

EDN: BOVNBW

DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-52-57



Научная статья

УДК 631.312



Обоснование целесообразности и параметров противоэрозионного элемента рабочего органа глубокорыхлителя

Галина Геннадьевна Пархоменко¹,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru;

Сергей Иванович Камбулов^{1,2},
доктор технических наук, доцент,
главный научный сотрудник,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;
Никита Владимирович Бужинский¹,
аспирант,
e-mail: 27091999n@mail.ru

¹Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация;

²Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что при разработке нового рабочего органа параметры и режимы его функционирования необходимо определять комплексно с использованием согласованных между собой зависимостей. Должны быть учтены не только форма рабочего органа, но и физико-механические свойства почвенной среды, которые не однородны, устойчивый ход работы, а также выполнены требуемые качественные и энергетические показатели технологического процесса. (*Цель исследования*) Разработка противоэрозионного глубокорыхлителя, извлекающего комки на поверхность почвы. (*Материалы и методы*) Рабочий орган нового типа предназначен для основной обработки почвы и глубокого (свыше 25 сантиметров) рыхления без оборота пласта с образованием кротовин при противоэрозионной обработке почвы. Представлена схема взаимодействия рабочего органа с почвой. (*Результаты и обсуждение*) Научную новизну исследований представляют зависимости взаимосвязи параметров и режимов функционирования нового рабочего органа в процессе взаимодействия с объектом. С использованием этих зависимостей разработана методика инженерного расчета рабочего органа в виде усиленных прутков при взаимодействии с поверхностями. Обоснованы способ движения пласта почвы и варианты его разрушения при взаимодействии с вторичными плоскостями разрушения, которые возникают в процессе подъема почвы. (*Выводы*) Установлены параметры и режимы функционирования нового рабочего органа глубокорыхлителя: проходной размер между прутками в начале процесса схода пласта должен быть не более 50 миллиметров. Для оптимальной траектории комка почвы форма прутка должна соответствовать уравнению брахистохроны первого порядка (циклоиды), длина прутка рабочего органа глубокорыхлителя составляет от 0 до 0,4 метра.

Ключевые слова: обработка почвы, рабочий орган, культиватор, процесс работы, энергетические показатели, статистика, модернизация.

■ **Для цитирования:** Пархоменко Г.Г., Камбулов С.И., Бужинский Н.В. Обоснование целесообразности и параметров противоэрозионного элемента рабочего органа глубокорыхлителя // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2026. Т. 20. №1. С. 52-57. DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-52-57. EDN: BOVNBW.

Scientific article

Justification of the Expediency and Parameters of the Anti-Erosion Element in the Working Tool of the Deep Soil Loosener

Galina G. Parkhomenko¹,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru;

Sergey I. Kambulov^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, chief researcher,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;
Nikita V. Buzhinsky¹,
postgraduate student,
e-mail: 27091999n@mail.ru

¹Agricultural Research Center "Donskoy", Zernograd, Russian Federation;

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. The development of a new working tool for deep soil loosening requires a comprehensive approach to determining its design parameters and operating modes, based on interrelated and harmonized dependencies. The design process must account not only for the geometry of the tool itself but also for the heterogeneous physical and mechanical properties of the soil environment. It is also essential to ensure stable operation and achieve the required quality of work and energy efficiency of the technological process. *(Research purpose)* The aim of this study is to develop an anti-erosion deep soil loosener capable of bringing soil clods to the surface. *(Materials and methods)* The newly designed working tool is designed for primary tillage and deep loosening of soil to depths exceeding 25 centimeters, without inverting the soil layer. During anti-erosion treatment, it simultaneously forms mole-like channels. A schematic diagram is presented to illustrate the interaction between the working tool and the soil. *(Results and discussion)* The scientific novelty of the study lies in establishing dependencies that describe the relationship between the tool's design parameters and its operating modes during its interaction with the soil. These dependencies form the basis for developing an engineering method for calculating the tool, which is implemented in the form of reinforced bars that interact with the soil surface. The study also substantiates the mechanism of soil layer displacement and identifies the potential disruption modes, including the formation of secondary fracture planes that occur during the upward movement of the soil layer. *(Conclusions)* The parameters and operating modes of the working tool of the new deep soil loosener have been determined. To initiate effective soil descent, the clearance between the bars should not exceed 50 millimeters. For optimal soil clod trajectory, the shape of the bars should follow a first-order brachistochrone curve (a cycloid). The bar length of the working tool ranges from 0 to 0.4 meters, depending on soil conditions and operational requirements.

