Аграрный научный журнал. 2024. № 5. С. 147–153
Agrarian Scientific Journal. 2024;(5):147–153

АГРОИНЖЕНЕРИЯ
4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Научная статья
УДК 631.51.01; 631.311
doi: http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i5pp147-153

Влияние конструктивных и режимных параметров рабочих органов на энергетические показатели почвообрабатывающего орудия

Николай Михайлович Соколов, Сергей Борисович Стрельцов, Пётр Александрович Покусаев
ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», г. Саратов, Россия
e-mail: ariser@yandex.ru

Аннотация. В статье описан технологический процесс ресурсосберегающей основной обработки почвы на склоновых землях, обеспечивающий значительное сокращение потерь почвенных и водных ресурсов. Снижение процесса водной и технологической эрозии на склонах основано на принципе формирования на поверхности пашни противоэрозионного микрорельефа из почвенно-стерневой смеси. Представлена конструктивная схема почвообрабатывающего орудия патент РФ № 2612211 и описан процесс его работы. Проведен теоретический анализ технологического процесса обработки почвы, приведены результаты расчета тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия, оснащенного плоскорежущими лапами для безотвальной обработки и лемешно-подрезающими рабочими органами для создания противоэрозионного микрорельефа. Полученные аналитические выражения позволяют определить тяговое сопротивление орудия с учетом основных конструктивных параметров рабочих органов и уклона обрабатываемого участка. Представленные в статье графические зависимости и аналитические выражения могут быть использованы при расчетах и проектировании аналогичных почвообрабатывающих орудий.

Ключевые слова: почвообрабатывающее орудие; водная и технологическая эрозия; противоэрозионный микрорельеф; тяговое сопротивление; рабочие органы

Для цитирования: Соколов Н. М., Стрельцов С. Б., Покусаев П. А. Влияние конструктивных и режимных параметров рабочих органов на энергетические показатели почвообрабатывающего орудия // Аграрный научный журнал. 2024. № 5. С. 147–153. http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i5pp147-153.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

The influence of the design and operating parameters of the working bodies on the energy indicators of the tillage tool

Nikolai M. Sokolov, Sergey B. Strelttsov, Pyotr A. Pokusaev
Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia
e-mail ariser@yandex.ru

Abstract. The article describes the technological process of resource-saving basic tillage on sloping lands, which provides a significant reduction in losses of soil and water resources. Reducing the process of water and technological erosion on the slopes is based on the principle of forming an anti-erosion microrelief on the surface of arable land from a mixture of soil and stubble. The constructive scheme of the tillage tool RF patent No. 2612211 is presented and the process of its operation is described. A theoretical analysis of the technological process of soil tillage is carried out, the results of calculating the traction resistance of a tillage tool equipped with plane-cutting paws for non-shaft processing and ploughshare - pruning working bodies to create an anti-erosion microrelief are presented. The obtained analytical expressions allow us to determine the traction resistance of the tool, taking into account the main design parameters of the working bodies and the slope of the treated area. The graphical dependencies and analytical expressions presented in the article can be used in the calculations and design of similar tillage implements.

Keywords: tillage tools; water and technological erosion; anti-erosion microrelief; traction resistance; working bodies

For citation: Sokolov N. M., Strelttsov S. B., Pokusaev P. A. The influence of the design and operating parameters of the working bodies on the en-ergy indicators of the tillage tool // *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(5):147–153. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i5pp147-153.

©Соколов Н. М., Стрельцов С. Б., Покусаев П. А., 2024

Введение. При возделывании сельхозкультур культур около 50 % от общих энергетических затрат приходится на долю обработки почвы. В то же время основная обработка является наиболее эффективным агроприемом, позволяющим без дополнительных затрат надежно защищать поля, расположенные на склонах от водной и технологической эрозии. В связи с этим при разработке современных ресурсосберегающих агротехнологий особое внимание придается снижению их энергоемкости и повышению противоэрозионной направленности. Это достигается за счет применения на комбинированных орудиях рабочих органов, которые используют в качестве ресурсосберегающего средства стерневые остатки, находящиеся на поверхности поля, из которых создается противоэрозионный микрорельеф с необходимыми технологическими параметрами [1, 2, 6, 7, 12, 13, 15].

