

Влияние технических средств и технологий на механическую эрозию почвы на склонах

Салават Гумерович Мударисов,
доктор технических наук,
e-mail: salavam@gmail.com;

Зиннур Саетович Рахимов,
доктор технических наук, профессор

Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Российская Федерация

Реферат. Современные почвообрабатывающие машины и технологии возделывания сельскохозяйственных культур существенно влияют на механическую эрозию почвы на склоновых агроландшафтах. Под действием рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин почва систематически смещается под склон. (*Цель исследования*) Определить пути снижения механической эрозии почвы на склонах при возделывании зерновых и пропашных культур путем совершенствования технологии и технических средств. (*Материалы и методы*) Установили, что механическая эрозия почвы, возникающая при обработке склонов рабочими органами машин в виде трехгранного клина зависит от параметров рабочего органа, крутизны склона и направления движения агрегата относительно горизонтали поля. Механическая эрозия почвы на одном поле за сезон изменяется в зависимости от технологии возделывания культур, прежде всего от количества и глубины обработок. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что переход от традиционных технологий возделывания зерновых и пропашных культур к почвозащитной, энергосберегающей технологии *Strip-till* снижает эрозию почвы, а при нулевой технологии возникновение механической эрозии исключено. Определили, что при возделывании зерновых культур на склонах 6 градусов механическая эрозия за сезон по нулевой технологии отсутствует, по энергосберегающей технологии не превышает 15 миллиметров, по почвозащитной технологии – 35 миллиметров, а по традиционной – достигает 145 миллиметров. Отметим, что при возделывании кукурузы по традиционной технологии на склонах 6 градусов механическая эрозия почвы доходит до 87 миллиметров за сезон. Поэтому для сохранения почвы при возделывании кукурузы рассмотрели переход к технологии *Strip-till*. (*Выводы*) Для снижения механической эрозии почвы предложили переходить от традиционных технологий возделывания сельхозкультур на почвозащитные, энергосберегающие, нулевые технологии и технологии *Strip-till*.

Ключевые слова: механическая эрозия почвы, крутизна склона, параметры рабочего органа, технология возделывания культур, направление движения.

■ **Для цитирования:** Мударисов С.Г., Рахимов З.С. Влияние технических средств и технологий на механическую эрозию почвы на склонах // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 17-22. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-17-22.

Impact of the Technical Means and Technologies on Mechanical Soil Erosion on Slopes

Salavat G. Mudarisov,
Dr.Sc.(Eng.), e-mail: salavam@gmail.com;

Zinnur S. Rakhimov,
Dr.Sc.(Eng.), professor

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation

Abstract. The article presents the influence of used tillage machines and technologies of agricultural crops cultivation on mechanical soil erosion on slope agricultural landscapes. Under the action of tillage and sowing machines working bodies, the soil is systematically shifted down the slope. (*Research purpose*) Identify ways to reduce mechanical soil erosion on the slopes in the cultivation of grain and row crops by improving technology and technical means. (*Materials and methods*) The authors established that the mechanical soil erosion that occurred when processing slopes working bodies in the form of a triangular wedge depended on the parameters of the working body, the steepness of the slope and the movement direction of the unit relative to the horizontal field. Mechanical soil erosion in one field per season varied depending on the technology of cultivation, as it depended on the number and depth of treatments. (*Results and discussion*) The authors showed that the transition from traditional technologies of cultivating grain and row crops to conservation, energy-saving and Strip-till technologies led to a corresponding

reduction in erosion, and the transition to zero technology eliminated the occurrence of mechanical erosion. It was determined that during the cultivation of crops on slopes of 6 degrees there was no mechanical erosion per season by zero technology, by energy-saving technology did not exceed 15 millimeters, by soil protection technology – 35 millimeters, and by traditional – reached 145 millimeters. The authors noted that when cultivating corn by traditional technology on 6-degree slopes, mechanical soil erosion reached 87 millimeters per season. Therefore, to preserve the soil during the corn cultivation, they considered the transition to Strip-till technology. (*Conclusions*) To reduce the mechanical soil erosion, the authors proposed to switch from traditional technologies for cultivating crops to soil-protective, energy-saving, zero technologies and Strip-till technologies.

