

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья

УДК 633.521:631.445.4

doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-4-221-240

Структура и водоустойчивость черноземов обыкновенных при разных приемах обработки почвы в посевах льна масличного на склоне

Изида Николаевна Ильинская¹, Анна Владимировна Мищенко²

^{1, 2}Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Рассвет, Российская Федерация

¹izidaar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7876-1622>

²85maw@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0529-9959>

Аннотация. Цель: анализ изменения показателей структурно-агрегатного состава и водоустойчивости агрегатов пахотного слоя черноземов обыкновенных в посевах льна масличного, посеянного после озимой пшеницы на юго-восточном склоне опытного стационара, при различных приемах основной обработки почвы: чизелевании, комбинированной и отвальной обработках. **Материалы и методы.** Исследования проведены в Ростовской области. Используются общепринятые методики: определение структурно-агрегатного состава почвы по Саввинову, водоустойчивых агрегатов по Бакшееву, статистическая обработка экспериментальных данных по Б. А. Доспехову. **Результаты.** Установлено, что приемы обработки почвы оказывают более выраженное влияние на структуру почвы к концу вегетации льна, в то время как на водоустойчивость почвы – в начальный период, что подтверждается статистически достоверно значимой разницей 2,3 и 1,6 % соответственно между комбинированной и отвальной обработками. К фазе полной спелости семян льна различия в значениях водоустойчивости между вариантами нивелируются. К концу вегетации льна масличного при всех приемах обработки наблюдается ухудшение структуры почвы до 6–8 %, а также значительное снижение водоустойчивости агрегатов при всех обработках (до 13 %), что связано с уплотнением почвы. **Выводы.** Установлено, что комбинированный прием основной обработки почвы является наиболее предпочтительным для поддержания оптимальной структуры и водоустойчивости агрегатов в пахотном слое черноземов обыкновенных под посевами льна масличного. Выявлена более высокая оструктуренность и водоустойчивость почвы во влажный год (до 37 %) при всех приемах обработки почвы с преимуществом безотвальных и в большей степени – комбинированной обработки, оказывающей наиболее благоприятное влияние на физические свойства почвы, обеспечивая оптимальное соотношение агрегатов и их водоустойчивость, что обусловлено более равномерным перераспределением влаги и оптимизацией водно-воздушного режима почвы.

Ключевые слова: структурное состояние, водоустойчивость, пахотный слой почвы, чернозем обыкновенный, приемы основной обработки, лен масличный, Ростовская область

Источник финансирования: субсидии на выполнение Государственного задания по научной теме FNFZ-2022-0003 за счет средств федерального бюджета.

Для цитирования: Ильинская И. Н., Мищенко А. В. Структура и водоустойчивость черноземов обыкновенных при разных приемах обработки почвы в посевах льна масличного на склоне // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 4. С. 221–240. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-4-221-240>.

GENERAL AGRICULTURE, CROP SCIENCE

Original article

**Structure and water stability of ordinary chernozems
under different tillage practices in oil flax crops on a slope**

Isida N. Ilyinskay¹, Anna V. Mishchenko²

^{1, 2}Federal Rostov Agricultural Research Centre, Rassvet, Russian Federation

¹izidaar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7876-1622>

²85maw@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0529-9959>

Abstract. Purpose: to analyze changes in indicators of the structural-aggregate composition and water stability of aggregates in the arable layer of ordinary chernozems in flax crops sown after winter wheat on the south-eastern slope of an experimental station, with various primary tillage practices: chisel plowing, combined and moldboard cultivation. **Materials and methods.** The studies were conducted in the Rostov region. Generally accepted methods were used: determination of the soil structure according to Savvinov, water-stable aggregates according to Baksheev, statistical processing of experimental data according to B. A. Dospekhov. **Results.** It was determined that tillage methods have a more pronounced effect on soil structure towards the end of the flax growing season, and on soil water stability in the initial period, which is confirmed by a statistically significant difference of 2.3 and 1.6 %, respectively, between the combined and moldboard tillage. By the stage of full flax seed maturity, the differences in water stability values between the variants level out. By the end of the oil flax growing season, all tillage methods result in a deterioration of the soil structure by up to 6–8 %, as well as a significant decrease in the water stability of aggregates under all tillage methods (up to 13 %), which is associated with soil compaction. **Conclusions.** It was determined that combined primary tillage is the most preferable method for maintaining the optimal structure and water stability of aggregates in the arable layer of ordinary chernozems under oil flax crops. A higher soil structure and water stability (up to 37 %) were found in wet years under all tillage methods, with no-till and, to a greater extent, combined tillage having the most beneficial effect on the soil physical properties, ensuring an optimal ratio of aggregates and their water stability due to more uniform moisture redistribution and optimization of the soil air-water regime.

Keywords: structural condition, water stability, topsoil, ordinary chernozem, primary tillage methods, oil flax, Rostov Region

Funding source: federally funded subsidies for the implementation of State Assignment on scientific theme No. FNFZ-2022-0003.

For citation: Ilyinskaya I. N., Mishchenko A. V. Structure and water stability of ordinary chernozems under different tillage practices in oil flax crops on a slope. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025;15(4):221–240. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-4-221-240>.

Введение. Агрофизические свойства являются основными показателями плодородия почв, поэтому их изменение неизбежно отражается на продуктивности пашни, что особенно актуально на склоновых землях. В последнее время проблема структурности и водоустойчивости почвы при различных приемах ее обработки приобрела значительную актуальность, о чем свидетельствуют научные публикации в этом аспекте.

В опытах, проведенных в ОПХ «Шпаковское» Ставропольского края, установлено, что после основной обработки почвы возрастает количество водопрочных агрегатов, больше по безотвальному рыхлению (62 %), что соответствует хорошей водопрочности структуры [1]. Весной отмечена та же тенденция, обусловленная, по мнению авторов, повышением количества органического вещества при интенсивном процессе разложения корневой и листостебельной массы культуры-предшественника с преимуществом отвальной вспашки. В конце вегетации льна водопрочность снижается за счет минерализации органического вещества и механических воздействий (И. А. Вольтерс и др., 2016, 2017) [1, 2]. По данным А. А. Сентябрёва, в тех же условиях Ставрополья различные способы и приемы основной обработки почвы оказывают существенное влияние на структурно-агрегатный состав почвы. Наибольшее количество пылевидной фракции формируется при отвальном способе и дисковании. Аналогичная закономерность в структурно-агрегатном составе почвы сохраняется и к фазе полной спелости льна масличного [3].

