

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени И. Т. ТРУБИЛИНА»

На правах рукописи



Гречищев Дмитрий Сергеевич

ВЛИЯНИЕ МИНИМИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И МИНЕРАЛЬНЫХ
УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО И
ПРОДУКТИВНОСТЬ ПШЕНИЦЫ ОЗИМОЙ В РАВНИННОМ
АГРОЛАНДШАФТЕ ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент
Терехова Светлана Серафимовна

Краснодар – 2026

СОДЕРЖАНИЕ	С.
ВВЕДЕНИЕ	3
1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	
1.1 Ростовые процессы и урожайность при различных системах обработки почвы	10
1.2 Изменение урожайности пшеницы озимой при внесении минеральных удобрений	32
2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	
2.1 Характеристика почвенно-климатических условий района исследований	50
2.2 Погодные условия в период проведения эксперимента	52
2.3 Методика полевого исследования и агротехника в опыте	57
3. ИЗМЕНЕНИЕ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ, ПРОДУКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ (РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ)	
3.1 Агрегатный состав	62
3.2 Запасы продуктивной влаги в почве	81
3.3 Динамика изменения твердости почвы	91
3.4 Засоренность посевов	97
3.5 Межфазный период, густота стояния и высота растений озимой пшеницы	105
3.6 Площадь листьев и фотосинтетический потенциал	116
3.7 Урожайность и ее структура	125
4. АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ДОЗ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	154
ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ	158
ПЕРСПЕКТИВА ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	159
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	160
ПРИЛОЖЕНИЯ	180

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Южный регион РФ традиционно выступает главной житницей страны, формируя основу экспортного потенциала российской пшеницы. Однако уборочная кампания 2025 года выявила тревожные тенденции, так как урожайность в регионе снизилась на 13–22% по сравнению с предыдущим годом, а валовые сборы в некоторых районах (например, на севере Краснодарского края) оказались втрое ниже потенциально возможных. В этих условиях даже незначительное падение продуктивности в масштабах Юга оборачивается потерями миллионов тонн зерна, что делает поиск путей стабилизации урожаев задачей государственной важности.

Это указывает на фундаментальное противоречие: высокопродуктивные сорта пшеницы (особенно полукарликовые и интенсивного типа), созданные селекционерами Национального центра зерна им. П. П. Лукьяненко, не способны реализовать свой генетический потенциал (11–13 т/га) без точного соблюдения системы минерального питания и влагообеспечения. Исследования последних лет однозначно доказывают, что эффективность использования удобрений и влаги находится в прямой зависимости.

Для Юга России, характеризующегося частыми засухами, критически важным является не просто увеличение доз удобрений, а их синхронизация с фазами развития растений и доступной влагой (84).

В текущих экономических реалиях (высокая стоимость кредитных ресурсов, экспортные пошлины, диспаритет цен на технику и готовую продукцию) вынуждает сельхозпроизводителей искать баланс между затратами на удобрения и потенциальной прибавкой урожая. Это требует научно-обоснованных рекомендаций не по максимальным, а по экономически оптимальным дозам удобрений, которые обеспечат стабильный урожай.

Сокращение площадей под пшеницей в стране и переход на более рентабельные масличные культуры нарушают устоявшиеся севообороты. Это ставит новые задачи перед системой подготовки почвы. Так как, после пропашных предшественников запасы влаги в метровом слое почвы могут

быть катастрофически низкими, что требует дифференциации приемов основной обработки для максимального накопления и сохранения влаги.

Актуальность настоящего диссертационного исследования обусловлена необходимостью разрешения противоречия между высоким биологическим потенциалом современных сортов пшеницы и экономико-климатическими ограничениями Юга России. Разработка научно-обоснованной системы подготовки почвы и дифференцированных доз удобрений, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям макрорегиона, является ключевым условием стабилизации производства зерна, сохранения плодородия почв и обеспечения рентабельности сельскохозяйственного производства в условиях нарастающих погодных и экономических рисков. И так, изучение комплекса факторов, направленных на разработку энергосберегающих технологий для перспективных сортов озимой пшеницы остается актуальным.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в адаптацию и модернизацию агротехнологий возделывания озимой пшеницы применительно к условиям юга России принадлежит плеяде ученых: Л.А. Беспаловой (2022), Н.Г. Малюге (2014), Б.И. Тарасенко (1987), В.П. Василько (2018, 2022), А.А. Квашин (2011) и другим исследователям. В их научных изысканиях находился широкий спектр технологических аспектов. Это определение научно обоснованных доз внесения удобрений, уточнение календарных сроков сева, совершенствование систем обработки почвы, разработка оптимальных норм высева и способов посева, а также изучение специфики уборочных работ. Особое внимание уделялось вопросам влияния культуры на поддержание и воспроизводство плодородия кубанских черноземов Шеуджен А. Х. (2010).

Цель исследования: научное обоснование и разработка оптимальных параметров приемов обработки почвы и уровня минерального питания, обеспечивающих реализацию продуктивного потенциала сортов озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Западного Предкавказья.

Задачи исследований:

1. Провести анализ агроклиматических условий в годы проведения исследований и оценить их влияние на ростовые процессы и продуктивность озимой пшеницы.
2. Изучить в условиях мониторинга влияние различных приемов обработки почвы (отвальной, безотвальной, минимальной, нулевой) на агрофизические свойства почвы (плотность, структуру, влажность) и засоренность посевов.
3. Определить эффективность различных доз и соотношений минеральных удобрений на фоне изучаемых обработок почвы и показать доли взаимодействия факторов.
4. Выявить особенности роста, площади листовой поверхности, фотосинтетической деятельности растений озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от исследуемых факторов.
5. Дать сравнительную оценку продуктивности и качества зерна озимой пшеницы при различных технологиях выращивания.
6. Установить корреляционные связи между площадью листовой поверхности, урожайностью, качеством зерна и изучаемыми агротехническими приемами.
7. Провести экономическую эффективность применения изучаемых агроприемов и разработать рекомендации производству для конкретных почвенно-климатических условий.

Научная новизна. Для условий Западного Предкавказья в многофакторном опыте на черноземе выщелоченном разработаны теоретические и практические технологии возделывания озимой мягкой пшеницы интенсивного типа сорта Алексеич с биологической потенциальной урожайностью 130 ц/га по самому гумусоразрушающему предшественнику – сахарной свекле.

В ходе комплексного эксперимента получены оригинальные данные, позволяющие разработать приемы возделывания озимой пшеницы.

Установлено, что применение данных приемов обеспечивает высокую продуктивность и качество зерна. Определены доли влияния изучаемых факторов на формирование урожая в конкретных условиях.

Впервые для региона выявлены закономерности формирования качества зерна озимой пшеницы в зависимости от изучаемых агроприемов.

Экспериментально доказано, что замена традиционной отвальной вспашки на поверхностную обработку, совместно с дозами минеральных удобрений не снижает продуктивность сорта озимой пшеницы Алексеич, но способствует снижению энергозатрат.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость исследования базируется на углублении научных представлений о механизмах продуктивности озимой пшеницы в зависимости от изучаемых факторов. Выявленные в ходе эксперимента закономерности, расширяют теоретическую базу агрономии, в части реакций сорта на условия минерального питания и агроприемов. Установлены корреляционные связи между уровнем минерального фона питания и отзывчивостью озимой пшеницы на изменения пахотного горизонта почвы. Доказано, что характер взаимодействия в системе «обработка почвы – удобрение – сорт» определяет не только уровень урожайности, но формирование показателей качества зерна.

Практическая значимость работы состоит в разработке и обосновании параметров агроприемов возделывания озимой пшеницы, обеспечивающей стабильную реализацию потенциала продуктивности современного сорта. Основные результаты представлены в практических рекомендациях производству, включают оптимизацию обработки почвы и дифференциацию минерального питания.

Внедрение разработанных рекомендаций в сельскохозяйственных предприятиях региона позволит повысить рентабельность производства озимой пшеницы.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Дифференцированные приемы обработки почвы под озимую пшеницу и уровни минерального питания в условиях Западного Предкавказья.
2. Агрофизические показатели чернозема выщелоченного при возделывании озимой пшеницы при различных агроприемах.
3. Фитосанитарное состояние посевов и засоренность посевов озимой пшеницы в зависимости от вариантов опыта.
4. Закономерности формирования продукционного процесса у озимой пшеницы в зависимости от приемов обработки почвы и уровня минерального питания.
5. Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы при разных приемах обработки почвы и дозах минеральных удобрений в условиях Западного Предкавказья.

Степень достоверности и апробации результатов исследований.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, подтверждается методологией исследования, базирующейся на фундаментальных положениях агрономической науки и трудах ведущих ученых в области растениеводства, земледелия и физиологии растений.

Исследования проведены в течение трех лет на опытной станции КубГАУ в условиях многолетнего полевого стационара. Закладка полевых опытов, проведение наблюдений и учетов выполнялись в строгом соответствии с общепринятыми методиками (Доспехов Б.А., 1985; Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 2019). Схема опыта включала контрольные варианты и необходимые градации изучаемых факторов, что позволило выявить закономерности взаимодействия генетических и агротехнических факторов.

Лабораторные анализы выполнялись на поверенном оборудовании с использованием современных методов.

Исследования проводились в динамике, что позволило нивелировать влияние погодных условий и выявить устойчивые закономерности. Выводы базируются на результатах статистической обработки экспериментальных данных.

Основные положения и результаты диссертационной работы прошли широкую научную апробацию и были представлены научному сообществу на различных уровнях.

Основные результаты диссертации доложены и обсуждены на заседании кафедры общего и орошаемого земледелия факультета агрономии и экологии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», а также на конференциях различного уровня: Материалы Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ «Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год» (Краснодар, 2022); Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы современных научных исследований» (Минск, 2025); Международная научно-практическая конференция «Инновационные научные исследования: теория, методология, практика» (Кишинев, 2025).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе 5 статей в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Личный вклад автора заключается в разработке программы исследований, проведении полевых и лабораторных опытов, статистической обработке и интерпретации полученных данных, формулировке заключений и подготовке публикаций.

Структура и объем диссертационной работы. Работа оформлена на 200 страницах машинописного текста и включает введение, четыре главы, заключение, рекомендации производству, список использованной литературы и приложения.

Диссертационная работа включает 21 таблицу, 10 рисунков и 20 приложений. Список использованной литературы включает 167 источников, в том числе 20 – иностранных авторов.

1 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Ростовые процессы и урожайность при различных системах обработки почвы

Производство зерна пшеницы в южных регионах играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности и формировании экспортного потенциала аграрного сектора. Климатические особенности данных территорий, выражающиеся в ограниченном количестве осадков, высокой температуре воздуха в вегетационный период и частых засушливых явлениях, предъявляют повышенные требования к агротехнологиям возделывания культуры [98, 99, 161, 165]. Одним из ключевых элементов системы земледелия является обработка почвы, от эффективности которой зависят условия формирования посевов, влагообеспеченность растений и устойчивость агроэкосистем к деградационным процессам [2, 12, 51, 89, 152].

Современные тенденции развития земледелия ориентированы на снижение антропогенной нагрузки на почвенный покров, рациональное использование ресурсов влаги и сохранение плодородия. В этой связи актуализируется поиск оптимальных систем обработки почвы под пшеницу, адаптированных к условиям южных регионов [4, 14, 15, 30, 90].

Обработка почвы выполняет комплекс функций, связанных с созданием оптимальной структуры пахотного слоя, регулированием водного и воздушного режимов, а также снижением засоренности посевов. Для пшеницы важны рыхлость почвы в зоне размещения корневой системы и наличие доступной влаги в начальные фазы роста. При недостаточном увлажнении эффективность удобрений и других элементов технологии резко снижается, что обуславливает необходимость влагосберегающей направленности агроприемов [50, 67, 85, 129].

Актуальность исследования по обработке почвы обусловлена внутренне присущей сельскохозяйственному производству турбулентностью, которая является следствием сложного переплетения динамичных и слабо прогнозируемых явлений – природно-климатических флуктуаций, конъюнктуры аграрных рынков и векторов государственного регулирования. Данные факторы, находясь вне зоны контроля товаропроизводителей, детерминируют необходимость перманентного поиска и имплементации инновационных систем земледелия, интегрирующих передовые организационные решения и агротехнические практики (Martin G. et al., 2013) [162].

В исторической ретроспективе дилемма выбора оптимальных способов обработки почвы неизменно находилась в эпицентре научных дискуссий. В современном контексте наиболее острым является противостояние адептов традиционной отвальной вспашки и сторонников ресурсосберегающих (безотвальных) технологий. Анализ научной литературы позволяет выделить несколько устоявшихся концептуальных позиций [113, 117].

Это отсутствие универсального подхода к выбору системы обработки, что аргументируется колоссальным разнообразием почвенно-климатических ниш и биологических требований возделываемых культур (Солодун В.И., 2015; Солодун В.И. и др., 2019 [113, 114].

Кроме того, в мировом агропроизводстве доминирует устойчивый вектор перехода к почвозащитным и энергоэффективным технологиям. Положительным фактором данного процесса выступает внедрение высокотехнологичных машинных комплексов, позволяющих консолидировать множество операций в едином технологическом цикле (Солодун В.И., 2015; Солодун В.И. и др., 2019) [113, 114].

Оптимальная стратегия обработки представляет собой разные решения – от глубокой вспашки до технологии No-till, включая широкую вариабельность комбинированных подходов с использованием средств химизации (Солодун В.И., 2015). Так, вершиной эволюции считается

внедрение роботизированных многофункциональных агрегатов, интегрированных с системами спутниковой навигации (ГЛОНАСС) в парадигме «точного земледелия», что позволяет нивелировать различия почвенного плодородия (Солодун В.И. и др., 2019) [100].

Швейцарские исследователи А. Muller и С. Aubert акцентируют внимание на том, что управление почвенным плодородием требует оптимизации всей системы «почва – удобрение», где ключевыми переменными выступают севооборот, тип вносимых удобрений и способ обработки [162, 164]. В странах тропической Азии приоритет отдается мелкомасштабному земледелию как основе продовольственной безопасности и средству существования для значительной части населения (De Costa W. A. J. M. et al., 2006). Для Китая, остро стоящего перед проблемой деградации почв, характерно внедрение травопольных систем на склоновых землях, способствующих аккумуляции питательных элементов и мелиорации физических свойств почвы [153].

Механическая обработка почвы, являясь базисным элементом земледелия, одновременно выступает и наиболее затратной, энергоемкой статьей расходов (до 50–80 кг/га топлива). Помимо позитивного воздействия, обработка генерирует негативные эффекты: техногенная нагрузка уплотняет пахотный и подпахотный горизонты, а интенсивное рыхление интенсифицирует минерализацию гумуса, провоцируя потери азота и эрозионные процессы. В настоящее время перспективными становятся разработки энергоэффективных технологий, минимизирующих издержки. При высоком уровне интенсификации (применение удобрений, пестицидов, мелиорантов) вклад обработки в урожайность снижается до 8–12%, сводя ее роль к технологической функции – инкорпорации агрохимикатов и регуляции водно-воздушного режима (Беленков А.И. и др., 2015; Беленков А.И., 2018) [6].

Современная практика трактует обработку почвы не как инертный и затратный атрибут, а как динамично развивающееся направление.

Дифференциация приемов обработки под конкретные культуры открывает перспективы снижения ресурсоемкости и повышения продуктивности агроценозов. Наряду с севооборотом, обработка остается фундаментом агросистемы, определяя уровень антропогенной нагрузки, противоэрозионную стойкость и машинно-тракторный парк. В экстенсивном земледелии ее роль критически возрастает как инструмента мобилизации потенциального плодородия и фитосанитарной оптимизации [13].

Преимуществами традиционной вспашки является высокое качество разделки тяжелых суглинков и формирование окультуренного слоя; максимальная фитосанитарная эффективность (подавление сорняков, патогенов и вредителей); а также активизация минерализационных процессов, и мобилизация элементов питания. К недостаткам отвальной вспашки относятся высокая энергоемкость и низкая производительность; провокация эрозионных процессов и дефицита влаги; деструкция органического вещества и снижение потенциального плодородия [113, 114, 123, 124, 125].

Исследования, проведенные в почвенно-климатической зоне Западного Предкавказья, показали, что традиционная вспашка способствует заметному разрушению структуры почвы: количество комков оптимального размера (0,25–10 мм) снижается по сравнению с вариантом поверхностной обработки, и эта разница подтверждена статистически. Независимо от способа обработки, в подповерхностном слое (20–30 см) наблюдается обеднение почвы ценными агрегатами. Верхний же слой (до 10 см) сохраняет одинаковую плотность при всех технологиях. Обращает на себя внимание эффективность безотвальной обработки: она обеспечила максимальное увлажнение грунта – в среднем 23,1%, что достоверно выше результатов других приемов [50, 131, 132].

Что касается сроков развития озимой пшеницы, то на длину вегетационного периода (от 230 до 245 дней) влияли и погода, и применяемая агротехника, однако ключевую роль сыграла генетика. Сорты Юка, Граф и Тимирязевка 150 стабильно демонстрировали более затяжной цикл развития, и эти отличия от других сортов математически доказаны. Анализ показал, что

на 76% продолжительность вегетации определяется именно сортовыми особенностями. Погодные условия года вносили вклад на уровне 16%, тогда как выбор приема обработки почвы практически не сказывался на сроках созревания культуры [3].

Современные реалии требуют имплементации гибких технологий обработки, адаптированных к биоценозу, ландшафту, засоренности и климату (Плескачев Ю.Н. и др., 2013; Беленков А.И., 2018). В научном сообществе отсутствует консенсус относительно полной замены отвального плуга нулевыми технологиями. Дискуссия сохраняет актуальность, а эмпирическая база для тотального перехода на No-till в большинстве агрозон оценивается как недостаточная [6, 100]

К положительным факторам нулевых систем можно отнести, это выраженный противоэрозионный эффект и почвозащита; повышение производительности и ресурсоэффективности; оптимизация водного баланса и сохранение влаги;

Плотность сложения относится к числу ключевых физических характеристик почвы, определяющих условия ее плодородия. Оптимальные параметры плотности обеспечивают сбалансированное протекание водно-воздушных, питательных и микробиологических процессов, что создает предпосылки для полноценной вегетации озимой пшеницы. Когда равновесная плотность почвы соответствует биологическим требованиям культуры, физиологические процессы протекают без отклонений [82]. В естественных условиях каждый тип почвы характеризуется определенной плотностью, формирующейся под влиянием гравитации и атмосферных осадков при отсутствии антропогенного воздействия (Горянин О.И., 2018) [31].