Keywords: mechanical erosion, slope steepness, the working body parameters, the technology of crops cultivation, the movement direction.

For citation: Mudarisov S.G., Rakhimov Z.S. Vliyanie tekhnicheskikh sredstv i tekhnologiy na mekhanicheskuyu eroziyu pochvy na sklonakh [Impact of the technical means and technologies on mechanical soil erosion on slopes]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 17-22 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-17-22.

Деградация почвы остается большой проблемой аграрного производства. При возделывании сельскохозяйственных культур постоянно провоцируются процессы деградации, подкисления, дегазации и истощения почвы. Сельскохозяйственные угодья, расположенные на склонах, дополнительно подвергаются эрозионным процессам. Около 60% сельхозугодий Республики Башкортостан подвержены эрозиям. Этому способствует расположение 30,5% площади пашни на склонах свыше 3°.

При возделывании сельскохозяйственных культур на полях, расположенных на склонах, возникают два вида эрозии: водная и механическая.

При водной эрозии происходит вынос почвы с полей в ходе стока талых вод и ливневых дождей. Стекающая вода захватывает частицы верхнего слоя обработанной почвы и выносит за пределы поля. Частицы оседают только при достижении стекающей водой равнинных участков или доходят до рек. В результате реки мелеют, толщина гумусного слоя на полях уменьшается, а на местах, где оседают эти частицы, уничтожается растительность.

При водной эрозии пашни ежегодно теряют в среднем 1 мм плодородного слоя. Потери гумуса могут быть компенсированы разложением пожнивных растительных остатков, так как в эродлируемых почвах масса только корневой за год накапливается до 18-21 т/га [1]. Но собственно водная эрозия на каждом поле происходит не ежегодно, а один раз в 4-5 лет. Значит за такие большие потери почвы на склонах отвечает не только она. Параллельно с водной происходит и механическая эрозия почвы.

Под механической эрозией почвы подразумевают систематическое смещение почвы под склон под действием рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин.

Механическая эрозия возникает при каждой обработке почвы, когда она смещается вниз по склону. Это оголяет верхнюю часть склонов от плодородной почвы. На вершинной поверхности холмов появляются

безгумусные слои почвы, выступает гравий. Плодородие полей сильно понижается, они становятся практически непригодными для сельскохозяйственного использования [2]. Механическая эрозия зависит не от метеорологических условий, а только от глубины и количества обработки почвы и рельефа поля.

В связи с этим требуют дальнейшего совершенствования технологии возделывания сельскохозяйственных культур и технические средства для работы на склонах.

Цель исследования – определить пути снижения механической эрозии почвы на склонах при возделывании зерновых и пропашных культур в результате совершенствования технологии и технических средств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Многие рабочие органы, используемые в обработке почвы (корпус плуга, стрельчатая лапа, диск), представляют собой часть трехгранного клина. Среди его параметров важно учитывать угол γ между лезвием лемеха и направлением движения и угол ϵ между поверхностью рабочего органа и плоскостью, параллельной поверхности поля и проходящей через лезвие лемеха (рис. 1). При поступлении на клин почва начинает перемещаться по траектории AD , которая определяется углом η между лезвием лемеха и направлением движения почвы по клину по формуле Л.В. Гячева [3]:

$$\operatorname{tg} \eta = \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \epsilon. \quad (1)$$

После схода с рабочего органа почва оказывается смещенной в поперечном направлении на расстояние OE . При работе на равнине это смещение зависит от угловых параметров рабочего органа γ и ϵ , а также от ширины лемеха. Рабочий орган имеет симметричную форму относительно направления движения агрегата и агрегат двигается при работе в прямом и в обратном направлении, поэтому общее смещение почвы на равнине отсутствует и механическая эрозия почвы не возникает.