Результатами исследований в условиях Поволжья доказана эффективность применения данной технологии основной обработки почвы, которая позволяет сократить влияние технологической эрозии за счет применения безотвальных рабочих органов для сплошной мелкой обработки. Это в сочетании с образованным на поверхности пашни противоэрозионным микрорельефом обеспечивает снижение потерь воды при стоке до 70 % и плодородной почвы на зяби в 1,5…2,0 и на парах в 2,5…3,0 раза [4, 5, 14].

Цель исследований – повышение противоэрозионной устойчивости склоновых земель за счет разработки почвообрабатывающего орудия с рабочими органами, снижающими водную и технологическую эрозию.

Материалы и методы. Теоретическое исследование процесса обработки почвы на склоновых землях с созданием противоэрозионного микрорельефа и определение тягового сопротивления рабочих органов почвообрабатывающего орудия проводили на основании анализа известных результатов исследований и использования основных положений классической механики и прикладной математики.

Лабораторно-полевые исследования выполняли согласно ГОСТ 20915-2011, ГОСТ Р 53056-2008, ГОСТ Р 52778-2007, СТО АИСТ 4.2-2010.

Полученные результаты экспериментальных исследований обрабатывали методом математической статистики при помощи ЭВМ.

Результаты исследований. С целью снижения технологической (механической) эрозии при обработке почвы на склонах разработано почвообрабатывающее орудие (Патент РФ № 2612211). Орудие содержит (рисунок 1): раму 1, на которой закреплены плоскорежущие лапы 2 для безотвальной обработки почвы, лемешно-подрезающие рабочие органы с отвальной поверхностью 3, имеющие возможность поворота в горизонтальной плоскости на 90° и опорные колеса 4.

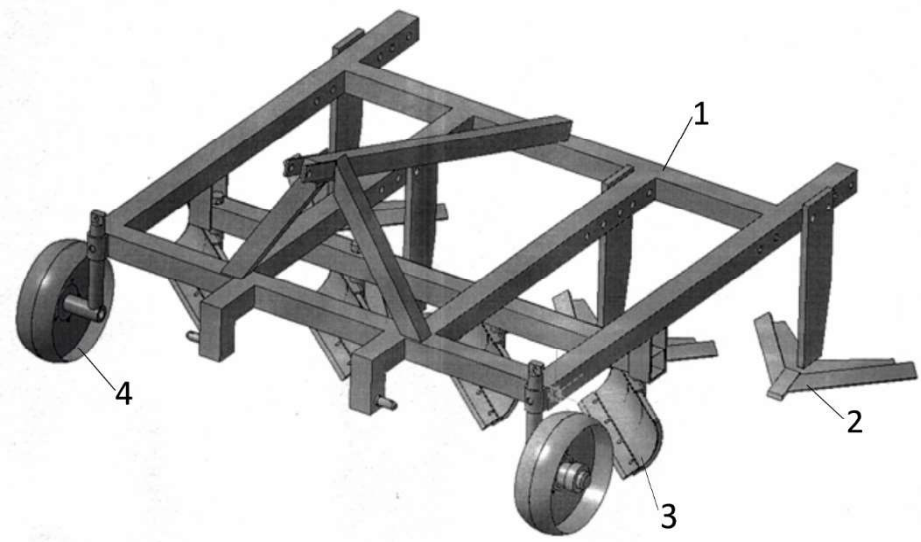

Рисунок 1 – Конструктивная схема почвообрабатывающего орудия с ресурсосберегающими рабочими органами для обработки склоновых земель
Figure 1 – Schematic construction of a tillage implement with resource-saving working bodies for cultivating sloping lands