Для пропашных культур и растений сплошного сева характерны различные интервалы оптимальной плотности. Согласно исследованиям благоприятный диапазон плотности для озимой пшеницы достаточно узок и

составляет 1,27–1,31 г/см³, что наблюдается в полевых условиях при отсутствии механической обработки на протяжении 1–2 лет.

В условиях Заволжья на черноземе обыкновенном оптимум плотности для пшеницы варьирует от 1,0 до 1,25 г/см³, тогда как на черноземе южном и темно-каштановой почве эти показатели несколько выше – 1,2–1,3 г/см³. При подобных значениях складываются наиболее благоприятные соотношения между аэрацией и влагообеспеченностью, необходимые для нормального роста и развития растений. Для условий Среднего Заволжья оптимум плотности пахотного горизонта под озимыми зерновыми (пшеница и рожь) также находится в интервале 1,2–1,3 г/см³ [17, 49].

Ранее показано, что даже незначительное (на 0,1 г/см³) отклонение от оптимальных значений плотности в сторону как увеличения, так и уменьшения ведет к падению продуктивности агроценоза: снижаются масса 1000 зерен, густота стеблестоя, высота растений и озерненность колоса. Плотность почвы выступает важнейшим фактором, определяющим полевую всхожесть и устойчивость растений к неблагоприятным условиям зимнего периода (54). Кроме того, плотность сложения тесно коррелирует с интенсивностью физического испарения.

Наиболее активное развитие корней озимой пшеницы происходит при плотности 1,1–1,25 г/см³. Повышение показателя до 1,35–1,4 г/см³ существенно тормозит рост корневой системы, а при плотности свыше 1,6 г/см³ проникновение корней в почвенную толщу возможно лишь по имеющимся макропорам и трещинам.

Согласно мнению ряда авторов, сокращение глубины и интенсивности обработок при переходе к ресурсосберегающим технологиям сопровождается некоторым повышением плотности, однако данный показатель, как правило, не выходит за границы толерантности озимых культур [57, 60, 83].

Иными исследователями показано, что на черноземных почвах различные системы обработки не оказывают существенного влияния на плотность сложения, особенно в весенний период: различия между вспашкой

и минимальной обработкой не превышали $0,04 \text{ г/см}^3$ [130]. Экспериментальные данные по Среднему Заволжью демонстрируют, что минимальные значения плотности под озимыми весной отмечаются по вспашке – $1,14 \text{ г/см}^3$. Применение лущения и безотвальной обработки на глубину 20–22 см повышало плотность незначительно (в пределах 1,8 %), тогда как мелкая плоскорезная обработка увеличивала данный показатель до 9 %).

Агрономически ценная структура, обеспечивающая рыхлое сложение, способствует дружному прорастанию семян и свободному распространению корней, а также повышает устойчивость почвы к эрозионным процессам. С агротехнической точки зрения оптимальной признается мелкокомковатая и зернистая структура с размером пористых агрегатов от 0,25 до 10 мм [64].

В условиях Ставрополя в фазу весеннего кушения озимой пшеницы содержание глыбистой фракции ($>10 \text{ мм}$) по вспашке составляло 30,5 %, по дискованию – 24,8 %, при прямом посеве – 40,1 %. Содержание агрономически ценных агрегатов (10–0,25 мм) достигало соответственно 63,2; 69,3 и 56,9 %, а фракции менее 0,25 мм – 6,3; 5,9 и 3,0 % [30, 43, 149].

В условиях дерново-подзолистых почв Удмуртской Республики была предпринята попытка оценить границы эффективности минимальных технологий обработки почвы. Исследования 2022–2024 годов показали, что замена классической вспашки на комбинированную систему и прямой посев приводит к значительной трансформации корнеобитаемой среды. Использование фрактального анализа позволило объективно зафиксировать угнетение архитектоники корневой системы при отказе от глубокого рыхления.

Сокращение длины корней со 152,6 см (при вспашке) до 73,9 см (при No-till) напрямую коррелирует с ухудшением физических параметров почвы. Фиксируется рост плотности сложения до критических значений ($1,44 \text{ г/см}^3$) и падение влагозапасов в метровом слое на 20 мм по сравнению со вспашкой. Масса корней в слое 0–20 см при минимизации снизилась в 1,4 раза, что в

итоге отразилось и на урожайности. Наибольшая продуктивность горчицы белой (1,04 т/га) в опыте была достигнута только при традиционной отвальной системе, что ставит под сомнение целесообразность минимализации обработки на данном типе почв без дополнительных мелиоративных мероприятий [126, 127].

Исследованиями Левкиной А.Ю. и другими показано, что отказ от оборота пласта и снижение интенсивности крошения на этих фонах способствуют увеличению содержания почвозащитных агрегатов. Их доля возрастает на 2,5% относительно минимальной обработки, на 6,4% по сравнению с комбинированным фоном и на 10,9% – с отвальной вспашкой. Сокращение глубины и интенсивности основной обработки статистически значительно повышает (на 4,1%) количество крупных фракций (>10 мм). В то же время отвальная обработка интенсифицирует процессы дезагрегации: содержание микроструктуры (пылеватых частиц) при вспашке достоверно превышает показатели безотвального и минимального фонов на 3,0–5,6% [62, 63].

Уплотнение почвы является сопутствующим фактором ресурсосберегающих технологий. В весенний период плотность сложения пахотного слоя при безотвальном и минимальном воздействии увеличивается на 6 и 11% соответственно. Аналогичная тенденция сохраняется и перед посевом озимой пшеницы, где превышение контроля составляет 7–8%. На варианте с минимальной обработкой в слоях 10–20 и 20–30 см зафиксированы максимальные значения плотности – 1,35 и 1,41 г/см³, что выходит за пределы оптимального диапазона для зерновых культур (1,2–1,3 г/см³) на 0,05 и 0,11 г/см³.

Снижение интенсивности обработки негативно сказывается на водопроницаемости почвы. В паровом поле после первой культивации этот показатель сокращается на 38,2%, а к периоду сева озимой пшеницы разница с контролем нивелируется до 29,3%. Анализ динамики впитывания за трехчасовой период показал, что водопроницаемость снижается наиболее

интенсивно на фоне минимальной обработки (на 42,5% после первой культивации и на 29,8% перед посевом). На контроле (отвальная вспашка) замедление фильтрации составило 31,9 и 35,5% соответственно, при безотвальном рыхлении – 34,0 и 36,0%, при комбинированной обработке – 29,8 и 33,5% [116].

Наиболее благоприятный водный режим за четырехлетний период исследований обеспечило глубокое безотвальное рыхление (Terradig, SSD-4). Накопление влаги в метровом слое на этом варианте было максимальным: в осенний период (октябрь-ноябрь) запасы превышали контроль на 86 м³/га, весной (апрель) – также на 86 м³/га, а в июне – на 34 м³/га. В условиях засушливого Саратовского Заволжья в зернопаропропашном севообороте восстановление влагозапасов метрового слоя в чистых парах, размещаемых после подсолнечника, за осенне-зимний период происходит до уровня 67–71% от наименьшей влагоемкости (НВ) [63].

Исследования показали, что уплотнение почвы является сопутствующим фактором ресурсосберегающих технологий. В весенний период плотность сложения пахотного слоя при безотвальном и минимальном воздействии увеличивается на 6 и 11% соответственно. Аналогичная тенденция сохраняется и перед посевом озимой пшеницы, где превышение контроля составляет 7–8%. На варианте с минимальной обработкой в слоях 10–20 и 20–30 см зафиксированы максимальные значения плотности – 1,35 и 1,41 г/см³, что выходит за пределы оптимального диапазона для зерновых культур (1,2–1,3 г/см³) на 0,05 и 0,11 г/см³ [62, 63].

Снижение интенсивности обработки негативно сказывается на водопроницаемости почвы. В паровом поле после первой культивации этот показатель сокращается на 38,2%, а к периоду сева озимой пшеницы разница с контролем нивелируется до 29,3%. Анализ динамики впитывания за трехчасовой период показал, что водопроницаемость снижается наиболее интенсивно на фоне минимальной обработки (на 42,5% после первой культивации и на 29,8% перед посевом). На контроле (отвальная вспашка)

замедление фильтрации составило 31,9 и 35,5% соответственно, при безотвальном рыхлении – 34,0 и 36,0%, при комбинированной обработке – 29,8 и 33,5%.

Показано, что наиболее благоприятный водный режим за четырехлетний период исследований обеспечило глубокое безотвальное рыхление (Terradig, SSD-4). Накопление влаги в метровом слое на этом варианте было максимальным: в осенний период (октябрь-ноябрь) запасы превышали контроль на 86 м³/га, весной (апрель) – также на 86 м³/га, а в июне – на 34 м³/га. В условиях засушливого Саратовского Заволжья в зернопаропропашном севообороте восстановление влагозапасов метрового слоя в чистых парах, размещаемых после подсолнечника, за осенне-зимний период происходит до уровня 67–71% от наименьшей влагоемкости (НВ) [115, 116].

Регулярное ежегодное перемещение слоев черноземных почв при вспашке и повторяющихся культивациях инициирует деструкцию почвенной структуры, ускоряет процессы дегумификации, способствует развитию эрозионных явлений и других форм деградации почвенного покрова. Ряд исследователей также указывает на экологические и агрофизические риски систематического применения отвальной обработки в условиях короткоротационных севооборотов, акцентируя внимание на необходимости внедрения адаптивных систем земледелия, ориентированных на сохранение и воспроизводство плодородного потенциала почвы [47].

В результате исследований в условиях Воронежской области установлено, что применение удобрений в сочетании с безотвальной обработкой почвы способствовало достоверному увеличению среднего за вегетацию содержания нитратного азота в посевах озимой пшеницы – 27,6 мг/кг.

Максимальное содержание подвижного фосфора (215 мг/кг) и калия (166 мг/кг) в пахотном горизонте отмечено при использовании разноглубинной отвальной обработки. Наибольшее содержание гумуса (5,66% при исходном значении 5,57%) зафиксировано на фоне применения удобрений

в вариантах с разноглубинной отвальной и комбинированной обработками почвы [76, 135].

Поддержание оптимального структурного состояния пахотного слоя рассматривается как ключевое условие устойчивого функционирования агроэкосистем. Комплексные исследования, выполненные в различных природно-климатических зонах, свидетельствуют об отсутствии единого направления изменений структуры почвы под воздействием различных способов обработки, что указывает на выраженную вариабельность получаемых эффектов.

В условиях Кубани проанализировано воздействие агротехнических приемов возделывания озимой пшеницы на параметры листовой поверхности и функциональную активность фотосинтетического аппарата. Изучение проводилось в контексте применения различных систем удобрений и способов обработки почвы. Установлено, что обработка почвы и удобрения выступают ключевыми факторами, определяющими пищевой режим чернозема, что, в свою очередь, служит базисом для роста и вегетации растений. Обосновывается тезис о том, что развитый листовой аппарат играет не менее важную роль, чем корневая система, в процессе формирования высокого и стабильного урожая. Высокий уровень фотосинтетического потенциала напрямую коррелировал с интенсивностью преобразования питательных веществ, обеспечивая активное развитие растений в условиях выщелоченного чернозема [16].

Экспериментальные данные, полученные в Тамбовском НИИСХ и ряде других научных учреждений, показывают, что замещение традиционной отвальной системы ресурсосберегающими технологиями (поверхностной, безотвальной), а также комбинированными вариантами обработки не сопровождается ухудшением агрегатного состояния пахотного горизонта [41]. В ряде работ подчеркивается, что снижение интенсивности механического воздействия на почву, включая переход к безотвальным технологиям и системе no-till, способствует стабилизации и в отдельных случаях улучшению

структурного состояния и водопрочности агрегатов. При этом имеются сведения об отсутствии статистически значимых различий в содержании макроструктурных фракций при сравнении различных способов основной обработки [52, 78, 154, 157]. Анализ полученных данных в условиях Нечерноземной зоны свидетельствует о том, что минимальные показатели засоренности посевов озимой пшеницы достигаются при совокупности следующих факторов, а именно, размещении культуры после гороха, применении поверхностной обработки почвы и последующей обработке гербицидом Пришанс, СЭ (0,6 л/га) на этапе начала трубкования. В данном варианте опыта количество малолетних сорняков зафиксировано на уровне 25,7 экз./м², а многолетних – 2,0 экз./м². Это ниже контрольных значений. Кроме того, зафиксировано существенное снижение вегетативной массы сорной растительности [40, 79, 166].

В рамках изучения оптимизации технологических приемов возделывания озимой пшеницы была установлена в условиях стационара вариабельность урожайности сортов от 52 до 72 ц/га в зависимости от фона обработки почвы и доз аммофоса. Максимальная продуктивность в опыте была достигнута при использовании поверхностной обработки [21].

Доминирующим фактором являлся сортовой потенциал, доля влияния которого варьировала по годам в пределах 58–65%. Дозы аммофоса (10–12%) и приемы обработки почвы (5–8%) оказывали существенно меньшее изолированное воздействие. Однако отмечено, что эффективность обработки почвы повышалась при взаимодействии с определенными сортами.

В проведенном опыте наибольшую продуктивность продемонстрировали сорта озимой пшеницы Алексеич и Тимирязевка 150. Установлено, что для достижения заданного уровня урожайности оптимальной является норма внесения аммофоса в количестве 120 кг/га, тогда как дальнейшее увеличение сопровождается статистически достоверным снижением сбора зерна.

Анализ элементов структуры урожая показал, что масса зерна с одного колоса, помимо значительного влияния сортовых особенностей (в пределах 52–61%), положительно реагировала на замену традиционной отвальной вспашки безотвальными или поверхностными способами обработки. Максимальные значения продуктивной кустистости у всех исследуемых сортов были зафиксированы при поверхностной обработке почвы, причем внесение аммофоса в дозах 80–120 кг/га обуславливало формирование данного показателя на уровне 44–46%. В то же время такой качественный параметр, как масса 1000 зерен, не продемонстрировал существенной вариабельности под воздействием изучаемых агротехнических приемов, что указывает на его преимущественно генетическую детерминированность и стабильность в конкретных условиях опыта.

Результаты длительных стационарных исследований (продолжительностью до 40 лет), проведенных в зернопропашных севооборотах с участием масличных культур, свидетельствуют об относительной стабильности агрегатного состава пахотного горизонта во времени. Вместе с тем установлены направленные изменения его фракционной структуры: систематическое применение мелких обработок приводило к уменьшению доли пылевой фракции в слое 20–30 см и одновременному увеличению содержания агрономически ценных агрегатов; поверхностная обработка способствовала накоплению макроагрегатов в верхней части пахотного слоя; минимальные и поверхностные технологии сопровождалась увеличением доли глыбистой фракции. Применение глубокой отвальной вспашки (30–32 см) вызывало временное повышение содержания комковато-зернистых агрегатов размером 1–3 мм и снижение количества пылевых частиц, однако к концу вегетационного периода пропашных культур данный эффект сглаживался.

В условиях длительного стационарного эксперимента, заложенного на опытных полях Кубанского аграрного университета, проведена оценка влияния различных систем обработки почвы на ее плодородие. Сравнивались

три технологии: отвальная (с варьированием глубины обработки), безотвальная (с периодическим глубоким рыхлением под пропашные культуры) и поверхностная (унифицированная для всех звеньев севооборота). Полученные данные показали высокую чувствительность профиля к характеру обработки: при отвальной вспашке наблюдается перемещение органического вещества в более глубокие горизонты, безотвальная система способствует его аккумуляции в пахотном слое, тогда как поверхностная обработка сопровождается тенденцией к снижению содержания гумуса по всему профилю.

Помимо этого, отсутствие глубокого рыхления обернулось уплотнением почвы, разрушением ее комковатой структуры и снижением влагозапасов. Производственные показатели также оказались не в пользу минимальной обработки: к концу второй ротации севооборота недобор урожая составил 11,7%, а возросшая потребность в химических средствах защиты удорожила продукцию, сделав ее менее конкурентоспособной [25].

Экологичность и эффективность: новые методы обработки почвы, в отличие от традиционных, в полной мере соответствуют задачам сохранения почвенной структуры и борьбы с деградацией. Агрокультура Казахстана, особенно в зонах орошения, требует инновационных подходов, нацеленных на реализацию генетического потенциала растений, бережное расходование ресурсов и повышение плодородия.

Многолетние опыты подтверждают: ресурсосберегающие технологии обеспечивают лучшее качество продукции и снижают ее себестоимость [19].

Ранее проведенными исследованиями, установлено, что максимальные значения коэффициента структурности и доли водопрочных агрегатов формировались при использовании классической отвальной обработки. Снижение интенсивности механического воздействия (мелкие, мульчирующие обработки, прямой посев) в ряде случаев приводило к уменьшению коэффициента структурности, росту содержания глыбистой фракции в горизонтах 10–20 и 20–30 см, а также к распылению

поверхностного слоя. Наряду с этим имеются данные, свидетельствующие о тенденции к увеличению доли агрономически ценных агрегатов и формированию более устойчивой структуры при поверхностной и нулевой обработках [5].

Противоречивыми остаются и результаты исследований, касающиеся динамики плотности сложения пахотного слоя. Значительная часть авторов указывает, что замена отвальной обработки минимальными, безотвальными и комбинированными системами не вызывает переуплотнения почвы и не выводит значения плотности за пределы агрономического оптимума ($1,0\text{--}1,3 \text{ г/см}^3$) [7]. При этом отвальная обработка, как правило, формирует показатели, соответствующие нижней границе оптимальных значений, тогда как при безотвальных и нулевых технологиях плотность приближается к средним и верхним пределам оптимума. Использование мульчирующих минимальных и нулевых технологий в сочетании с органическими источниками биоресурсов в ряде случаев сопровождалось снижением плотности сложения. Установлена зависимость реакции почвы на прямой посев от уровня увлажнения: в засушливых условиях и зоне неустойчивого увлажнения отмечено снижение плотности, тогда как при умеренном увлажнении – ее увеличение [28].

