

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ПРИЕМОВ АГРОТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ ЦЧР

И. И. Гуреев, доктор технических наук, заведующий лабораторией севооборотов и адаптивных агротехнологий, gureev06@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5995-3322;

А. В. Гостев, доктор сельскохозяйственных наук, директор, gostev@kurskfarc.ru, ORCID ID: 0000-0001-7043-1525;

Л. Б. Нитченко, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, Nitchenko58@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8744-6130;

В. А. Лукьянов, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, lukyanov27@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1764-4083;

С. В. Хлюпина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, sveta46agro@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1864-0455;

И. А. Прущик, младший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, kursk.iva@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-7737-7397

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Курский федеральный аграрный научный центр»,

305021, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70б; e-mail: kurskfarc@mail.ru

Озимая пшеница является основной зерновой культурой в Центрально-Черноземном регионе. Цель исследований заключалась в оценке влияния приемов основной обработки почвы и доз минеральных удобрений в севооборотах на урожайность, качество зерна и экономическую эффективность производства зерна озимой пшеницы в условиях ЦЧР. Исследования проводили в 2016–2020 гг. на опытном поле ФГБНУ «Курский ФАНЦ» на склоне северной экспозиции. Схема опыта содержала севообороты (зернопаропропашной, зернотравяно-пропашной, зернотравяной), приемы основной обработки почвы (вспашка, дискование, безотвальное рыхление), минеральные удобрения (безудобрений, одинарная $N_{20}P_{40}K_{40}$ и двойная $N_{40}P_{80}K_{80}$ дозы). В результате исследований установлено преимущество в урожайности зернопаропропашного севооборота над зернотравяно-пропашным и зернотравяным. Урожайность озимой пшеницы в зернотравянопропашном севообороте была ниже в среднем на 10,2 %, в зернотравяном – на 15,8 % по сравнению с зернопаропропашным. Применение приемов минимизации основной обработки почвы способствовало снижению урожайности озимой пшеницы, содержанию клейковины, белка и натуры зерна по сравнению со вспашкой. С внесением минеральных удобрений все показатели качества зерна улучшались. Наиболее высокая урожайность культуры – 4,63 т/га получена в зернопаропропашном севообороте при вспашке почвы с дозой удобрений $N_{40}P_{80}K_{80}$. Расчеты экономической эффективности применяемых технологий показали, что себестоимость зерна более низкая (4,44 тыс. руб./т) при дисковании почвы в зернотравянопропашном севообороте с внесением дозы удобрений $N_{20}P_{40}K_{40}$. При этом прибыль составила 19,85 тыс. руб./га, уровень рентабельности – 125,2 %. В среднем по опыту минимальной себестоимости зерна соответствует доза удобрения $N_{32}P_{64}K_{64}$.

Ключевые слова: озимая пшеница, севооборот, обработка почвы, минеральные удобрения, урожайность, качество зерна, черноземные почвы, экономическая эффективность.

Для цитирования: Гуреев И. И., Гостев А. В., Нитченко Л. Б., Лукьянов В. А., Хлюпина С. В., Прущик И. А. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы при минимизации приемов агротехники в условиях ЦЧР // Зерновое хозяйство. 2023. Т. 15, № 4. С. 91–101. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-91-101.



WINTER WHEAT PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY WHILE MINIMIZING AGRICULTURAL TECHNIQUES IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

I. I. Gureev, Doctor of Technical Sciences, head of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, gureev06@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5995-3322;

A. V. Gostev, Doctor of Agricultural Sciences, director, gostev@kurskfarc.ru, ORCID ID: 0000-0001-7043-1525;

L. B. Nitchenko, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, Nitchenko58@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8744-6130;

V. A. Lukiyanov, Candidate of Biological Sciences, researcher of the of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, lukyanov27@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1764-4083;

S. V. Khlyupina, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, sveta46agro@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1864-0455;

I. A. Prushchik, junior researcher of the of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, kursk.iva@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-7737-7397

Federal State Budgetary Scientific Institution "Kursk Federal Agricultural Research Center", 305021, Kursk, Karl Marks Str., 70b; e-mail: kurskfarc@mail.ru

Winter wheat is the main grain crop in the Central Blackearth region. The purpose of the current study was to estimate the effect of basic tillage practices and doses of mineral fertilizers in crop rotations on the productivity, grain quality and economic efficiency of winter wheat grain production in the conditions of the Central Blackearth region. The study was carried out on the experimental field of the FSBSI "Kursk FARC" on the slope of the northern exposure in 2016–2020. The scheme of the trial included crop rotations (grain-fallow, grain-grass-fallow, grain-grass), primary tillage methods (plowing, disking, non-moldboard plowing), mineral fertilizers (without fertilizers, single $N_{20}P_{40}K_{40}$ and double $N_{40}P_{80}K_{80}$ doses). As a result of the study, there has been established productivity advantage of the grain-fallow crop rotation over the grain-grass-fallow and grain-grass crop rotation. Winter wheat productivity in the grain-grass crop rotation has decreased on an average of 10.2 %, in the grain-grass it has reduced on 15.8 %, compared with the grain-fallow crop rotation. The minimization of primary tillage methods in most cases has contributed to a decrease of winter wheat productivity, content of gluten, protein, and grain nature weight, compared with plowing. The introduction of mineral fertilizers has contributed to the improvement of all indicators of winter wheat grain quality. The largest yield of 4.63 t/ha was obtained in a grain-fallow crop rotation when plowing the soil with a fertilizer dose of $N_{40}P_{80}K_{80}$. Calculations of the economic efficiency of the applied technologies have shown that the cost price of winter wheat grain was lower (4.44 thousand rubles/t) when disking soil in a grain-grass crop rotation with the application of a fertilizer dose $N_{20}P_{40}K_{40}$. At the same time, the profit has amounted to 19.85 thousand rubles/ha, the level of profitability was 125.2 %. The minimum cost price of winter wheat grain was found in the variant with a fertilizer dose of $N_{32}P_{64}K_{64}$.

Keywords: winter wheat, crop rotation, tillage, mineral fertilizers, productivity, grain quality, blackearth soil, economic efficiency.

Введение. За последние семь лет производство сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации увеличилось на 15 %, а продуктов питания – более чем на 25 %. По основным группам продовольствия внутренний рынок полностью обеспечен продуктами собственного производства, а по отдельным позициям (например, по зерну и подсолнечно-му маслу) спрос покрыт с избытком, в связи с чем возник высокий экспортный потенциал России.

