до 20° . Также имеется соответствие характера изменения перемещения почвы по рабочему органу в зависимости от угла постановки лемеха к стенке борозды γ_1 .

В зависимости от направления движения агрегата за счет боковой силы траектория движения почвы по рабочему органу отклоняется, которая определяется как:

$$\text{tg}\delta = \text{tg}\gamma \cdot \sin\varepsilon \cdot \cos\xi \cdot \sin\Omega \cdot \cos\eta \cdot \cos(\theta \pm \eta_r), \quad (9)$$

где ξ определяется по выражению $\text{tg}\xi = \text{tge} \cdot \cos(\gamma \pm \theta)$, а угол η_1 – по выражению $\text{tg}\eta_1 = \text{tg}\gamma_{1,2} \cdot \cos\varepsilon_{1,2}$. Углы η_{11} , η_1 и η' определяются по выражениям:

$$\text{tg}\eta_{11} = \text{tg}\gamma_{1,2} \cdot \cos\varepsilon_{1,2} \cdot \text{tg}\eta_1 / 1 + \cos\varepsilon_{1,2} \cdot \text{tg}\gamma_{1,2} \cdot \text{tg}\eta_1, \quad (10)$$

$$\eta_1 = \eta_{11} \pm \delta, \quad \eta' = \eta \mp \delta.$$

Угол между траекторией движения почвы на склоне и направлением движения рабочего органа χ рассчитывается как:

$$\text{tg}\chi = \text{tg}\chi / \cos\delta, \quad (11)$$

где χ определяется по выражению:

$$\text{tg}\chi = \text{tg}\gamma \cdot \sin\varepsilon \cdot \cos\eta \quad (12)$$

Полученные формулы (1)–(12) позволяют рассчитать смещения почвы на склонах рабочими органами почвообрабатывающих и посевных машин, а также определить механическую эрозию.

Смещение почвы вниз нижним крылом стрельчатой лапы при движении рабочего органа поперек склона увеличивается при увеличении крутизны склона, а смещение почвы вверх верхним крылом уменьшается, и при достижении крутизны критического значения $\Omega_{кр}$ почва и верхним крылом начинает перемещаться тоже вниз по склону (рисунок 4). Экспериментальные данные были получены специально созданным прибором для определения траектории перемещения частиц почвы [15]. Смещения почвы также зависят от параметров γ , ε и L .

Смещения почвы и механическая эрозия почвы изменяются в зависимости от направления движения машины относительно горизонтали поля (рисунок 5). Максимальное смеще-

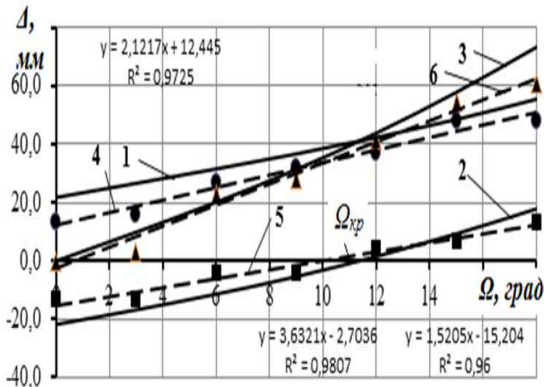


Рисунок 4 – Зависимость смещений почвы Δ_1 и Δ_2 и механической эрозии Δ при работе лемеха с шириной $L = 100$ мм и с углами $\gamma = 50^\circ$ $\varepsilon = 30^\circ$ от крутизны склона Ω при движении поперек склона

1, 2 и 3 – теоретические данные Δ_1 , Δ_2 и Δ ;
4, 5 и 6 – экспериментальные данные Δ_1 , Δ_2 и Δ

ние почвы нижним крылом рабочего органа (Δ_1) происходит при движении машины под углом $\theta \approx 45...70^\circ$ к горизонтали поля в зависимости от конструктивных углов рабочего органа, что связано с наложением продольного Ω_v и поперечного Ω_n наклонов рабочего органа. Минимальная механическая эрозия для стрелчатых лап фиксируются при движении агрегата под углами $\theta \approx 90 \pm 35^\circ$ и $\theta \approx 270 \pm 35^\circ$, а максимальные значения достигаются при движении агрегата под углами $\theta \approx 15 \pm 15^\circ$ и $\theta \approx 165 \pm 15^\circ$.