В Курской области (Е. В. Дубовик и др., 2021) изучено изменение структурного состояния чернозема типичного при различных приемах обработки почвы (вспашке, комбинированной обработке, поверхностной обработке, no-till). Проанализирована взаимосвязь суммы водоустойчивых агрегатов по Саввинову и по показателю неустойчивости к разрушению при увлажнении. Установлено, что применение прямого посева за период вегетации способствовало переводу почвенной структуры в слое 0–10 см из среднего качества структуры в структуру хорошего качества [4]. В тех же условиях было исследовано влияние способа основной обработки почвы на макроструктурное состояние чернозема типичного. Выявлено, что при прямом посеве в слоях 0–10 и 10–20 см чернозема типичного преобладают агрегаты агрономически ценного размера (10–0,25 мм). При переходе на ресурсосберегающие способы обработки почвы отмечается по-

вышение содержания водоустойчивых агрегатов > 1 мм по сравнению со вспашкой [5].

В условиях Красноярского края рассмотрены агрофизические свойства чернозема при почвозащитных технологиях обработки почвы (Е. Н. Белоусова, А. А. Белоусов, 2021) [6]. Применение отвальной вспашки и поверхностного рыхления дисковыми орудиями определило отличное структурное состояние исследуемых слоев почвы. Плоскорезная обработка почвы сопровождалась глыбообразованием. В начальный период после механического воздействия исследуемые слои почвы существенно не различались по содержанию агрономически ценных агрегатов [6]. В агрочерноземах Красноярской лесостепи, в агроценозе пшеницы, возделываемой с применением вспашки, а также минимальной и нулевой обработки почвы (Н. Л. Курченко и др., 2020), установлено, что отвальная обработка определила преобладание крупных микроагрегатов размером 0,25–0,05 мм (53–51 %), дифференциацию пахотного слоя по содержанию микроагрегатов крупной и средней пыли [7]. Минимальная обработка способствовала формированию микроагрегатов крупной пыли (44–45 %), нулевая – мелкого песка (48 %). По потенциальной способности почвы к оструктуриванию, определяемой по содержанию микроагрегатов размером $> 0,05$ мм, изучаемые технологии обработки можно расположить в следующий убывающий ряд: отвальная (46–47 %) – нулевая (41–44 %) – минимальная (31–32 %) [7].

На типичной для Верхневолжья дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в 2020–2022 гг. изучались способы и сроки проведения основной обработки под ячмень после картофеля (А. А. Борин, А. Э. Лощинина, 2023). Сравнивались два способа основной обработки почвы – отвальная и плоскорезная на глубину 20–22 см, а также два срока их проведения – осенний и весенний. В результате исследований установлено снижение плотности пахотного слоя почвы после проведения как осенних, так и весенних основных обработок. Перед посевом ячменя по весновспашке от-

мечены высокая порозность почвы (49,8 %) и степень аэрации (52,6 %), но меньшее количество макроструктурных и водопрочных агрегатов [8].

В агроэкосистемах на серой лесной и дерново-подзолистых почвах Владимирской области содержание агрономически ценных агрегатов и коэффициент структурности зависят от уровня антропогенного воздействия (С. И. Зинченко, И. М. Щукин, 2020) [9]. Интенсивное механическое рыхление почвы в агроэкосистемах с помощью вспашки приводит к разрушению агрономически ценных агрегатов: коэффициент структурности серой лесной и дерново-подзолистой почв в слое 0–30 см снизился на 10–20 и 45 % соответственно по сравнению с почвой, подвергавшейся безотвальной обработке. Высокими значениями коэффициента структурности характеризовались почвы, на которых применялась безотвальная обработка на глубину 20–22 см: в слое 0–20 см – 3,9, в слое 0–30 см – 4,9 [9].

В исследованиях, проводившихся в Республике Татарстан, представлены результаты оценки структурно-агрегатного состояния и плотность сложения чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого, подверженного различным способам минимальной основной обработки почвы на минеральном и органо-минеральном фоне удобрений. Установлено, что применение ярусной системы обработки почвы способствовало повышению коэффициента структурности почвы, оптимизации плотности ее сложения и увеличению урожайности сельскохозяйственных культур [10].

В Ростовской области имеется 34,9 % склоновых земель, которые подвержены водной эрозии. Потери почвы на незарегулированном склоне составляют 18,5 т при допустимой норме эрозии 3,0–3,5 т/га/год. По данным Е. В. Полуэктова (2008), смыв 5 см почвы означает недобор урожая по 0,2–0,3 т/га зерна, что диктует необходимость поиска приемов снижения и предотвращения эрозионных процессов на склонах [11].

На эрозионно опасном склоне Ростовской области были изучены две системы основной обработки почвы. Наибольшее влияние на структуру и

водоустойчивость почвы оказывали такие факторы, как предшественник и длительность воздействия на почву сельскохозяйственными орудиями. Отмечена тенденция к уменьшению количества макроагрегатов и увеличению содержания пылевидной фракции в варианте с отвальной обработкой почвы. При этом установлено увеличение коэффициента структурности при снижении количества крупноглыбистой фракции. Выявлено, что чизельная обработка способствовала лучшему оструктуриванию почвы и повышению ее устойчивости к эрозии [12].

В тех же почвенно-климатических условиях на посевах сои (А. В. Мищенко, 2022) изучены две системы основной обработки почвы: отвальная вспашка и чизельная (противоэрозионная) вспашка на эрозионно опасных склонах [13]. Также в рамках исследования изучались два способа посева: широкорядный (контроль) и обычный рядовой (почвозащитный). Установлено, что исследуемые почвы имеют хорошее и отличное структурное состояние по доле воздушно-сухих агрегатов и отличное по количеству водопрочных агрегатов. При возделывании сои на эродированных склонах рекомендовано применять чизельную обработку почвы при обычном рядовом способе посева [13].

Исследования, проведенные в юго-восточном Казахстане на посевах озимой пшеницы и ячменя с использованием двух систем обработки почвы (вспашка на 20–22 см и без вспашки (no-till), показали, что применение последней улучшило агрегатное состояние почвы на 65–69 % и содержание водоудерживающих агрегатов на 19,3–21,8 % [14].