Согласно долгосрочному прогнозу социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г. средняя урожайность зерновых культур в стране должна обеспечить устойчивый валовой сбор зерна на 145–155 млн т и его экспорт на уровне 40–60 млн т в год. Реализация этого прогноза возможна при условии, что на 75 % площади посевов зерновых культур (более 37,5 млн га) сельскохозяйственное производство будет вестись по инновационным ресурсосберегающим технологиям с интенсивным применением удобрений и средств химической мелиорации. С другой стороны, рост урожайности сельскохозяйственных культур должен быть тесно связан с сохранением, восстановлением и повышением плодородия земель сельскохозяйственного назначения, а также их рационального использования при соблюдении технологий производства и обеспечении биологической безопасности территории Российской Федерации (Сычев, 2019; Дубовик и др., 2019).

В настоящее время озимая пшеница является основной экономико-образующей культурой в отрасли земледелия России, которую возделывают на площади более 15 млн га. Себестоимость производства зерна ежегодно увеличивается из-за повышения цен на горюче-смазочные материалы, удобрения, средства защиты растений и т.д., что приводит к снижению рентабельности возделывания озимой пшеницы. Поэтому в производстве полевых культур сельскохозяйственным предприятиям становится актуальным применять ресур-

сосберегающие технологии (Turebayeva et al., 2022; Семенюк и др., 2019).

В соответствии с конкретными почвенно-климатическими условиями необходимо разработать региональные адаптивные технологические приемы, направленные на снижение затрат. Добиться этого возможно путем внедрения в производство энергосберегающих обработок почвы, научно-обоснованных севооборотов и оптимальных доз удобрений (Wozniak and Rachon, 2020).

Обработка почвы направлена в первую очередь на сохранение и накопление влаги, разуплотнение и очистку почвы от вредных организмов (Esaulko et al., 2018). По многочисленным исследованиям, снижению энергетических затрат в 1,5–2 раза, а материальных примерно на 30 % по сравнению с традиционной обработкой способствует минимизация обработок с применением комбинированной почвообрабатывающей техники.

Одним из главных факторов реализации потенциала урожайности озимой пшеницы является оптимизация системы удобрений, которая состоит в синергии на фоне эффективно выстроенных севооборотов. Такой подход позволяет наиболее продуктивно использовать питательные вещества почвы и удобрений с учетом биологических особенностей культур, а также их способности оставлять после себя и накапливать элементы питания в почве. От предшественников в значительной мере зависит наличие влаги в почве, дружность всходов, фитосанитарное состояние, урожайность и качество зерна (Merzlaya et al., 2021).

По современным представлениям, лучший предшественник, способствующий формированию оптимального урожая озимой пшеницы с хорошими показателями качества зерна – черный пар. Но иногда черный пар экономически невыгоден. Установлено (Прокина и Пугаев, 2022), что при возделывании культуры на черноземе обыкновенном лучшими предшественниками озимой пшеницы, помимо черного пара, могут быть бобовые травы – люцерна третьего года пользования, го-

рох, подсолнечник и кукуруза на силос. В этом отношении научно обоснованные севообороты, максимально адаптированные к местным условиям с достаточной долей восстанавливающих почву культур, имеют первостепенное значение в стабилизации ее плодородия.

Цель исследований – оценка влияния обработок почвы, доз минеральных удобрений в севооборотах на урожайность, качество зерна и экономическую эффективность производства зерна озимой пшеницы в условиях ЦЧР.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в 2016–2020 гг. в опытном поле ФГБНУ «Курский ФАНЦ» на склоне северной экспозиции (с. Панино, Курская область, Медвенский район). Схема опыта содержала следующие факторы:

– севооборот (фактор А): зернопаропропашной (озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – кукуруза (*Zéa máys*) на зеленый корм – ячмень (*Hordeum vulgare*) – чистый пар); зернотравянопропашной (озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – кукуруза (*Zéa máys*) на зеленый корм – ячмень (*Hordeum vulgare*) + эспарцетпесчаный (*Onobrychis arenaria*) – эспарцетпесчаный (*Onobrychis arenaria*) первого года пользования; зернотравяной (озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – ячмень (*Hordeum vulgare*) + эспарцетпесчаный (*Onobrychis arenaria*) – эспарцетпесчаный (*Onobrychis arenaria*) первого года пользования – эспарцетпесчаный (*Onobrychis arenaria*) второго года пользования);

– приемы основной обработки почвы (фактор В): вспашка на глубину 20–22 см (МТЗ-1221 + ПНО-4-35), дискование на глубину 8–10 см (МТЗ-82 + АДН-2,5), безотвальное рыхление на глубину 20–22 см (МТЗ-82 + ПБ-4-35);

– минеральные удобрения (фактор С): без удобрений, одинарная ($N_{20}P_{40}K_{40}$) и двойная ($N_{40}P_{80}K_{80}$) дозы.

Опыт заложен методом расщепленных деленок, площадь которых составляла 280 м². Повторность двукратная. Сорт озимой пшеницы Синтетик (оригинатор – ФГБНУ «Белгородский

ФАНЦ РАН»), норма высева семян 5 млн шт./га. Урожайность учитывали методом прямой механизированной уборки. Качество зерна определяли в соответствии со стандартами: содержание клейковины – ГОСТ Р 54478-2011, содержание белка – ГОСТ 10846-91, натура зерна – ГОСТ 10840-64. Статистическую обработку результатов исследований проводили по методике Б. А. Доспехова (2014).

Почва опытного участка – чернозем типичный среднесуглинистый среднегумусный. Исходные характеристики пахотного слоя имели следующие показатели: содержание гумуса – 6,0 % (ГОСТ 26213-91), pH солевой вытяжки – 6,4 (ГОСТ 26483-85), Нг – 3,84 мг-экв. на 100 г почвы (ГОСТ 26212-91), содержание щелочногидролизующего азота – 17,0 мг/100 г (метод Корнфилда), подвижного фосфора – 10,3 мг/100 г (ГОСТ 26204-91), подвижного калия – 8,8 мг/100 г почвы (ГОСТ 26204-91).

Агрометеорологические условия в период посева и осенней вегетации озимой пшеницы по годам исследований характеризовались повышенным температурным режимом и дефицитом осадков. Гидротермические условия (ГТК) по Селянинову с августа по сентябрь были засушливые в 2015 г. (ГТК = 0,80) и очень засушливые в 2019 г. (ГТК = 0,64). Условия осенней вегетации для озимой пшеницы оказались неблагоприятными, растения ушли в зиму слабо развитыми, что впоследствии негативно сказалось на урожайности. В период весенне-летней вегетации культуры гидротермические условия с мая по июль были избыточно увлажненными в 2016 г. (ГТК = 1,60), в 2020 г. (ГТК = 1,70).