Необходимо особое внимание обратить процессу обработки почвы односторонними рабочими органами, например, корпусами отвального плуга. Особенностью процесса является то, что смещение почвы вверх (Δ_2) происходит при движении орудия в обратном направлении ($\theta + 180^\circ$). Это ведет к изменению механической эрозии (рисунок 6).

Для односторонних рабочих органов минимальные значения механической эрозии возникают при движении агрегата под углом $\theta \approx 120 \pm 40^\circ$ и $\theta \approx 300 \pm 40^\circ$ к горизонтали, а максимальные – при углах $\theta \approx 30 \pm 15^\circ$ и $\theta \approx 210 \pm 15^\circ$. Как видно из рисунка 6, максимальная механическая эрозия при обработке односторонними рабочими органами получается в 1,5 раза больше, чем при обработке стрелчатыми рабочими органами.

При любом направлении движения агрегата θ увеличение угла ε приводит к увеличению механической эрозии (рисунок 7).

Ширина развальной борозды меняется в зависимости от крутизны склона Ω , параметров рабочего органа γ , ε и L и от направления движения машины θ . С увеличением ширины лемеха L и угла ε , уменьшением угла γ при увеличении крутизны склона Ω величина развальной борозды увеличивается. Развальная борозда имеет минимальную величину при

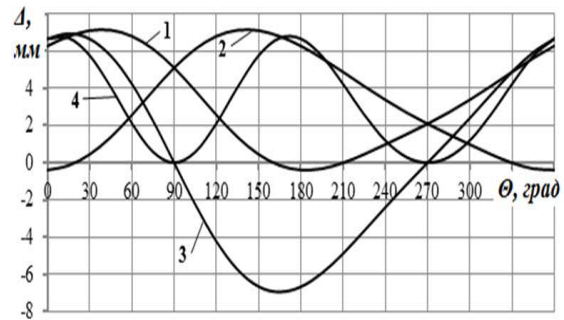


Рисунок 5 – Зависимость смещений почвы стрелчатой лапой и механической эрозии от направления движения θ по склону

(склон 6° , $\gamma = 60^\circ$, $\varepsilon = 20^\circ$)

1 – смещение почвы нижним крылом Δ_1 ; 2 – смещение почвы верхним крылом Δ_2 ;
3 – общее смещение почвы Δ ; 4 – механическая эрозия Δ

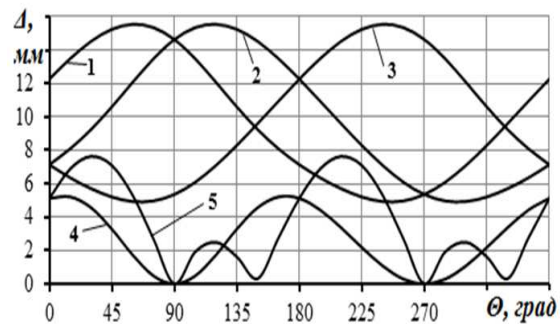


Рисунок 6 – Зависимости смещений почвы и механической эрозии при обработке почвы стрелчатой лапой и односторонним рабочим органом от направления движения агрегата θ

(склон 6° , $\gamma = 32,5^\circ$ и $\varepsilon = 26^\circ$)

1 – смещение почвы вниз по склону Δ_1 ; 2 – смещение почвы вверх верхним крылом стрелчатой лапы Δ_2 ; 3 – смещение почвы вверх односторонним рабочим органом $\Delta_{одност.}$; 4 – механическая эрозия почвы при обработке стрелчатой лапой; 5 – механическая эрозия почвы при обработке односторонним рабочим органом

движении агрегата вверх по склону ($\theta = 270^\circ$), а максимальные значения – при движении агрегата вниз по склону ($\theta = 90^\circ$) (рисунок 8).

Таким образом, для снижения механической эрозии почвы необходимо подбирать соответствующие параметры рабочего органа, а также направления движения агрегата. При отсутствии угрозы водной эрозии обработку почвы при использовании стрелчатых лап необходимо проводить под углом $\theta = 90^\circ \pm 35^\circ$, а при использовании односторонних рабочих органов – под углом $\theta = 120^\circ \pm 40^\circ$.