Предлагаемым орудием проводится безотвальное рыхление плоскорежущими лапами 2 на глубину до 16 см. Одновременно с рыхлением верхний слой почвы с пожнивными остатками подрезается односторонними лемешно-подрезающими органами с отвальной поверхностью 3 на глубину до 6 см и перемещается вверх по склону, образуя из перемещаемой смеси противоэрозионный микрорельеф (в виде кулис). Таким образом обработанная поверхность пашни расчленяется созданными кулисами на множество замкнутых участков, изолированных друг от друга кулисами. Такая обработка позволяет выравнивать верхний плодородный слой почвы по толщине за счет перемещения ранее смытого водной и технологической эрозией гумусного слоя на прежнее место. Кроме того, выступающая на пашни верхняя часть кулис, являясь дополнительным препятствием для стекающей по склону воды, снижает скорость и энергию водных потоков, внутри каждого замкнутого участка, расположенного между кулисами. Применение данного способа обработки почвы кроме снижения потерь почвенных и водных ресурсов на склоновых полях позволяет снизить энергетические затраты до 40…45 % в сравнении с традиционной отвальной обработкой [3, 8–11].

Рассматривая процесс безотвальной обработки почвы с одновременным подрезанием верхнего почвенного слоя со стерней и его перемещение вверх по склону на величину соизмеримую с шириной захвата лемешно-подрезающих органов, видно, что согласно рациональной формуле В.П. Горячкина, общее тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия будет

$$P = P_{пл} + P_{пр}, \quad (1)$$

где $P_{пл}$ – тяговое сопротивление орудия, возникающее при воздействии безотвальных рабочих органов (плоскорежущие лапы) на обрабатываемую почву, Н; $P_{пр}$ – тяговое сопротивление, возникающее при подрезании и перемещении верхнего слоя почвы с пожнивными остатками вверх по склону приспособлением с лемешно-подрезающими рабочими органами с отвальной поверхностью, Н.

$$P_{пл} = f_1 G_{пл} + k_1 a_1 b_1 n_1, \quad (2)$$

где f_1 – коэффициент сопротивления протаскиванию орудия с безотвальными рабочими органами в пашне; $G_{пл}$ – вес почвообрабатывающего орудия (без лемешно-подрезающих рабочих органов с отвальной поверхностью), Н; k_1 – удельное сопротивление обрабатываемой почвы безотвальными органами (плоскорежущими лапами), Н/м^2; a_1 – глубина обработки безотвальными рабочими органами (плоскорежущими лапами), м; b_1– ширина захвата плоскорежущей лапы, м; n_1 – количество плоскорежущих лап, установленных на орудии.

Тяговое сопротивление приспособления с лемешно-подрезающими рабочими органами с отвальной поверхностью будет равно:

$$P_{пр} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \text{ Н}, \quad (3)$$

где P_1 – сопротивление резанию верхнего почвенного слоя со стерней, Н; P_2 – сопротивление подрезанной почвы со стерней при ее перемещении вверх по отвалу лемешно - подрезающего рабочего органа, Н; P_3 – сопротивление от перемещения подрезанной почвы со стерней по поверхности поля перед лемешно-подрезающим рабочим органом, Н; P_4 – сопротивление, возникающее от перемещения подрезанного верхнего почвенного слоя со стерней вдоль лемешно-подрезающего рабочего органа и отбрасывания подрезанной массы, Н.

$$P_1 = k_2 h_{ср} b_2 \, \mu \, n_2, \quad (4)$$

где k_2 – удельное сопротивление верхнего слоя почвы резанию, Н/м^2; $h_{ср}$ – средняя глубина подрезания верхнего слоя почвы лемешно-подрезающим рабочим органом, м; b_2 – рабочая ширина захвата лемешно-подрезающего органа, м; μ – коэффициент, зависящий от количества пожнивных и корневых остатков в верхнем слое почвы (μ = 1,05...1,1); n_2 – количество лемешно-подрезающих рабочих органов, установленных на орудии.