Чтобы определить перемещение почвы, найдем угол η_r между проекцией траектории движения поч-

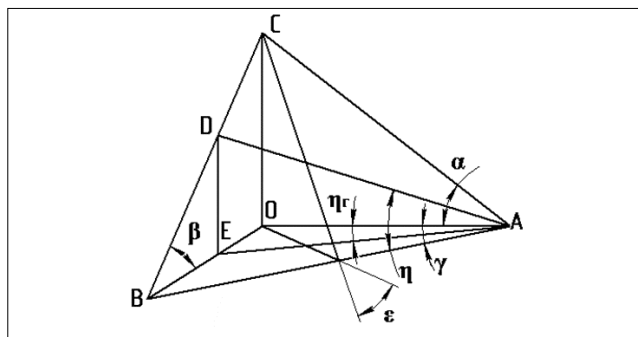


Рис. 1. Параметры трехгранного клина

AD – направление движения почвы по клину; AE – проекция направления движения почвы по клину на горизонтальную плоскость; OE – смещение почвы поперек направления движения

Fig. 1. The triangular wedge parameters:

AD – along the wedge; AE – soil movement direction projection along the wedge on a horizontal plane; OE – soil displacement across the movement direction

вы на горизонтальную плоскость и направлением движения рабочего органа:

$$tg\eta_r = \frac{tg\gamma \cdot \cos\epsilon \cdot tg\eta}{1 + \cos\epsilon \cdot tg\gamma \cdot tg\eta} \quad (2)$$

При работе на склонах в зависимости от направления движения агрегата относительно горизонтали поля рабочий орган наклоняется как поперек направления движения агрегата, так и вдоль. Кроме этого на пласт почвы вниз по склону действует дополнительная боковая сила:

$$Q = G \sin\Omega,$$

где Q – боковая сила, действующая на почву, Н;
G – вес почвы, Н;
Ω – крутизна склона, град. [4, 5].

При обработке полей на склонах смещение почвы вниз по склону всегда больше, чем вверх. Это объясняется изменением технологических параметров рабочего органа относительно горизонтальной плоскости γ_i и ε_i и действием боковой силы, которая поворачивает траекторию движения почвы по рабочему органу еще на углы DAD', и D₂AD₂' (рис. 2).

На рисунке 2 параметры смещения почвы без учета боковой силы обозначены Δ₁' и Δ₂'. С учетом боковой силы смещение почвы вверх верхним крылом уменьшается до Δ₂, а смещение вниз нижним крылом увеличивается до Δ₁.

Разница смещений при механических обработках приводит к возникновению механической эрозии почвы, равной:

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2. \quad (3)$$

Рассматривая рабочий орган в виде лемеха AB₁M₁M₂ шириной L как часть трехгранного клина, можно определить смещение почвы на склонах (рис. 3) [6-8]:

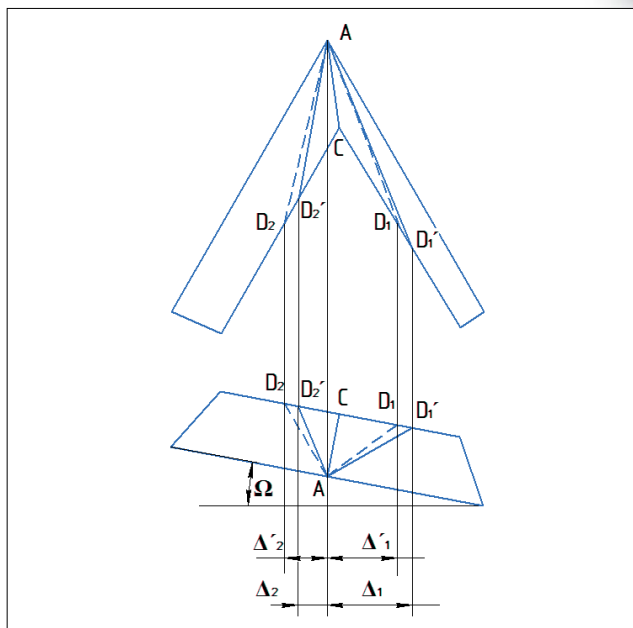


Рис. 2. Смещение почвы на склонах

Fig. 2. Soil displacement on the slopes

$$\Delta_1 = L \cdot \frac{tg\eta_{r1}}{\cos\Omega \cdot \sin\eta' \cdot \cos\chi'} \quad (4)$$

где χ' – угол между относительной траекторией движения почвы и направлением движения рабочего органа при работе на склонах.