Анализ научных публикаций за последние годы показывает, что проблема структуры и водоустойчивости почвы при различных приемах обработки в посевах льна масличного на склоне черноземов обыкновенных остается актуальной и активно исследуется. Наибольшее количество исследований посвящено безотвальной и минимальной обработкам, которые показывают наилучшие результаты с точки зрения сохранения структуры

почвы, повышения водоустойчивости агрегатов и предотвращения эрозийных процессов на склоновых землях.

В то же время результаты исследований свидетельствуют о необходимости дифференцированного подхода к выбору приема обработки почвы в зависимости от почвенно-климатических условий. Перспективным направлением исследований является разработка комбинированных систем обработки почвы, сочетающих преимущества различных приемов и минимизирующих их недостатки.

Цель исследования – анализ изменения показателей структурно-агрегатного состава и водоустойчивости агрегатов пахотного слоя черноземов обыкновенных в посевах льна масличного, посеянного после озимой пшеницы на юго-восточном склоне опытного стационара, при различных приемах основной обработки почвы: чизелевании, комбинированной и отвальной обработках.

Материалы и методы. Полевые исследования проводились в п. Рассвет Аксайского района Ростовской области, на склоне, в опытном стационаре ФГБНУ ФРАНЦ, зарегистрированном в Географической сети опытов с удобрениями. Агрохимическая характеристика почв опытного участка следующая: содержание гумуса по Тюрину 3,69–3,98 % (низкое), минерального азота (нитратный по ГОСТ 26489-86, аммонийный – по ГОСТ 26489-85) – 9,6–11,5 мг/кг (низкое), подвижного фосфора и обменного калия по Мачигину соответственно 15,7–16,6 мг/кг (низкое) и 279–294 мг/кг (повышенное).

Севооборот представлен следующими культурами: кукуруза, озимая пшеница, лен масличный, многолетние травы (эспарцет) 1-го и 2-го года жизни. Анализ основан на представленных данных за 2023–2024 гг. с измерениями в два периода: при посеве и в фазу полной спелости семян льна масличного, сорт Небесный.

Система обработки почвы включала три варианта. Отвальная обра-

ботка проводилась скоростным плугом ПС-3+1 в четырехкорпусном варианте на глубину 25–27 см, чизелевание – тем же плугом с чизельными стойками на глубину 25–27 см. Комбинированная обработка (дискование + щелевание) проводилась дисковой бороной БДТ-3, затем щелерезом ЩН-1 на глубину 40–45 см.

Размеры опытных делянок: 258,8 м² (3,75 × 69 м) – поля севооборотов 2070 м² (69 × 30 м). Размещение вариантов основной обработки почвы систематическое.

В процессе проведения исследований использованы общепринятые методики. Определение структурно-агрегатного состава почвы в посевах льна масличного по всем изучаемым способам обработки почвы проводилось методом Саввинова (метод качания сит), водопрочных агрегатов – на приборе Бакшеева, в пахотном слое почвы 0–30 см, ежегодно в два срока – при посеве и уборке (Б. А. Доспехов и др., 1987)¹.

Статистическая обработка полученных экспериментальных данных велась по методу Б. А. Доспехова (2011) с применением стандартных методов математического анализа в пакете Excel².

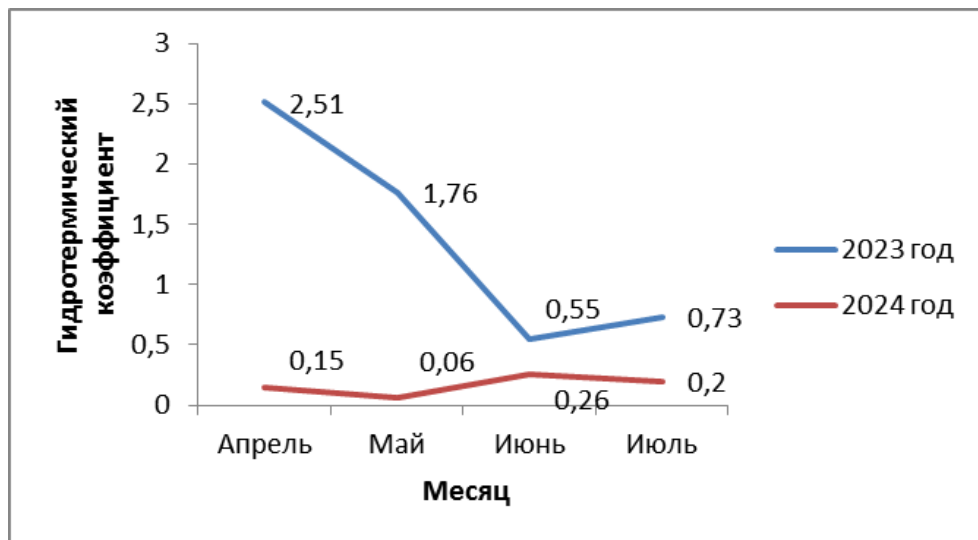
Результаты и обсуждение. Метеорологические условия периода роста и развития растений льна масличного по годам исследований имели определенные различия. Степень влагообеспеченности характеризуется гидротермическим коэффициентом (ГТК) по методике Г. Т. Селянинова (1972), значения которого за вегетационный период льна масличного в среднем изменялись от оптимального 1,19 в 2023 г. до экстремально низкого значения 0,18 в 2024 г.

В течение вегетационного периода 2023 г. он изменялся в весьма

¹Доспехов Б. А., Васильев И. П., Туликов А. М. Практикум по земледелию: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. М.: Колос, 1987. 384 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студентов высш. с.-х. учеб. заведений по агроном. специальностям. Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. М.: Альянс, 2011. 351 с. EDN: QLCQEP.

широком интервале: от 2,51 в апреле при посеве до 0,55 в июне, а в 2024 г. при почти полном отсутствии осадков он не выходил из пределов 0,15–0,26 при среднееголетнем значении 0,7 (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Гидротермический коэффициент (ГТК)
в течение вегетации льна масличного**

Figure 1 – Hydrothermal coefficient (HTC) during the oil flax vegetation

Исходя из определения оптимального соотношения осадков и температуры, равного 1,0, 2023 г. можно считать средневлажным, а 2024 г. – острозасушливым.

Рассмотрим результаты структурного состояния пахотного слоя почвы, полученные методом сухого просеивания, при разных приемах основной обработки почвы. В период посева наибольшее среднее содержание агрономически ценных агрегатов (10–0,25 мм) в пахотном слое почвы отмечено при комбинированной обработке, затем в порядке убывания при чизельной и отвальной (таблица 1).