Keywords: soil cultivation, working tool, cultivator, working process, energy performance, statistics, modernization.

■ **For citation:** Parkhomenko G.G., Kambulov S.I., Buzhinsky N.V. Justification of the expediency and parameters of the anti-erosion element in the working tool of the deep soil loosener. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2026. Vol. 20. N1. 52-57 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-52-57. EDN: BOVNBW.

Совокупность технологических приемов глубокой обработки почвы можно представить в виде схемы (рис. 1). Для эрозионно-опасных почв рекомендуется применять плоскорезные рабочие органы [1]. Такая обработка способствует уменьшению количества пылевидных частиц размером не более 1 мм в верхнем слое почвы.

Преобладание ветроустойчивых агрегатов почвы в верхнем слое по сравнению с пылевидными частицами снижает вероятность возникновения ветровой эрозии. Негативному действию ветровой эрозии подвержены почвы с большим количеством пылевидных частиц в составе структуры [3]. К ветроустойчивым агрегатам почвы могут относиться частицы крупнее 1 мм [4].

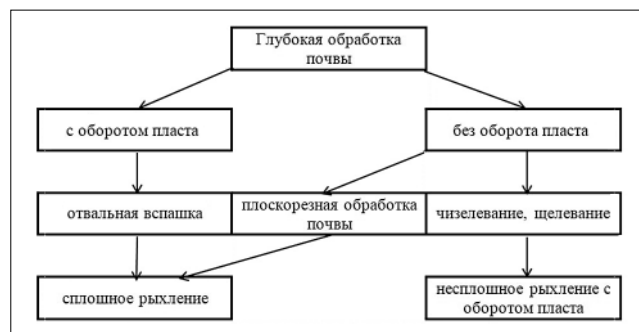


Рис. 1. Приемы глубокой обработки почвы

Fig. 1. Deep tillage techniques

Проблема заключается в том, что при эрозионных процессах происходит потеря гумуса [5]. Зачастую эрозионные процессы отрицательно влияют

на плодородие почвы [6]. При этом гумус рассматривается в качестве основного определяющего плодородие почвы компонента [7].

Воздействие на почву рабочими органами может приводить к усилению эрозионных процессов [8, 9]. При этом техногенное и антропогенное воздействие являются основной причиной ускоренной эрозии почвы [10]. Ускоренная почва эрозия в основном обусловлена изменениями в землепользовании. Эрозия почвы значительно превышает темпы производства во многих сельскохозяйственных регионах [11].

Современная парадигма природопользования (*Sustainable Agriculture*) в рамках принятых ООН целей устойчивого развития (*Sustainable Development Goals*) предусматривает удовлетворение потребностей человека без вреда для будущих поколений [12]. Нерациональные способы обработки почвы приводят к деградации и потере плодородия [13, 14]. Необходимо принимать меры для предотвращения или уменьшения эрозии почвы, чтобы сохранить ее продуктивность [15].

Потери почвы в подверженных эрозии регионах Европейского союза составляют 2,46 т/га в год, что приводит к общей потере почвы в объеме 970 млн т в год [16]. На европейском уровне было предпринято много усилий для содействия более экологически безопасной обработке почвы [17].

Разрабатываются методы сохранения почвы в регионах подверженных эрозии [18]. Одним из способов борьбы с деградацией почвы, вызванной усилением эрозионных процессов, является снижение

уплотняющего воздействия на пласт [19-21]. При разуплотнении крупные комки почвы, находящиеся внутри обработанного слоя почвы, извлекаются на поверхность рабочими органами для измельчения.

Цель исследования: разработка противоэрозийного глубокорыхлителя с извлечением комков на поверхность почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В отделе механизации растениеводства АНЦ «Донской» разработан новый глубокорыхлитель для безотвальной обработки почвы, который может выполнять несколько технологических приемов. Рабочий орган предназначен для основной обработки почвы и глубокого (свыше 25 см) рыхления без оборота пласта с образованием кротовин при противоэрозийной обработке, а также для уничтожения сорной растительности и щелевания с почвоуглублением. Кротовины образуются при взаимодействии с пластом призматических клиньев 2, расположенных на плоскорезных лапах и служащих для крепления прутков 1 при их демонтаже (рис. 2).