Результаты и их обсуждение. Урожайность озимой пшеницы является важным показателем эффективности сельскохозяйственного производства и зависит от применяемых агротехнологий. Анализ полученных экспериментальных данных (табл. 1) показал, что определяющее влияние на урожайность культуры оказали минеральные удобрения – 88,4 %. Доля влияния севооборотов составила 10,0 %, обработок почвы – 1,2 %.

Таблица 1. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от приемов основной обработки почвы и доз минеральных удобрений в севооборотах (2016–2020 гг.)
Table 1. Winter wheat productivity depending on primary tillage methods and mineral fertilizer doses in crop rotations (2016–2020)

Севооборот (фактор А)	Обработка почвы (фактор В)	Уровень минерального питания (фактор С)			
		Урожайность, т/га			
		без удобрений	$N_{20}P_{40}K_{40}$	$N_{40}P_{80}K_{80}$	среднее
Зернопаро- пропашной	Вспашка	2,79	4,17	4,63	3,86
	Дискование	2,60	3,97	4,60	3,72
	Безотвальное рыхление	2,72	3,67	4,55	3,65
	Средняя	2,70	3,94	4,59	3,74
Зернотравяно- пропашной	Вспашка	2,61	3,63	4,28	3,51
	Дискование	2,26	3,57	4,08	3,30
	Безотвальное рыхление	2,21	3,52	4,12	3,28
	Средняя	2,36	3,57	4,16	3,36
Зернотравяной	Вспашка	2,38	3,46	3,82	3,22
	Дискование	2,17	3,42	3,89	3,16
	Безотвальное рыхление	2,13	3,35	3,71	3,06
	Средняя	2,23	3,41	3,81	3,15

Продолжение табл. 1

Севооборот (фактор А)	Обработка почвы (фактор В)	Уровень минерального питания (фактор С)			
		Урожайность, т/га			
		без удобрений	N ₂₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₈₀ K ₈₀	среднее
Среднее	Вспашка	2,59	3,75	4,24	3,53
	Дискование	2,34	3,65	4,19	3,39
	Безотвальное рыхление	2,35	3,51	4,13	3,33
	Средняя	2,43	3,64	4,19	3,42
НСП ₀₅ , т/га		A = 0,11; B = 0,11; C = 0,11; AB = 0,20; AC = 0,20; BC = 0,20; ABC = 0,34			
Доля влияния факторов, %		A = 10,0; B = 1,2; C = 88,4; AB = 0; AC = 0,2; BC = 0,1; ABC = 0,1			

Урожайность озимой пшеницы в зернопаропропашном севообороте составила в среднем 3,74 т/га: в зернотравянопропашном – 3,36 т/га, что на 10,2 % ниже среднего; в зернотравяном – 3,15 т/га, или на 15,8% ниже. Различия в урожайности, полученной в изучаемых севооборотах, достоверны на 5-процентном уровне значимости при НСП₀₅ = 0,11 т/га.

Полученные данные сопоставимы с научными работами других авторов, в которых показано преимущество пара по сравнению с непаровыми предшественниками при возделывании озимой пшеницы. Так, в работе Акименко и др. (2023) установлено, что по мере повышения дозы удобрений урожайность озимой пшеницы ежегодно возрастала после всех предшественников, но особенно выделялся черный пар, при котором в среднем за 2016–2022 гг. с дозой удобрений N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ получена наиболее высокая урожайность – 6,31 т/га.

При изучении влияния способов обработки почвы на урожайность зерновых культур важно учитывать климатические особенности регионов России, вследствие чего степень минимизации обработок в отдельных регионах приводит как к повышению, так и снижению урожайности (Золотухин и Потаракин, 2018).

В условиях зернопаропропашного севооборота без использования удобрений получена урожайность озимой пшеницы на вспашке 2,79 т/га, на безотвальном рыхлении – 2,72 т/га и на дисковании – 2,60 т/га. Снижение урожайности при дисковании по сравнению со вспашкой достоверно составило 0,19 т/га. Различия по урожайности между вспашкой и безотвальным рыхлением в варианте без удобрений оказались незначимыми. Урожайность культуры значимо снизилась вследствие минимизации обработок при внесении удобрений в дозе N₂₀P₄₀K₄₀. По сравнению со вспашкой снижение составило 0,2 при дисковании и 0,5 т/га при безотвальном рыхлении. Различия в урожайности между изучаемыми приемами обработки почвы с использованием дозы N₄₀P₈₀K₈₀ оказались незначимыми.

Влияние минеральных удобрений в зернопаропропашном севообороте обеспечило достоверную прибавку урожайности озимой пшеницы по сравнению с неудобренным фоном. При внесении N₂₀P₄₀K₄₀ урожайность на вспаханном фоне составила 4,17 т/га, при дисковании –

3,97 т/га и самой низкой была при безотвальном рыхлении – 3,67 т/га. С внесением N₄₀P₈₀K₈₀ урожайность озимой пшеницы достигла 4,63, 4,60, 4,55 т/га соответственно. Прибавки урожайности в сравнении с неудобренным фоном при внесении N₂₀P₄₀K₄₀ составили по вспашке 1,38, дискованию – 1,37, безотальному рыхлению – 0,95 т/га. При внесении N₄₀P₈₀K₈₀ прибавки урожайности возросли до 1,84, 2,0 и 1,83 т/га соответственно.

В зернотравянопропашном севообороте на неудобренном контрольном варианте на вспашке урожайность составила 2,61, на дисковании – 2,26 и на безотвальном рыхлении – 2,21 т/га. Урожайность достоверно различалась при внесении N₂₀P₄₀K₄₀ между вспашкой и безотвальным рыхлением (0,11 т/га); при внесении N₄₀P₈₀K₈₀ – между вспашкой и безотвальным рыхлением (0,16 т/га); между вспашкой и дискованием (0,20 т/га). Влияние минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы в зернотравянопропашном севообороте больше проявилось при безотвальном рыхлении почвы и дисковании – прибавки были равными 1,31 т/га при дозе N₂₀P₄₀K₄₀, 1,91 и 1,82 т/га при дозе N₄₀P₈₀K₈₀, тогда как при вспашке – 1,02 и 1,67 т/га соответственно по дозам удобрений. В зернотравянопропашном севообороте урожайность озимой пшеницы была выше при вспашке с дозой удобрений N₄₀P₈₀K₈₀ и составила 4,28 т/га.