Рабочая ширина захвата лемешно-подрезающего органа равна (рисунок 2):

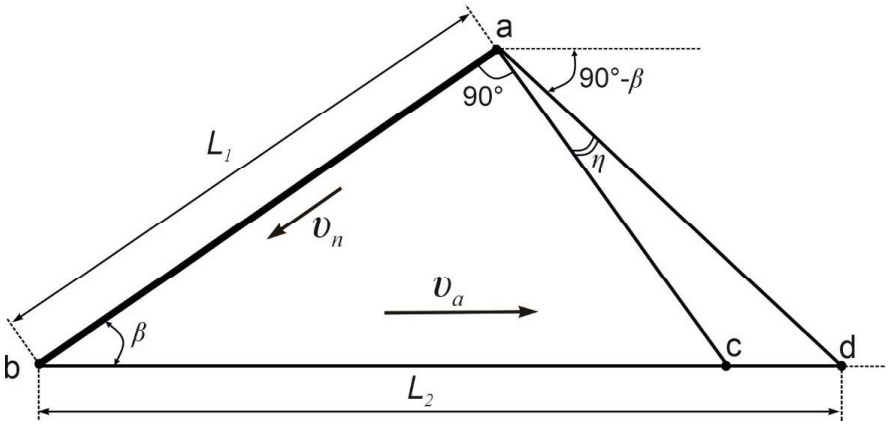

Рисунок 2 – Схема движения подрезанного слоя почвы вдоль отвала лемешно-подрезающего рабочего органа
Figure 2 – Scheme of movement of the cut soil layer along the blade of the plowshare-cutting working body

$$b_2 = L_1 \sin \beta, \quad (5)$$

где L_1 – длина лемешно-подрезающего органа, м; β – угол атаки лемешно-подрезающего рабочего органа, град. (β = 42°).

$$P_2 = G_{nc} f_2 g \cos \gamma \sin \beta n_2, \quad (6)$$

где G_{nc} – масса почвенно-стерневой смеси, перемещаемой лемешно-подрезающим рабочим органом, кг; f_2 – коэффициент трения почвенно-стерневой смеси по металлической поверхности лемешно-подрезающего органа; g – ускорение свободного падения, м/с^2; γ – угол резания почвенного слоя лемешно-подрезающим рабочим органом, град. (γ = 40°).

Сопротивление от перемещения почвенно-стерневой смеси по поверхности поля перед лемешно-подрезающим рабочим органом:

$$P_3 = G_{nc} g f_3 \sin \beta n_2, \quad (7)$$

где f_3 – коэффициент трения почвенно-стерневой смеси по поверхности поля.

Сопротивление, возникающее от перемещения почвенно-стерневой смеси вдоль лемешно-подрезающего рабочего органа и ее отбрасывания:

$$P_4 = n_2 (G_{nc} f_2 g \cos \beta + S_{\max} \rho_{пс} v_п^2), \quad (8)$$

где S_{max} – максимальное сечение почвенного слоя, перемещаемого лемешно-подрезающим рабочим органом, м^2; $\rho_{пс}$ – объемная масса подрезанной почвенно-стерневой смеси, кг/м^3; v_n – скорость движения подрезанного слоя почвы вдоль отвала лемешно-подрезающего рабочего органа, м/с.

Скорость движения подрезанного слоя почвы вдоль отвала лемешно-подрезающего рабочего органа (см. рисунок 2):

$$v_n = v_a \frac{L_1}{L_2}, \quad (9)$$

где L_1 – длина лемешно-подрезающего органа, м; L_2 – длина пути подрезанного слоя почвы от начала попадания на отвал лемешно-подрезающего рабочего органа до ее схода с отвала, м; v_a – поступательная скорость движения агрегата, м/с.

$$v_n = v_a \frac{\sin(90° - \beta - \eta)}{\sin(90° + \eta)} = v_a (\cos\beta - \operatorname{tg}\eta \sin\beta), \quad (10)$$

Максимальное сечение почвенного слоя, перемещаемого лемешно-подрезающим рабочим органом равно, м^2:

$$S_{\max} = \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}\varphi k_1, \quad (11)$$

где H – высота отвала лемешно-подрезающего рабочего органа, м; φ – угол естественного откоса перемещаемого слоя почвы в движении, град. (φ ≈ 30°); k_1 – коэффициент накопления почвенного слоя перед лемешно-подрезающим органом (k_1 ≈ 0,8).