Полученные результаты можно объяснить по концепции Макаровой М.С. и В.А. Зацаринным, где утверждается, что при работе на склонах рабочие органы в зависимости от направления движения работают с другими параметрами. Следовательно, у них будут различные агротехнические и энергетические показатели работы, а также механический снос почвы вниз по склону.

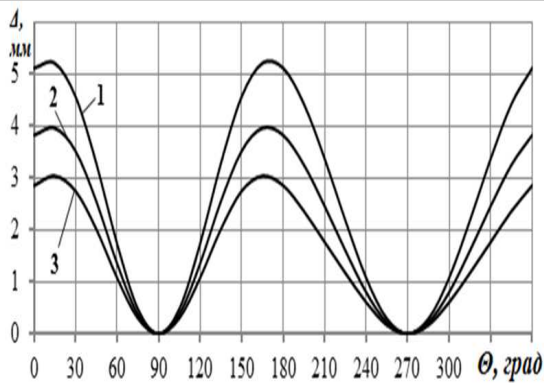


Рисунок 7 – Зависимость механической эрозии Δ при угле $\gamma = 32,5^\circ$ и различных значениях угла ε от направления движения агрегата θ

Разработанная математическая модель процесса возникновения механической эрозии почвы на склоновых полях показала, что на склонах совместно с водной эрозией существует механическая эрозия, которая возникает за счет перемещения почвы вниз по склону рабочими органами почвообрабатывающих и посевных машин. Это перемещение зависит как от параметров рабочих органов, так и от направления движения агрегата по полю.

Проведенные расчеты по полученным выражениям показывают, что общее смещение верхнего слоя почвы за сезон при традиционной технологии возделывания зерновых культур достигает на склоне 2° – 56 мм, на склоне 4° – 103 мм и на склоне 6° – 145 мм. При внедрении энергосберегающей технологии за счет уменьшения количества обработок и подбора параметров рабочих органов даже на склонах 6° механическая эрозия верхнего слоя почвы не превышает 15 мм.

На склоновых полях для исключения механической эрозии при обработке почвы необходимо использовать для основной обработки почвы чизели, чизельные культиваторы или тяжелые культиваторы с рыхлительными рабочими органами, для закрытия влаги и предпосевной обработки – культиваторы с рыхлительными рабочими органами или игольчатые и ножевые бороны.

Для снижения механической и водной эрозий при возделывании пропашных культур рекомендуется произвести полосную обработку почвы осенью или весной, непосредственно при посеве, совмещая операции обработки почвы и посева.

Выводы.

1. Механическая эрозия почвы на склонах возникает даже при использовании симметричных рабочих органов в виде трехгранного клина;
2. Механическая эрозия почвы на склонах при работе почвообрабатывающих и посевных машин появляется из-за несимметричного смещения почвы рабочим органом вверх и вниз по склону и зависит от крутизны склона,

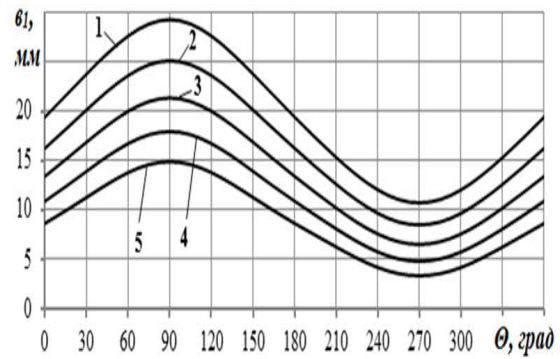


Рисунок 8 – Зависимость ширины развальной борозды b_1 от направления движения агрегата θ на склоне в 6° при угле $\gamma = 32,5^\circ$ и различных значениях угла ε
 1 – $\varepsilon = 26^\circ$; 2 – $\varepsilon = 24^\circ$; 3 – $\varepsilon = 22^\circ$; 4 – $\varepsilon = 20^\circ$;
 5 – $\varepsilon = 18^\circ$

конструктивно-технологических параметров рабочего органа и направления движения агрегата по склону.