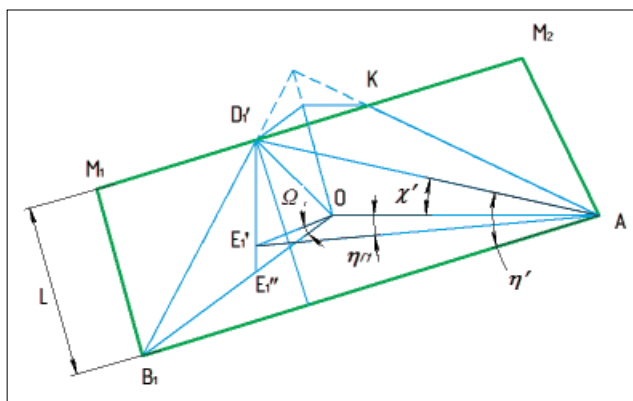


Рис. 3. Схема определения смещения почвы лемехом на склонах
Fig.3. The scheme for determining the soil displacement by the ploughshare on the slopes

Здесь η_{Г1} определяют по выражению (5):

$$tg\eta_{r1} = \frac{tg\gamma_i - \cos\epsilon_i \cdot tg\eta_1}{1 + \cos\epsilon_i \cdot tg\gamma_i \cdot tg\eta_1} \quad (5)$$

где углы γ_i и ε_i зависят от крутизны склона и направления движения агрегата относительно горизонтали поля, а угол η₁' = η₁ ± δ.

Угол отклонения траектории δ меняется в зависимости от крутизны склона и параметров рабочего органа.

Таким образом, в выражении (5) учтены как наклон рабочего органа, так и действие боковой силы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Полученные выражения позволяют определить смещение почвы рабочим органом в зависимости от параметров рабочего органа, крутизны склона и направления движения агрегата. На *рисунке 4* показана зависимость смещения почвы и механической эрозии при работе лемеха шириной $L = 100$ мм ($\gamma = 50^\circ$ и $\varepsilon = 30^\circ$) от крутизны склона Ω при движении агрегата поперек него [6, 7].

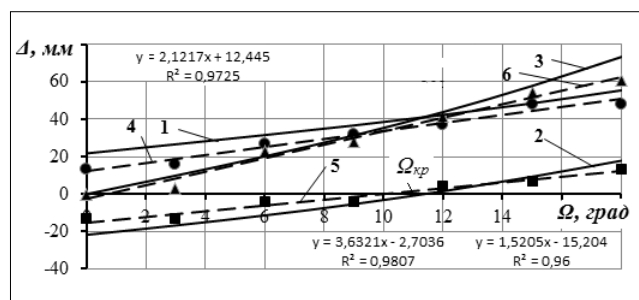


Рис. 4. Зависимость смещений почвы Δ_1 и Δ_2 и механической эрозии Δ при работе лемеха с шириной $L = 100$ мм ($\gamma = 50^\circ$, $\varepsilon = 30^\circ$) от крутизны склона Ω при поперечном движении [6, 7]: 1, 2, 3 – теоретические данные Δ_1 , Δ_2 и Δ ; 4, 5 и 6 – экспериментальные данные Δ_1 , Δ_2 и Δ

Fig. 4. Dependence of soil displacements Δ_1 and Δ_2 and mechanical erosion Δ at the work of a ploughshare with a width $L = 100$ mm and angles ($\gamma = 50^\circ$, $\varepsilon = 30^\circ$) on the slope Ω when moving across the slope: 1, 2, 3 – the theoretical data Δ_1 , Δ_2 and Δ ; 4, 5, 6 – experimental data Δ_1 , Δ_2 and Δ

Смещение почвы вниз нижним крылом стрельчатой лапы увеличивается при увеличении крутизны склона, а смещение почвы вверх верхним крылом уменьшается. При достижении критического значения крутизны $\Omega_{кр}$ верхнее крыло тоже начинает перемещать почву вниз по склону. Экспериментальные данные получены с помощью специально созданного прибора для определения траектории перемещения частиц почвы [9]. Смещение почвы зависит также от параметров γ , ε и L .