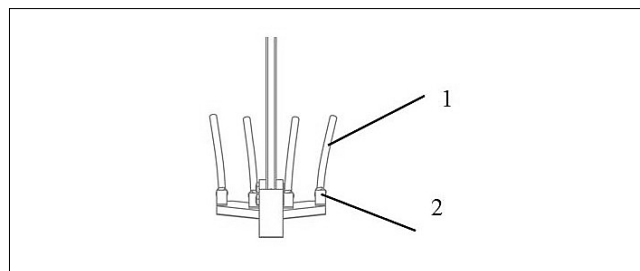


Рис. 2. Кротователи

Fig. 2. Mole plows

Щелевание с почвоуглублением до 45 см осуществляется при демонтированных плоскорезных лапах с прутками посредством взаимодействия долота с пластом почвы. Прутки способствуют улучшению качества крошения почвы, вынося на поверхность крупные комки из глубины обрабатываемого пласта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. При процессе схода пласта с поверхности рабочего органа прутки за счет своего изгиба формируют конфигурацию борозды в продольно-вертикальной плоскости (рис. 3). Подобно салазкам они оказывают некоторое уплотняющее воздействие на поверхность обработанного пласта, создавая дифференцированные слои почвы. Изгиб прутьев целесообразно производить по конфигурации линий скольжения почвы, по пути наименьшего сопротивления или распространения трещин.

При глубокой обработке почвы (свыше 25 см) требуется преобладание в обработанном слое фрагментов размером не более 50 мм, поэтому проходной размер между прутками в начале процесса схода пласта должен этому условию соответствовать (рис. 4).

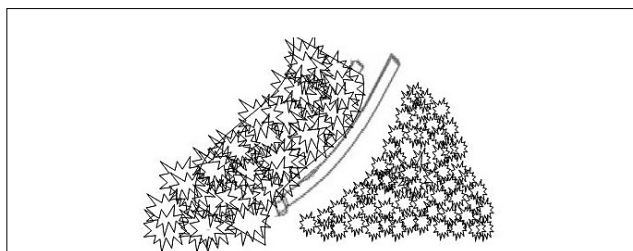


Рис. 3. Конфигурация разрушенного пласта при сходе с рабочего органа

Fig. 3. Configuration of the fractured soil layer as it leaves the working tool

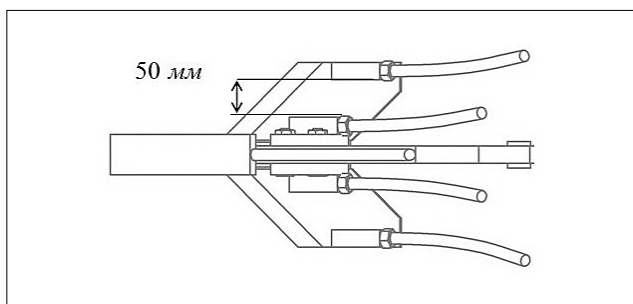


Рис. 4. Расстояние между прутками рабочего органа глубокорыхлителя

Fig. 4. Bar spacing in the working tool of the deep soil loosener

В результате взаимодействия неразрушенных глыб с прутками при сходе пласта за счет изгиба образуются вторичные плоскости разрушения (сдвига), направленные под углом к первичным плоскостям, которые возникают в процессе подъема почвы. По этой причине целесообразно выбирать расстояние между прутками, исходя из допустимого размера фрагмента почвы при обработке глубокорыхлителем, регламентируемого агротехническими требованиями.

Важнейшим показателем характеристики обработанного фона, задаваемым агротехническими требованиями, является качество крошения почвы, обусловленное наличием фрагментов определенного размера. Известно, что форма, заданная брахистохроной (циклоидой), представляет собой линию оптимального (минимального) пути точки с одного вертикального уровня на другой (рис. 5). Например, точка A_0 находится на поверхности обработанного пласта рабочим органом A_{n+1} на дне борозды.

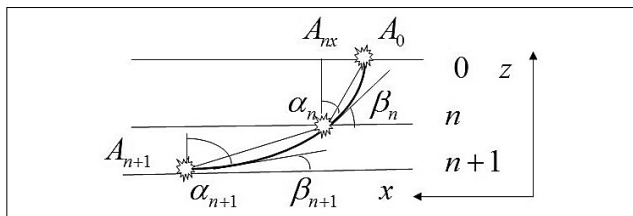


Рис. 5. Выбор формы кривой для изгиба прутков

Fig. 5. Choosing the curve shape for bar bending

В соответствии с законом сохранения энергии

$$\frac{V^2}{2} = g \cdot z, V = \sqrt{2 \cdot g \cdot z},$$

где V – скорость, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; z – глубина (уровень) расположения слоя почвы, м.