К фазе полной спелости наибольшее содержание агрономически ценных агрегатов также было отмечено при комбинированной обработке, затем при чизельной и отвальной, подтвержденное статистически. При этом наблюдается общая тенденция их снижения на 7,7–8,9 % от посева к полной спелости.

**Таблица 1 – Влияние приемов основной обработки почвы
на структурно-агрегатный состав в пахотном слое
посевов льна масличного за 2023–2024 гг.**

**Table 1 – Impact of primary tillage practice on the structural-aggregate
composition of the arable layer of oil flax crops in 2023–2024**

Прием основной обработки почвы	Размер агрегатов, мм и % содержания в общей массе воздушно-сухой почвы			Коэффициент структурности
	> 10	10–0,25	< 0,25	
2023 г.				
Посев				
Чизельный	6,87	90,96	2,17	10,06
Комбинированный	4,34	93,09	2,57	13,47
Отвальный	5,03	90,32	4,65	9,33
Среднее	5,41	91,46	3,13	10,71
НСР ₀₅	0,87	1,38	2,16	
Полная спелость				
Чизельный	18,50	77,33	4,17	3,41
Комбинированный	16,04	79,56	4,40	3,89
Отвальный	17,28	76,85	5,86	3,32
Среднее	17,27	77,91	4,82	3,52
НСР ₀₅	3,50	3,51	0,51	
2024 г.				
Посев				
Чизельный	8,85	85,66	5,49	5,97
Комбинированный	9,97	85,34	4,69	5,82
Отвальный	9,18	84,75	6,07	5,56
Среднее	9,33	85,25	5,42	5,78
НСР ₀₅	5,75	4,38	2,44	
Полная спелость				
Чизельный	8,31	84,97	6,73	5,65
Комбинированный	8,62	85,20	6,18	5,76
Отвальный	10,64	82,52	6,84	4,72
Среднее	9,19	84,23	6,58	5,34
НСР ₀₅	2,77	5,09	2,32	
Среднее за 2023–2024 гг.				
Посев				
Чизельный	7,86 ± 0,99	88,31 ± 2,65	3,83 ± 1,66	7,55
Комбинированный	7,15 ± 2,81	89,22 ± 3,87	3,63 ± 1,06	8,27
Отвальный	7,11 ± 2,08	87,53 ± 2,79	5,36 ± 0,71	7,02
НСР ₀₅	3,6	2,6	1,9	
Полная спелость				
Чизельный	13,40 ± 5,10	81,15 ± 3,82	5,45 ± 1,28	4,30
Комбинированный	12,33 ± 3,71	82,38 ± 2,82	5,29 ± 0,89	4,68
Отвальный	13,96 ± 3,32	79,69 ± 2,83	6,35 ± 0,49	3,92
НСР ₀₅	3,7	2,3	1,6	

Содержание крупноглыбистых агрегатов (> 10 мм) в пахотном слое почвы распределилось следующим образом: на дату посева зафиксировано наибольшее их содержание в среднем за два года при чизельной обработке, затем при комбинированной и отвальной, а в период полной спелости максимум отмечен при отвальной обработке, затем при чизельной и комбинированной соответственно. Отмечается значительное увеличение доли крупных агрегатов к фазе полной спелости при всех приемах обработки.

Содержание пылевой фракции ($< 0,25$ мм) в период посева достигло наибольших значений при отвальной обработке, затем при чизельной и комбинированной, а в период полной спелости в том же порядке – при отвальной обработке, при чизельной и при комбинированной соответственно. Здесь также к фазе полной спелости наблюдается тенденция увеличения доли пылевой фракции.

Коэффициент структурности, равный отношению количества агрономически ценных агрегатов к сумме остальных фракций, показывает степень оструктуренности пахотного слоя почвы как «отличную». К дате посева в среднем за два года наибольшее его значение выявлено при комбинированной обработке (8,27), при чизельной и отвальной он снизился на 8,7 и 15,1 относительного процента (относ. %) соответственно. К дате полной спелости в том же порядке он составил при комбинированной обработке 4,68, снизившись при чизельной на 8,1 и при отвальной на 16,2 относ. %. К фазе полной спелости произошло снижение коэффициента структурности почвы почти вдвое при всех приемах ее обработки.

Далее представлен анализ водостойчивости агрегатов в пахотном слое склона черноземов обыкновенных. В период посева наибольшее содержание крупноглыбистых водостойчивых агрегатов (> 7 мм) отмечено при комбинированной обработке, оно составило 2,65 % в среднем за 2023–2024 гг., снизившись при чизельной и отвальной на 12,5–23,4 относ. %. (таблица 2).

**Таблица 2 – Влияние приемов основной обработки почвы
на водоустойчивость агрегатов в пахотном слое
посевов льна масличного за 2023–2024 гг.**

**Table 2 – Impact of primary tillage practice on the water stability
of aggregates in the arable layer of oil flax crops in 2023–2024**

Прием основной обработки почвы	Размер агрегатов, мм и содержание водоустойчивых агрегатов, %			Коэффициент водоустойчи- вости
	> 7	7–0,25	< 0,25	
2023 г.				
Посев				
Чизельный	2,40	83,02	14,58	4,89
Комбинированный	3,07	83,49	13,44	5,06
Отвальный	3,28	82,05	14,67	4,57
Среднее	2,92	82,85	14,23	4,83
НСР ₀₅	1,27	1,04	1,30	
Полная спелость				
Чизельный	4,48	58,89	36,63	1,43
Комбинированный	6,88	60,55	32,57	1,53
Отвальный	9,41	56,29	34,29	1,29
Среднее	6,92	58,58	34,50	1,41
НСР ₀₅	7,28	4,81	5,30	
2024 г.				
Посев				
Чизельный	2,24	78,90	18,86	3,74
Комбинированный	2,23	79,87	17,91	3,97
Отвальный	0,78	76,87	22,35	3,32
Среднее	1,75	78,55	19,70	3,66
НСР ₀₅	1,65	4,03	5,26	
Полная спелость				
Чизельный	3,53	77,89	18,58	3,52
Комбинированный	2,22	77,08	20,70	3,36
Отвальный	2,84	76,22	20,94	3,21
Среднее	2,86	77,06	20,07	3,36
НСР ₀₅	1,33	4,45	5,35	
Среднее за 2023–2024 гг.				
Посев				
Чизельный	2,32 ± 0,08	80,96 ± 2,06	16,72 ± 2,14	4,25
Комбинированный	2,65 ± 0,42	81,68 ± 1,81	15,67 ± 2,23	4,46
Отвальный	2,03 ± 1,25	79,46 ± 2,59	18,51 ± 3,84	3,87
НСР ₀₅	2,4	1,6	3,8	
Полная спелость				
Чизельный	4,00 ± 0,48	68,39 ± 9,50	27,60 ± 9,02	2,16
Комбинированный	4,55 ± 2,33	68,81 ± 8,27	26,64 ± 5,94	2,21
Отвальный	6,13 ± 3,29	66,26 ± 9,96	27,62 ± 6,68	1,96
НСР ₀₅	5,6	7,3	8,3	

На дату полной спелости их содержание увеличилось, достигнув максимума при отвальной обработке, т. е. к фазе полной спелости наблюдается увеличение доли крупных водоустойчивых макроагрегатов.