Для определения смещения почвы и механической эрозии на склонах рабочими органами, имеющими сложную геометрическую форму (корпус плуга, сферический диск), на основе динамики сплошных деформируемых сред была разработана математическая модель взаимодействия рабочих органов с почвой с учетом их работы на склонах [10]. Созданная модель позволяет изучить характер движения почвы по рабочему органу в зависимости от его параметров, направления движения относительно горизонтали поля крутизны склона, определить величину механической эрозии и тяговое сопротивление рабочего органа.

Большой интерес представляет суммарное смещение почвы вниз по склону за сезон при возделывании разнообразных культур с использованием различных технологий возделывания.

При выращивании зерновых культур применяют

4 типа технологий: традиционную, почвозащитную, энергосберегающую и нулевую. Для каждой из них имеется свой комплекс машин. Рассчитаем величину механической эрозии почвы при различных технологиях возделывания зерновых культур на полях, расположенных на склонах с крутизной 2° и 6° (*таблица 1*).

Общая механическая эрозия при традиционной

| Технологии Technologies | | Угол склона, град. Slope angle, degrees | |
|--|--|--|-------|
| | | 2 | 6 |
| Традиционная, всего Traditional, total | | 56,3 | 145,7 |
| в том числе / including: лущение стерни stubble breaking | | 26,0 | 71,0 |
| вспашка отвальными плугами plowing with dump plows | | 27,0 | 64,0 |
| культивация стрельчатой лапой lancet cultivation | | 2,3 | 7,0 |
| посев дисковым сошником disc coulters seeding | | 1,0 | 3,7 |
| Почвозащитная / Soilproof | | 10,8 | 33,0 |
| Энергосберегающая / Energy-saving | | 4,8 | 15,0 |
| Нулевая / Zero | | 0 | 0 |

технологии составит на склоне 2° – 56,3 мм, а на склоне 6° – 145,7 мм.

Аналогично при возделывании зерновых культур по почвозащитной технологии с использованием игольчатых борон, плоскорезов-щелевателей, культиваторов для предпосевной обработки и стерневых сеялок с лаповыми сошниками получаем общую механическую эрозию на склоне 2° – 10,8 мм, а на склоне 6° – 33 мм.

При возделывании зерновых культур по энергосберегающей технологии с использованием стерневых лаповых культиваторов для основной обработки почвы и при посеве стерневыми сеялками с лаповыми сошниками получаем общую механическую эрозию на склоне 2° – 4,8 мм, а на склоне 6° – 15 мм.

Механическая эрозия почвы при возделывании по нулевой технологии отсутствует.

Внедрение минимальной обработки почвы под отдельные культуры необходимо считать приоритетным направлением для снижения механической эрозии. Использование почвозащитной технологии возделывания сельхозкультур направлено на защиту почвы от эрозии вследствие снижения стока воды и увеличения количества впитываемой влаги. При этом основную обработку почвы проводят безотвальными орудиями, такими как плоскорез-щелеватель, чизели. На склонах 6° использование этих орудий смеща-



ет почву на всей глубине обработки на 18 мм, а общее смещение с учетом предпосевной культивации и посева доходит до 33 мм. Следовательно, на склонах свыше 5° необходимо для основной обработки применять чизельные орудия, которые снижают механическую эрозию. Резервом в почвозащитной технологии на этапе предпосевной культивации служит замена стрелчатых рабочих органов на рыхлительные.

При традиционной технологии возделывания зерновых культур все задействованные машины провоцируют рост механической эрозии (таблица 1).

Прямой посев практически исключает механическую эрозию. Но в этом случае необходимо использовать специализированную технику для посева и ядохимикаты для уничтожения сорняков. Все это в определенной степени повышает производственные затраты, однако существенное снижение эксплуатационных затрат вследствие исключения энергоемких технологических операций по обработке и подготовке почвы в конечном итоге позволяет снизить себестоимость продукции [11].

При использовании традиционной технологии возделывания пропашных культур механические обработки проводятся в несколько раз больше, чем на посевах культур сплошного сева. Из этого числа обработок рассмотрим только те операции, в которых применяют рабочий орган в виде трехгранного клина. К этим операциям относятся:

- основная обработка почвы на глубину до 30 см;
- культивация на глубину 10-12 см;
- предпосевная культивация на глубину 8-10 см;
- междурядная обработка на глубину 10-12 см;
- междурядная обработка на глубину 7-8 см;
- междурядная обработка на глубину 5-8 см.