3. Расчеты показали, что при движении агрегата под углом $\theta = 45 \div 70^\circ$ к горизонтали поля происходит максимальное смещение почвы нижним крылом рабочего органа (Δ_1). Минимальная механическая эрозия почвы обеспечивается для стрельчатых рабочих органов при движении агрегата относительно горизонтали поля под углом $90 \pm 35^\circ$, для односторонних рабочих органов – $120 \pm 40^\circ$.

Желательно избегать направлений движения агрегата $\theta \approx 0 \dots 70^\circ$, когда наблюдается максимальная механическая эрозия при обработке односторонними рабочими органами (корпусами плугов), превышающая механическую эрозию при движении по горизонталям поля в 1,5 раза;

При обработке стрельчатыми лапами ширина развальной борозды увеличивается при увеличении ширины лемеха L и углов γ, ε ; на склоне в 6° ширина развальной борозды меняется в зависимости от направления движения агрегата в три раза; минимальная ширина борозды будет при движении агрегата вверх по склону и максимальная при движении агрегата вниз.

4. К снижению механической эрозии на склонах приводит переход от традиционных технологий к энергосберегающим и полосным технологиям возделывания культур. Переход к нулевой технологии возделывания культур приводит к исключению механической эрозии.

5. Для снижения механической эрозии почвы необходимо по возможности избегать использования рабочих органов в виде трехгранного клина, или хотя бы использовать рабочие органы в виде трехгранного клина с параметрами, уменьшающими смещение почвы.

Литература

1. Шведас А.И. Закрепление почв на склонах. – Л., «Колос» (Ленингр. отделение), 1974. – 183с.
2. Бледных В.В. Механическая эрозия при обработке почвы на склонах / Бледных В.В., Рахимов З.С. // *Динамика почвообрабатывающих агрегатов и рабочие органы для обработки почвы*: Сб. науч. тр. ЧИМЭСХ - Челябинск, 1982, – С.24-29.
3. Макарова М.С. Параметры процесса обработки почвы склоновых полей лемешными плугами : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – зерноград, 2010. – 19 с.
4. Макарова М.С. Рекомендации по вспашке почвы на склонах плугами общего назначения / Макарова М.С., Зацаринный В.А. // *Вестник аграрной науки Дона*. – 2012. – № 4 (20). – С. 22-29.
5. D.A. Lobb. Soil Movement by Tillage and Other Agricultural Activities
Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences Encyclopedia of Ecology, 2008, Pages 3295–3303. Current as of 18 June 2012.
6. Antônio José Teixeira GUERRA, Michael Augustine FULLEN, Maria do Carmo Oliveira JORGE, José Fernando Rodrigues BEZERRA, Mohamed S.SHOKR. Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. *Pedosphere*, Volume 27, Issue 1, February 2017, Pages 27-41.
7. W.Van Muysen, G.Govers. Soil displacement and tillage erosion during secondary tillage operations: the case of rotary harrow and seeding equipment. *Soil and Tillage Research*, Volume 65, Issue 2, May 2002, Pages 185-191.
8. W Van Muysen, G Govers, K Van Oost. Identification of important factors in the process of tillage erosion: the case of mouldboard tillage. *Soil and Tillage Research*, Volume 65, Issue 1, April 2002, Pages 77-93.
9. С Kosmas, St Gerontidis, M Marathianou, B Detsis, Th Zafiriou, W Nan Muysen, G Govers, T Quine, K Vanoost. The effects of tillage displaced soil on soil properties and wheat biomass. *Soil and Tillage Research*, Volume 58, Issues 1–2, February 2001, Pages 31-44.
10. G.Heckrath, U.Halekoh, J.Djurhuus, G.Govers. The effect of tillage direction on soil redistribution by mouldboard ploughing on complex slopes. *Soil and Tillage Research*, Volume 88, Issues 1–2, July 2006, Pages 225-241.
11. Бледных В.В. Сущность появления механической эрозии почв при обработке склонов / Бледных В.В., Рахимов З.С. // Сб. науч. тр. факультета механизации сельского хозяйства, посвященный 50-летию факультета – Уфа : БГАУ, 2001. – С. 80-87.
12. Гячев Л.В. Теория лемешно-отвальной поверхности / Тр.АЧИМСХ; Вып.13. – зерноград, 1961. – 317с.
13. Рахимов З.С. Механическая эрозия почвы на склонах // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. – 2005. – №5. – С. 37-38.
14. Рахимов З.С. Влияние конструктивно-технологических параметров рабочего органа на смещение почвы и на механическую эрозию при работе на склонах // *Известия Международной академии аграрного образования*. – 2013. – Вып. 17. – С.108-112.
15. Рахимов З.С. Разработка противэрозионных технологий и технических средств обработки почвы и посева на склоновых агроландшафтах: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. – Уфа, 2013. – 373 с.
16. Рахимов З.С. Прибор для определения траектории перемещения частиц почвы // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. – 2006. – № 2. – С. 24-25.