В зернотравяном севообороте наибольшая урожайность озимой пшеницы получена при дисковании с дозой удобрений N₄₀P₈₀K₈₀ – 3,89 т/га, наименьшая при безотвальном рыхлении в варианте без удобрений – 2,13 т/га. При минимизации обработок почвы различия со вспашкой по урожайности недостоверные при дозе удобрений N₂₀P₄₀K₄₀ и достоверные – в варианте без удобрений и при дозе N₄₀P₈₀K₈₀. Прибавки урожайности от внесения минеральных удобрений составили: по вспашке – 1,08, дискованию – 1,25, безотальному рыхлению – 1,22 т/га при дозе N₂₀P₄₀K₄₀; соответственно 1,44, 1,72, 1,58 т/га при дозе N₄₀P₈₀K₈₀.

Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы (табл. 2) определялось преимущественно влиянием минеральных удобрений и обработок почвы. Доля влияния минеральных удобрений составила 58,9 %, обработок почвы – 21,8 %, севооборотов – 4,6 %.

Таблица 2. Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы в зависимости от приемов основной обработки почвы и доз минеральных удобрений в севооборотах (2016–2020 гг.)
Table 2. Gluten content in winter wheat grain depending on primary tillage methods and mineral fertilizer doses in crop rotations (2016–2020)

Севооборот (фактор А)	Обработка почвы (фактор В)	Уровень минерального питания (фактор С)			
		Содержание клейковины, %			
		без удобрений	N ₂₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₈₀ K ₈₀	среднее
Зернопаро-пропашной	Вспашка	21,6	24,2	24,8	23,5
	Дискование	21,4	22,4	23,1	22,3
	Безотвальное рыхление	21,5	22,2	24,3	22,7
	Средняя	21,5	22,9	24,1	22,8
Зернотравяно-пропашной	Вспашка	19,3	23,1	24,5	22,3
	Дискование	17,1	22,9	23,3	21,1
	Безотвальное рыхление	21,3	22,3	23,5	22,4
	Средняя	19,2	22,8	23,8	21,9
Зернотравяной	Вспашка	22,6	23,6	23,3	23,2
	Дискование	17,0	18,9	23,6	19,8
	Безотвальное рыхление	22,2	23,3	24,6	23,4
	Средняя	20,6	21,9	23,8	22,1
Среднее	Вспашка	21,2	23,6	24,2	23,0
	Дискование	18,5	21,4	23,3	21,1
	Безотвальное рыхление	21,7	22,6	24,1	22,8
	Средняя	20,4	22,5	23,9	22,3
НСР ₀₅ , %		А = 1,4; В = 1,4; С = 1,4; АВ = 2,4; АС = 2,4; ВС = 2,4; АВС = 4,2			
Доля влияния факторов, %		А = 4,6; В = 21,8; С = 58,9; АВ = 4,9; АС = 3,0; ВС = 3,3; АВС = 3,5			

В зерне озимой пшеницы, выращенной без применения минеральных удобрений, содержание клейковины было минимальным и варьировало в севооборотах от 17,0 до 22,6 %. Внесение минеральных удобрений способствовало повышению содержания клейковины в зерне озимой пшеницы на фоне N₂₀P₄₀K₄₀ до 18,9–24,2 %, на фоне N₄₀P₈₀K₈₀ – до 23,1–24,8 %. Наименьшее содержание клейковины (в среднем 21,1 %) получено при дисковании, наибольшее (23,0 %) – при вспашке.

В зернопаропропашном севообороте содержание клейковины по сравнению с вариантом без удобрений достоверно возросло в среднем при внесении N₂₀P₄₀K₄₀ на 1,4 %, при внесении N₄₀P₈₀K₈₀ – на 2,6 %; в зернотравянопропашном – на 3,6 и 4,6 %; в зернотравяном – на 1,3 и 3,2 % соответственно. Наибольшее содержание клейковины (24,8 %) получено в зернопаропропашном севообороте при вспашке на фоне внесения N₄₀P₈₀K₈₀.

Применение приемов минимизации основной обработки почвы во многих случаях способствовало снижению содержания клейкови-

ны в зерне озимой пшеницы по сравнению со вспашкой. В зернопаропропашном севообороте в варианте с внесением одинарной дозы удобрений N₂₀P₄₀K₄₀ достоверное снижение содержания клейковины происходило при дисковании (на 1,8 %) и безотвальном рыхлении (на 2,0 %); в варианте с двойной дозой удобрений N₄₀P₈₀K₈₀ – при дисковании (на 1,7 %) по сравнению со вспашкой. В зернотравянопропашном севообороте в варианте без внесения удобрений содержание клейковины достоверно снижалось на 2,2 % при дисковании и повышалось на 2,0 % при безотвальном рыхлении по сравнению со вспашкой. В зернотравяном севообороте в вариантах без удобрений и дозой N₂₀P₄₀K₄₀ снижение содержания клейковины при дисковании по сравнению со вспашкой было более существенным – на 5,6 и 4,7 % соответственно.

Содержание белка в зерне озимой пшеницы (табл. 3) определялось в основном влиянием минеральных удобрений (51,0 %) и обработок почвы (26,0 %), взаимодействия севооборота и обработок почвы (11,1 %).

Таблица 3. Содержание белка в зерне озимой пшеницы в зависимости от приемов основной обработки почвы и доз минеральных удобрений в севооборотах (2016–2020 гг.)
Table 3. Protein content in winter wheat grain depending on primary tillage methods and mineral fertilizer doses in crop rotations (2016–2020)

Севооборот (фактор А)	Обработка почвы (фактор В)	Уровень минерального питания (фактор С)			
		Содержание белка, %			
		без удобрений	N ₂₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₈₀ K ₈₀	среднее
Зернопаро-пропашной	Вспашка	12,4	12,9	13,1	12,8
	Дискование	12,4	12,6	12,8	12,6

Продолжение табл. 3

Севооборот (фактор А)	Обработка почвы (фактор В)	Уровень минерального питания (фактор С)			
		Содержание белка, %			
		без удобрений	N ₂₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₈₀ K ₈₀	среднее
Зернотравяно-пропашной	Безотвальное рыхление	12,3	12,5	12,9	12,6
	Средняя	12,4	12,7	12,9	12,7
	Вспашка	11,5	13,1	13,5	12,7
	Дискование	10,8	13,0	13,2	12,3
	Безотвальное рыхление	12,5	12,8	13,2	12,8
Зернотравяной	Средняя	11,6	13,0	13,3	12,6
	Вспашка	12,8	13,3	13,3	13,1
	Дискование	10,9	11,4	12,6	11,6
	Безотвальное рыхление	12,8	13,2	13,6	13,2
	Средняя	12,2	12,6	13,2	12,6
Среднее	Вспашка	12,2	13,1	13,3	12,9
	Дискование	11,4	13,3	13,2	12,2
	Безотвальное рыхление	12,5	12,8	13,2	12,9
	Средняя	12,1	12,8	13,1	12,6
НСР ₀₅ , %		А = 0,4; В = 0,4; С = 0,4; АВ = 0,7; АС = 0,7; ВС = 0,7; АВС = 1,2			
Доля влияния факторов, %		А = 0,1; В = 25,9; С = 51,0; АВ = 11,1; АС = 6,3; ВС = 3,0; АВС = 2,6			