Наряду с этим, в исследованиях, выполненных в ряде регионов, показано, что применение безотвальных орудий, а также мелких, поверхностных и нулевых обработок может приводить к статистически значимому увеличению плотности сложения пахотного слоя и ухудшению агрофизических свойств почвы [149].

Установлено, что продуктивность пшеницы напрямую зависит от сложившихся климатических условий. На неорошаемых почвах сочетание лимитирующих факторов в процессе вегетации растений оказывает неблагоприятное влияние на урожайность культуры и качество урожая. В рамках традиционной технологии возделывания сельскохозяйственных культур обработка почвы основывается на классических принципах

земледелия, предполагающих механическое рыхление. В противоположность этому, нулевая технология предусматривает прямой посев семян в необработанный почвенный слой. При реализации традиционного подхода основная обработка осуществлялась с применением поверхностных, мелких и отвальных способов, тогда как при нулевой технологии полностью исключались какие-либо механические воздействия на почву. В ходе экспериментов дополнительно учитывались агрометеорологические параметры, включая суммарное количество осадков и среднегодовую температуру воздуха.

Результаты многолетних наблюдений показали, что наибольший уровень урожайности озимой пшеницы (6,03 т/га) был достигнут при использовании нулевой технологии. В то же время при традиционной системе поверхностная и отвальная обработки обеспечивали урожайность, уступающую нулевой технологии на 0,33–1,86%, а мелкая обработка снижала данный показатель на 8,08%.

В исследованиях, проведенных в условиях Кубани, установлена выраженная зависимость продуктивности агроценозов от способов обработки почвы и уровня минерального питания. Так при применении прямого посева, отмечено снижение урожайности почти на 40% в сравнении со вспашкой. Необходимо отметить, что различия между вариантами математически достоверно.

При обзоре научной литературы отсутствует консенсус и по вопросу влияния способов основной обработки на запасы доступной влаги. Часть авторов фиксирует снижение интенсивности аккумуляции влаги и эффективности ее использования при переходе к мелким, поверхностным и плоскорезным обработкам, а также при замене глубоких безотвальных обработок на мелкие и прямой посев. В других исследованиях различия по влагозапасам по сравнению с отвальной вспашкой не носили существенного характера. Вместе с тем имеются данные о положительном влиянии глубоких безотвальных и плоскорезных обработок, а также систематических мелких

рыхлений в осенний период под сахарную свеклу на сохранение и накопление почвенной влаги [59, 102].

Относительно отвальной обработки также приводятся разнонаправленные результаты: в ряде работ отмечено накопление влаги к началу весенней вегетации, в других – существенные потери влаги из пахотного и метрового слоев, что в значительной степени обусловлено региональными различиями условий проведения исследований [213, 222]. В ходе исследований было доказано, что агротехника озимой пшеницы, базирующаяся на глубоком рыхлении почвы совместно с внесением органики, способствует максимальной аккумуляции и удержанию доступной влаги в грунте. Лидером по объему накопленной влаги стал участок с применением мелиоративных методов: здесь объем продуктивной влаги в корнеобитаемом слое (один метр) варьировался в пределах от 201 до 1679 м³/га в зависимости от этапа вегетации. Минимальные же показатели влагообеспеченности зафиксированы при использовании энергоресурсосберегающей схемы, где запасы воды в том же горизонте почвы составляли всего от 6 до 1529 м³/га [18, 23, 35].

Исследования показали, что способ обработки залежной почвы существенно влияет на ее структуру. Вспашка (отвальная обработка) способствует увеличению доли микроагрегатов (мельче 0,25 мм) на 3,9–8,8%. Однако при этом содержание ценных в агрономическом плане частиц размером 1–5 мм снижается на 4,4–9,7%, а коэффициент структурности падает в 1,3–1,7 раза по сравнению с исходными показателями залежи. В отличие от этого, безотвальное рыхление ведет к росту крупных макроагрегатов (больше 10 мм) на 5,7%. В то же время, доля фракции 1–5 мм сокращается на 5,4–7,9%, а коэффициент структурности уменьшается в 1,5–1,7 раза относительно залежного состояния.

Существенное улучшение влагообеспеченности агроценозов отмечено при внедрении комбинированных систем основной обработки, а также мелких мульчирующих технологий в севооборотах. Благоприятная динамика запасов

влаги в почве фиксировалась и при использовании нулевых технологий возделывания сельскохозяйственных культур [20].

Избыточная механическая нагрузка на почву способствует разрушению агрегатной структуры, что приводит к ухудшению водопроницаемости и усилению поверхностного испарения. В засушливых условиях подобные изменения негативно отражаются на росте и развитии растений, особенно в критические фазы кущения и выхода в трубку.

Для южных регионов характерны значительные колебания температур, малое количество зимних осадков и неравномерное распределение влаги по сезонам. Преобладающие типы почв обладают высоким естественным плодородием, однако чувствительны к интенсивному механическому воздействию. После глубокого рыхления или отвальной вспашки почвенная поверхность остается мало защищенной от ветровой эрозии, что особенно опасно в периоды суховея [21, 30, 83].

Исследования показали, что перевод залежных земель в оборот методом глубокого рыхления без оборота пласта приводит к резкому ухудшению фитосанитарной обстановки. Количество сорных растений в посевах озимой пшеницы возрастает практически вдвое – в 1,9 раза по сравнению с контролем [66].

Применение интегрированной системы защиты в Нижнем Поволжье в чистом пару демонстрирует высокую эффективность в борьбе с сорной растительностью. Так, на фоне вспашки количество многолетних сорняков сокращается в 2,4 раза, общее число сорняков – в 2,1 раза, а малолетних видов – в 1,2 раза. В среднем общая засоренность снижается в 1,5 раза. При безотвальном рыхлении эффективность несколько ниже, но также значительна: подавление многолетних сорняков достигает 1,7 раза, общее количество сорняков уменьшается в 1,9 раза, а малолетних – в 1,3 раза (в среднем снижение в 1,4 раза [112, 119].

Использование только агротехнических методов ухода за паром на фоне безотвальной обработки ведет к потере 5,3% урожая. Однако включение

полного комплекса мер по уничтожению сорняков в пару при глубоком рыхлении позволяет нивелировать это отставание и получить урожайность, равную контрольным показателям (2,66 т/га). Наилучший результат обеспечивает классическая вспашка в сочетании с комплексным уходом за чистым паром. В этом случае урожайность пшеницы сорта Золушка достигает максимальной отметки в 2,78 т/га, что на 5,3% выше остальных вариантов [66, 136].

В исследованиях, проведенных в условиях Кубани, поднимается проблема фитосанитарного риска при возделывании озимой пшеницы. На примере сорта Алексеич, высеваемого после сахарной свеклы в зоне неустойчивого увлажнения, показано, как технология обработки почвы влияет на засоренность посевов. Приведены данные по структуре и обилию сорняков в разные годы. Сделан ключевой вывод, что прямой посев создает предпосылки для доминирования сорного компонента, в то время как контрольный вариант с традиционной обработкой позволяет сдерживать его развитие.

Несмеяновой М.А. и другими показано, что в условиях Центрального Черноземья дефицит влаги усиливается при формировании плотной корки и уплотненных горизонтов, препятствующих проникновению атмосферных осадков. В связи с этим при выборе системы обработки почвы необходимо учитывать не только агротехнические, но и природно-ландшафтные факторы, включая рельеф и экспозицию склонов. Замена традиционной вспашки на безотвальные способы обработки (дискование и плоскорезное рыхление) приводит к изменению влагообеспеченности посевов подсолнечника. Установлено, что к моменту появления всходов запасы продуктивной влаги при использовании новых технологий возрастают

Однако в условиях дефицита влаги (засухи) эффект от глубокого безотвального рыхления меняется на противоположный. В отличие от вспашки, данный агроприем способствует снижению влагозапасов в фазу

всходов: дефицит влаги в слоях 0–30 см и 0–100 см достигает 2 и 3 мм соответственно [39, 151].

Кроме того, отказ от отвальной обработки влияет на эффективность использования влаги растениями.

Систематическое проведение глубокой отвальной вспашки, как установлено ранее приводит к заделке растительных остатков и частичное уничтожение сорняков. Но показано, что в южных регионах страны при систематическом использовании вспашки может происходить ускоренное разложение органических веществ, а также способствует формированию подпахотного горизонта [24].

Кроме того, открытая после вспашки поверхность становится уязвимой к дефляции. Потери мелкозема под действием ветра приводят к снижению содержания гумуса и ухудшению физико-химических свойств почвы, что в перспективе отражается на продуктивности посевов пшеницы.

В ходе полевого опыта, проведенного в центральной агроклиматической зоне Краснодарского края (Западное Предкавказье). В схеме опыта сравнивались такие агроприемы, как традиционная вспашка, глубокое рыхление (чизелевание), прямой посев по нулевой технологии, а в качестве эталона (контроля) выступало поверхностное дисковое лушение [134]. Установлено, что применяемые способы обработки оказывают статистически значимое влияние на трансформацию агрофизических параметров почвенного профиля. Кроме того, зафиксирована существенная динамика отдельных почвенных характеристик, обусловленная предшественником – сахарной свеклой [64, 109].

Минимальная обработка предполагает сокращение глубины рыхления и количества проходов техники по полю. Сохранение части пожнивных остатков на поверхности способствует формированию мульчирующего слоя, уменьшающего испарение влаги и защищающего почву от перегрева. Такие условия более благоприятны для прорастания семян и развития корневой системы в засушливые годы.

Дополнительным положительным эффектом минимальной обработки является снижение энергетических затрат и уменьшение уплотнения почвы колесами техники. Вместе с тем переход к данной системе требует корректировки фитосанитарных мероприятий, так как уменьшение глубины обработки может способствовать сохранению семенного запаса сорных растений [83, 103, 105, 106,]. Исследования, выполненные в условиях северной части Нечерноземной зоны, показали, что проведение известкования в сочетании с системой подкормок оказывает выраженное влияние на качественные показатели зерна озимой пшеницы сорта Московская 56. Установлено, что раздельное применение органических и минеральных удобрений способствует увеличению содержания белка на 0,3–0,6%. Наиболее значительный эффект достигается при их совместном внесении в полном объеме: концентрация протеина возрастает на 0,9% и достигает 13,7%. В сочетании с уровнем сырой клейковины 30,8% это позволяет отнести полученное зерно ко второму классу в соответствии с требованиями ГОСТ. При этом показатели качества клейковины (ИДК = 75,5–89,5 ед.) на фоне применения карбоната кальция и удобрений несколько снижались по сравнению с контрольным вариантом.

Максимальные значения объемного выхода формового хлеба (860–880 см³) были зафиксированы при внесении полной дозы органоминеральных удобрений, а также при использовании органоминеральных комплексов на известкованных почвах. Полученная хлебопекарная продукция отличалась высокими качественными характеристиками, что подтверждает эффективность данной агротехнологии для производства продовольственного зерна.

Технология прямого посева без предварительной механической обработки направлена на сохранение естественной структуры почвенного профиля. Оставляемые на поверхности растительные остатки выполняют защитную функцию, снижая риск эрозионных процессов и способствуя аккумуляции влаги в осенне-зимний период. В условиях южных регионов

данный подход рассматривается как перспективный элемент устойчивых систем земледелия.

Вместе с тем результативность технологии No-Till в значительной степени определяется уровнем агротехнического обеспечения хозяйства. На начальных этапах ее внедрения возможно временное снижение урожайности, обусловленное трансформацией микробиологических процессов и особенностями минерализации растительных остатков. Дополнительно возрастает значимость применения химических средств защиты растений, что требует строгого соблюдения экологических регламентов.

В условиях Западного Предкавказья сравнительный анализ различных систем обработки почвы при возделывании озимой пшеницы выявил, что наибольшая экономическая эффективность достигается при использовании рекомендуемой и безотвальной технологий. В то же время внедрение нулевой обработки без проведения глубокого рыхления приводит к значительному снижению экономической результативности: величина недополученной прибыли по сравнению с альтернативными системами достигает 18–23 тыс. руб./га.

Максимальный уровень рентабельности и наибольшая прибыль с единицы площади обеспечиваются при поверхностной обработке, что характеризуется исключительно высоким уровнем возврата на вложенные инвестиции, составляющим 184–188%.

Результаты современных исследований подтверждают высокую целесообразность внедрения комбинированных, адаптивных систем обработки почвы. Их ключевая особенность заключается в гибком и дифференцированном сочетании агротехнических приемов, выбор которых определяется погодными условиями вегетационного периода, агрофизическим состоянием почвы и видом предшественника. Так, в засушливые годы приоритет отдается влагосберегающим технологиям, в то время как при высокой степени засоренности агроценоза возможно применение элементов традиционной обработки.

Адаптивный подход позволяет повысить устойчивость агроэкосистем, снизить риски деградации почвенного покрова и обеспечить стабильность урожайности пшеницы в условиях климатической нестабильности.

1.2. Изменение урожайности пшеницы озимой при внесении минеральных удобрений

Юг России (Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская область и др.) относится к ключевым зонам производства озимой пшеницы, где продуктивность культуры определяется сочетанием сортового потенциала, влагообеспеченности и уровня агрофона. Для региона характерны контрасты увлажнения по годам (от благоприятных до засушливых), высокая роль предшественника и заметная неоднородность почвенного плодородия даже в пределах одного хозяйства. В этих условиях удобрения выступают главным управляемым фактором, позволяющим стабилизировать питание в критические фазы (кущение – выход в трубку – налив зерна), повышать эффективность использования влаги (за счет развития листовой поверхности и корней), а также управлять качеством зерна (прежде всего белком и клейковиной) через баланс азотного питания и серы [8, 92, 121, 144, 146].

Озимая пшеница является базовой культурой земледелия Краснодарского края. Она занимает значительные площади и определяет, как валовый сбор зерна, так и продовольственную безопасность региона. Для Кубани характерны высокая продуктивность черноземов, но одновременно с этим отмечается нестабильность влагообеспеченности и температурного режима, а также влияние предшественника и агротехнологий. В этих условиях система удобрения выступает главным управляемым фактором, обеспечивающим реализацию потенциала урожайности и качества зерна (протеин, клейковина), а также поддержание плодородия почв при интенсивном использовании пашни [9, 10, 44, 69, 81, 86].

Исследования в агроландшафтах Западного Предкавказья и сопредельных территорий показывают, что эффективность «минеральной системы удобрения» проявляется не только через прибавку урожая, но и через улучшение условий минерального питания растений в течение вегетации. В работах кубанской школы агрохимии (А.Х. Шеуджен и соавт.) подчеркивается, что оптимизация доз и соотношений NPK на выщелоченных черноземах является ключом к устойчивой продуктивности, а длительное применение систем удобрения связано с изменениями агрохимических показателей почвы [145].

Регулирование минерального питания сельскохозяйственных культур преимущественно осуществляется за счет применения минеральных удобрений. Озимая мягкая пшеница отличается высокой потребностью в элементах минерального питания и выраженной отзывчивостью на их внесение. Установлено, что в период от появления всходов до начала весеннего кущения данная культура усваивает около 22 % азота и 23 % калия от общего максимального объема потребления. При этом как дефицит, так и избыточное поступление указанных элементов питания может оказывать отрицательное влияние на рост и развитие растений [29, 74, 75, 97, 145].

Практически важный вывод южных исследований состоит в том, что наиболее стабильные эффекты достигаются при сочетании основного внесения (чаще Р и К, а также часть N при необходимости) и дробных азотных подкормок по фазам развития с коррекцией по состоянию посевов и погоде [68, 110, 111, 120, 122]. Азотное питание в условиях южных регионов выступает ключевым фактором, определяющим как уровень урожайности, так и качественные характеристики зерна, прежде всего содержание белка и клейковины. Вместе с тем данный элемент минерального питания характеризуется повышенной степенью риска с точки зрения экономической эффективности и экологических последствий, особенно при нарушении оптимальных сроков и форм его внесения [137, 138, 147].

В условиях выщелоченных черноземов Западного Предкавказья стационарные исследования выявили доминирующую роль азотных удобрений в формировании продуктивности озимой пшеницы и улучшении показателей качества зерна. При этом подчеркивается необходимость дифференцированного подхода к определению норм и сроков внесения азота с учетом состояния посевов и агрометеорологических условий конкретного года.

В Северо-Западном регионе изучали, как минеральные и комплексные удобрения влияют на продуктивность озимой пшеницы. Полевые опыты проводили на базе опытного участка ФГБНУ ФНЦ ЛК в Псковской области. За годы исследований урожайность зерна варьировала от 21,4 до 33,6 ц/га, соломы – от 25,3 до 35,5 ц/га.

Обработка семян препаратом «Микромак» на фоне основного минерального питания $N_{40}P_{50}K_{70}$ обеспечила прибавку зерна 2,4 ц/га, а при дополнительной весенней азотной подкормке (N_{20}) – уже 2,8 ц/га. Наиболее выраженный эффект (прирост 3,6–3,8 ц/га) и максимальная агрономическая отдача – 5,7–6,3 кг зерновых единиц на 1 кг действующего вещества NPK – были получены при сочетании фона $N_{40}P_{50}K_{70} + N_{20}$ с предпосевной обработкой семян Микромаком и двукратной внекорневой подкормкой посевов по вегетации комплексным удобрением «Страда N» [18].

В работах, выполненных в условиях недостаточного увлажнения Краснодарского края, показано влияние предшественника и доз минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой мягкой пшеницы. В многофакторных опытах КубГАУ установлена зависимость продуктивности и качества от технологий возделывания и уровня минерального питания; при этом реакция культуры на агрофон варьирует, что обосновывает дифференциацию доз удобрений [83, 134].

Для условий юга Ростовской области показано, что эффективность аммиачной селитры зависит от сроков внесения: варианты осеннего внесения при прекращении вегетации, ранневесенней подкормки по таломерзлой почве

и подкормки в фазу кущения по-разному влияют на урожай и показатели качества. В работах подчеркнута целесообразность подбора сроков азотных подкормок в зависимости от условий года и технологии (в том числе нормы высева). В экспериментах АНЦ «Донской» при возделывании озимой пшеницы по подсолнечнику сравнивались сроки и виды азотных подкормок; показано, что корректный выбор схемы N-питания отражается и на урожайности, и на качестве зерна (через обеспечение азотом в ключевые периоды органогенеза) [91].

Также экспериментальные и производственные данные указывают на высокую результативность подкормок разными формами азотных удобрений (включая аммиачную селитру и КАС), причем экономическая эффективность определяется не только прибавкой урожая, но и себестоимостью внесения, логистикой и технологической совместимостью.