Водоустойчивые мезоагрегаты (7–0,25 мм) расположились в порядке убывания следующим образом: комбинированная, чизельная и отвальная обработки. К фазе полной спелости произошло снижение их содержания соответственно на 15,5–16,6 относ. % с достоверно значимой разницей.

Максимальное содержание водоустойчивых микроагрегатов (< 0,25 мм) на дату посева льна наблюдалось при отвальной обработке, составив 18,51 %, при чизельной и комбинированной ниже на 1,79–2,84 абсолют. %. К фазе полной спелости наблюдается существенное увеличение их доли на 9–11 %.

Эти тенденции подтверждаются средним за два года коэффициентом водоустойчивости, который характеризует степень водоустойчивости с оценкой «хорошая», составившего к посеву наибольшее значение при комбинированной обработке (4,46), затем в порядке уменьшения на 4,7–13,2 относ. % соответственно при чизельной и отвальной. К фазе полной спелости семян значения коэффициента составили в том же порядке при комбинированной обработке 2,21 со снижением при чизельной и отвальной до 2,3 и 11,3 относ. % соответственно. Снижение коэффициента водоустойчивости почти в два раза в течение вегетационного периода произошло при всех приемах обработки почвы.

В то же время представляет интерес вопрос изменения структурности и водоустойчивости пахотного слоя почвы на склоновых землях в различные по влагообеспеченности годы под воздействием обработки почвы.

В начале вегетации льна влияние снижения степени тепловлагообеспеченности на структурность пахотного слоя почвы при абстрагировании от приемов ее обработки проявилось в уменьшении содержания агрономически ценных агрегатов на 6,21 абсолют. % за счет увеличения крупноглы-

бистой и пылевой фракций на 3,92 и 2,29 абсолют. % соответственно, что повлекло падение коэффициента структурности почти вдвое (таблица 1). При этом отмечено, что если в средневлажный год за период вегетации льна произошло резкое (в три раза) снижение коэффициента структурности, то в сухой год структурно-агрегатный состав почвы был достаточно стабилен с небольшим ростом количества пылевых фракций.

При сопоставлении значений коэффициента структурности во влажный и сухой годы на вариантах различных способов обработки почвы прослеживается повышение средней доли агрономически ценных фракций во влажный год при всех способах обработки почвы с преимуществом комбинированной обработки (рисунок 2).

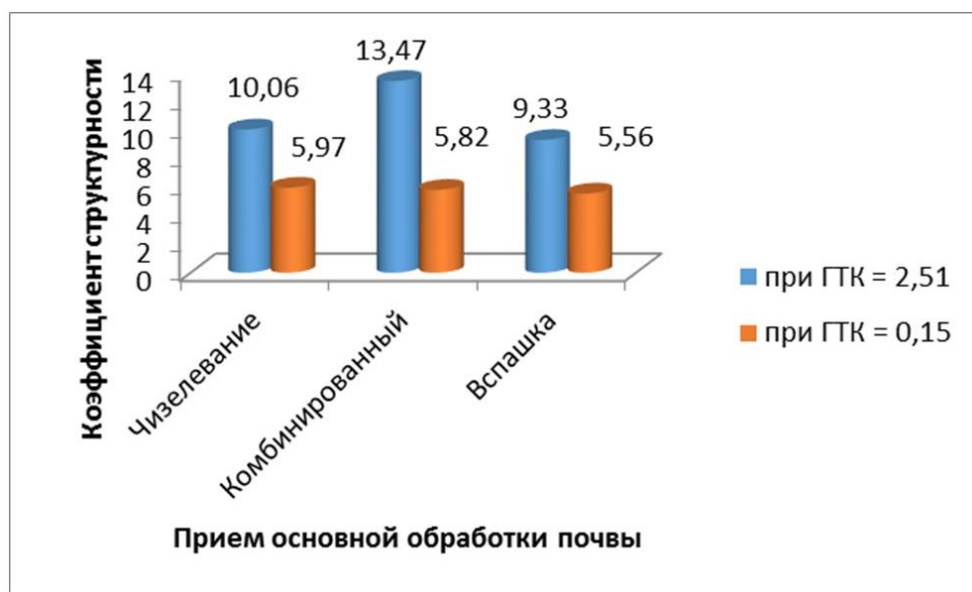


Рисунок 2 – Изменение коэффициента структурности в начале вегетации в годы различной влагообеспеченности при разных приемах основной обработки почвы

Figure 2 – Change in the structure coefficient at the beginning of the growing season in years with different moisture availability and different primary soil tillage practices

Значения коэффициента структурности во влажный год при чизельной и отвальной обработке превысили тот же показатель в сухой год на 67–68 относ. %, а при комбинированной обработке – в 2,3 раза.

В начале вегетации льна влияние снижения степени влагообеспеченности на структурность пахотного слоя почвы вне зависимости от приемов ее обработки отразилось на уменьшении количества агрономически ценных и крупноглыбистых агрегатов на 4,3 и 1,17 абсолют. % соответственно за счет увеличения пылеватой фракций на 5,47 абсолют. %, что привело к снижению коэффициента водоустойчивости с 4,83 до 3,66.

Сравнение значений коэффициента водоустойчивости во влажный и сухой годы позволило выявить также более высокую долю водоустойчивых агрегатов во влажный год при всех приемах обработки почвы с преимуществом комбинированной (рисунок 3).