Сведения об авторах

Рахимов Зиннур Саатович – доктор технических наук, профессор, e-mail: zinnurr@mail.ru.
 Мударисов Салават Гумерович – доктор технических наук, профессор, e-mail: salavam@gmail.com
 ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», Уфа, Россия.
 Рахимов Ильдар Раисович – кандидат технических наук, доцент, e-mail:ildarr@bk.ru
 ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», г. Челябинск, Россия.

EMERGENCE OF MECHANICAL SOIL EROSION ON SLOPES AND WAYS TO REDUCE IT

Rakhimov Z.S., Mudarisov S.G., Rakhimov I.R.

Abstract. The work is devoted to the mathematical description of the process of occurrence and flow of mechanical soil erosion on slope fields and ways to reduce it. The dependences of mechanical erosion on the steepness of the slope, the type and parameters of the working unit, the direction of movement of the unit relative to the horizontal field are given. The obtained mathematical dependences allow us to calculate the displacement of the soil down the slope, depending on the type and parameters of the working unit and on the technology of tillage used. Purpose of the study. Reduction of mechanical soil erosion in slope fields by improving technologies and structural and technological parameters of tillage and seeding machines. Calculations showed that when the unit moves at an angle $\theta = 45 \div 70^\circ$ to the horizontal of the field, the maximum displacement of the soil occurs by the lower wing of the working body (Δl). Minimal mechanical soil erosion is provided for lancet working bodies when the unit moves relative to the horizontal of the field at an angle of $90 \pm 35^\circ$, for unilateral working bodies - $120 \pm 40^\circ$. It is desirable to avoid the direction of movement of the unit $\theta \approx 0 \dots 70^\circ$, when maximum mechanical erosion is observed when processing by one-sided working bodies (plow bodies) exceeding mechanical erosion when moving along the field horizontals 1.5 times.

Key words: slope angle, mechanical erosion, centre how, one-sided working unit.

References

1. Shvedas A.I. *Zakreplenie pochv na sklonakh*. [Fastening the soil on the slopes]. – L., “Kolos” (Leningr. otdelenie), 1974. – P. 183.
2. Blednykh V.V. *Mekhanicheskaya eroziya pri obrabotke pochvy na sklonakh*. // *Dinamika pochvoobrabatyvayushikh agregatov i rabochie organy dlya obrabotki pochvy*: Sb. nauch. tr. ChIMESKh. (Mechanical erosion during tillage on

slopes / Blednykh V.V., Rakhimov Z.S. // Dynamics of tillage units and working bodies for tillage: Sat. scientific tr. CHIMESH - Chelyabinsk, 1982, – P. 24-29.

3. Makarova M.S. *Parametry protsessy obrabotki pochvy sklonovykh poley lemeshnymi plugami: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01.* (The parameters of the soil treatment process of sloping fields with ploughshares: author. dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.20.01. – Zernograd, 2010. – P. 19.

4. Makarova M.S. Recommendations for soil plowing on the slopes of plows for general use. [Rekomendatsii po vspashke pochvy na sklonakh plugami obshchego naznacheniya]. / Makarova M.S., Zatsarinny V.A. // *Vestnik agrarnoy nauki Dona. – The Herald of Agrarian Science of the Don.* 2012. № 4 (20). P. 22-29.