На фоне южных черноземов фосфор и калий часто рассматриваются как элементы поддержания плодородия и обеспечения физиологической устойчивости: развитие корневой системы, энергетический обмен, устойчивость к стрессам и полеганию, лучшая подготовка растений к зимовке. В ряде полевых опытов фиксируется, что включение фосфорно-калийных компонентов (в том числе стартовое внесение при посеве или под предпосевную обработку) повышает отклик на последующие азотные подкормки и улучшает выравненность посевов.

В региональных исследованиях по системам удобрения (в том числе в севооборотах на черноземах выщелоченных) фосфор и калий рассматриваются как элементы, обеспечивающие развитие корневой системы, энергетику и устойчивость растений, а также повышающие эффективность азотного питания при сбалансированном внесении [139, 144]

Отдельное направление – поздние некорневые азотные подкормки, ориентированные прежде всего на качество зерна. В работах анализируется эффективность таких подкормок для различных сортов и условий, что подтверждает: при корректной дозировке и учете погодных ограничений

листовые N-подкормки способны повышать содержание азота/белка в зерне, выступая «тонкой настройкой» технологии в конце вегетации.

Южные исследования подчеркивают, что «универсальной» нормы удобрений для озимой пшеницы не существует. Внесение определяется сочетанием сорта, предшественника, стартовой обеспеченности почвы и влагообеспеченности года. В опытах Западного Предкавказья на сорте Антонина показано влияние уровней плодородия и доз минеральных удобрений на продуктивность (в многофакторных стационарах), что важно для обоснования «ступенчатых» агрофонов и оценки предельной окупаемости доз [83]. В исследованиях, где сравнивались предшественники и фон NPK, отмечались прибавки урожайности и улучшение качества зерна, причем величина эффекта различалась по предшественникам (в том числе по пару и непаровым вариантам).

Для устойчивого земледелия юга России важен не только «разовый» эффект удобрений, но и их вклад в долгосрочную динамику плодородия. На выщелоченных черноземах Ставропольской возвышенности и в Западном Предкавказье в работах показана связь систем удобрения с изменением агрохимических свойств и параметров почвы, что требует мониторинга (pH, содержание подвижных форм P и K, баланс органического вещества) и адаптивного управления дозами. Данные по минеральной системе удобрения на выщелоченных черноземах показывают, что удобрения влияют не только на урожай, но и на условия минерального питания растений и агрохимические параметры почвы; это требует мониторинга и системного подхода к поддержанию плодородия [30, 43].

Переход части хозяйств юга России к No-till/минимальной обработке повышает требования к локализации и синхронизации питания: стартовые дозы и доступность элементов в зоне корней становятся критичнее, а подкормки – более адресными. На производственных примерах (в т.ч. опытные данные по ЮФО) показано, что комбинации припосевного внесения

и дробных подкормок аммиачной селитрой/КАС способны давать существенные прибавки урожая [149].

Продуктивность и качественные характеристики озимой пшеницы находятся в тесной зависимости от системы применения удобрений, что подтверждено многочисленными научными исследованиями (Никульников И.М. и др., 1998; Bilsborrow P. et al., 2013) [102, 150, 159, 167]. Обобщение данных многолетних полевых опытов, проведенных в разнообразных почвенно-климатических зонах Германии (Meyer A., Schnee M., 1984), свидетельствует о том, что вклад почвенного плодородия в формирование предельной урожайности интенсивных сортов достигает 64,0 %, тогда как доля минерального азота составляет 14,0 %. Показано, что определяющее значение для увеличения сбора продукции в зернопропашном севообороте имело применение органических и минеральных туков, в то время как влияние обработки почвы было выражено в меньшей степени.

Внесение минеральных удобрений интенсифицирует ростовые процессы не только у культурных растений, но и у сорной флоры. Особенно активно азотные подкормки стимулируют появление всходов сорняков и ускоряют набор ими надземной биомассы. Применение удобрений приводило к двукратному возрастанию засоренности посевов при отвальной вспашке и к более существенному (в 2,7 раза) – при использовании плоскорезной обработки [107, 108].

В научной и практической среде сложилось устойчивое мнение, что удобрения выступают ключевым фактором достижения высокой производительности зерновых культур, однако это условие эффективно лишь при своевременном и качественном проведении всего комплекса агротехнических мероприятий. Оптимизация технологии возделывания озимой пшеницы под конкретные почвенно-климатические условия, включающая рациональное сочетание минеральных, органических удобрений и мелиорантов (кальцийсодержащих веществ), позволяет существенно

повысить как урожайность зерна, так и его качественные параметры (Трутаева Н.Н. и др., 2020) [22, 26, 128].

В исследованиях С.В. Мухиной с соавторами (2011) наибольшая прибавка урожая озимой пшеницы (1,33 т/га) была зафиксирована при сочетанном внесении в паровом поле минеральных туков, органики и дефеката. Современные стратегии управления минеральным питанием ориентированы не столько на количественное наращивание вносимых удобрений, сколько на совершенствование механизмов поглощения и утилизации питательных элементов растениями. Это достигается путем подбора определенных комбинаций удобрений, выбора оптимальных предшественников, применения рациональных приемов обработки почвы и систем фитосанитарной защиты. Комплексный подход гарантирует высокую отдачу от всей технологии возделывания, результатом чего является значительный рост урожайности и улучшение качества зерна [80]. Учеными разрабатывается инновационная цифровая методика анализа влияния удобрений с различными соотношениями NPK на продуктивность озимой пшеницы в условиях полевых экспериментов. В основе подхода лежит допущение, что урожай и прирост урожайности при внесении удобрений увеличиваются с ростом доз NPK и зависят от «дефицита» урожая относительно его предельного уровня, а также от потенциально достижимого урожая сверх некоторого базового (начального) значения. В результате динамика прибавки урожая описывается дифференциальным уравнением первого порядка.

Для количественной характеристики воздействия отдельных удобрений и факторов роста введен относительный коэффициент их эффективности, для которого выведено простое вычислительное выражение. На основе многолетних полевых данных по сорту озимой пшеницы Мироновская-808, полученных на Смоленской опытной станции ВНИИУА, выполнены расчеты по трем основным элементам питания, определена их сравнительная результативность и показана зависимость урожайности культуры от доз и

соотношений макроэлементов. Полученные прогнозные значения урожая хорошо согласуются с экспериментальными результатами [85].

Формирование высоких и качественных урожаев сельскохозяйственных культур базируется прежде всего на оптимальном обеспечении растений основными элементами питания – азотом, фосфором и калием [22].

Установлено, что эффективность возделывания озимой пшеницы во многом определяется площадью листовой поверхности, которая напрямую зависит от доз минеральных подкормок и обработки регуляторами роста. Развитая листовая мозаика ускоряет фотосинтез, что является основой для высокой зерновой продуктивности. Фотосинтетический потенциал агроценоза также выступает ключевым фактором, детерминирующим качество будущего урожая. Получение зерна высшего класса – магистральная задача отрасли. Минеральное питание культуры реализуется в два этапа: основная заправка почвы (обычно под зяблевую обработку для разложения растительных остатков) и предпосевное внесение аммофоса в дозе P_{20} , обеспечивающее мощный старт корневой системы.

Центральным вопросом физиологии питания растений является определение потребности культуры в элементах-биофилах. Для завершения полного цикла развития и формирования урожая зерна озимой пшенице необходим сбалансированный комплекс макро- и микроэлементов. К числу основных элементов, требующих регулярного восполнения путем корневых и некорневых подкормок, относятся азот, фосфор и калий. Фундаментальную основу органического вещества растений составляют углерод, водород и кислород, ассимилируемые в процессе фотосинтеза из углекислого газа и воды [75].

Помимо базовых элементов, важная роль в метаболизме отводится сере, необходимой для синтеза белков, и кальцию, который интенсифицирует усвоение азота и, как следствие, активизирует фотосинтетические процессы. Для повышения устойчивости к абиотическим стрессам и стимуляции роста существенное значение имеет кремний, характеризующийся высокой

скоростью поглощения и транслокации по тканям растения. Магний и железо являются ключевыми компонентами в биосинтезе хлорофилла и активации ферментных систем, что напрямую коррелирует с накоплением биомассы. Продуктивность агроценозов также детерминируется наличием микроэлементов. Их биологическая роль многоаспектна и заключается в повышении резистентности к фитопатогенам, полеганию, а также в усилении засухо-, жаро- и морозоустойчивости растений [156]. В условиях интенсивного земледелия приоритетной задачей становится определение оптимальных уровней обеспеченности элементами питания и их соотношений, поскольку дисбаланс факторов роста лимитирует урожайность. В частности, дефицит одного элемента может блокировать усвоение другого [155].

Согласно данным агротехнологических исследований, лимитирующие факторы урожайности дифференцируются в зависимости от уровня интенсификации. При формировании урожая на уровне 25-30 ц/га основным ограничителем выступает дефицит азота, обусловленный низкими дозами удобрений. Для достижения более высокой урожайности (50-70 ц/га), обеспечиваемой внесением $N_{120-200}P_{80-100}K_{120-140}$, на первый план выходит недостаток серы, магния или микроэлементов.

Данная закономерность подчеркивает значимость микроэлементов и вторичных макроэлементов, сопоставимую с ролью водообеспеченности и освещенности, несмотря на отсутствие прямой корреляционной зависимости от урожайности [158].

Специфика азотного питания озимой пшеницы заключается в ее способности эффективно усваивать нитраты, особенно на кислых почвах и при дефиците фосфора в пахотном горизонте. При этом существует риск вымывания азота атмосферными осадками на легких почвах. Наблюдаются ситуации, когда после мягкой зимы основная масса корней, локализованная в пахотном и подпахотном слоях, не получает достаточного количества нитратов даже при высоком общем запасе аммонийного азота. Это

подтверждает необходимость ранневесенних азотных подкормок. Азот в составе зерна пшеницы присутствует в белковой (более 70%) и небелковой формах. Его аккумуляция и связывание зависят от технологии применения удобрений, типа почв, температурного режима и влагообеспеченности [61].

Выявлена корреляция между массой тысячи семян и концентрацией белка с клейковиной у озимой пшеницы. Автор отмечает, что «зерно с пониженной выполненностью, даже при повышенной белковости, уступает по технологическим свойствам, поскольку белковые вещества локализуются преимущественно в оболочках, удаляемых при переработке в отруби. Для крупнозерновых фракций не свойственна обратная связь между массой 1000 зерен и уровнем клейковины».

В условиях зернотравяного севооборота внесение полного минерального комплекса $N_{30-90}P_{50}K_{80}$ способствовало повышению стекловидности озимой пшеницы на 2,4–6,7 % относительно вариантов с исключительно фосфорно-калийными туками в дозе $P_{50}K_{80}$ [104].

Экспериментальные данные, полученные в лесостепном районе РСО-Алания на выщелоченном черноземе, демонстрируют, что однократная доза $N_{50}P_{40}K_{40}$ увеличила протеиновую фракцию на 1,99 %, двукратная – на 3,01 %, трехкратная – на 4,04 %. Помимо этого, указанные дозировки удобрений обеспечили прирост массы тысячи зерен в пределах 1,7–3,3 г при одновременном снижении натуры. Влияние на клейковину фиксировалось исключительно при внесении составов, содержащих азот либо его сочетание с фосфором [207].

Усвоение питательных элементов из почвы и удобрений растительными организмами не является абсолютным. При внесении подкормок наблюдается их неомогенное распределение в грунте. В силу биологических особенностей культуры поглощают доступные формы элементов не в полном объеме. В связи с этим для оценки реально усвояемой доли биогенных веществ из почвенных запасов и вносимых удобрений необходим расчет коэффициентов их использования. Исследования, выполненные на кафедре агрохимии и

почвоведения Горского ГАУ, позволили установить эффект от применения минудобрений в агроценозе озимой пшеницы на выщелоченном черноземе. Коэффициенты усвоения элементов из почвы составили: для азота до 69 %, фосфора до 19 %, калия до 19 %, что указывает на наиболее полное потребление азота.

В работах С.И. Тютюнова с соавторами (2020) установлена тесная корреляция между урожайностью озимой пшеницы, качеством зерна и уровнем обеспеченности растений питательными веществами. При этом особо подчеркивается ключевая роль азотных удобрений в процессе накопления белка и клейковины [22]. Я.В. Губанова и Н.Н. Иванова (1988) в своих публикациях отметили, что дефицит азотного питания вызывает замедление ростовых процессов и сокращение накопления азотистых соединений, что неизбежно ведет к снижению урожая и ухудшению его технологических свойств [37].

Работы исследователей показали, что эффективность азотных удобрений на черноземах – величина переменная, зависящая от исходного плодородия. Ключевая закономерность такова: чем выше содержание минерального азота в почве, тем меньше доля вносимых удобрений в общем урожае. Например, при фиксированной дозе N_{60} его вклад падает с трети (34%) при остром дефиците азота в почве до менее чем десятой части (9%) при его избытке [141].

Однако на результативность азота активно влияет и наличие фосфора с калием. Высокий уровень этих элементов служит катализатором, повышающим отдачу от азотных подкормок. В частности, на бедных азотом почвах улучшение фосфорно-калийного питания повышает окупаемость азота с 7,3 до 11,3 кг зерна за каждый кг удобрений. На почвах, богатых азотом, этот эффект также заметен, хотя и менее выражен: окупаемость растет с 3,3 до 5,3 кг/кг [142].

Прослеживается и обратная зависимость: увеличение доз азота ведет к снижению его окупаемости. Так, при повышении дозировки до 150 кг/га

эффективность падает в разы – до 2,2-2,3 кг/кг, независимо от исходного азотного фона.

Но наиболее важные выводы касаются фосфорных удобрений. Анализ множества опытов подтверждает, что содержание доступного фосфора – универсальный фактор, определяющий урожайность на любых почвах. При этом тип почвы отступает на второй план, уступая место уровню фосфорного питания. Как только содержание P_2O_5 достигает высоких значений, необходимость в фосфорных подкормках исчезает. Для зерновых это правило особенно жесткое, так как при высокой обеспеченности фосфором удобрения перестают работать.

Окупаемость фосфорных удобрений на черноземах стремительно падает с ростом содержания P_2O_5 в почве: с 6,7 кг/кг при низком содержании до почти нулевых значений (0,9 кг/кг) при повышенном. Доля участия фосфора в формировании урожая при этом снижается с 15-21% до 1% [142]. Следовательно, для Курской области, где почвы с дефицитом фосфора занимают лишь 1% пашни, массовое внесение фосфорных удобрений под озимую пшеницу лишено практического смысла.

Невысокие дозы азота (N_{30-40}), как правило, полностью потребляются растениями на формирование биомассы и не оказывают существенного влияния на качественные показатели зерна. Для получения продукции с высокими хлебопекарными свойствами требуются более значительные дозы – порядка N_{90-120} (Тютюнов С.И. и др., 2020) [26].

Эффективность азотных подкормок в отношении качества зерна варьирует в зависимости от региональных особенностей. Так, внесение N_{30-90} способствовало увеличению содержания белка в Нечерноземной зоне на 0,9 %, в Центральном Черноземье – на 2,8 %, на Кубани – на 1,2 %; содержание клейковины возрастало на 2,2 %, 3,8 % и 3,3 % соответственно [37].

В работе А.М. Кравцова с коллегами рассмотрено, как использование макро- и микроэлементных подкормок отражается на формировании урожая озимой пшеницы. Экспериментальные данные свидетельствуют, что наиболее

выраженный эффект достигается при сбалансированном сочетании макро- и микроэлементов: улучшаются показатели развития посевов, увеличивается плотность растений и ассимиляционная поверхность листьев, а также формируется более высокий урожай. Применение комплексных удобрений продемонстрировало устойчивый рост продуктивности, что подчеркивает ключевую роль полноценного минерального питания в технологии возделывания озимой пшеницы [23].

Исследования были направлены на оценку влияния удобрения Ruscote на продуктивность и технологические показатели зерна озимой пшеницы. Опытные работы проводили в 2020–2022 гг. в условиях центральной агроклиматической зоны Краснодарского края. Экспериментальная схема включала применение удобрения Ruscote в дозах N_{100} , N_{145} и N_{195} на фоне фосфорно-калийного питания ($P_{90}K_{60}$) с сопоставлением их эффективности с традиционной системой минерального удобрения ($N_{35}P_{90}K_{60} + N_{70} + N_{70} + N_{20}$ и $N_{35}P_{90}K_{60} + N_{80} + N_{80}$), а также с контролем без внесения удобрений при возделывании озимой пшеницы сорта Ахмат. В течение периода исследований уровень подвижных соединений фосфора и калия в пахотном горизонте изменялся незначительно, тогда как динамика нитратного азота определялась дозами и сроками внесения азотных подкормок. Применение удобрения Ruscote не оказывало существенного влияния на содержание нитратной формы азота в почве, однако обеспечивало более равномерное поступление аммонийного азота в течение вегетационного периода: от 26,6 мг/кг в фазе выхода растений в трубку до 12,0 мг/кг к фазе полной спелости зерна.

В фазе колошения использование удобрения Ruscote способствовало увеличению высоты растений озимой пшеницы по сравнению с контролем на 6,2–7,5 см, а также приросту воздушно-сухой массы на 0,16–0,92 г на растение. Наибольший эффект по урожайности был получен при внесении Ruscote в дозе $N_{145}P_{90}K_{60}$, что обеспечило превышение контроля на 36,4 % и традиционной схемы минерального питания – на 9,5 %. Независимо от варианта удобрения прослеживалась тенденция к улучшению показателей качества зерна, однако

во все годы проведения эксперимента продукция соответствовала требованиям четвертого класса качества [77].

В современных условиях решение проблемы повышения качества зерна озимой пшеницы требует комплексного подхода, базирующегося на разработке и внедрении адаптивных, экологически ориентированных технологий возделывания, учитывающих специфику почвенно-климатических условий. Значительная доля вариабельности урожая и его качества (до 70–80 %) объясняется изменчивостью погодных факторов. Это обстоятельство нередко служит объяснением низкой эффективности земледелия, поскольку стрессовые воздействия окружающей среды трудно прогнозируемы, а затраты на минимизацию связанного с ними ущерба весьма высоки [58].