$$H = \sqrt{\frac{2S_{\max}}{\operatorname{ctg}\varphi k_1}}. \quad (12)$$

Максимальная пропускная способность лемешно-подрезающего органа при перемещении подрезанного слоя почвы вверх по склону равна, м^3/с:

$$Q_{\max} = S_{\max} v_a. \quad (13)$$

Масса почвенно-стерневой смеси, перемещаемой лемешно-подрезающим рабочим органом:

$$G_{nc} = \frac{(H - h_{cp})^2 \cdot L_1}{2 \operatorname{ctg}\beta k_P} \cdot \rho_{\text{пс}}, \text{ кг} \quad (14)$$

где k_p – коэффициент разрыхления перемещаемого слоя почвы ($k_p \approx 1{,}1$).

Подставив полученные выражения (2), (4), (6), (7) и (8) в формулу (1), определим общее тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия с плоскорежущими лапами и лемешно-подрезающими рабочими органами с отвальной поверхностью:

$$P_{\text{пл}} = f_1(G_{\text{пл}} + G_{\text{пр}}) + k_1 a_1 b_1 n_1 + (k_2 h_{\text{ср}} b_2 \mu + G_{nc} f_2 g \cos\gamma \sin\beta + G_{nc} g f_3 \sin\beta + \\ + G_{nc} f_2 g \cos\beta + S_{\max} \rho_{\text{пс}} v_{\text{п}}^2) n_2, \quad (15)$$

где $G_{\text{пр}}$ – вес приспособления с лемешно-подрезающими органами, Н.

Экспериментальную проверку теоретических исследований проводили на зяблевой обработке почвы в ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Почва – чернозем южный, тяжелосуглинистый, агрофон – стерня озимой пшеницы, твердость почвы в слое 30 см составляла 2,7 МПа, влажность – 14,3 %. Повторность опытов трехкратная. Экспериментальное орудие агрегатировалось трактором МТЗ-1523. Средняя глубина рыхления плоскорежущими лапами составляла 15,7 см, средняя глубина подрезания верхнего слоя почвы со стерней лемешно-подрезающим рабочими органами с отвальной поверхностью – 4,6 см.

Представленные экспериментальные графические зависимости (рисунок 3), полученные с использованием тензометрической аппаратуры ИП-264, согласуются с зависимостями, полученными расчетным путем. Из результатов исследований видно, что повышение поступательной скорости движения агрегата с 1,68 до 2,53 м/с приводит к увеличению тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия: с лемешно-подрезающим рабочими органами на 9,2 %, без лемешно-подрезающих органов – на 7,1 %. При этом тяговое сопротивление лемешно-подрезающих рабочих органов в указанных условиях в среднем составило 5–7 % от общего тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия.

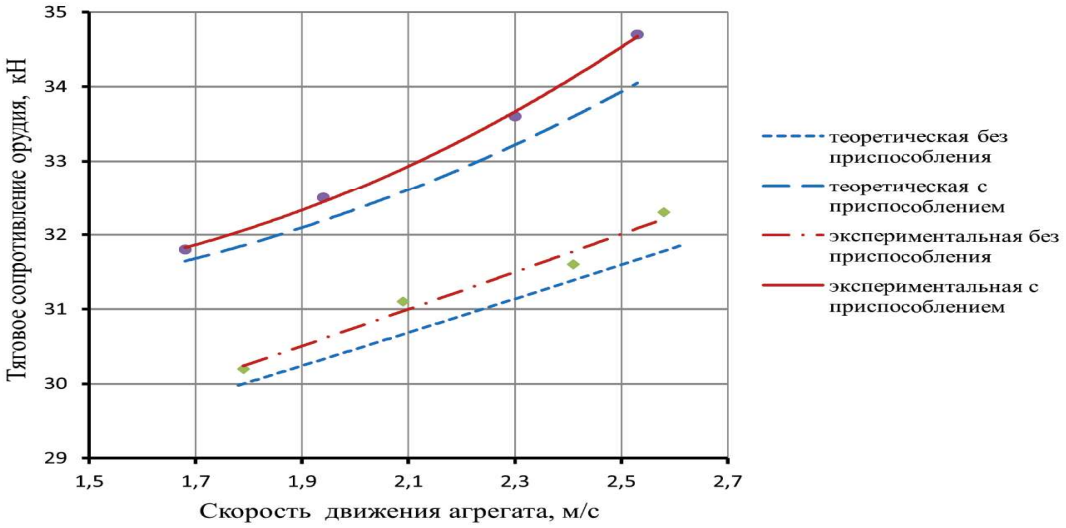

Рисунок 3 – Зависимость тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия P от поступательной скорости движения агрегата