5. D.A. Lobb. Soil Movement by Tillage and Other Agricultural Activities Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences Encyclopedia of Ecology, 2008, Pages 3295–3303. Current as of 18 June 2012.

10. Antônio José Teixeira GUERRA, Michael Augustine FULLEN, Maria do Carmo Oliveira JORGE, José Fernando Rodrigues BEZERRA, Mohamed S.SHOKR. Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. *Pedosphere*, Volume 27, Issue 1, February 2017, Pages 27-41.

6. W.Van Muysen, G.Govers. Soil displacement and tillage erosion during secondary tillage operations: the case of rotary harrow and seeding equipment. *Soil and Tillage Research*, Volume 65, Issue 2, May 2002, Pages 185-191.

7. W Van Muysen, G Govers, K Van Oost. Identification of important factors in the process of tillage erosion: the case of mouldboard tillage. *Soil and Tillage Research*, Volume 65, Issue 1, April 2002, Pages 77-93.

8. C Kosmas, St Gerontidis, M Marathianou, B Detsis, Th Zafirou, W Nan Muysen, G Govers, T Quine, K Vanoost. The effects of tillage displaced soil on soil properties and wheat biomass. *Soil and Tillage Research*, Volume 58, Issues 1–2, February 2001, Pages 31-44.

9. G.Heckrath, U.Halekoh, J.Djurhuus, G.Govers. The effect of tillage direction on soil redistribution by mouldboard ploughing on complex slopes. *Soil and Tillage Research*, Volume 88, Issues 1–2, July 2006, Pages 225-241.

10. Blednykh V.V. *Suschnost poyavleniya mekhanicheskoy erozii pochv pri obrabotke sklonov.* // *Sb. nauch. tr. fakulteta mekhanizatsii selskogo khozyaystva, posvyaschenny 50-letiyu fakulteta.* [The essence of the emergence of mechanical soil erosion during the processing of slopes. / Blednykh V.V., Rakhimov Z.S.// The collection of scientific papers of Faculty of Agricultural Mechanization, dedicated to the 50th anniversary of the Faculty]. – Ufa: BGAU, 2001. – P. 80-87.

11. Gyachev L.V. *Teoriya lemeshno-otvalnoy poverkhnosti.* / *Tr.AChIMSKh*; The theory of plow-dumping soil tillage. / The collection of AChIMKSh; Issue 13. – Zernograd, 1961. – P. 317.

12. Rakhimov Z.S. Mechanical soil erosion on slopes. [Mekhanicheskaya eroziya pochvy na sklonakh]. // *Traktory i selskokhozyaystvennye mashiny. - Tractors and agricultural machines.* – 2005. – №5. – P. 37-38.

13. Rakhimov Z.S. The influence of constructive-technological parameters of the working unit on the displacement of the soil and on mechanical erosion when working on the slopes. [Vliyaniye konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov rabocheho organa na smeschenie pochvy i na mekhanicheskuyu eroziyu pri rabote na sklonakh]. // *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya. - News of International Academy of Agrarian Education.* – 2013. – Issue 17. – P. 108-112.

14. Rakhimov Z.S. *Razrabotka protiverozionnykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv obrabotki pochvy i poseva na sklonovykh agrolandshaftakh: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01.* (Development of anti-erosion technologies and technical means for tillage and seeding on sloping agricultural landscapes: thesis for a degree of Doctor of technical Sciences: 05.20.01). – Ufa, 2013. – P. 373.

15. Rakhimov Z.S. A device for determining the trajectory of soil particles movement. [Pribor dlya opredeleniya trayektorii peremescheniya chastits pochvy]. // *Traktory i selskokhozyaystvennye mashiny. - Tractors and agricultural machines.* 2006. № 2. P. 24-25.

Authors:

Rakhimov Zinnur Saetovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Road Construction, Municipal and Agricultural Machines, Bashkir SAU. Ufa. E-mail: zinnurr@mail.ru

Mudarisov Salavat Gumerovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Road Construction, Municipal and Agricultural Machines, Bashkir SAU, e-mail: salavam@gmail.com

Rakhimov Ildar Raisovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of the department "Tractors, agricultural machines and agriculture" Department, South-Ural SAU. E-mail: ildarr@bk.ru