В ходе полевых опытов на выщелоченных черноземах Краснодарского края оценивалась эффективность обогащения жидкого азотного удобрения КАС-32 серой в двух формах: сульфатной (AS) и элементарной микронизированной. Исследования показали, что добавление серы значительно увеличивает продуктивность озимой пшеницы. Наибольшая прибавка урожая (до 31% во влажный 2022 г. и 21% в засушливый 2023 г.) зафиксирована при использовании серы. Помимо роста урожайности, отмечено улучшение качественных показателей: содержание протеина возрастало на 1,8%, а в зерне накапливалось больше серы. Ключевым преимуществом формы MS является ее низкая миграционная способность: в отличие от сульфатов, она не вымывается из почвы обильными осадками. Это делает элементарную серу наиболее перспективным компонентом в системах удобрения пшеницы, особенно в зонах с неравномерным увлажнением [33].

Содержание минеральных веществ в почве не является постоянным и во многом определяется тем, какие сельскохозяйственные культуры на ней возделываются, поскольку с урожаем происходит значительное изъятие элементов питания. Для поддержания плодородия и восстановления баланса

требуется внесение удобрений, включая микроэлементы, которые играют ключевую роль в синтезе белков, углеводов, липидов и витаминов [38].

Применение микроудобрений повышает устойчивость полевых культур к неблагоприятным факторам среды – засухе, резким перепадам температур и дефициту влаги. Это создает условия для более полной реализации потенциала современных сортов при использовании различных технологий выращивания [140]. Поступление элементов питания в легкодоступной для растений форме позволяет им экономить энергию, которая в противном случае расходовалась бы на адаптационные механизмы и преодоление стрессов. Исследованиями И.В. Косаковской показано, что микробиологические препараты, в свою очередь, служат эффективными ускорителями обменных реакций в растительных организмах. В условиях стресса на клеточном уровне наблюдаются структурные и функциональные изменения.

Дефицит влаги в растительных тканях приводит к нарушению структуры белков и их обезвоживанию. Улучшение взаимодействия между белковыми соединениями и фитогормонами способствует интенсификации фотосинтеза [160]. В стрессовой ситуации растение вынуждено перераспределять энергетические ресурсы, что неизбежно сказывается на продуктивности фотосинтеза и снижает способность корневой системы усваивать питательные вещества.

Эффективным приемом для уменьшения фитотоксичного действия гербицидов является некорневая обработка посевов микроудобрениями. Установлено, что такие обработки укрепляют клеточный иммунитет и активизируют защитные механизмы культурных растений. Как следствие, ускоряются темпы роста и интенсивнее накапливается сухая биомасса [88].

Микроудобрения в хелатной форме служат дополнительным катализатором для наращивания вегетативной массы и развития корневой системы. Под их влиянием повышается концентрация хлорофилла в листьях, и растение эффективнее перераспределяет внутренние ресурсы для преодоления стрессовых нагрузок, что в итоге усиливает его адаптационный

потенциал. Эффективность обработки микроудобрениями по вегетирующим растениям во многом зависит от площади листовой поверхности в момент опрыскивания [87].

Результаты опытов в Ростовской области показали, что на этапе колошения пшеницы статистически значимое накопление азота и фосфора наблюдалось исключительно в группах, где на фоне основной минеральной подкормки использовались предпосевная обработка семян и последующие внекорневые подпитки препаратами «Софт Гард», «Гумифул» и монокалийфосфатом. Прирост валового азота относительно контрольного фона (минеральные удобрения) зафиксирован на уровне 0,04%, а фосфора – в диапазоне 0,03–0,04 %. Содержание общего калия в растении в данный период оставалось стабильным и не реагировало на внесение добавок [45].

Исходная продуктивность пшеницы на абсолютном контроле (без удобрений) составляла 2,15 т/га. Внесение только минерального фона поднимало планку до 3,16 т/га. Наивысшие показатели в опыте были достигнуты при комплексной схеме: минеральный фон + обработка семян («Рутер» соло или в смеси с «Лейли 2000») + последующее некорневое внесение баковой смеси «Софт Гард» и «Гумифул Про». Это позволило превысить минеральный фон на 0,73 т/га, что эквивалентно росту на 23% [46].

Следует учитывать, что различные сельскохозяйственные культуры существенно различаются по своим требованиям к минеральному питанию, что обуславливает необходимость формирования дифференцированных и научно обоснованных систем удобрения.

Видовая специфика растений в потреблении элементов питания обуславливает необходимость индивидуализации рекомендаций по применению удобрительных средств. В этом контексте особого внимания заслуживает бесподстилочный свиной навоз, представляющий собой высокоценное органическое удобрение, эффективность которого напрямую коррелирует с соблюдением технологических параметров его хранения и утилизации. Жидкая фракция свиного навоза аккумулирует комплекс

необходимых для растений биогенных элементов, а содержащиеся в ней органические компоненты представлены преимущественно непереваженными остатками кормов, богатыми клетчаткой, липидами, крахмалом, зольными соединениями и сахарами [53].

Временной интервал применения жидкого навоза должен быть максимально синхронизирован с периодами активной вегетации культур. Традиционная практика его использования включает основное внесение под зяблевую обработку почвы и весеннее применение в качестве подкормки. Максимальная отдача от данного удобрения достигается при интеграции современных высокотехнологичных способов его внесения в почву [36].

Аналогичная тенденция прослеживалась и на посевах ячменя: урожайность на неудобренном фоне составляла 2,88 т/га, а при использовании жидкого навоза возрастала. Наибольшая прибавка зерна ячменя также отмечена при норме 200 т/га. При этом авторами подчеркивается, что доза 200 т/га оказалась экономически более целесообразной по сравнению с высокой дозой. Наименьшие значения рентабельности, вплоть до отрицательных, отмечены при экстремально высокой норме внесения, достигающей 300 т/га. Вместе с тем, установлено наличие пролонгированного последствия удобрений, сохраняющегося в течение нескольких лет. В этих условиях повышение агрономической и экономической результативности обусловлено суммарной продуктивностью последующих культур, формируемой без дополнительных затрат на внесение удобрений [148].

Проведен сопоставительный анализ влияния минеральных, а также жидких и твердых форм органических удобрений на урожайность озимой пшеницы и состояние почвенного плодородия. Установлено, что минеральная система питания обеспечивает уровень урожайности, близкий к запланированным значениям, однако сопровождается выраженным снижением содержания органического вещества в пахотном слое. В свою очередь, применение органических удобрений, независимо от их агрегатного состояния, характеризуется несколько более низкими показателями

урожайности по сравнению с минеральным фоном, но способствует накоплению органического вещества и формированию положительного гумусового баланса почвы [55, 56].

Временной интервал применения жидкого навоза должен быть максимально синхронизирован с периодами активной вегетации культур. Традиционная практика его использования включает основное внесение под зяблевую обработку почвы и весеннее применение в качестве подкормки. Максимальная отдача от данного удобрения достигается при интеграции современных высокотехнологичных способов его внесения в почву [36].

Анализ научной литературы, посвященной вопросам эффективности удобрений при возделывании озимой пшеницы, особенно в разрезе различных сортов и предшественников, выявил наличие неоднозначных и противоречивых данных. Данное обстоятельство диктует необходимость проведения дополнительных, более углубленных исследований в этом направлении.

2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика почвенно-климатических условий района исследований

Экспериментальная работа в период с 2020 по 2022 год выполнялась на базе опытного хозяйства «Кубань», являющегося структурным подразделением Кубанского государственного аграрного университета. Участок, отведенный под полевые опыты, локализован в двух километрах к западу от центрального административно-хозяйственного центра первого отделения учхоза. Рельеф территории выровненный, без выраженных перепадов высот.

Согласно схеме природно-сельскохозяйственного районирования, земельный фонд места исследований относится к Предкавказской лесостепной провинции, объединяющей степные и лесостепные ландшафты.

Почвенная структура опытного участка неоднородна и представлена преимущественно черноземами выщелоченными (92,6% от общей площади) и, в значительно меньшей степени, лугово-черноземными выщелоченными уплотненными почвами (7,4%).

По мощности гумусированной толщи исследуемый выщелоченный чернозем классифицируется как сверхмощный: глубина залегания гумусовых горизонтов (A+AB) достигает 149 см, при этом мощность верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта (A) составляет 61 см. Для пахотного горизонта характерна комковато-порошистая структура, тогда как в подпахотной толще она сменяется на комковато-зернистую. Гранулометрический состав почвы тяжелосуглинистый. Содержание физической глины варьирует в пределах 61–64%, илистых фракций – 37–44%. Высокая концентрация илистых частиц в сочетании с незначительным содержанием песчаной фракции (2–5%) обуславливает повышенную связность почвенного субстрата. Несмотря на тяжелый гранулометрический состав, сложение выщелоченных черноземов

характеризуется как рыхлое или слабоуплотненное. Показатели равновесной плотности в слое 0–30 см варьируют от 1,0 до 1,3 г/см³, увеличиваясь в метровом профиле до 1,3–1,5 г/см³.

Влагоемкость почвы значительна: суммарные запасы влаги в слое 0–160 см достигают 567–630 мм, из которых на долю продуктивной влаги приходится 42–48% (238–302 мм).

Содержание органического вещества (гумуса) в пахотном горизонте составляет 3,1%, что позволяет отнести почву к категории малогумусных. Ввиду значительной мощности гумусового профиля, валовые запасы гумуса весьма существенны: 502 т/га в метровом слое и 560 т/га в двухметровой толще. Концентрация валового азота в верхнем горизонте находится на уровне 0,18%, постепенно снижаясь до 0,10% с глубиной.

Валовое содержание фосфора в слое 0–20 см колеблется от 0,18 до 0,22%, уменьшаясь вниз по профилю. По обеспеченности подвижными фосфатами почвы относятся к группе со средним уровнем содержания. Выявлена прямая корреляция между количеством подвижных фосфатов и запасами почвенной влаги. В сезонной динамике фосфатов прослеживается тенденция к снижению их концентрации от весны к летнему периоду, а в пространственном распределении – от верхних генетических горизонтов к нижележащим.

Содержание валового калия в пахотном слое варьирует в интервале 1,5–2,0%, при этом водорастворимые формы калия присутствуют в следовых количествах. Емкость катионного обмена характеризуется высокими значениями. Сумма обменных оснований составляет 33,0–34,3 мг-экв на 100 г почвы, с доминированием кальция (до 80%). Степень насыщенности почвенного поглощающего комплекса основаниями достигает 96–98%.

Центральная агроклиматическая зона Краснодарского края, где дислоцировался опытный участок, отличается умеренно-континентальным климатом с теплым режимом и умеренным увлажнением. Среднегодовая температура воздуха фиксируется на отметках 10,0–10,8°C. Среднемесячная

температура июля (наиболее теплого месяца) колеблется в пределах 22–24°C, января (наиболее холодного) – от -1,5 до -3,5°C. Продолжительность безморозного периода варьирует от 175 до 225 суток. Весенний период характеризуется медленным нарастанием температур, осень преимущественно теплая и сухая.

Годовая сумма атмосферных осадков в среднем составляет 643 мм, при этом 318 мм приходится на теплый сезон (апрель–сентябрь). Пик осадков приходится на май–июль (около 60 мм ежемесячно). Гидротермический коэффициент (ГТК) находится в диапазоне 0,9–1,2, что указывает на неустойчивый характер увлажнения. Распределение ГТК по месяцам теплого периода следующее: апрель – 1,4; май – 1,1; июнь – 1,0; июль – 0,8; август – 0,7; сентябрь – 0,8 [1].

Относительная влажность воздуха в безморозный период удерживается в пределах 48–59%, с возможными колебаниями от 30 до 80%. Ветровой режим формируется под влиянием восточных и западных воздушных масс. Восточные и северо-восточные ветры оказывают неблагоприятное воздействие: в зимний период они вызывают понижение температуры, а весной и летом способствуют развитию суховейных явлений, в отдельные годы – возникновению пыльных бурь. Число дней со слабыми суховеями достигает 46, из них 5 дней характеризуются интенсивными суховеями.

Можно заключить, что совокупность почвенных и климатических факторов в районе проведения исследований создает благоприятные предпосылки для возделывания озимой пшеницы и формирования стабильно высоких урожаев зерна.

2.2 Погодные условия в период проведения эксперимента

Погодные условия в 2019–2020 с.х.г. проведения опыта были не благоприятными для роста и развития озимой пшеницы (таблица 1).

Таблица 1 – Метеорологические данные в год проведения опыта (данные МС г. Краснодара), 2019–2020 с.х.г.

Месяц	Температура воздуха, °С		Количество осадков, мм	
	средне- месячная	средне- многолетняя	сумма за месяц	средне- многолетняя
Сентябрь	18,6	17,8	40	35
Октябрь	13,5	11,5	33	49
Ноябрь	6,5	5,8	17,4	58
Декабрь	4	2,0	39	65
Январь	2,3	-0,6	64	52
Февраль	3,9	0,5	53	42
Март	9,3	5,0	18	44
Апрель	10,4	12,2	4,5	48
Май	16,5	17,0	90	60
Июнь	22,9	21,0	39	68

Осенний период 2019 года характеризовался аномально повышенным температурным фоном: средняя температура воздуха за три месяца составила 12,9 °С, что превысило среднемноголетние значения на 1,9 °С. При этом суммарное количество атмосферных осадков достигло 90,4 мм, что оказалось на 51,1 мм ниже климатической нормы. В октябре наблюдалось постепенное снижение температур при выраженном дефиците влаги во второй половине месяца. Среднемесячная температура воздуха составила 13,5 °С, превысив норму на 2 °С (17,4 %). Объем осадков за месяц равнялся 33 мм, что на 32,7 % ниже среднемноголетнего показателя [93, 94].

Посев озимой пшеницы на всех вариантах исследуемых технологий был проведен 7 октября. Появление всходов отмечено в конце второй декады месяца на всех вариантах опыта. В зимний период температурный режим сохранялся выше климатической нормы: средняя температура за три месяца

составила 3,4 °С, что на 3 °С превышало среднегодовы́е показатели. Количество осадков в этот период находилось на уровне нормы и составило 156 мм. В состояние зимнего покоя растения перешли в конце первой декады декабря. Возобновление весенней вегетации зафиксировано в конце третьей декады февраля вследствие установления устойчивых положительных температур.

Весной отмечался выраженный дефицит осадков – их сумма оказалась ниже нормы на 50,3 мм. Потенциальное негативное влияние недостатка влаги на рост и развитие озимой пшеницы было частично компенсировано запасами продуктивной влаги, сформированными в январе–феврале. Средняя температура воздуха за весенний период составила 12,2 °С, что на 1,6 °С выше среднегодовы́его уровня.

В мае 2020 года температурные условия в целом соответствовали норме: среднемесячная температура составила 16,5 °С (на 0,5 °С или 2,9 % ниже нормы). Осадки выпадали преимущественно в начале (28 мм) и конце месяца (62 мм), суммарно превысив нормативные значения на 30 мм (50 %).

Летний период характеризовался сокращением количества осадков по сравнению со среднегодовы́ми данными на 21 мм. Средняя температура воздуха за три летних месяца составила 23,6 °С и находилась в пределах климатической нормы. В июне 2020 года зафиксировано незначительное повышение температурного фона: среднемесячная температура достигла 22,9 °С, что на 1,9 °С (9 %) превышало норму. Количество осадков составило 39 мм, что на 29 мм (42,6 %) ниже среднегодовы́его уровня.

В целом за 2019–2020 сельскохозяйственный год суммарное количество осадков составило 357,9 мм, что на 178,1 мм (33,2 %) меньше климатической нормы. В период с октября 2019 года по март 2020 года выпало 224,4 мм осадков, что ниже среднегодовы́х значений на 85,6 мм (27,6 %). С апреля по июнь 2020 года также отмечался дефицит влаги по сравнению с многолетними показателями. Уборка озимой пшеницы была проведена в первой декаде июля 2020 года.

Погодные условия в 2020-2021 гг. были более благоприятными для роста и развития озимой пшеницы (приложение 1). Осенний период 2020 года отличался выраженным дефицитом влаги и повышенным температурным фоном: средняя температура воздуха превысила многолетние значения на 3,9 °С, а суммарное количество осадков составило лишь 67 мм, что на 74,5 мм ниже нормы. Посев озимой пшеницы был проведен в конце первой декады октября, и уже в начале второй декады появились равномерные и дружные всходы [94, 95].

К началу декабря растения завершили вегетацию и вошли в зимний период в хорошо развитом состоянии. В течение зимы отмечалось сокращение количества осадков на 43,4 мм (фактически выпало 115,5 мм), при этом температурный режим оставался мягче обычного – превышение среднемноголетних показателей составило 1,7–2,1 °С.

Весной условия сложились благоприятно для активного роста: выпало 182,5 мм осадков, что обеспечило накопление продуктивной влаги в почве. Средняя температура воздуха достигла 11,4 °С, превысив климатическую норму. Во второй декаде апреля растения перешли в фазу выхода в трубку, а к завершению первой декады мая началось колошение.

Летний сезон характеризовался повышением температуры воздуха в среднем на 1,2 °С (24,7 °С за три месяца) и некоторым уменьшением количества осадков. В мае температурный режим в целом соответствовал норме (16,5 °С, что на 0,5 °С ниже средних значений), осадки распределились в начале (28 мм) и конце месяца (62 мм), превысив норматив на 30 мм (50 %). Вегетационные процессы протекали без отклонений.

В июне среднемесячная температура составила 22,9 °С, что на 1,9 °С выше обычного уровня. Количество осадков ограничилось 39 мм – на 29 мм (42,6 %) меньше нормы; по сравнению с многолетними данными их суммарный объем достиг 170 мм. В середине первой декады июня зафиксирована молочная спелость зерна, а в начале третьей декады – восковая.

Сухая и жаркая погода в начале июля позволила приступить к уборке озимой пшеницы уже в первой декаде месяца.

В целом за сельскохозяйственный год суммарное количество осадков достигло 719 мм, что превысило климатическую норму на 183 мм (34,1 %). За период с октября по март выпало 460 мм осадков, а с апреля по июнь – 259 мм, что также оказалось выше средних многолетних показателей на 150–33 мм (48,4–14,6 %). Уборочные работы завершились в первой декаде июля 2021 года. И так, погодные условия исследуемого аграрного года в целом способствовали полноценному росту, развитию и формированию урожая озимой пшеницы.