Figure 3 – Dependence of the traction resistance of the soil-cultivating implement P on the forward speed of the unit

Заключение. Технологический процесс ресурсосберегающей обработки почвы, объединяющий безотвальное рыхление и создание на поверхности пашни противоэрозионного микрорельефа путем подрезания, оборачивания и перемещения верхнего почвенного слоя со стерней вверх по склону, позволяет сократить водную и технологическую эрозию на склоновых землях.

Полученные аналитические выражения позволяют определить общее тяговое сопротивления почвообрабатывающего орудия, складывающееся из тягового сопротивления рабочих органов для безотвального рыхления почвы и рабочих органов для создания на поверхности пашни противоэрозионного микрорельефа.

Анализ полученных теоретических и экспериментальных данных показал, что тяговое сопротивление лемешно-подрезающих рабочих органов для создания противоэрозионного микрорельефа не превышает 5–7 % от общего тягового сопротивления, создаваемого орудием в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жолинский Н. М., Тарбаев В. А., Молочко А. В., Аркадьева А. А. Мониторинг деградационных процессов на склоновых агроландшафтах Поволжья // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 19. № 2. С. 79–82.

2. Исламова Ч. М., Корепанова Е. В., Гореева В. Н. Эрозия почв: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений по направлениям подготовки «Агрономия», «Агрохимия и агропочвоведение». Ижевск, 2023. 144 с.

3. Кузина Е. В., Шабаев А. И. Преимущества гребнекулисной обработки почвы при возделывании зерновых культур // Научная жизнь. 2015. № 1. С. 61–69.

4. Медведев И. Ф., Шабаев А. И. Эрозионные процессы на пашне Приволжской возвышенности // Почвоведение. 1991. № 11. С. 61–69.

5. Медведев И. Ф., Жолинский Н. М., Губарев Д. И., Кораблева И. Н., Бузуева А. С. Методологические основы создания почвозащитных агротехнологий с использованием гребнекулисной обработки почвы // Аграрный научный журнал. 2017. № 11. С. 19–24.

6. Мударисов С. Г., Рахимов З. С., Фархутдинов И. М., Валиуллин И. Э., Ахметянова И. И. Моделирование технологического процесса обработки почвы на склоновых агроландшафтах / Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. № 1(39). С. 87–91.

7. Рахимов З. С. Механическая эрозия почвы на склонах // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. № 5. С. 37–38.

8. Соколов Н. М., Стрельцов С. Б., Худяков В. В. Влияние параметров гребне-стерневых кулис на инфильтрацию воды в почву и эрозионный процесс // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12 (Ч. 1). С. 19–22.

9. Соколов Н. М., Стрельцов С. Б., Худяков В. В. Обработка почвы в паровом поле // Успехи современного естествознания. 2017. № 11. С. 49–54.

10. Соколов Н. М., Стрельцов С. Б., Худяков В. В., Либерцев С. А., Покусаев П. А. Совершенствование технологического процесса обработки почвы, снижающего водную и технологическую эрозию на склоновых землях // Успехи современного естествознания. 2018. № 11–2. С. 299-304.

11. Соколов Н. М., Стрельцов С. Б., Худяков В. В., Покусаев П. А. Ресурсосберегающая обработка почвы на склоновых землях // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: сб. докладов XVIII Междунар. науч.-практ. конф. Курского отделения МОО «Общество почвоведов им. В.В. Докучаева». Курск, 2023. С. 288–292.

12. Тарбаев В. А., Жолинский Н. М., Кондракова С. А., Долгирев А. В. Эффективность противоэрозионных мероприятий в современных экономических условиях // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2016. № 3. С. 76–81.