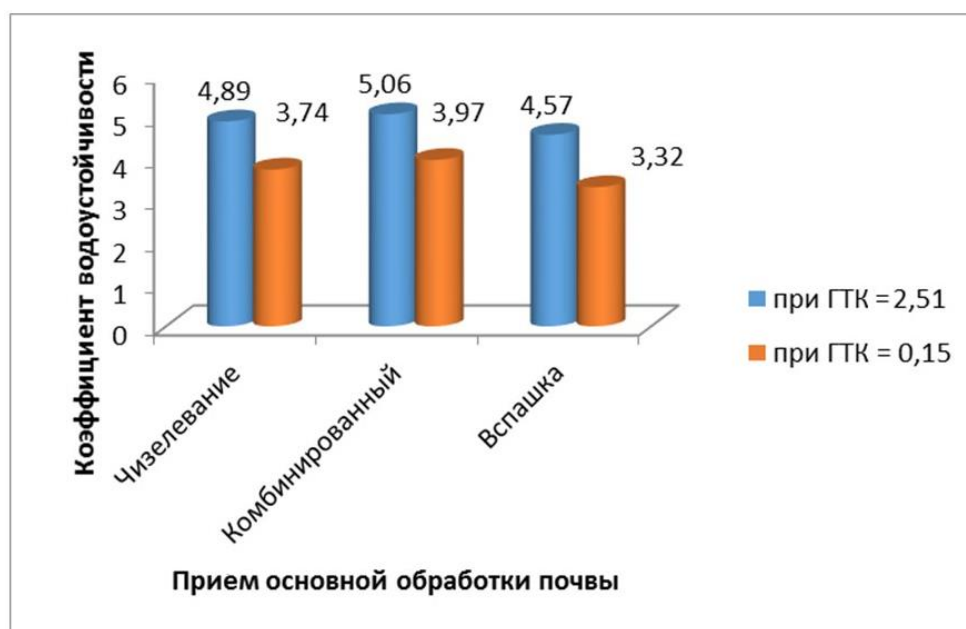


Рисунок 3 – Изменение коэффициента водоустойчивости в начале вегетации в годы различной влагообеспеченности при разных приемах основной обработки почвы

Figure 3 – Change in the water stability coefficient at the beginning of the growing season in years with different water availability and different primary soil tillage practices

В течение вегетационного периода во влажный год содержание водоустойчивых агрегатов снизилось на 24,3 абсолют. % за счет увеличения крупноглыбистой и особенно пылеватой фракций более, чем в два раза, что связано с резким снижением влажности пахотного слоя. В сухой год

содержание водоустойчивых агрегатов было более стабильным в течение вегетации льна, уступив значению коэффициента водоустойчивости во влажный год при посеве культуры (4,83 против 3,66).

При этом выявлено большее превышение коэффициента водоустойчивости во влажный год над тем же показателем в сухой год при отвальной обработке, составив 37,7 % против 30,7 % при чизельной и 27,5 % при комбинированной обработке.

На основе корреляционно-регрессионного анализа установлена взаимосвязь между коэффициентами структурности и водоустойчивости независимо от приемов обработки почвы (рисунок 4).

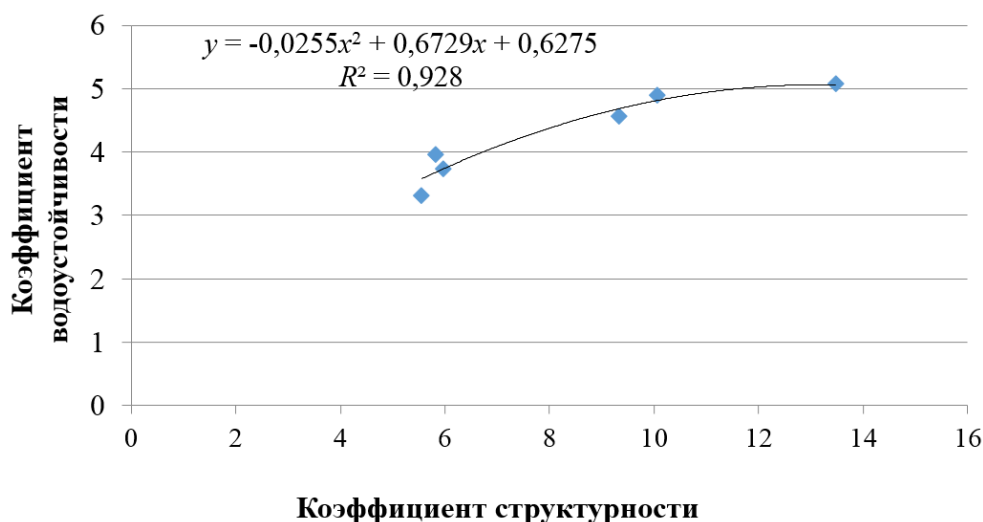


Рисунок 4 – Взаимосвязь коэффициента водоустойчивости и коэффициента структурности в начале вегетации льна
Figure 4 – Relationship between the water stability coefficient and the structural coefficient at the beginning of flax growing season

Статистическая зависимость определена на основе опытных данных и выражена регрессионным уравнением с высокой достоверностью аппроксимации (0,928).

Выводы. Комбинированный прием основной обработки почвы при посеве льна оказывает наиболее благоприятное влияние на физические свойства почвы, обеспечивая оптимальное соотношение агрегатов различного размера и их водоустойчивость, поддерживая максимальное содержа-

ние агрономически ценных агрегатов и наибольший коэффициент структурности. Обеспечивает наилучшие показатели водоустойчивости мезоагрегатов с достоверно значимой разницей в сравнении с отвальной обработкой, что связано с более равномерным перераспределением влаги и оптимизацией водно-воздушного режима почвы.

Отвальная обработка на склоне приводит к наибольшему содержанию пылевой фракции и наименьшей водоустойчивости агрегатов за счет большей потери влаги при испарении, что может негативно сказываться на физических свойствах почвы.

К фазе полной спелости при всех приемах обработки наблюдается ухудшение структуры почвы: снижение доли агрономически ценных агрегатов при сохранении достоверно значимой разницы между отвальной и безотвальной обработками, увеличение содержания крупных фракций, а также значительное снижение водоустойчивости агрегатов, что явилось следствием уплотнения почвы в течение вегетационного периода льна масличного.

Приемы основной обработки сильнее влияют на водоустойчивость почвы в начальный период (посев), к фазе полной спелости их влияние ослабевает. Установлена более высокая оструктуренность и водоустойчивость (на 27–37 %) пахотного слоя почвы во влажный год при всех приемах обработки почвы с преимуществом безотвальных, и в большей степени – комбинированной основной обработки.