Агрометеорологические условия сельскохозяйственного года 2021-2022 отличались значительной волатильностью, но в итоге сложились благоприятно для озимой пшеницы (приложение 2).

Осенью погода преподнесла сюрпризы: сентябрь выдался аномально влажным (88 мм при норме 35 мм, превышение в 2,5 раза), что серьезно затруднило предпосевную обработку почвы. Октябрь, напротив, был прохладнее обычного (ниже на 0,9°C) и чуть более сухим. Настоящее «бабье лето» пришлось на ноябрь – средняя температура поднялась до 7,6°C, что на треть выше нормы, создав идеальные условия для роста озимых перед уходом в зиму [95, 96].

Зимний период оказался аномально теплым. Особенно выделялся февраль, когда средняя температура (+5,2°C) в 10 раз превысила стандартные показатели, фактически ознаменовав раннюю весну. Декабрь и январь также были значительно теплее обычного. Снежный покров был нестабильным из-за обильных осадков в январе (161 мм – тройная норма), но критических явлений, угрожающих посевам, зафиксировано не было.

Весенний старт вегетации был положен в первой декаде марта, хотя сам месяц оказался холоднее обычного (2,8°C). Дефицит влаги начал нарастать в апреле и мае: осадков выпало почти вдвое меньше нормы. Сочетание майского

недобора тепла ($15,1^{\circ}\text{C}$ – на $1,9^{\circ}\text{C}$ ниже) и засухи привело к подсыханию нижних листьев и снижению продуктивной влаги в грунте.

Ситуацию кардинально исправил июнь: ливни третьей декады (145 мм из 161 мм за месяц) не только компенсировали весенний дефицит, но и создали хороший запас влаги. В итоге суммарное количество осадков за сельхозгод (625 мм) превысило норму на 16,6%, обеспечив растения влагой на всех ключевых этапах развития. Урожай убирали в первой декаде июля при благоприятных условиях.

2.3 Методика полевого исследования и агротехника в опыте

Научная работа выполнялась в рамках стационарного мониторинга по схеме трехфакторного эксперимента (регистрационный номер: 01.201423540). Исследования реализованы по двухфакторной схеме [42]. Целью являлось изучение влияния агротехнических систем на физическое состояние чернозема выщелоченного, динамику роста и уровень продуктивности озимой пшеницы. В качестве объекта исследования выступала мягкая озимая пшеница (сорт Алексеич), предметом – различные обработки почвы и уровни минерального питания.

Изучалось два фактора с градациями:

Фактор А (обработка почвы): A_1 – дисковое лущение на глубину 8–12 см; A_2 – вспашка на глубину 20–22 см; A_3 – чизелевание на глубину 20–22 см; A_4 – нулевая обработка (прямой сев).

Фактор В (уровень минерального питания): B_0 – контроль (без применения удобрений); B_1 – $N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$; B_2 – $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$.

Площадь опытной делянки составляла 105 м^2 , непосредственно под учет отводилось 50 м^2 . Эксперимент был заложен в трехкратной повторности. Размещение вариантов осуществлялось рендомизированно. Предшествующей культурой являлась сахарная свекла.

В качестве контроля по фактору обработки (А) был принят вариант с дисковым лушением (A_1), по фактору удобрений (В) – вариант без внесения удобрения (B_0).

В ходе вегетации и после уборки выполнялся следующий комплекс учетов и анализов:

1. Фенологические наблюдения: фиксировались календарные сроки наступления ключевых этапов органогенеза (всходы, кущение, выход в трубку, колошение, молочная, восковая и полная спелость) согласно общепринятой методике Госсортсети [70, 71].

2. Определение густоты стояния. Подсчет количества растений на единице площади (учетные площадки 1 м²) проводился в фазы полных всходов, кущения, выхода в трубку, колошения и перед уборкой (продуктивный стеблестой) по стандартной методике [70, 71].

3. Агрофизические характеристики почвы:

– Твердость почвы определялась в слое 0–30 см в периоды весеннего кущения, колошения и полной спелости (ГОСТ 22733-2016).

– Структурно-агрегатный состав: анализировался методом сухого просеивания пробы массой 1,0–2,0 кг через набор сит (диаметр отверстий: 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 мм) с последующим расчетом содержания фракций (ГОСТ 12536-2014).

4. Водный режим: влажность почвы определялась термостатно-весовым методом (высушивание при $t=105^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы) согласно ГОСТ 28268-89.

5. Показатели фотосинтетической деятельности:

– Площадь листовой поверхности: рассчитывалась методом линейных измерений (по 40 растений) с использованием коэффициента 0,67 (произведение длины и ширины листа). Измерения приурочивались к фазам весеннего кущения, выхода в трубку, колошения и восковой спелости.

– Фотосинтетический потенциал (ФП) определялся по А. А. Ничипоровичу по соответствующей формуле.

6. Фитосанитарное состояние: степень засоренности посевов оценивалась путем количественного учета сорных растений (с определением видового состава) на фиксированных площадках (1 м²) в трехкратной повторности [72].

7. Учет и анализ урожая:

– Уборка проводилась методом прямого комбайнирования (TERRION – SR 2010) с последующим взвешиванием зерна и приведением массы к стандартной 14% влажности.

– Анализ структуры урожайности выполнялся по общепринятой методике (количество продуктивных стеблей, масса зерна с колоса и масса 1000 семян).

8. Оценка качественных показателей зерна:

– Содержание белка и клейковины определяли на инфракрасном анализаторе «Инфра ЛЮМ ФТ – 10» (калибровка выполнена в программе «Спектра Люм/Про») [32].

– Натура зерна (насыпная плотность) измерялась с помощью литровой пурки по ГОСТ 10840-2017.

– Общая стекловидность устанавливалась визуальным методом при просвечивании (ГОСТ 10987-76) как сумма полностью стекловидных зерен и половины частично стекловидных.

– Качество клейковины оценивалось по индексу деформации (ИДК) согласно ГОСТ 27839-2019.

9. Экономическая эффективность: рассчитывалась на основе технологических карт возделывания культуры. Оценивались такие показатели, как стоимость прибавки урожая, дополнительные производственные затраты, величина чистого дохода, себестоимость продукции и уровень рентабельности. (73)

10. Статистическая обработка данных: полученный экспериментальный материал обрабатывался методами дисперсионного и корреляционного анализа по алгоритмам, изложенным Б. А. Доспеховым.

Расчеты выполнялись с использованием прикладных программ MS Excel – 2010 и пакета STATISTICA.

Агротехника в опыте

В ходе исследования агротехника возделывания озимой пшеницы базировалась на стандартных рекомендациях, принятых для центральной климатической зоны Краснодарского края. После уборки предшествующей культуры (сахарной свеклы) в первых числах сентября на всех делянках опыта были проведены лущение стерни (дискование) в два следа: сначала на 6–8 см, затем с углублением до 10–12 см. Непосредственно перед высевом семян выполнялась предпосевная культивация.

Отвальная подготовка включала поверхностное рыхление дискатором Kverneland (6–8 см) с последующей классической вспашкой плугом ПО-4-35 на глубину 20–22 см.

Поверхностная - ограничилась тремя проходами дискатора Kverneland с заделкой на 10–12 см.

Чизельная заключалась в безотвальном глубоком рыхлении с помощью орудия ПЧ-2,5.

Нулевая (A0 – No-Till): здесь механическая обработка не проводилась. Подготовка участка свелась к двукратному опрыскиванию гербицидом сплошного действия (Ураган Форте, 4 л/га) для уничтожения сорной растительности.

Семенной материал был обработан Селест Топ (10 л/т). Посев осуществляли в оптимальные сроки. Норма высева составляла 4 млн зерен на гектар с заделкой на 5–6 см. Сразу после посева поле прикатывали катками. Ранневесенняя подкормка (фаза кущения) проводилась в начале марта аммиачной селитрой дифференцированно: на фоне В1 – N₃₀, на фоне В2 – N₆₀ кг/га д.в. В эту же фазу выполнялась химическая прополка баковой смесью (Дерби 175 СК + Аксиал КЭ) опрыскивателем ОН-600 (на базе МТЗ-80) с расходом 200 л/га рабочего состава.

Уборочные работы проведены методом прямого комбайнирования (Террион 2010) при достижении зерном влажности 13–14%.

3 ИЗМЕНЕНИЕ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ, ПРОДУКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ВЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ (РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ)

3.1 Агрегатный состав

В хорошо структурированной почве одновременно существуют капиллярные поры (внутри агрегатов), удерживающие влагу для растений, и более крупные некапиллярные промежутки, по которым происходит гравитационный сток избыточной воды и активный газообмен с атмосферой. Наличие крупных пор обеспечивает диффузию кислорода в корнеобитаемый слой и отвод углекислого газа, что необходимо для дыхания корней и деятельности аэробных микроорганизмов. Структурная почва легко впитывает атмосферные осадки и талые воды, предотвращая поверхностный сток и, как следствие, водную эрозию.

Внутри агрегатов складываются анаэробные условия и более стабильный гидротермический режим, что способствует развитию анаэробных и факультативных микроорганизмов, участвующих в процессах гумификации.

На поверхности агрегатов и в крупных порах преобладают аэробные процессы минерализации органического вещества. Такая гетерогенность повышает общее биоразнообразие и интенсивность биологического круговорота

Водопрочные агрегаты (размером 0,25–10 мм) обладают механической прочностью и не разрушаются под действием воды. Почва, состоящая из таких агрегатов, не заплывает после дождей, не образует корку, устойчива к размывающему действию водных потоков и выдуванию ветром (дефляции). Это свойство является фундаментальным для защиты почвенного покрова от разрушения.

В структурной почве процессы мобилизации (перевода элементов питания из недоступных форм в доступные) протекают более сбалансированно. Органическое вещество, закрепленное внутри водопрочных агрегатов, медленнее минерализуется, что способствует постепенному высвобождению азота и других элементов в течение вегетационного периода, снижая риск их вымывания.

Агрономически ценными признаются агрегаты размером от 0,25 до 10 мм.

Преобладание глыбистой части (>10 мм) свидетельствует о заплывании и спекании почвы, а преобладание пылевой фракции ($<0,25$ мм) – о распылении, что ведет к потере плодородия и развитию эрозионных процессов.

Способность почвы разделяться на структурные отдельности (агрегаты) является ключевым агрофизическим параметром. Данные элементы формируются путем сцепления мельчайших механических частиц либо более мелких конгломератов. Установлено, что под почвенной структурой понимается специфическая совокупность комков и отдельностей, которые разнятся по своим габаритам, геометрии, степени плотности, а также по устойчивости к механическому воздействию и размыванию водой. Этот набор агрегатов уникален для каждого почвенного типа и его генетических слоев.

Учитывая, что самый верхний (0–5 см) слой наиболее уязвим для водной эрозии, пристального внимания заслуживает анализ воздействия различных систем обработки на его агрегатный состав. Данные по этому вопросу систематизированы в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение структурно-агрегатного состава в зависимости от обработки почвы в верхнем пятисантиметровом слое почвы, % (2020–2022 гг.)

Обработка почвы	Фракции почвы (мм)					Водопрочность агрегатов	
	>10	10-3	3-1	<1	<0.25	> 1 мм	>0.25 мм

Кущение(осенью)							
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	30,9	29,8	17,9	18,6	2,8	28	68
Вспашка на 20–22 см	40,9	31,7	15,4	10,4	1,6	38	74
Чизелевание на 20-22 см	27,1	28,0	21,2	20,3	3,4	20	63
Нулевая обработка (прямой посев)	19,5	51,2	18	10,2	1,1	34	76
НСР ₀₅	1,10	3,35	2,16	1,51	0,80	2,38	3,41
Кущение (весной)							
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	5,4	16,9	25,4	46,5	5,8	19	53
Вспашка на 20–22 см	3,6	13,8	32,1	45,2	5,3	24	65
Чизелевание на 20-22 см	4,1	15,3	26,6	48,4	5,6	19	57
Нулевая обработка (прямой посев)	3,4	18,5	26,0	49,1	3, 0	31	68
НСР ₀₅	0,44	0,46	0,80	1,64	0,28	2,88	3,31

В осенний период наибольшая доля агрегатов крупной фракции (>10 мм) отмечена нами при проведении вспашки (40,9 %), что значительно превышает соответствующие показатели на чизелевании (27,1 %) и нулевой обработке (19,5 %). В то же время фракция размером 10–3 мм преобладает в условиях нулевой обработки, достигая 51,2%. На других вариантах обработки почвы содержание данной фракции варьирует в диапазоне 28,0–31,7 %.

По содержанию агрономически ценной фракции 3–1 мм наибольшие значения зафиксированы при чизелевании (21,2 %), тогда как при вспашке и дисковом лушении данный показатель ниже (15,4–17,9 %). Нулевая обработка занимает промежуточное положение (18 %).

Доля мелкодисперсной фракции (<1 мм) минимальна при вспашке (10,4 %) и нулевой обработке (10,2 %), тогда как при чизелевании она возрастает до 20,3%. Аналогичная тенденция наблюдается по содержанию частиц $<0,25$ мм, максимум которых отмечен при чизелевании (3,4%).

Структурно-агрегатный состав в пятисантиметровом слое не оставался постоянным и изменялся в зависимости от приемов обработки почвы. В осенний период наблюдалось преобладание глыбистой фракции. На дисковом лушении количество фракции мелкие глыбы (>10 мм) составило 30,9 %, на вспашке 40,9 %, что на 10 % больше по сравнению с контролем, при $НСР_{05} = 1,10$ увеличение достоверно. На чизельной обработке почвы содержание фракции мелкие глыбы составило 27,1%, то есть на 3,8% меньше по сравнению с контролем. На нулевой обработке данный показатель составил 19,5%.

На дисковом лушении содержание фракции крупные комки (10–3 мм) составило 29,8%, на вспашке 31,7%, то есть видим незначительные увеличения по сравнению с контролем. На чизелевании данный показатель был меньше. На нулевой обработке почвы количество крупнокомковатой фракции возросло до 51,2%, то есть больше на 21,4%.

Содержание фракции средние комки (3–1 мм.) на дисковом лушении составило 17,9 %, на вспашке 15,4 %, то есть отмечено незначительное уменьшение и это изменение математически достоверно. На чизельной обработке содержание фракции 3–1 мм было выше. На нулевой обработке почвы отмечена 18%.

Результаты наших исследований показали, что количество фракции мелкие комки (<1 мм.) на дисковом лушении было 18,6 %, а на вспашке 10,4%, то есть отмечено уменьшение на 8,2 % и эти изменения являются математически достоверными. Нами показано, что на чизельной обработке почвы данный показатель был на уровне 20,3 %. Необходимо отметить, что при нулевой обработке почвы количество мелкокомковатой фракции сократилось до 1,1 %, то есть меньше на 17,5 %.

В осенний период количество агрегатов, размер которых >1 мм составило при дисковом лушении 28 %, а на вспашке 38%, то есть видим существенное увеличение. Математический анализ показал достоверное увеличение агрегатов. Нами отмечено, что на чизельной обработке почвы содержание этих агрегатов составило 20%, и различие с другими вариантами достоверно. На нулевой обработке почвы данный показатель составил 34 %. Значение показателей водопрочности агрегатов ($>0,25$ мм) наиболее высокие отмечены при нулевой обработке (76%) и вспашке (74%), что свидетельствует о формировании устойчивых к размыванию структурных единиц. Минимальные значения зафиксированы при чизелевании (63%). Различия между вариантами превышают значения $НСР_{05}$, что подтверждает их статистическую достоверность.

Водопрочность агрегатов размер которых был $>0,25$ мм на дисковом лушении составил 68 %, на вспашке 74 %, что незначительно выше чем у контроля. На чизелевании данный показатель составил 63 %, и различия в сравнение с контролем существенные. На нулевой обработке почвы этот показатель возрос до 76 %.

В весенний период наблюдалось преобладание мелкокомковатой фракции по всем видам обработки почвы. На дисковом лушении количество фракции мелкие глыбы (>10 мм.) составило 5,4 %, на вспашке 3,6 %, что существенно меньше по сравнению с контролем. На чизельной обработке почвы было получено 4,1 % мелкокомковатой фракции, что на 1,3 % меньше по сравнению с контролем и это уменьшение существенно. Нами получено, что при нулевой обработке почвы значение этого показателя составило 3,4 %.

Показано, что содержание крупнокомковатой фракции (10-3 мм) на дисковом лушении – 16,9 %, а на вспашке – 13,8 %. На чизелевании количество крупнокомковатой фракции было 15,3 %. На нулевой обработке почвы значение этого показателя возросло до 18,5 %, и это различия по сравнению с контролем математически достоверны.

Значение фракции среднего размера составило на дисковом лущении 25,4 %, на вспашке 32,1 %. Значение $НСР_{05}$ показывает, что получено достоверное увеличение фракции средние комки. При проведении чизельной обработке почвы значение данного показателя было 26,6 %, что равно значению при нулевой обработке почвы.

Преобладающая фракция мелкие комки (<1 мм) в весенний период на дисковом лущении отмечена на уровне 46,5 %, а на вспашке незначительно меньше. На чизельной обработке почвы данный показатель составил 48,4 %, что, различая в сравнение с контролем существенные. Нами получено достоверное увеличение количество фракций мелких комков на нулевой обработке почвы относительно контроля.

Весной наблюдается существенная трансформация структурного состава. Содержание крупных агрегатов (>10 мм) резко снижается по всем вариантам (3,4–5,4%), что объясняется воздействием зимне-весенних факторов.

Основную долю начинают составлять агрегаты размером <1 мм (45,2–49,1%). Максимум их содержания отмечен при нулевой обработке (49,1%) и чизелевании (48,4%). Это свидетельствует о тенденции к распылению структуры в поверхностном слое.

Фракция 3–1 мм достигает наибольших значений при вспашке (32,1%), что может указывать на более интенсивное весеннее структурообразование в варианте с отвальной обработкой.

Водопрочность агрегатов весной наиболее выражена при нулевой обработке, и доля агрегатов составляла >1 мм составляет 31%, а $>0,25$ мм – 68%. Другие варианты по обработке почвы характеризовались более низкими значениями (19–24% и 53–65% соответственно).