Влияние фактора обработок почвы на качественные показатели зерна минимальное по сравнению с факторами минерального питания, севооборота и защиты растений. Солодовников и Левкина (2020) отмечают, что в их исследованиях способы основной обработки почвы не оказывали влияния на содержание белка в зерне озимой пшеницы, а количество сухой клейковины снижалось на 0,6 % по минимальной обработке и на 0,7 % по безотвальному рыхлению по сравнению с контролем. В исследованиях Pashtetsky et al. (2021) более высокие показатели качества зерна получены по паровому предшественнику. Кроме этого, оптимальные дозы удобрений позволили увеличить от 10,1 до 12,7 % содержание белка в зерне озимых пшеницы и ячменя, а также ярового ячменя.

Согласно нашим исследованиям, в зернопаропропашном севообороте в варианте без удобрений содержание белка было достоверно больше, в среднем на 0,8%, по сравнению с зернотравянопропашным севооборотом и не различалось существенно с зернотравяным севооборотом. В удобренных вариантах различия в содержании белка между севооборотами в среднем были недостоверными. В неудобренном варианте зернопаропропашного севооборота содержание белка (12,3–12,4 %) по приемам основной обработки почвы существенно не различалось. В зернотравянопро-

пашном севообороте при безотвальном рыхлении, вспашке и дисковании содержание белка составило соответственно 12,5, 11,5 и 10,8 %. В зернотравяном севообороте при вспашке и безотвальном рыхлении содержание белка было равным 12,8 %, при дисковании оно уменьшилось до 10,9 %. Достоверны различия по содержанию белка между вспашкой и дискованием в зернотравянопропашном (0,7 %) и зернотравяном (1,9 %) севооборотах; между вспашкой и безотвальным рыхлением в зернотравянопропашном севообороте (1,0 %).

Применение удобрений – основное условие формирования высоких и качественных урожаев зерновых культур. По результатам наших исследований, на фоне без внесения минеральных удобрений отмечали во всех севооборотах минимальное содержание белка в зерне озимой пшеницы (10,8–12,8 %). При внесении минеральных удобрений содержание белка было больше: при дозе N₂₀P₄₀K₄₀ – 11,4–13,3 %, при дозе N₄₀P₈₀K₈₀ – 12,6–13,6 %. Прибавка содержания белка при внесении N₂₀P₄₀K₄₀ составила 0,2–2,2 %, при внесении N₄₀P₈₀K₈₀ – 0,4–2,4 %. Наибольшее его количество (13,6 %) получено на фоне внесения N₄₀P₈₀K₄₀ в зернотравяном севообороте при безотвальном рыхлении.

Натура зерна озимой пшеницы (табл. 4) определялась преимущественно влиянием минеральных удобрений (71,0 %).

Таблица 4. Натура зерна озимой пшеницы в зависимости от приемов основной обработки почвы и доз минеральных удобрений в севооборотах (2016–2020 гг.)

Table 4. Winter wheat grain nature weight depending on primary tillage methods and mineral fertilizer doses in crop rotations (2016–2020)

Севооборот (фактор А)	Обработка почвы (фактор В)	Уровень минерального питания (фактор С)			
		Натура зерна, г/л			
		без удобрений	N ₂₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₈₀ K ₈₀	среднее
Зернопаро-пропашной	Вспашка	732	735	745	737
	Дискование	730	742	743	738

Продолжение табл. 4

Севооборот (фактор А)	Обработка почвы (фактор В)	Уровень минерального питания (фактор С)			
		Натура зерна, г/л			
		без удобрений	N ₂₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₈₀ K ₈₀	среднее
Зернопаропропашной	Безотвальное рыхление	725	727	737	730
	Средняя	729	735	742	735
	Вспашка	729	731	736	732
	Дискование	730	731	736	732
	Безотвальное рыхление	730	730	737	732
Зернотравяной	Средняя	730	730	736	732
	Вспашка	727	736	742	735
	Дискование	731	731	737	733
	Безотвальное рыхление	729	731	739	733
	Средняя	729	733	739	734
Среднее	Вспашка	730	733	741	735
	Дискование	730	735	739	735
	Безотвальное рыхление	728	729	738	732
	Средняя	729	732	739	734
НСР ₀₅ , г/л		А = 3; В = 3; С = 3; АВ = 5; АС = 5; ВС = 5; АВС = 8			
Доля влияния факторов, %		А = 6,0; В = 8,7; С = 71,0; АВ = 7,2; АС = 3,4; ВС = 1,6; АВС = 2,1			

Натура зерна озимой пшеницы в среднем была достоверно выше в зернопаропропашном севообороте (735 г/л) по сравнению с зернотравянопропашным (732 г/л) и была практически равной с натурой зерна в зернотравяном севообороте (734 г/л). По сравнению со вспашкой достоверным было снижение натуры зерна при безотвальном рыхлении (в среднем на 3 г/л), и практически равной натура зерна была при вспашке и дисковании (735 г/л). Внесение минеральных удобрений в дозе N₂₀P₄₀K₄₀ способствовало достоверному повышению натуры зерна при вспашке и дисковании в зернопаропропашном (на 3 и 12 г/л) и вспашке в зернотравяном (на 9 г/л) по сравнению с вариантом без удобрений. При внесении N₄₀P₈₀K₈₀ натура зерна повышалась достоверно по всем изучаемым вариантам. Прибавки были больше в зернопаропропашном севообороте – 13, 13 и 12 г/л, в зернотравяном составили 15, 6 и 10 г/л, в зернотравянопропашном были самые низкие – 7, 6 и 7 г/л соответ-

ственно по вспашке, дискованию, безотвальному рыхлению. По сравнению с вариантом без удобрений (729 г/л) в среднем при внесении N₂₀P₄₀K₄₀ повышение натуры зерна составило 3 г/л (732 г/л), при внесении N₄₀P₈₀K₈₀ – 10 г/л (739 г/л).

Одними из важнейших показателей экономической эффективности, наиболее полно характеризующих деятельность сельскохозяйственного производства, являются себестоимость, прибыль и рентабельность. Чем ниже себестоимость произведенной продукции и выше прибыль и уровень рентабельности, тем эффективнее производство.

Анализ результатов расчета экономической эффективности показал, что прямые затраты при возделывании озимой пшеницы в зернопаропропашном севообороте были выше на 9,2–12,0 % по сравнению с ее возделыванием в зернотравянопропашном и зернотравяном севооборотах (табл. 5).