Таким образом, результаты исследования показали, что для поддержания оптимальной структуры и водоустойчивости агрегатов в пахотном слое черноземов обыкновенных в посевах льна масличного оптимальным является комбинированный прием основной обработки почвы.

Список источников

1. Вольтерс И. А., Трубачёва Л. В., Власова О. И. Структурно-агрегатный состав почвы и урожайность льна масличного в зависимости от приёмов основной обработки

почвы в условиях ОПХ «Шпаковское» // Вестник АПК Ставрополья. 2016. № 2(22). С. 185–188. EDN: WIQLWZ.

2. Вольтерс И. А. Структурно-агрегатный состав почвы в посевах льна масличного в зависимости от приёмов основной обработки почвы в условиях зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Агропромышленные технологии Центральной России. 2017. Вып. 1(3). С. 47–51. EDN: YJTJPD.

3. Дорожко Г. Р., Сентябрев А. А. Формирование структурно-агрегатного состава почвы под влиянием системы обработки // Рациональное использование природных ресурсов и экологическое состояние в современной Европе: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., г. Ставрополь, 18–24 мая 2009 г. Барнаул: Параграф, 2009. С. 200–204. EDN: TOQJFV.

4. Дубовик Е. В., Дубовик Д. В., Шумаков А. В. Влияние приемов основной обработки почвы на макроструктуру чернозема типичного // Почвоведение. 2021. № 10. С. 1195–1206. DOI: 10.31857/s0032180x21100051. EDN: RVHNOU.

5. Дубовик Е. В., Дубовик Д. В. Макроструктурное состояние чернозема типичного при различных способах обработки почвы // Агрофизика. 2024. № 1. С. 1–9. DOI: 10.25695/agrph.2024.01.01. EDN: BIAOSC.

6. Белоусова Е. Н., Белоусов А. А. Оценка агрофизических свойств чернозема в условиях перехода на почвозащитные технологии обработки // Агрофизика. 2021. № 3. С. 1–9. DOI: 10.25695/agrph.2021.03.01. EDN: KYBREV.

7. Кураченко Н. Л., Колесник А. А., Парченко Е. С. Микроагрегатный состав агрочерноземов Красноярской лесостепи в условиях различной основной обработки // Агрофизика. 2020. № 2. С. 14–20. DOI: 10.25695/agrph.2020.02.03. EDN: QGWBSQ.

8. Борин А. А., Лощина А. Э. Агрофизические и биологические свойства дерново-подзолистой почвы при разных способах и сроках основной обработки под ячмень // Агрофизика. 2023. № 3. С. 42–48. DOI: 10.25695/agrph.2023.03.06. EDN: PBXSCV.

9. Зинченко С. И., Щукин И. М. Оценка антропогенного влияния на структуру почвенного покрова агроэкосистем Верхневолжья // Агрофизика. 2020. № 1. С. 16–23. DOI: 10.25695/agrph.2020.01.03. EDN: XCGUAS.

10. Влияние минимизации основной обработки и органо-минеральной системы удобрений на агрофизические свойства черноземной почвы / М. М. Ильясов, И. М. Суханова, И. А. Яппаров, Л. М.-Х. Биккинина // Агрофизика. 2019. № 3. С. 8–13. DOI: 10.25695/agrph.2019.03.02. EDN: DXHZGO.

11. Полуэктов Е. В., Цвылев Е. М. Почвенно-земельные ресурсы Ростовской области: монография. Новочеркасск: УПЦ «НАБЛА» ЮРГТУ (НПИ), 2008. 355 с. EDN: STRAMZ.

12. Гаевая Э. А., Ильинская И. Н., Тарадин С. А. Изменение структурно-агрегатного состава чернозема обыкновенного в длительном стационарном опыте // Агрофизика. 2022. № 3. С. 12–19. DOI: 10.25695/agrph.2022.03.02. EDN: FMOCQE.

13. Мищенко А. В. Структурное состояние черноземов обыкновенных в посевах сои на эрозионно опасном склоне // Агрофизика. 2022. № 4. С. 8–14. DOI: 10.25695/agrph.2022. EDN: PCUPMJ.

14. Structural-aggregate composition and soil water resistance based on tillage regimes in southeast Kazakhstan / R. K. Zhapayev, G. T. Kunyapiyeva, Z. H. Ospanbayev, A. S. Sembayeva, N. D. Ibash, M. G. Mustafaev, A. E. Khidirov // SABRAO Journal of Breeding and Genetics. 2023. Vol. 55, no. 5. P. 1821–1830. DOI: 10.54910/sabrao2023.55.5.33.

References

1. Volters I.A., Trubacheva L.V., Vlasova O.I., 2016. *Strukturno-agregatnyy sostav pochvy i urozhaynost' l'na maslichnogo v zavisimosti ot priyotov osnovnoy obrabotki pochvy*

v usloviyakh OPKH «Shpakovskoe» [Structural-aggregate composition of the soil and yield of oil flax depending on primary tillage methods under conditions of the Shpakovskoye experimental farm]. *Vestnik APK Stavropol'ya* [Bulletin of the APK of the Stavropol Territory], no. 2(22), pp. 185-188, EDN: WIQLWZ. (In Russian).

2. Volters I.A., 2017. *Strukturno-agregatnyy sostav pochvy v posevakh l'na maslichnogo v zavisimosti ot priyomov osnovnoy obrabotki pochvy v usloviyakh zony neustoychivogo uvlazhneniya Stavropol'skogo kraya* [Structural-aggregate composition of soil in oil flax crops depending on primary tillage methods under conditions of the unstable moisture zone of Stavropol Territory]. *Agropromyshlennye tekhnologii Tsentral'noy Rossii* [Agro-Industrial Technologies of Central Russia], iss. 1(3), pp. 47-51, EDN: YJTJPD. (In Russian).

3. Dorozhko G.R., Sentyabrev A.A., 2009. *Formirovanie strukturno-agregatnogo sostava pochvy pod vliyaniem sistemy obrabotki* [Formation of the structural-aggregate composition of the soil under the influence of the cultivation system]. *Ratsional'noe ispol'zovanie prirodnnykh resursov i ekologicheskoe sostoyanie v sovremennoy Yevrope: sb. nauch. tr. po materialam Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Rational Use of Natural Resources and the Ecological State in Modern Europe: Collection of Scientific Papers on the Proceed. of the International Scientific and Practical Conference]. Barnaul, Paragraph Publ., pp. 200-204, EDN: TOQJFV. (In Russian).