В весенний период водопрочность агрегатов размер которых >1 мм. составил на дисковом лущении 19 %, а на вспашке 24 %, получено достоверное увеличение почвенных агрегатов. Нами отмечено, что при чизелевании водопрочность агрегатов составила 19 %, что близко к контролю. На варианте с нулевой обработки почвы значение этого показателя увеличилось.

Водопрочность агрегатов размер которых составил $>0,25$ мм на дисковом лущении был 53 %, а на вспашке 65 %, что говорит о существенном увеличении. При проведении чизелевания значение этого показателя отмечено на уровне 57 %, то есть незначительно больше чем у контроля.

На основании наших результатов можно заключить, что осенью обработка почвы безотвальными орудиями создавала более измельченный, в сравнении со вспашкой структурный состав верхнего слоя почвы, в котором более 40% почвенных частиц было представлено зернистыми и мелкозернистыми фракциями. Весной в целом по опыту количество глыб резко уменьшилось, а зернистая и мелкозернистая фракция увеличились.

Кроме того, установлено, что обработка почвы существенно влияет на структурно-агрегатное состояние верхнего слоя. В осенний период отвальная обработка почвы способствует формированию преимущественно крупноглыбистой структуры, тогда как применение нулевой технологии обеспечивает преобладание агрегатов среднего размера (10–3 мм), характеризующихся повышенной водопрочностью. В весенний период во всех вариантах обработки наблюдается тенденция к снижению доли крупных агрегатов и увеличению содержания мелкодисперсной фракции. Тем не менее, при нулевой обработке структура почвы сохраняет наибольшую устойчивость.

В 2019–2020 сельскохозяйственном году нами указано, что в осенний период количество атмосферных осадков было ниже среднемноголетних значений, что оказало существенное влияние на процессы формирования почвенной структуры. Результаты наших исследований фракционного состава свидетельствуют о том, что в условиях дефицита влаги наблюдается преобладание агрегатов крупного размера (>10 мм), особенно при отвальной обработке (41%,). При дисковом лущении данный показатель снизился до 32,1 %, при чизельной обработке -до 27,5 % а при нулевой технологии (почти 20%). Содержание агрономически ценных агрегатов размером 10–3 мм изменялось по вариантам эксперимента в пределах 29,2–48,5 %. Максимальная их доля отмечена нами при нулевой обработке (48,5 %). При отвальной вспашке и

дисковом лущении содержание данной фракции составило соответственно 31,6 и 29,7 %.

Наибольшее количество агрегатов размером 3–1 мм отмечено при чизельной обработке (21,5 %).

Показатели водопрочности подтверждают различия между вариантами. Доля водопрочных агрегатов размером $>0,25$ мм была максимальной при нулевой обработке – 76 %, что превышает показатели вспашки (72 %), дискового лущения (70 %) и чизелевания (63 %). Аналогичная тенденция отмечена и для агрегатов >1 мм. Полученные данные свидетельствуют о более высокой устойчивости структуры почвы к размыванию при минимизации механического воздействия.

И так, в условиях дефицита осадков осенью наиболее выраженное огрубление структуры отмечено при вспашке, тогда как нулевая обработка способствовала формированию большего количества агрономически ценных и водопрочных агрегатов.

Весной наблюдалось существенное изменение агрегатного состава по сравнению с осенним периодом. Доля глыбистой фракции (>10 мм) снизилась во всех вариантах и составила 3,2–5,5 %, что связано с воздействием зимне-весенних процессов (промерзание–оттаивание), способствующих естественному разрушению крупных комков.

Одновременно увеличилась доля мелкодисперсной фракции (<1 мм), достигнув 45,9–49,8 %. Наибольшее значение отмечено при нулевой обработке (49,8 %), несколько ниже – при чизелевании (48,0 %) и дисковом лущении (46,2 %).

Рост доли мелкодисперсных агрегатов в весенний период может указывать на процессы частичного распыления верхнего почвенного горизонта.

Содержание фракции размером 3–1 мм изменялось в пределах 25,5–31,8 %, при этом максимальное значение зафиксировано при отвальной

обработке (31,8 %), что свидетельствует о формировании более выраженной мелкокомковатой структуры в весенний период.

Оценка водопрочности агрегатов размером более 0,25 мм показала, что наибольшая устойчивость структуры характерна для вариантов нулевой обработки (68 %) и вспашки (67 %). Несколько более низкие значения отмечены при чизельной обработке (61 %) и дисковом лущении (53 %). При этом даже на фоне увеличения доли мелких агрегатов системы минимальной обработки сохраняли достаточно высокий уровень устойчивости почвенной структуры к водному разрушению.

Полученные результаты свидетельствуют о значительном влиянии обработки почвы на структурно-агрегатное состояние верхнего слоя. В условиях дефицита влаги в осенний период интенсивные способы обработки, в частности вспашка, способствовали формированию крупноглыбистой структуры, тогда как минимальная и нулевая технологии обеспечивали более равномерное распределение агрегатов и увеличение доли агрономически ценных фракций. В условиях умеренного увлажнения в 2020 г. в осенний период нами установлено, при отвальной вспашке зафиксирована наибольшая доля агрегатов крупной фракции (>10 мм), а также относительно высокое содержание агрегатов размером 10–3 мм (31,9 %). Суммарная доля агрономически ценных агрегатов достигала 40 %, при этом водопрочность агрегатов размером более 0,25 мм составляла 75 %, что свидетельствует о формировании крупнокомковатой, но достаточно устойчивой к размыванию структуры (приложение 4).

Проведенные нами исследования показывают, что при дисковом лущении доля агрегатов размером более 10 мм была ниже (30,4 %), при близком содержании фракции 10–3 мм (29,9 %). Водопрочность агрегатов размером более 1 мм достигала 29 %, а более 0,25 мм - 68 %, что позволяет охарактеризовать структуру как удовлетворительно устойчивую.

Так, содержание фракций >1 мм составила 21 %, а фракции $>0,25$ мм возросло до 62 %, что свидетельствует о меньшей стабильности агрегатов в поверхностном слое.

При прямом посеве отмечено максимальное содержание фракции 10–3 мм – 50,9 % и наименьшей долей крупных комков. Водопрочность агрегатов была высокой, что отражает формирование устойчивой мелко- и среднеагрегатной структуры в условиях минимального механического воздействия.

При вспашке сохранялась наибольшая доля водопрочных агрегатов: >1 мм – 25 %, $>0,25$ мм – 63 %. Нулевая обработка обеспечила максимальную водопрочность в весенний период, что свидетельствует о более устойчивой структуре к размыванию в условиях избыточного увлажнения.

Дисковое лущение и чизелевание характеризовались меньшей устойчивостью агрегатов (>1 мм – 18–20 %; $>0,25$ мм – 52–54 %), что указывает на более выраженную деградацию структуры при повышенном водном воздействии.

Нами отмечено, что в осенний период при нормальном увлажнении более выраженная крупнокомковатая структура формировалась при отвальной вспашке, тогда как нулевая обработка способствовала образованию устойчивых средних агрегатов (10–3 мм) с высокой водопрочностью.

Весеннее превышение нормы осадков привело к разрушению крупных агрегатов во всех вариантах обработки и увеличению содержания пылевой фракции (<1 мм). Наиболее устойчивой к переувлажнению оказалась почва при нулевой обработке и, в меньшей степени, при вспашке. Гидротермические условия осеннего периода 2021 года, близкие к среднемноголетним значениям, обусловили отчетливую дифференциацию вариантов обработки почвы по показателям структурно-агрегатного состояния. Применение прямого посева обеспечило наивысшую долю агрономически ценных агрегатов размером 10–3 мм (54,2 %) и максимальные значения водопрочности агрегатов более 0,25 мм (77 %). Сформированная при этом структура

характеризуется как устойчивая каркасная система, обладающая высокой сопротивляемостью к водной эрозии и уплотнению.

При отвальной обработке на глубину 20–22 см отмечено формирование преимущественно крупнокомковатой структуры с высокой долей агрегатов размером более 10 мм (40,4 %) и значительной водопрочностью ($>0,25$ мм – 75 %). В условиях оптимального увлажнения осенняя вспашка способствует образованию прочной, однако несколько грубодисперсной структуры.

Снижение количества атмосферных осадков в весенний период приводит к существенным изменениям структурного состояния почвы. Верхний слой становится более рыхлым и фрагментированным вследствие частичной утраты межагрегатных связей. Во всех вариантах обработки почвы нами отмечено снижение доли крупных агрегатов (>10 мм) до 3,6–5,1 % (приложение 5), сопровождающееся увеличением содержания мелкодисперсной фракции (<1 мм) до 44,2–48,6 %.

Одновременно в ходе исследования отмечено уменьшение водопрочности агрегатов по сравнению с осенним периодом. В частности, при дисковом лущении доля водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм составила 54 %, тогда как в осенний период данный показатель достигал 66 %. Это указывает на снижение структурной устойчивости почвы под воздействием весенних гидротермических условий.

В системе обработки почвы одно из ключевых мест занимает придание пахотному слою оптимального структурного состояния. Крошение – это технологический процесс механического воздействия рабочих органов почвообрабатывающих орудий на почву, направленный на уменьшение размеров структурных отдельностей и глыб. Целью крошения является создание мелкокомковатой или зернистой структуры, которая в наибольшей степени соответствует агрофизическим требованиям возделываемых культур.

Агрономическая ценность крошения выходит далеко за рамки простого уменьшения комков. Это фундаментальный фактор, определяющий водный, воздушный, тепловой и питательный режимы почв

Главная агрономическая роль крошения заключается в оптимизации водного режима. Почва, разделенная на мелкие отдельности (агрегаты размером от 0,25 до 10 мм), обладает качественно иными свойствами, чем массивная глыбистая масса:

В хорошо крошеном слое преобладают крупные межагрегатные промежутки, по которым атмосферные осадки и талые воды быстро проникают вглубь, не застаиваясь на поверхности. Это предотвращает поверхностный сток и эрозию почвы. Сбалансированное соотношение твердой фазы, влаги и воздушного компонента в комковато-агрегатной структуре почвы создает благоприятные условия для активизации нитрифицирующих бактерий и других групп микроорганизмов, участвующих в минерализации органического вещества. В результате усиливаются процессы трансформации элементов питания, в частности азота, фосфора и калия, из малодоступных форм в соединения, пригодные для усвоения растениями.

Следует отметить, что агрономическое значение имеет не сам факт механического дробления почвы, а формирование структуры, отвечающей установленным требованиям. В соответствии с нормативными документами и агрономическими критериями, оптимальным считается такое состояние почвы, при котором преобладают агрегаты размером 0,25–10 мм. Наличие крупных глыб размером более 10 мм рассматривается как нежелательное явление, поскольку они ухудшают физические, водные и аэрационные свойства почвенной среды.

Чрезмерное распыление почвы (образование пылевой фракции <0,25 мм) также вредно, так как ведет к заплыванию, коркообразованию и эрозии.

Агрономическая роль крошения почвы является основополагающей в создании благоприятных условий для роста и развития сельскохозяйственных культур. Качественное крошение позволяет управлять плодородием, создавая оптимальный водно-воздушный баланс, активизируя микробиологические процессы и обеспечивая высокое качество посевных работ. Оценка степени

крошения должна быть неотъемлемой частью агрономического контроля за качеством обработки почвы.

Дисковое лушение на 10–12 см (контроль) характеризовалось умеренным содержанием крупных агрегатов (>100 мм – 3,6%) и преобладанием агрономически ценных фракций 100–10 мм (29,5%) и 1–0,25 мм (23,6%). Доля агрегатов размером 10–3 и 3–1 мм составила соответственно 19,7 и 19,5%. Содержание пылевой фракции (<0,25 мм) – 4,1%. Коэффициент структурности равнялся 1,7, что свидетельствует о формировании относительно устойчивой структуры (таблица 3).

Таблица 3 – Крошение почвы при различных обработках почвы в верхнем пятисантиметровом слое почвы, (2020–2022 гг.)

Обработка почвы	Фракции (мм), %						Коэффициент структурности
	>100	100-10	10-3	3-1	1-0,25	<0,25	ед.
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	3,6	29,5	19,7	19,5	23,6	4,1	1,7
Вспашка на 20-22 см	10,2	37,4	20,5	16,3	13,6	2,0	1,0
Чизелевание на 20-22 см	5,2	29,4	19,6	21,1	20,5	4,2	1,6
Нулевая обработка (прямой посев)	1,3	42,5	28,9	14,6	11,9	0,8	0,8
НСР ₀₅	1,80	6,30	6,95	3,56	5,48	1,46	0,39

Фракция средние и мелкие глыбы (100-10 мм.) на дисковом лушении составила 29,5%, на вспашке 37,4 %, что на 7,9 % или 26,8 относительных процента больше по сравнению с контролем, при НСР05 – 6,30 увеличение существенно. На чизельной обработке почвы 29,4 %, что на 0,1 % или 0,34 относительных процента меньше в сравнении с контролем, разница незначительна. На нулевой обработке почвы 42,5 %, что на 13% или 44,1 относительных процента больше по сравнению с контролем, увеличение существенно.

Содержание фракции крупные комки (10-3 мм.) на контроле составило 19,7%, на вспашке 20,5 %, что на 0,8 % или 4,1 относительных процента больше при НСР05 – 6,95 разница несущественная. На чизельной обработке почвы количество крупных комков составило 19,6%, что на 0,1% или 0,5 % меньше по сравнению с контролем, разница несущественна. На нулевой обработке почвы 28,9%, что на 9,2% или 46,7 относительных процента больше по сравнению с контролем, увеличение достоверно.

Фракция средние комки (3-1 мм.) на дисковом лушении составила 19,5%, на вспашке 16,3% что на 3,2% или 16,4 относительных процента меньше по сравнению с контролем при НСР05 – 3,56 уменьшение не существенно. На чизельной обработке почвы количество фракции средние комки составило 21,1%, что на 1,6% больше или 8,2 относительных процента больше по сравнению с контролем, увеличение не существенно. На нулевой обработке почвы фракция средние комки составила 14,6 %, что на 4,9% или 25,1 относительных процента меньше по сравнению с контролем, разница достоверна.

Содержание фракции мелкие комки и зернистые элементы (1-0,25 мм.) на дисковом лушении составило 23,6 %, на вспашке 13,6 %, что на 10 % или 42,4 относительных процента меньше по сравнению с контролем при НСР₀₅ – 5,48 разница достоверна. На чизелевании фракция мелкие комки и зернистые элементы составила 20,5 %, что на 3,1% или 13,1 относительных процента меньше, разница не существенная. На нулевой обработке почвы фракция мелкие комки и зернистые элементы составила 11,9 %, что на 11,7% или 49,6 относительных процента меньше по сравнению с контролем, разница достоверна.

Количество пылеватой фракции (<0.25 мм.) на дисковом лушении составило 4,1% на вспашке 2,0 %, что на 2,1 % или 51,2 % относительных процента меньше по сравнению с контролем при НСР₀₅ – 1,46 получено существенное снижение. На чизельной обработке почвы пылеватая фракция составила 4,2 %, что на 0,1 % или 2,4 относительных процента больше по

сравнению с контролем, при $НСР_{05} = 1,46$ разница незначительна. На нулевой обработке почвы содержание пылеватых частиц наименьшее – 0,8 %, что на 3,3 % или 80,5 относительных процента меньше по сравнению с контролем, снижение достоверно.

Количество пылевой фракции (<0,25 мм.) на дисковом лущении составило 4,1% на вспашке 2,0 %, что на 2,1 % или 51,2 % относительных процента меньше по сравнению с контролем при $НСР_{05} = 1,46$ получено существенное снижение. На чизельной обработке почвы пылеватая фракция составила 4,2 %, что на 0,1 % или 2,4 относительных процента больше по сравнению с контролем, при $НСР_{05} = 1,46$ разница незначительна. На нулевой обработке почвы содержание пылеватых частиц наименьшее – 0,8 %, что на 3,3 % или 80,5 относительных процента меньше по сравнению с контролем, снижение достоверно

Вспашка на 20–22 см сопровождалась наибольшим количеством глыбистой фракции (>100 мм – 10,2%), что достоверно превышает показатели других вариантов ($НСР_{05} 1,80$). Одновременно зафиксирована значительная доля агрегатов размером 100–10 мм (37,4 %).

Нами также отмечено что содержание мелкой фракции (1–0,25 мм) снижалось до 13,6 %, а коэффициент структурности составлял 1,0, что указывает на определенное ухудшение структурного состояния почвы.

Показано, что применение чизельной обработки обеспечивало более равномерное распределение агрегатов по размерным фракциям. Содержание глыбистой фракции было ниже, чем при отвальной вспашке и достигало 5,2 %. Коэффициент структурности равнялся 1,6, что сопоставимо с показателями при дисковом лущении и характеризует почву как обладающую относительно благоприятной структурной организацией.

Вариант с нулевой обработки характеризовался минимальной долей глыбистой фракции и наименьшим содержанием пылеватых частиц. На данном варианте отмечалось нами максимальное накопление агрегатов размером 100–10 мм (42,5 %) и 10–3 мм (28,9 %), а коэффициент

структурности имел наименьшее значение (0,8), что может свидетельствовать о некотором уплотнении верхнего горизонта и снижении доли устойчивых мелких агрегатов.

Сравнительный анализ с учетом НСР₀₅ показывает, что различия между вариантами по большинству фракций и коэффициенту структурности являются статистически значимыми. В целом минимальные обработки (дисковое лущение и чизелевание) способствовали формированию более оптимального соотношения агрономически ценных агрегатов и более высокому коэффициенту структурности (1,6–1,7), тогда как отвальная вспашка приводила к увеличению глыбистости и снижению структурной устойчивости. Нулевая обработка обеспечивала минимальное разрушение структуры, однако сопровождалась снижением коэффициента структурности.

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что система обработки почвы является определяющим фактором формирования структурного состояния верхнего слоя, причем наилучшие показатели крошения и структурности в условиях 2020–2022 гг. отмечены при минимальных обработках почвы.

Коэффициент структурности почвы это частное от деления массы агрономически ценных агрегатов (фракция крупные комки (10-3 мм.), средние комки (3-1 мм.), мелкие комки и зернистые элементы (1,0-0,25 мм)) на массу суммы пылеватых (<0,25 мм) и глыбистых фракций (фракция крупно-глыбистая (>100 мм.), средние и мелкие глыбы (100-10 мм) (таблица 3).