Определим механическую эрозию почвы при возделывании кукурузы на силос на склонах крутизной 2° и 6° (таблица 2).

Из таблицы 2 видно, что на склонах 6° нижние

слои перемещаются за сезон на 64 мм, верхние – уже на 87 мм, а на склонах 2° – 27 и 36 мм соответственно.

Поскольку отвальная обработка почвы, особенно на склонах, имеет много отрицательных сторон, для пропашных культур (кукуруза, подсолнечник) предлагают использовать полосную технологию обработки почвы (технология *Strip-till*) и посева семян в обработанные полосы. При этом количество обработок снижается до одной, и оставляемая в междурядье без обработки полоса будет защищать почву как от механической, так и водной эрозии. Для исключения механической эрозии в обрабатываемых полосах рекомендуется использовать рабочие органы, снижающие смещение почвы.

Выводы

1. На полях, расположенных на склонах, при использовании для обработки почвы и посева рабочих органов в виде трехгранного клина возникает механическая эрозия почвы, которая зависит от параметров рабочего органа, крутизны склона и направления движения агрегата относительно горизонтали поля.

2. Чем глубже обработка почвы, тем больше механическая эрозия.

3. Расчеты показали, что механическая эрозия почвы зависит также от технологии возделывания культуры. При выращивании зерновых культур на склонах 6° механическая эрозия за сезон при нулевой технологии практически отсутствует, при энергосберегающей – не превышает 15 мм, при почвозащитной – равна 35 мм, при традиционной технологии составляет 145 мм. Для снижения механической эрозии на склонах необходимо перейти от традиционных технологий возделывания культур к энергосберегающим. Переход к нулевой технологии полностью исключает механическую эрозию.

5. Механическая эрозия почвы при возделывании кукурузы по традиционной технологии на склонах 6° доходит до 87 мм за сезон. Поэтому для сохранения почвы желательно переходить к полосной технологии обработки почвы.

Таблица 2

Table 2

**ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КУКУРУЗЫ НА СИЛОС ОТ КРУТИЗНЫ СКЛОНА, ММ
DEPENDENCE OF MECHANICAL SOIL EROSION AT SILAGE MAIZE CULTIVATION ON THE STEEPNESS OF THE SLOPE, MM**

| Крутизна склона, град. Steepness, degree | Слой почвы, см Soil layers, cm | Операция / Procedure | | | | | | Общая механическая эрозия, мм Mechanical erosion, mm |
|--|--------------------------------|----------------------|---|-----|---|-----|-----|--|
| | | вспашка tillage | предпосевная культивация pre-sowing cultivation | | междурядная обработка inter-row tillage | | | |
| | | | 1-я | 2-я | 1-я | 2-я | 3-я | |
| 2 | 8 | 27,0 | 2,3 | 2,3 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 36,1 |
| | 10 | 27,0 | 2,3 | 2,3 | 1,5 | – | – | 33,1 |
| | 12 | 27,0 | 2,3 | – | 1,5 | – | – | 30,8 |
| | 30 | 27,0 | – | – | – | – | – | 27,0 |
| 6 | 8 | 64,0 | 7,0 | 7,0 | 3 | 3 | 3 | 87,0 |
| | 10 | 64,0 | 7,0 | 7,0 | 3 | – | – | 81,0 |
| | 12 | 64,0 | 7,0 | – | 3 | – | – | 74,0 |
| | 30 | 64,0 | – | – | – | – | – | 64,0 |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шведас А.И. Закрепление почв на склонах. Л.: Колос. 1974. 183 с.
2. Макарова М.С., Зацаринный В.А. Рекомендации по вспашке почвы на склонах плугами общего назначения // *Вестник аграрной науки Дона*. 2012. N4 (20). С. 22-29.
3. Гячев Л.В. Теория лемешно-отвальной поверхности // *Труды Азово-Черноморского института механизации сельского хозяйства*. 1961. Вып. 13. 317 с.
4. Рахимов З.С. Механическая эрозия почвы на склонах // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2005. N5. С. 37-38.
5. Рахимов З.С. Влияние технологий и машин на эрозионные процессы при обработке склонов. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2006. 152 с.
6. 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.
7. Рахимов З.С., Мударисов С.Г., Рахимов И.Р. Возникновение механической эрозии почвы на склоновых полях и пути ее снижения // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2018. Т. 13. N3(50). С. 96-102.
8. Rakhimov Z., Mudarisov S., Gabitov I., Rakhimov I., Rakhimov R., Farkhutdinov I., Tanylbaev M., Valiullin I., Yamaletdinov M. Aminov R. Mathematical Description of the Mechanical Erosion Process in Sloping Fields. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. N13. 6505-6511.
9. Рахимов З.С. Прибор для определения траектории перемещения частиц почвы // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2006. N2. С.24-25.
10. Мударисов С.Г., Рахимов З.С., Фархутдинов И.М., Валиуллин И.Э., Ахметьянова И.И. Моделирование технологического процесса обработки почвы на склоновых агроландшафтах // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2016. Т. 11. N1. С. 87-91.
11. Gabitov I., Mudarisov S., Gafurov I., et al. Evaluation of the Efficiency of Mechanized Technological Processes of Agricultural Production. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. N10 SI. 8338-8345.