То есть, скорость осыпания вспушенной почвы зависит от вертикального расстояния между уровнями, которое ограничено глубиной обработки.

При безотвальной обработке почвы перемещение слоев не наблюдается, однако имеет место перемешивание фрагментов, некоторые из них под влиянием сепарации могут даже достигать дна борозды с переменной во времени скоростью ввиду неоднородности пласта. При этом пласт можно представить в виде совокупности слоев.

При допущении, что скорость изменяется дискретно с бесконечно малым шагом, наикратчайшее суммарное перемещение A_0 в A_n наблюдается по прямой за время (τ):

$$\tau = \frac{A_0 A_n}{V_n} + \frac{A_n A_{n+1}}{V_{n+1}},$$

где $A_0 A_n$ и $A_n A_{n+1}$ – расстояние между уровнями, м.

Однако ввиду изменения скорости внутри пласта путь фрагмента почвы состоит из совокупности прямолинейных участков, располагаемых под разным углом, т.е. наблюдается преломление прямолинейной траектории перемещения.

Из анализа рисунка 5 следует, что

$$V = \dot{x} = \frac{V_n}{\sin \alpha_n}, \sin \alpha_n = \frac{V_n}{V} = \frac{A_0 A_{nx}}{A_0 A_n}, V = \frac{V_{n+1}}{\sin \alpha_{n+1}},$$

где α_n – угол между вертикальной плоскостью и касательной к траектории перемещения частицы на уровне n , град.

По закону Снеллиуса показатель преломления представляет собой отношение скоростей в неоднородных средах:

$$\frac{V_n}{\sin \alpha_n} = \frac{V_{n+1}}{\sin \alpha_{n+1}}.$$

Поскольку неравномерность скорости является следствием неоднородности среды, то время, необходимое для перемещения фрагмента почвы по кратчайшему пути, не представляет собой минимум. По этой причине наблюдается преломление прямолинейной траектории, которая трансформируется в ломаную ввиду различия углов падения и преломления.

Исходя из закона Снеллиуса

$$\frac{\sin \alpha}{V} = \text{const.}$$

При этом

$$\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}.$$

Угол β между направлением движения и касательной к искомой траектории, представляющей собой кривую

$$tg \beta = \frac{dz}{dx} = \dot{z}, \sin \alpha = \cos \beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\dot{z}\right)^2}}.$$

Таким образом, получаем дифференциальное уравнение брахистохроны первого порядка (циклоиды) для оптимальной траектории фрагмента почвы:

$$z \cdot \left(1 + \left(\dot{z}\right)^2\right) = \text{const.} \quad (1)$$

В параметрическом виде уравнения циклоиды имеют вид:

$$x = r \cdot (t - \sin t), z = r \cdot (1 - \cos t).$$

Длина дуги в общем виде:

$$l_{\text{прутка}} = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} dt; l_{\text{прутка}} = 2 \cdot r \cdot \left|\sin \frac{t}{2}\right|, \quad (2)$$

где r – радиус производящего круга, м; t – параметр циклоиды, рад.

Полученное соотношение не противоречит определению, согласно которому длина дуги есть предел, к которому стремится периметр ломаной, вписанной в кривую.

Радиус производящего круга циклоидальной конфигурации прутков рабочего органа представляет собой толщину пласта, которая эквивалентна глубине рыхления, а параметр циклоиды t изменяется от 0 до π :

$$l_{\text{прутка}} = 2 \cdot a \cdot \left|\sin \frac{t}{2}\right|, 0 \leq t \leq \pi. \quad (3)$$

Таким образом, длина прутка рабочего органа глубокорыхлителя составляет $0 \leq l_{\text{прут}} \leq 0,4$ м.

Выводы

Исследование показало, что прутки рабочего органа глубокорыхлителя способствуют улучшению качества крошения почвы, вынося на поверхность крупные комки из глубины обрабатываемого пласта.

Изгиб прутков рабочего органа целесообразно производить по конфигурации линий скольжения почвы, по пути наименьшего сопротивления или распространения трещин.

Проходной размер между прутками в начале процесса схода пласта должен составлять не более 50 мм.