Таблица 5. Экономическая эффективность производства зерна озимой пшеницы (2016–2020 гг.)
Table 5. Economic efficiency of winter wheat grain production (2016–2020)

Экономические показатели	Вспашка			Дискование			Безотвальное рыхление		
	без удобрений	N ₂₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₈₀ K ₈₀	без удобрений	N ₂₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₈₀ K ₈₀	без удобрений	N ₂₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₈₀ K ₈₀
Зернопаропропашной севооборот									
Урожайность зерна, т/га	2,79	4,17	4,63	2,60	3,97	4,60	2,72	3,67	4,55
Стоимость продукции, тыс. руб./га	27,90	41,70	46,30	26,00	39,70	46,00	27,20	36,70	45,50
Прямые затраты, тыс. руб./га	17,54	20,12	22,80	15,45	18,03	20,71	15,82	18,40	21,08
Себестоимость зерна, тыс. руб./т	6,29	4,83	4,92	5,94	4,54	4,50	5,82	5,01	4,63
Прибыль, тыс. руб./га	10,36	21,58	23,50	10,55	21,67	25,29	11,38	18,30	24,42
Рентабельность, %	59,0	107,2	103,1	68,2	120,2	122,1	71,9	99,5	115,9
Зернотравянопропашной севооборот									
Урожайность зерна, т/га	2,61	3,63	4,28	2,26	3,57	4,08	2,21	3,52	4,12
Стоимость продукции, тыс. руб./га	26,10	36,30	42,80	22,60	35,70	40,80	22,10	35,20	41,20
Прямые затраты, тыс. руб./га	15,77	17,94	20,44	13,67	15,85	18,35	14,04	16,22	18,72

Продолжение табл. 5

Экономические показатели	Вспашка			Дискование			Безотвальное рыхление		
	без удобрений	$N_{20}P_{40}K_{80}$	$N_{40}P_{80}K_{80}$	без удобрений	$N_{20}P_{40}K_{80}$	$N_{40}P_{80}K_{80}$	без удобрений	$N_{20}P_{40}K_{80}$	$N_{40}P_{80}K_{80}$
Себестоимость зерна, тыс. руб./т	6,04	4,94	4,78	6,05	4,44	4,50	6,35	4,61	4,54
Прибыль, тыс. руб./га	10,33	18,36	22,36	8,93	19,85	22,45	8,06	18,98	22,48
Рентабельность, %	65,6	102,3	109,4	65,3	125,2	122,4	57,4	117,0	120,1
Зернотравяной севооборот									
Урожайность зерна, т/га	2,38	3,46	3,82	2,17	3,42	3,89	2,13	3,35	3,71
Стоимость продукции, тыс. руб./га	23,80	34,60	38,20	21,70	34,20	38,90	21,30	33,50	37,10
Прямые затраты, тыс. руб./га	15,77	17,94	20,44	13,67	15,85	18,35	14,04	16,22	18,72
Себестоимость зерна, тыс. руб./т	6,62	5,19	5,35	6,30	4,63	4,72	6,59	4,84	5,04
Прибыль, тыс. руб./га	8,03	16,66	17,76	8,03	18,35	20,55	7,26	17,28	18,38
Рентабельность, %	51,0	92,8	86,9	58,7	115,8	112,0	51,7	106,5	98,2

При возделывании озимой пшеницы в зернопаропропашном севообороте себестоимость зерна составила от 4,50 до 6,29 тыс. руб./т, прибыль – от 10,36 до 25,29 тыс. руб./га, рентабельность от 59,0 до 122,1%; в зернотравянопропашном – от 4,44 до 6,35 тыс. руб./т, от 8,06 до 22,48 тыс. руб./га, от 57,4 до 125,2%; в зернотравяном – от 4,63 до 6,62 тыс. руб./т, от 7,26 до 20,55 тыс. руб./га, от 51,0 до 115,8 % соответственно.

Прямые затраты по вспашке были самыми высокими. В зернопаропропашном севообороте они составили 17,54–22,80 тыс. руб./га, в зернотравянопропашном и зернотравяном – 15,77–20,44 тыс. руб./га. При дисковании почвы прямые затраты в среднем ниже на 10,5 %, безотвальном рыхлении – ниже на 8,6 %. Прямые затраты возрастали с использованием минеральных удобрений по изучаемым обработкам почвы с дозой $N_{20}P_{40}K_{80}$ на 2,17–2,58 тыс. руб./га, с дозой $N_{40}P_{80}K_{80}$ – на 4,68–5,26 тыс. руб./га по сравнению с вариантами без удобрений.

В изучаемых севооборотах в вариантах без применения минеральных удобрений в большинстве случаев наблюдалась более высокая себестоимость зерна, низкая прибыль и рентабельность производства. Наиболее низкая себестоимость зерна озимой пшеницы (4,44 тыс. руб./т) при дисковании почвы в зернотравянопропашном севообороте с внесением дозы удобрений $N_{20}P_{40}K_{80}$, прибыль составила 19,85 тыс. руб./га, а уровень рентабельности – 125,2 %. В зернопаропропашном севообороте наименьшая себестоимость зерна 4,50 тыс. руб./т соответствовала дискованию почвы с дозой удобрений $N_{40}P_{80}K_{80}$. Прибыль составила 25,29 тыс. руб./га, уровень рентабельности – 122,1 %. В зернотравяном севообороте более низкая себестоимость зерна – 4,63 тыс. руб./т при дисковании почвы с дозой удобрений $N_{20}P_{40}K_{80}$, прибыль составила 18,35 тыс. руб./га, уровень рентабельности – 115,8 %.

Научно обоснованное использование удобрений дает явный экономический эффект. По данным Шаповалова и др. (2022), применение различных доз удобрений в опыте при возделывании пшеницы, несмотря на увеличение затрат (на 9,8–50,7 %), приводило к снижению себестоимости зерна на 477–1535 руб./т, росту прибыли на 2998–21382 руб./га и повышению уровня рентабельности на 2,5–43,1 %.

Таким образом, определяющим фактором, оказывающим наиболее значимое влияние на урожайность, качество зерна и, соответственно, его себестоимость, является удобрение. Поэтому представляет интерес взаимосвязь удобрения с основными агроэкономическими показателями производства зерна.