13. Шабаев А. И. Почвозащитное земледелие: Опыт, проблемы. Саратов, 1985. 96 с.

14. Шабаев А. И., Соколов Н. М., Жолинский Н. М. Приемы сохранения плодородия почв на склонах // Плодородие. 2008. № 1. С. 37–38.

15. Юнусов Г. С., Жук А. Ф., Ахмадеева М. М. Способы и орудия для противоэрозионных обработок почвы // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2018. № 20. С. 430–436.

REFERENCES

1. Zholinsky N. M., Tarbaev V. A., Molochkov A. V., Arkadieva A. A. Monitoring of degradation processes on sloping agricultural landscapes of the Volga region. News of Saratov University. A new series. *Earth Science Series*. 2019;19(2):79–82. (In Russ.).

2. Islamova Ch. M., Korepanova E. V., Gordeeva V. N. *Soil erosion.* Izhevsk. 2023. 144 p. (In Russ.).

3. Kuzina E. V., Shabaev A. I. Advantages of comb-back tillage in the cultivation of grain crops. *Scientific Life.* 2015;(1):61–69. (In Russ.).

4. Medvedev I. F., Shabaev A. I. Erosion processes on the arable land of the Volga upland. *Soil Science*. 1991;(11):61–69. (In Russ.).

5. Medvedev I. F., Zholinsky N. M., Gubarev D. I., Korableva I. N., Bushueva A. S. Methodological foundations of the creation of soil-protective agrotechnologies using comb-back tillage. *Agrarian Scientific Journal*. 2017;(11):19–24. (In Russ.).

6. Mudarisov S. G., Rakhimov Z. S., Farkhutdinov I. M., Valiullin I. E., Akhmetzyanova I. I. Modeling of the technological process of tillage on slope agricultural landscapes. *Bulletin of the Kazan State Agrarian University.* 2016;11;1(39):87–91. (In Russ.).

7. Rakhimov Z. S. Mechanical soil erosion on slopes. *Tractors and Agricultural Machines.* 2005;(5):37–38. (In Russ.).

8. Sokolov N. M., Streltsov S. B., Khudyakov V. V. Influence of the parameters of comb-stubble wings on water infiltration into the soil and the erosion process. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2015;12(1):19–22. (In Russ.).

9. Sokolov N. M., Streltsov S. B., Khudyakov V. V. Tillage in the steam field. *Successes of Modern Natural Science.* 2017;(11):49-54. (In Russ.).

10. Sokolov N. M., Streltsov S. B., Khudyakov V. V., Libertse S. A., Pokusaev P. A. Improving the technological process of tillage, reducing water and technological erosion on sloping lands. *Successes of Modern Natural Science*. 2018;11(2):299–304. (In Russ.).

11. Sokolov N. M., Streltsov S. B., Khudyakov V. V., Pokusaev P. A. Resource-saving tillage on sloping lands. *Actual Problems of Soil Science, Ecology and Agriculture.* Kursk, 2023:288–292. (In Russ.).

12. Tarbaev V. A., Zholinsky N. M., Kondrakova S. A., Dolgirev A. V. The effectiveness of anti-erosion measures in modern economic conditions. *Education and Science in the Modern World. Innovation*. 2016;(3):76–81. (In Russ.).

13. Shabaev A. I. Soil protection agriculture: Experience, problems. Saratov, 1985. 96 p. (In Russ.).

14. Shabaev A. I., Sokolov N. M., Zholinsky N. M. Methods of soil fertility preservation on slopes. *Soil Fertility.* 2008;(1):37–38. (In Russ.).

15. Yunusov G. S., Zhuk A. F., Akhmadeeva M. M. Methods and tools for anti-erosion soil treatments. *Actual Issues of Improving the Technology of Production and Processing of Agricultural Products*. 2018;(20):430–436. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 30.01.2024; одобрена после рецензирования 29.02.2024; принята к публикации 11.03.2024.

The article was submitted 30.01.2024; approved after reviewing 29.02.2024; accepted for publication 11.03.2024.