Для оптимальной траектории комка почвы форма прутка должна соответствовать уравнению брахистохроны первого порядка (циклоиды). Длина прутка рабочего органа глубокорыхлителя должна быть в пределах от 0 до 0,4 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Миронов Д.А. и др. Результаты лабораторных исследований почворезущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 41-47. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47.
2. Кадамов А., Икромов И.И. Интенсивность проявления ветровой эрозии в верховьях Ишкашимского района ГБАО // *Земледелец*. 2014. N4. С. 91-94. EDN: TLINPD.
3. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Мазитов Н.К. Почвообрабатывающая техника: пути импортозамещения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N2. С. 37-42. DOI: 10.22314/2073-75992017.2.3741.
4. Наумова Н.С. Деградационные процессы на почвах сельскохозяйственного назначения // *Молодежь и наука*. 2020. N7. С. 20. EDN: IFNWDU.
5. Оказова З.П., Березов Т.А. Об эрозийных процессах на территории Республики Северная-Осетия-Алания // *Известия Чеченского государственного педагогического университета. Серия 2. Естественные и технические науки*. 2019. Т. 18. N2(21). С. 29-32. EDN: IKTFEX.
6. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // *История науки и техники*. 2019. N12. С. 46-55. DOI: 10.25791/intstg.12.2019.1081.
7. Стифеев А.И., Никитина О.В., Лазарев В.И., Зиновьев Р.А. Экология пахотных земель Центрального Черноземья в условиях антропогенного воздействия // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. N5. С. 37-45. EDN: RXOGWU.
8. Шехихачева Л.З. Методические подходы к оценке экологического состояния почв // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова*. 2022. N1(35). С. 23-34. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-23-34.
9. Алахвердиев Ф.Д., Набиев О.С. Исследование механизмов дефляции в Северо-Западном Прикаспии индикационными методами для целей охраны и оптимизации почвенных ресурсов // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки*. 2017. Т. 11. N3. С. 90-95. EDN: YQXQAX.
10. Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R. et al. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*. 2013. Vol. 8. DOI: 10.1038/s41467-017-02142-7.
11. Amundson R., Berhe A.A., Hopmans J.W. et al. Soil and human security in the 21st century. *Soil Science*. 2015. Vol. 348. DOI: 10.1126/science.1261071.
12. Boardman J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *Catena*. 2006. Vol. 68. 73-86. DOI: 10.1016/j.catena.2006.03.007.
13. Keesstra S.D., Bouma J., Wallinga J. et al. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*. 2016. Vol. 2. 111-128. DOI: 10.5194/soil-2-111-2016.
14. Montanarella L., Jon Pennock D., McKenzie N. et al. World's soils are under threat. *Soil*. 2016. Vol. 2. 79-82. DOI: 10.5194/soil-2-79-2016.
15. Lugato E., Paustian K., Panagos P. et al. Quantifying the erosion effect on current carbon budget of European agricultural soils at high spatial resolution. *Global Change Biology*. 2016. Vol. 22. 1976-1984. DOI: 10.1111/gcb.13198.
16. Panagos P., Borrelli P., Poesen J. et al. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 2015. Vol. 54. 438-447. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.08.012.
17. Borrelli P., Paustian K., Panagos P. et al. Effect of good agricultural and environmental conditions on erosion and soil organic carbon balance: a national case study. *Land Use Policy*. 2016. Vol. 50. 408-421. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.09.033.
18. Panagos P., Imeson A., Meusburger K. et al. Soil conservation in Europe: wish or reality? *Land Degradation & Development*. 2016. Vol. 27. 1547-1551. DOI: 10.1002/ldr.2538.
19. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Моделирование следящих систем почвообрабатывающих агрегатов // *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. N1. С. 22-31. DOI: 10.17816/0321-4443-66258.
20. Мазитов Н.К., Лобачевский Я.П., Дмитриев С.Ю. и др. Модернизированная технология и техника для обработки почвы и посева в экстремальных условиях // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2014. N6. С. 63-67. EDN: SXGEKD.
21. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Аналитическое обоснование системы автоматического контроля глубины обработки почвы // *Агроинженерия*. 2021. N3(103). С. 19-23. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-19-23.

REFERENCES

1. Liskin I.V., Lobachevsky Ya.P., Mironov D.A. et al. Laboratory study results of soil-cutting operating elements. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018. N12(4). 41-47 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47.
2. Kadamov A., Ikromov I.I. Intensity of wind erosion in the upper reaches of the Ishkashim district of GBAO. *Zemle-*
3. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Mazitov N.K. Soil-cultivating machinery: ways of import substitution. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017. N2. 37-42. (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2017-2-37-41.