На рисунке приведены средние эмпирические значения урожайности и себестоимости зерна в зависимости от дозы удобрения, которые с достоверностью $R^2 = 1$ аппроксимируются следующими параболическими выражениями:

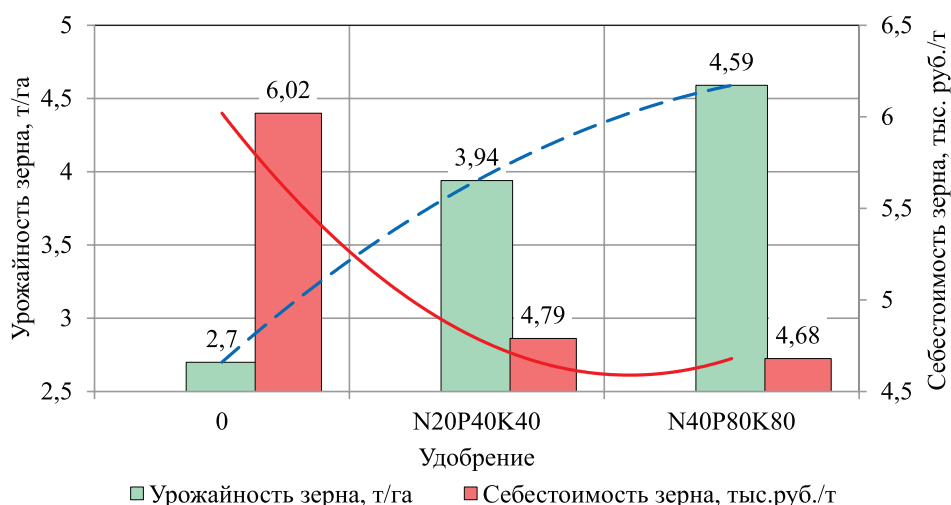
$$Y = -2,95 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0154x + 2,7 \text{ т/га};$$

$$C = 5,6 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0179x + 6,02 \text{ тыс. руб./т};$$

где Y – урожайность зерна озимой пшеницы, т/га; C – себестоимость зерна, тыс. руб./т; x – доза минерального удобрения в действующем веществе, кг/га.

Кривая урожайности культуры изменяется по выпуклой параболе, свидетельствующей о том, что с увеличением дозы удобрения урожайность возрастает, но прибавка урожайности имеет тенденцию к снижению. При этом себестоимость зерна с ростом дозы удобрения снижается по вогнутой параболе, имеющей минимум в точке:

$$\partial C / \partial x = 11,2 \cdot 10^{-5}x - 0,0179 = 0.$$



Средние урожайность и себестоимость зерна озимой пшеницы в зависимости от дозы удобрения
Mean productivity and cost price of winter wheat grain depending on the fertilizer dose

Откуда среднее значение дозы удобрения, соответствующее минимальной себестоимости зерна озимой пшеницы, $x = N_{32}P_{64}K_{64}$. С увеличением дозы удобрения выше $N_{32}P_{64}K_{64}$ урожайность зерна продолжает повышаться, но стоимость величины прибавки урожайности недостаточна для того, чтобы окупить затраты на возрастающие дозы удобрения. Поэтому себестоимость зерна начинает повышаться.

Выводы. В результате исследований установлено преимущество зернопаропропашного севооборота над зернотравянопропашным и зернотравяным. Урожайность озимой пшеницы в зернотравянопропашном севообороте в среднем за годы проводимых исследований была ниже на 10,2 %, в зернотравяном – на 15,8 % по сравнению с зернопаропропашным. Наиболее высокие урожайность культуры (4,63 т/га), содержание клейковины (24,8 %) и натура зерна (745 г/л) получены в зернопаропропашном севообо-

роте при вспашке почвы с дозой удобрения $N_{40}P_{80}K_{80}$. Максимальное содержание белка в зерне (13,6 %) соответствовало зернотравяному севообороту при безотвальном рыхлении почвы и внесении $N_{40}P_{80}K_{40}$. Применение приемов минимизации основной обработки почвы способствовало снижению урожайности озимой пшеницы, содержания клейковины, белка и натуры зерна по сравнению со вспашкой. Все показатели зерна улучшались с внесением минеральных удобрений. Минимальная себестоимость его (4,44 тыс. руб./т) при дисковании почвы в зернотравянопропашном севообороте с внесением $N_{20}P_{40}K_{40}$. При этом прибыль составила 19,85 тыс. руб./га, уровень рентабельности – 125,2 %. В среднем по опыту минимальной себестоимости зерна соответствует доза удобрения $N_{32}P_{64}K_{64}$.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания № FGZU-2022-0005.

Библиографические ссылки

1. Акименко А.С., Свиридов В.И., Дудкина Т.А., Вавин В.Г., Долгополова Н.В. Обоснование направления интенсификации производства зерна в севооборотах лесостепи Центрального Черноземья // Земледелие. 2023. № 1. С. 3–7. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-1-3-7.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Дубовик Д.В., Лазарев В.И., Айдиев А.Я., Ильин Б.С. Эффективность различных способов основной обработки почвы и прямого посева при возделывании озимой пшеницы на черноземных почвах // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 12. С. 26–29. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11205.
4. Золотухин А.И., Потаракин С.В. Техничко-экономическое обоснование различных способов основной обработки почвы под озимую пшеницу в условиях Орловской области // Вестник аграрной науки. 2018. № 3(72). С. 36–42. DOI: 10.15217/issn2587-666X.2018.3.36.
5. Прокина Л.Н., Пугаев С.В. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от предшественников, удобрений и известкования // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23, № 3. С. 318–326. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.318-326.
6. Семенюк О.В., Оганян Л.Р., Суркова Е.В. Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы с применением жидких комплексных органоминеральных удобрений // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 76. С. 85–90. DOI: 10.21515/1999-1703-76-85-90.
7. Солодовников А.П., Левкина А.Ю. Влияние способов обработки почвы и агрохимикатов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Саратовском Заволжье // Аграрный научный журнал. 2020. № 3. С. 29–35. DOI: 10.28983/asj.y2020i3pp29-35.

8. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 327 с.
9. Шаповалова Н.Н., Оганян Л.Р., Воропаева А.А. Влияние минеральных удобрений на экономическую эффективность производства зерна озимой пшеницы в технологии прямого посева в условиях Ставропольского края // Зерновое хозяйство России. 2022. № 1(79). С. 83–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-83-88.
10. Esaulko A.N., Sigida M.S., Golosnoy E.V., Ozheredova A.Y., Korostylev S.A. Management of nitrogen fertilizing of winter wheat in no-till technology // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9, № 6. P. 1916–1920.
11. Merzlaya G., Afanasyev R.A., Mukhina M., Mozharova I., Bereznov A., Astarkhanova T., Zargar M. Comparative efficiency of organic, mineral and organo-mineral fertilizer on soil properties and crops // Research on crops. 2021. Vol. 22, № 4. P. 841–848. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.139.
12. Pashtetsky V.S., Turin E.N., Zhenchenko K.G. Optimal doses of fertilizer application against the background of resource-saving soil cultivation technologies in the Steppe zone of Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Article number: 062011. DOI: 10.1088/1755-1315/640/6/062011.
13. Turebayeva S., Zhapparova A., Yerkin A., Aisakulova K., Yesseyeva G., Bissembayev A., Salnikov E. Productivity of rainfed winter wheat with direct sowing and economic efficiency of diversified fertilization in arid region of South Kazakhstan // Agronomy. 2022. Vol. 12, № 1. Article number: 111. DOI: 10.3390/agronomy12010111.
14. Wozniak A., Rachon L. Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties // Agriculture. 2020. Vol. 10, № 9. P. 1–12. DOI: 10.3390/agriculture10090405.
15. Zhao Y., Chen Y., Dai H., Cui J., Wang L., Sui P. Effects of organic amendments on the improvement of soil nutrients and crop yield in sandy soils during a 4-year field experiment in Huang-Huai-Hai plain, Northern China // Agronomy. 2021. Vol. 11, № 1. Article number: 157. DOI: 10.3390/agronomy11010157.

References

1. Akimenko A.S., Sviridov V.I., Dudkina T.A., Vavin V.G., Dolgoplova N .V. Obosnovanie napravleniya intensivatsii proizvodstva zerna v sevooborotakh lesostepi Tsentral'nogo Chernozem'ya [Substantiation of the direction of grain production intensification in crop rotations of the forest-steppe of the Central Blackearth region] // Zemledelie. 2023. № 1. S. 3–7. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-1-3-7.
2. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Dubovik D.V., Lazarev V.I., Aidiev A. Ya., Il'in B.S. Effektivnost' razlichnykh sposobov osnovnoi obrabotki pochvy i pryamogo poseva pri vozdeleyvanii ozimoi pshenitsy na chernozemnykh pochvakh // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019. T. 33, № 12. S. 26–29. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11205.
4. Zolotukhin A.I., Potarakin S.V. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie razlichnykh sposobov osnovnoi obrabotki pochvy pod ozimuyu pshenitsu v usloviyakh Orlovskoi oblasti [The efficiency of various methods of primary tillage and direct sowing in winter wheat cultivation on blackearth soils] // Vestnik agrarnoi nauki. 2018. № 3(72). S. 36–42. DOI: 10.15217/issn2587-666X.2018.3.36.
5. Prokina L.N., Pugaev S.V. Urozhainost' ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot predshestvennikov, udobrenii i izvestkovaniya [Feasibility study of various methods of primary tillage for winter wheat in the conditions of the Oryol region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2022. T. 23, № 3. S. 318–326. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.318-326.
6. Semenyuk O.V., Oganyan L.R., Surkova E.V. Ekonomicheskaya effektivnost' vozdeleyvaniya ozimoi pshenitsy s primeneniem zhidkikh kompleksnykh organomineral'nykh udobrenii [Economic efficiency of winter wheat cultivation with the use of liquid complex organic and mineral fertilizers] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. № 76. S. 85–90. DOI: 10.21515/1999-1703-76-85-90.
7. Solodovnikov A.P., Levkina A. Yu. Vliyanie sposobov obrabotki pochvy i agrokhimikatov na urozhainost' i kachestvo zerna ozimoi pshenitsy v Saratovskom Zavolzh'e [The effect of soil tillage methods and agrochemicals on productivity and grain quality of winter wheat in the Saratov Zavolzhye] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2020. № 3. S. 29–35. DOI: 10.28983/asj.y2020i3pp29-35.
8. Sychev V.G. Sovremennoe sostoyanie plodorodiya pochv i osnovnye aspekty ego regulirovaniya [The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation]. M.: RAN, 2019. 327 s.
9. Shapovalova N.N., Oganyan L.R., Voropaeva A.A. Vliyanie mineral'nykh udobrenii na ekonomicheskuyu effektivnost' proizvodstva zerna ozimoi pshenitsy v tekhnologii pryamogo poseva v usloviyakh Stavropol'skogo kraia [The effect of mineral fertilizers on the economic efficiency of winter wheat grain production in the technology of direct sowing in the conditions of the Stavropol Territory] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. № 1(79). S. 83–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-83-88.
10. Esaulko A.N., Sigida M.S., Golosnoy E.V., Ozheredova A.Y., Korostylev S.A. Management of nitrogen fertilizing of winter wheat in no-till technology // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9, № 6. P. 1916–1920.
11. Merzlaya G., Afanasyev R.A., Mukhina M., Mozharova I., Bereznov A., Astarkhanova T., Zargar M. Comparative efficiency of organic, mineral and organo-mineral fertilizer on soil properties and crops // Research on crops. 2021. Vol. 22, № 4. P. 841–848. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.139.
12. Pashtetsky V.S., Turin E.N., Zhenchenko K.G. Optimal doses of fertilizer application against the background of resource-saving soil cultivation technologies in the Steppe zone of Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Article number: 062011. DOI: 10.1088/1755-1315/640/6/062011.

13. Turebayeva S., Zhapparova A., Yerkin A., Aisakulova K., Yesseyeva G., Bissembayev A., Saljnikov E. Productivity of rainfed winter wheat with direct sowing and economic efficiency of diversified fertilization in arid region of South Kazakhstan // *Agronomy*. 2022. Vol. 12, № 1. Article number: 111. DOI: 10.3390/agronomy12010111.

14. Wozniak A., Rachon L. Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties // *Agriculture*. 2020. Vol. 10, № 9. P. 1–12. DOI: 10.3390/agriculture10090405.

15. Zhao Y., Chen Y., Dai H., Cui J., Wang L., Sui P. Effects of organic amendments on the improvement of soil nutrients and crop yield in sandy soils during a 4-year field experiment in huang-huai-hai plain, Northern China // *Agronomy*. 2021. Vol. 11, № 1. Article number: 157. DOI: 10.3390/agronomy11010157.

Поступила: 19.04.23; доработана после рецензирования: 23.05.23; принята к публикации: 23.05.23.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Гуреев И. И. – планирование главных этапов полевых исследований, разработка концепции исследований, подготовка рукописи; Гостев А. В. – анализ данных и их интерпретация; Нитченко Л. Б. – подготовка данных, анализ и оценка влияния приемов обработки почвы, расчет экономической эффективности, подготовка рукописи; Лукьянов В. А. – обоснование актуальности исследований, анализ экономической эффективности, оценка влияния удобрений, подготовка рукописи; Хлюпина С. В. – подготовка данных и оценка влияния севооборотов; Прущик И. А. – выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.