4. Dubovik E.V., Dubovik D.V., Shumakov A.V., 2021. *Vliyanie priemov osnovnoy obrabotki pochvy na makrostrukturu chernozema tipichnogo* [Influence of primary tillage practices on the macrostructure of typical chernozem]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 10, pp. 1195-1206, DOI: 10.31857/s0032180x21100051, EDN: RBHHOU (In Russian).

5. Dubovik E.V., Dubovik D.V., 2024. *Makrostrukturnoe sostoyanie chernozema tipichnogo pri razlichnykh sposobakh obrabotki pochvy* [Macrostructural state of typical chernozem under different soil tillage]. *Agrofizika* [Agrophysics], no. 1, pp. 1-9, DOI: 10.25695/agrph.2024.01.01, EDN: BIAOSC. (In Russian).

6. Belousova E.N., Belousov A.A., 2021. *Otsenka agrofizicheskikh svoystv chernozema v usloviyakh perekhoda na pochvozashchitnye tekhnologii obrabotki* [Assessment of agrophysical properties of chernozem in the context of the transition to soil-protective tillage technologies]. *Agrofizika* [Agrophysics], no. 3, pp. 1-9, DOI: 10.25695/agrph.2021.03.01, EDN: KYBREB. (In Russian).

7. Kurachenko N.L., Kolesnik A.A., Parchenko E.S., 2020. *Mikroagregatnyy sostav agrochernozemov Krasnoyarskoy lesostepi v usloviyakh razlichnoy osnovnoy obrabotki* [Microaggregate composition of Krasnoyarsk forest-steppe agrochernozems under different tillage]. *Agrofizika* [Agrophysics], no. 2, pp. 14-20, DOI: 10.25695/agrph.2020.02.03, EDN: QGWBSQ. (In Russian).

8. Borin A.A., Loshchinina A.E., 2023. *Agrofizicheskie i biologicheskie svoystva der-novo-podzolistoy pochvy pri raznykh sposobakh i srokakh osnovnoy obrabotki pod yachmen'* [Agrophysical and biological properties of sod-podzolic soil under different methods and timing of tillage for barley]. *Agrofizika* [Agrophysics], no. 3, pp. 42-48, DOI: 10.25695/agrph.2023.03.06, EDN: PBXSCV. (In Russian).

9. Zinchenko S.I., Shchukin I.M., 2020. *Otsenka antropogennogo vliyaniya na strukturu pochvennogo pokrova agroekosistem Verkhnevolzh'ya* [Assessment of anthropogenic impact on the structure of the soil cover of Upper Volga agroecosystems]. *Agrofizika* [Agrophysics], no. 1, pp. 16-23, DOI: 10.25695/agrph.2020.01.03, EDN: XCGUAS. (In Russian).

10. Ilyasov M.M., Sukhanova I.M., Yapparov I.A., Bikkinina L.M.-Kh., 2019. *Vliyanie minimizatsii osnovnoy obrabotki i organo-mineral'noy sistemy udobreniy na agrofizicheskie svoystva chernozemnoy pochvy* [The influence of minimization of primary tillage and organomineral fertilizer system on agrophysical properties of chernozem soil]. *Agrofizika* [Agrophysics], no. 3, pp. 8-13, DOI: 10.25695/agrph.2019.03.02, EDN: DXHZGO (In Russian).

11. Poluektov E.V., Tsvylev E.M., 2008. *Pochvenno-zemel'ne resursy Rostovskoy oblasti: monografiya* [Soil and Land Resources of the Rostov Region: monograph]. Novocherkassk, UPC "NABLA" SRSTU (NPI), 355 p., EDN: STPAMZ. (In Russian).

12. Gaevaya E.A., Ilyinskaya I.N., Taradin S.A., 2022. *Izmenenie strukturno-agregatnogo sostava chernozema obyknovennogo v dlitel'nom statsionarnom opyte* [Changes in the structural and aggregate composition of ordinary chernozem in a long-term stationary experiment]. *Agrofizika* [Agrophysics], no. 3, pp. 12-19, DOI: 10.25695/agrph.2022.03.02, EDN: FMOCQE. (In Russian).

13. Mishchenko A.V., 2022. *Strukturnoe sostoyanie chernozemov obyknovennykh v posevakh soi na erozionno opasnom sklone* [The structural state of ordinary chernozem under soybean crops on an erosion-prone slope]. *Agrofizika* [Agrophysics], no. 4, pp. 8-14, DOI: 10.25695/agrph.2022, EDN: PCUPMJ. (In Russian).

14. Zhapayev R.K., Kunyupiyeva G.T., Ospanbayev Z.H., Sembayeva A.S., Ibash N.D., Mustafaev M.G., Khidirov A.E., 2023. Structural-aggregate composition and soil water resistance based on tillage regimes in southeast Kazakhstan. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, vol. 55, no. 5, pp. 1821-1830, DOI: 10.54910/sabrao2023.55.5.33.

Информация об авторах

И. Н. Ильинская – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, Федеральный Ростовский аграрный научный центр (346735, Ростовская область, Аксайский р-н, п. Рассвет, ул. Институтская, д. 1), izidaar@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7876-1622;

А. В. Мищенко – научный сотрудник, Федеральный Ростовский аграрный научный центр (346735, Ростовская область, Аксайский р-н, п. Рассвет, ул. Институтская, д. 1), 85maw@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0529-9959.

Information about the authors

I. N. Ilyinskaya – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Federal Rostov Agricultural Research Centre (346735, Rostov Region, Aksaysky District, p. Rassvet, Institutskaya Street, 1), izidaar@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7876-1622;

A. V. Mishchenko – Researcher, Federal Rostov Agricultural Research Centre (346735, Rostov Region, Aksaysky District, p. Rassvet, Institutskaya Street, 1), 85maw@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0529-9959.

Вклад авторов: И. Н. Ильинская – формирование цели и задач исследований, формулирование выводов, анализ результатов, статистическая обработка данных, написание статьи. А. В. Мищенко – проведение исследований, анализ результатов, написание статьи.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: I. N. Ilyinskaya – formation of the purpose and objectives of research, formulation of conclusions, analysis of results, statistical data processing, writing an article. A. V. Mishchenko – conducting research, analyzing results, writing an article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.07.2025; одобрена после рецензирования 05.11.2025; принята к публикации 18.11.2025.

The article was submitted 23.07.2025; approved after reviewing 05.11.2025; accepted for publication 18.11.2025.