REFERENCES

1. Shvedas A.I. Zakreplenie pochv na sklonakh. [Fixation of soils on the slopes] Leningrad: Kolos. 1974. 183 (In Russian).
2. Makarova M.S., Zatsarinnyy V.A. Rekomendatsii po vspashke pochvy na sklonakh plugami obshchego naznacheniya [Recommendations for plowing the soil on the slopes with general-purpose plows]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2012. N4 (20). 22-29 (In Russian).
3. Gyachev L.V. Teoriya lemeshno-otval'noy poverkhnosti [The theory of the plow-dump surface]. *Trudy Azovo-Chernomorskogo instituta mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva*. 1961. Iss. 13. 317 (In Russian).
4. Rakhimov Z.S. Mekhanicheskaya eroziya pochvy na sklonakh [Mechanical soil erosion on slopes]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 2005. N5. 37-38 (In Russian).
5. Rakhimov Z.S. Vliyaniye tekhnologiy i mashin na erozionnyye protsessy pri obrabotke sklonov [The influence of technologies and machines on erosion processes in the processing of slopes]. Ufa: Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2006. 152 (In Russian).
6. Rakhimov Z.S. Vliyaniye konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov rabocheho organa na smeshcheniye pochvy i na mekhanicheskuyu eroziyu pri rabote na sklonakh [The influence of the structural and technological parameters of the working body on soil displacement and on mechanical erosion when working on slopes]. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2013. Iss. 17. 108-112 (In Russian).
7. Rakhimov Z.S., Mudarisov S.G., Rakhimov I.R. Vozniknoveniye mekhanicheskoy erozii pochvy na sklonovykh polyakh i puti ee snizheniya [The emergence of mechanical soil erosion on slope fields and ways to reduce it]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. Vol. 13. N3(50). 96-102 (In Russian).
8. Rakhimov Z., Mudarisov S., Gabitov I., Rakhimov I., Rakhimov R., Farkhutdinov I., Tanylbaev M., Valiullin I., Yamaletdinov M. Aminov R. Mathematical Description of the Mechanical Erosion Process in Sloping Fields. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. N13. 6505-6511 (In English).
9. Rakhimov Z.S. Pribor dlya opredeleniya traektorii peremeshcheniya chastits pochvy [A device for determining the movement trajectory of soil particles]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 2006. N2. 24-25 (In Russian).
10. Mudarisov S.G., Rakhimov Z.S., Farkhutdinov I.M., Valiullin I.E., Akhmetyanova I.I. Modelirovaniye tekhnologicheskogo protsessa obrabotki pochvy na sklonovykh agrolandshtafakh [Modeling the technological process of soil cultivation on sloping agrolandscapes]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. Vol. 11. N1. 87-91 (In Russian).
11. Gabitov I., Mudarisov S., Gafurov I., et al. Evaluation of the Efficiency of Mechanized Technological Processes of Agricultural Production. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. N10 SI. 8338-8345 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 03.04.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 03.04.2019**

**Статья принята к публикации 18.05.2020
The paper was accepted
for publication on 18.05.2020**