4. Naumova N.S. Degradation processes on agricultural soils. *Youth and Science*. 2020. N7. 20 (In Russian). EDN: IFNWDU.
5. Okazova Z.P., Berezov T.A. On erosion processes in the territory of the Republic of North Ossetia-Alanya. *Bulletin of Chechen State Pedagogical University*. 2019. Vol. 18. N2(21). 29-32 (In Russian). EDN: IKTFEX.
6. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Creation and development of systems for machines and technologies for the complex mechanization of technological processes in crop production. *History of Science and Engineering*. 2019. N12. 46-55 (In Russian). DOI: 10.25791/int-stg.12.2019.1081.
7. Stifeev A.I., Nikitina O.V., Lazarev V.I., Zinoviev R.A. Ecology of agricultural lands of the Central Black Earth under conditions of anthropogenic exposure. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov*. 2020. N5. 37-45 (In Russian). EDN: RXOGWU.
8. Shekikhacheva L.Z. Methodological approaches to the assessment of the ecological state of the soil. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2022. N1(35). 23-34 (In Russian). DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-23-34.
9. Alahverdiev F.D., Nabiev O.S. Analysis of deflation mechanisms in the North-Western Caspian Sea region by means of indicating methods of protection and optimization soil resources. *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences*. 2017. Vol. 11. N3. 90-95 (In Russian). EDN: YQXQAX.
10. Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R. et al. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*. 2013. Vol. 8 (In English). DOI: 10.1038/s41467-017-02142-7.
11. Amundson R., Berhe A.A., Hopmans J.W. et al. Soil and human security in the 21st century. *Soil Science*. 2015. Vol. 348 (In English). DOI: 10.1126/science.1261071.
12. Boardman J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *Catena*. 2006. Vol. 68. 73-86 (In English). DOI: 10.1016/j.catena.2006.03.007.
13. Keesstra S.D., Bouma J., Wallinga J. et al. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*. 2016. Vol. 2. 111-128 (In English). DOI: 10.5194/soil-2-111-2016.
14. Montanarella L., Jon Pennock D., McKenzie N. et al. World's soils are under threat. *Soil*. 2016. Vol. 2. 79-82 (In English). DOI: 10.5194/soil-2-79-2016.
15. Lugato E., Paustian K., Panagos P. et al. Quantifying the erosion effect on current carbon budget of European agricultural soils at high spatial resolution. *Global Change Biology*. 2016. Vol. 22. 1976-1984 (In English). DOI: 10.1111/gcb.13198.
16. Panagos P., Borrelli P., Poesen J. et al. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 2015. Vol. 54. 438-447 (In English). DOI: 10.1016/j.envsci.2015.08.012.
17. Borrelli P., Paustian K., Panagos P. et al. Effect of good agricultural and environmental conditions on erosion and soil organic carbon balance: a national case study. *Land Use Policy*. 2016. Vol. 50. 408-421 (In English). DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.09.033.
18. Panagos P., Imeson A., Meusburger K. et al. Soil conservation in Europe: wish or reality? *Land Degradation & Development*. 2016. Vol. 27. 1547-1551 (In English). DOI: 10.1002/ldr.2538.
19. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Simulation of automatic control systems of tillage units. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2017. N1. 22-31 (In Russian). DOI: 10.17816/0321-4443-66258.
20. Mazitov N.K., Lobachevsky Ya.P., Dmitriev S.Yu. et al. Upgraded technology and equipment for processing soil and crop in extreme conditions. *Russian Agricultural Sciences*. 2014. N6. 63-67 (In Russian). EDN: SXGEKD.
21. Dorokhov A.S., Sibiryov A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Analytical feasibility study of the automatic control system of tillage depth. *Agricultural Engineering*. 2021. N3 (103). 19-23. (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-19-23.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Пархоменко Г.Г. – методология, выполнение исследований, анализ литературных источников, доработка текста;
 Камбулов С.И. – научное руководство, постановка задачи исследования, оценка достоверности полученных результатов;
 Бужинский Н.В. – анализ литературных источников.
 Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Parkhomenko G.G. – methodology, research, literature review, manuscript revision;
 Kambulov S.I. – scientific supervision, formulation of the research objectives, evaluation of the reliability and validity of the research findings;
 Buzhinsky N.V. – literature review.
 The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

01.08.2025

15.10.2025