Коэффициент структурности почвы на дисковом лущении составил 1,7, на вспашке 1,0, что на 0,7 или 41,2 % меньше по сравнению с контролем при НСР₀₅ – 0,39 снижение существенно. На чизельной обработке почвы коэффициент структурности составил 1,6, что на 0,1 или 5,9 % меньше по сравнению с контролем, разница существенна. На нулевой обработке почвы коэффициент структурности составил 0,8, что на 0,9 или 52,9 % меньше по сравнению с контролем, разница достоверна.

Нами показано, что лучшее крошение почвы было получено на дисковом лущении где образовались структурные отдельности, состоящие в основном из комковато-зернистой фракции с преобладанием частиц 0,25-3 мм и коэффициентом структурности 1,7 ед., а худшее на нулевой обработке почвы с коэффициентом структурности 0,8 ед.

В условиях 2019–2020 сельскохозяйственного года, при количестве осадков осеннего периода, близком к среднемноголетним значениям (норме), изучалось влияние различных систем обработки почвы на показатели ее крошения и структурного состояния. При поверхностной обработке дисковыми орудиями наблюдалось относительно равномерное распределение фракций. Содержание агрономически ценных агрегатов (размером от 10 до 0,25 мм) составило 62,3%(приложение 6). При этом доля пылеватой фракции (<0,25 мм) была максимальной среди всех вариантов (5,9%), что может указывать на некоторую распыленность почвы, характерную для многократных дисковых воздействий.

При отвальной вспашке суммарная доля глыбистых агрегатов достигала 52,8 %, в том числе 12,8 % приходилось на крупные глыбы. Это указывает на значительную степень механического разрушения почвенного пласта и одновременно сопровождалось снижением содержания агрономически ценных агрегатов размером 1–0,25 мм до 10,7 %. Коэффициент структурности в данном варианте имел минимальное значение (0,8), что свидетельствует о доминировании крупноглыбистой фракции над структурно ценными агрегатами.

Нами отмечено, что обработка с применением чизеля обеспечивала наиболее благоприятные показатели структурного состояния почвы. Суммарная доля агрономически ценных фракций достигала максимального уровня и составила 61,9 %. Коэффициент структурности (1,7) соответствовал контрольному варианту, при этом качественные характеристики структуры (за счет меньшего содержания пылеватых частиц и крупных глыб) были более высокими. В условиях недостаточного увлажнения осеннего периода 2020

года нами установлено, что наибольшая доля глыбистой фракции отмечена при отвальной вспашке и была на уровне 8,1 % (приложение 7). Минимальное содержание глыб (1,0 %) зафиксировано при нулевой обработке, что обусловлено отсутствием механического воздействия и сохранением ранее сформированной структуры.

Максимальная доля агрономически ценных агрегатов отмечена при проведении чизельной обработке (61,0 %) и при дисковом лушение отмечены близкие значения (59,6 %), однако на этом варианте было несколько высоким содержание фракции $<0,25$ мм (3,6 %).

Суммарная доля агрономически ценных агрегатов (58,3 %) является достаточной для формирования всходов, однако коэффициент структурности (1,3) несколько уступает показателю при чизельной обработке, что, вероятно, связано с уплотнением поверхностного слоя в условиях недостаточного увлажнения.

Анализ экспериментальных данных за 2021 год указывает на разнонаправленное влияние механической обработки почвы на фракционный состав агрегатов. Применение дискового лушения на глубину 10–12 см (контрольный вариант) обеспечивало относительно сбалансированное распределение агрегатов по размерам. Доля глыбистой фракции (>100 мм) в данном случае была минимальной среди вариантов с механическим воздействием (3,6 %), что обусловлено характером обработки и отсутствием оборота пласта. Вместе с тем повышенное содержание пылеватых частиц ($<0,25$ мм – 3,0 %) может свидетельствовать о частичном распылении поверхностного слоя вследствие многократных проходов техники (приложение 8).

Наиболее выраженные изменения структурного состояния почвы отмечены при отвальной вспашке на глубину 20–22 см. Данный прием способствовал увеличению доли крупных макроагрегатов: суммарное содержание фракций 100–10 мм достигало 35,1 %, а количество глыб (>100 мм) – 9,7 %. Это связано с переворачиванием пласта и выносом на поверхность

крупных, недостаточно разрушенных почвенных блоков. При этом доля агрономически ценных агрегатов размером была минимальной и составляла 53,4 %, что обусловило снижение коэффициента структурности до 1,1, то есть уровня, характеризующего пограничное состояние между удовлетворительным и неудовлетворительным структурным состоянием почвы.

Нами установлено, что при проведении чизельной обработке формировались более благоприятные условия для структурообразования по сравнению с отвальной вспашкой. В результате коэффициент структурности возрастал до 1,5. Это связано с отсутствием оборота пласта и преобладанием раскалывающего воздействия рабочих органов, что способствует формированию более однородной и пористой почвенной структуры.

Это отражает высокую степень связности почвы и сохранение естественно сформированной структуры, не подвергшейся механическому разрушению. Однако, несмотря на выраженную комковатость, коэффициент структурности составил лишь 1,1, что сопоставимо с показателем при отвальной вспашке.

Данный парадокс объясняется низким содержанием в прямом посеве микроструктурных фракций (3-0,25 мм), которые играют ключевую роль в создании рыхлого сложения семенного ложа и контакта семян с почвой.

Объемная масса почвы – это масса абсолютно сухой почвы (высушенной при температуре 105°C) в единице объема, взятого в естественном сложении (т. е. вместе со всеми порами). Плотная почва плохо пропускает воду (застой на поверхности, эрозия), но и слишком рыхлая быстро высыхает. В переуплотненной почве мало кислорода, необходимого для дыхания корней и деятельности микроорганизмов (нитрификация замедляется). Корни с трудом проникают в плотные горизонты. Это ограничивает объем почвы, из которого растение может добывать воду и пищу. От плотности зависит тяговое сопротивление плугов и другой техники (чем плотнее, тем выше расход топлива).

3.2 Запасы продуктивной влаги в почве

Продуктивная влага (или активная влага) – это часть почвенной влаги, которая используется растениями в процессе жизнедеятельности для создания органического вещества и формирования урожая. Она представляет собой воду, которую корневая система способна извлечь из почвы.

Нижней границей продуктивной влаги является влажность устойчивого завядания (ВЗ). Это критический уровень влажности, при котором растения не могут получать воду и начинают увядать, переставая развиваться. Влажность завядания не является константой и зависит от двух основных факторов:

Продуктивная влага является критическим фактором, напрямую влияющим на успех растениеводства. Вода – это исходный материал для фотосинтеза. Расход воды растениями огромен: транспирационный коэффициент (количество воды на создание 1 г сухого вещества) может составлять от 200 до 1000 г. Питательные элементы поступают в растения только в растворенном виде, вместе с почвенным раствором.

Наибольшая отдача от удобрений достигается именно при оптимальной влажности почвы (около 80-90% от наименьшей влагоемкости). При недостатке или избытке влаги эффективность удобрений резко падает – в засушливые годы она может снижаться.

И так, управление запасами продуктивной влаги – это комплексная задача, включающая выбор оптимальной системы обработки почвы, рациональных севооборотов и своевременное проведение полевых работ. Понимание ее роли является основой для получения стабильных и высоких урожаев.

Таблица 4 – Запасы продуктивной влаги в почве под озимой пшеницей в зависимости от обработки почвы, мм (2020–2022 гг.)

Обработка почвы	Глубина , см			
	0-10	0-20	0-50	0-100

Перед посевом				
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	4,0	7,7	19,7	50,7
Вспашка на 20-22 см	1,7	4,3	11,7	32,0
Чизелевание на 20-22 см	3,0	6,3	17,3	47,7
Нулевая обработка	1,0	2,3	9,7	25,7
НСР ₀₅	1,63	1,73	4,16	1,63
В начале возобновления весенней вегетации				
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	14,7	31,3	80,0	171,3
Вспашка на 20-22 см	19,7	37,3	88,0	182,7
Чизелевание на 20-22 см	21,7	41,3	92,0	193,0
Нулевая обработка (прямой посев)	10,7	24,0	67,7	146,0
НСР ₀₅	5,74	5,50	7,67	10,03
В фазу колошения				
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	8,3	18,0	52,0	109,0
Вспашка на 20-22 см	10,7	22,7	57,3	124,3
Чизелевание на 20-22 см	12,3	24,7	63,3	132,7
Нулевая обработка (прямой посев)	5,0	14,0	43,0	98,3
НСР ₀₅	2,42	2,18	1,45	4,11
В фазу полной спелости				
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	4,3	10,3	31,3	78,0
Вспашка на 20-22 см	6,0	13,7	36,7	90,7

Чизелевание на 20-22 см	7,7	15,7	41,3	94,7
Нулевая обработка (прямой посев)	2,3	7,0	26,3	
НСР ₀₅	1,49	2,28	3,51	6,43

Запасы продуктивной влаги в почве под озимой пшеницей в 2020–2022 гг. существенно варьировали в зависимости от обработки почвы, глубины учетного слоя и фазы развития культуры. Полученные данные свидетельствуют о выраженном влиянии интенсивности и характера механического воздействия на почвенный профиль на формирование и перераспределение влаги в течение вегетационного периода (таблица 4). В результате проведенных исследований установлено изменение запасов продуктивной влаги в зависимости от обработки почвы. Анализ данных по слою 0–10 см показал, что при дисковом лущении влагозапасы находились на уровне 4,0 мм. На варианте со вспашкой этот показатель составил 1,7 мм, что существенно ниже контроля на 2,3 мм (или 57,5%) при НСР₀₅ 1,63. Применение чизельной обработки обеспечило содержание влаги 3,0 мм, что меньше контроля на 1,0 мм (25%), однако данная разница математически не доказана. Наименьшая величина отмечена при нулевой обработке – 1,0 мм, что на 3,0 мм (75%) уступает контролю, но также находится в пределах ошибки опыта (таблица 4).

С углублением до 20 см наблюдался рост влагозапасов. На дисковом лущении они достигли 7,7 мм. Вспашка привела к снижению показателя до 4,3 мм, что достоверно меньше контроля на 3,4 мм (44,2%) при НСР₀₅ 1,73. Чизелевание обеспечило влагозапасы 6,3 мм, что на 1,4 мм (18,2%) ниже контроля (разница незначительна). При нулевой обработке зафиксировано статистически значимое уменьшение до 2,3 мм, что на 5,4 мм (70,1%) меньше, чем в контроле.

В метровом слое почвы перед посевом максимальная влагообеспеченность отмечена при дисковом лущении – 50,7 мм. На вспашке данный показатель составил 32,0 мм, что достоверно ниже контроля на 18,7 мм (36,9%) ($НСП_{05}$ 1,63). Худшие результаты получены при нулевой обработке: запасы влаги равнялись 25,7 мм, что существенно (на 25 мм или 49,3%) уступает контролю. На чизельном фоне отмечено наименьшее снижение – до 47,7 мм, что всего на 3,0 мм (5,9%) меньше контроля, однако и это уменьшение оказалось статистически значимым.

Перед посевом во всех вариантах наблюдались минимальные запасы влаги, что отражает сезонные особенности водного режима. Наибольшие показатели отмечены при дисковом лущении на 10–12 см и чизелевании на 20–22 см. В слое 0–100 см запасы составили соответственно 50,7 и 47,7 мм, тогда как при вспашке они были ниже (32,0 мм), а при нулевой обработке – минимальными (25,7 мм). Аналогичная тенденция сохранялась и в более мелких слоях (0–10; 0–20; 0–50 см). Различия в большинстве случаев превышали $НСП_{05}$, что указывает на их статистическую значимость.

В начале возобновления весенней вегетации наблюдалось максимальное накопление влаги по всем вариантам обработки. Абсолютные значения возрастали в 3–4 раза по сравнению с предпосевным периодом. Наиболее высокие запасы формировались при чизелевании: в слое 0–100 см – 193,0 мм, в слое 0–50 см – 92,0 мм. Вспашка занимала промежуточное положение (182,7 и 88,0 мм соответственно), тогда как дисковое лущение обеспечивало несколько меньшие показатели (171,3 и 80,0 мм). Минимальные значения вновь зафиксированы при нулевой обработке – 146,0 мм в метровом слое. Превышение вариантов глубокого рыхления над прямым посевом по большинству горизонтов достоверно ($НСП_{05}$ 7,67–10,03 мм для слоев 0–50 и 0–100 см). К началу возобновления весенней вегетации озимой пшеницы запасы продуктивной влаги значительно увеличились на всех вариантах опыта. Так на глубине 0–100 см наилучшие запасы продуктивной влаги в почвы были получены на чизельной обработке почвы 193,0 мм, что на 21,7 мм или 12,7 %

больше по сравнению с дисковым лущением – 171,3 мм, при НСР₀₅ – 10,03 получено достоверное увеличение запасов продуктивной влаги в почве. На вспашке запасы продуктивной влаги в почве составили 182,7 мм, что на 11,4 мм или 6,7 % больше по сравнению с контролем, разница существенна. На нулевой обработке почвы запасы продуктивной влаги составили 146,0 мм, что на 25,3 мм или 14,8 % меньше по сравнению с контролем, уменьшение запасов продуктивной влаги существенно.

В фазу колошения отмечалось закономерное снижение влагозапасов вследствие активного водопотребления растений. Однако относительное распределение вариантов сохранялось: чизелевание способствовало наибольшему удержанию влаги (132,7 мм в слое 0–100 см), далее следовали вспашка (124,3 мм) и дисковое лущение (109,0 мм). Нулевая обработка характеризовалась наименьшими запасами (98,3 мм). В пахотном и подпахотном слоях (0–50 см) различия между чизелеванием и вспашкой были статистически подтверждены (НСР₀₅ 1,45–4,11 мм).

Изучение динамики продуктивной влаги в фазу колошения показало ее уменьшение относительно предшествующего периода. Наибольшее влияние на влагонакопление оказала обработка почвы.

В слое 0–20 см максимальные влагозапасы сформировались под чизельной обработкой – 24,7 мм. Это достоверно выше контроля (дисковое лущение, 18,0 мм) на 37,2% (6,7 мм). Применение вспашки также обеспечило прирост – до 22,7 мм (+26,1% к контролю). Нулевая обработка привела к иссушению верхнего слоя – всего 14,0 мм, что на 22,2% (4,0 мм) меньше контроля. Все изменения подтверждены статистически (НСР₀₅ 2,18).

Аналогичная картина прослеживалась и в более глубоких горизонтах в фазу колошения:

– 0–50 см: чизелевание – 63,3 мм (+21,7% к контролю); вспашка – 57,3 мм (+10,2%); нулевая обработка – 43,0 мм (-17,3%).

– 0–100 см: наибольший запас влаги отмечен при чизельной обработке – 132,7 мм (+21,7% к контролю). Вспашка дала 124,3 мм (+14%). Наименьший

показатель – у нулевой обработки: 98,3 мм (-9,8%). Достоверность различий подтверждена значениями НСР₀₅ (1,45 и 4,11 соответственно).

Перед уборкой урожая преимущество глубоких обработок сохранилось. Лучшие показатели влагозапасов в метровом слое зафиксированы на варианте с чизелеванием – 94,7 мм. Существенная прибавка к контролю (78,0 мм) составила 16,7 мм. Вспашка также обеспечила достоверное превышение контроля – 90,7 мм (+12,7 мм). Худшие результаты получены на нулевом фоне – 67,0 мм, что на 14,1% (11,0 мм) ниже, чем при дисковом лушении (НСР₀₅ 6,43).

К фазе полной спелости наблюдалось дальнейшее уменьшение запасов продуктивной влаги во всех вариантах. Тем не менее преимущество глубоких способов обработки сохранялось. При чизелевании в метровом слое содержалось 94,7 мм влаги, при вспашке – 90,7 мм, при дисковом лушении – 78,0 мм, тогда как при нулевой обработке – лишь 67,0 мм. В верхних слоях (0–10 и 0–20 см) различия также носили устойчивый характер и в ряде случаев превышали порог НСР₀₅. Перед уборкой урожая преимущество глубоких обработок сохранилось. Лучшие показатели влагозапасов в метровом слое зафиксированы на варианте с чизелеванием – 94,7 мм. Существенная прибавка к контролю (78,0 мм) составила 16,7 мм. Вспашка также обеспечила достоверное превышение контроля – 90,7 мм (+12,7 мм). Худшие результаты получены на нулевом фоне – 67,0 мм, что на 14,1% (11,0 мм) ниже, чем при дисковом лушении (НСР₀₅ 6,43).

Нами установлено, что в условиях 2020–2022 гг. наиболее благоприятный водный режим почвы под озимой пшеницей формировался при чизелевании на глубину 20–22 см, что обеспечивало более высокое накопление и сохранение продуктивной влаги в течение всего вегетационного периода. Вспашка занимала промежуточное положение, тогда как нулевая обработка характеризовалась наименьшими влагозапасами практически во все учетные сроки. Полученные результаты указывают на существенную роль

глубокой безотвальной обработки в оптимизации водного режима агроценоза озимой пшеницы.

Основная обработка почвы оказывает существенное влияние на влагонакопление в метровом слое. Наиболее эффективным способом по обеспеченности влагой в критический весенний период является чизелевание, тогда как нулевая обработка формирует минимальные запасы продуктивной влаги.

В 2019–2020 сельскохозяйственном году запасы продуктивной влаги в почве под озимой пшеницей формировались в условиях осенних осадков, близких к среднегодовым значениям, и недостаточного увлажнения в весенний период. Это обусловило выраженную зависимость динамики влагообеспеченности посевов от основной обработки почвы (приложение 9). Нами показано, что перед посевом максимальные запасы продуктивной влаги отмечены при отвальной обработке. При проведении чизельной обработки отмечены близкие по величине показатели (соответственно 40 и 13 мм). В вариантах с дисковым лушением и при применении нулевой обработки нами отмечены минимальные значения влагозапасов, особенно в пахотном горизонте 0–20 см (0–3 мм), что свидетельствует о меньшей эффективности накопления влаги в верхних слоях при поверхностных и минимальных системах обработки.

На протяжении всего периода наблюдений наибольшие запасы продуктивной влаги отмечены нами в весенний сезон. Так, в слое 0–100 см при отвальной вспашке влагосодержание достигало 216 мм, при чизельной обработке (205 мм), при дисковом лушении (196 мм), а при нулевой обработке только 178 мм. Аналогичная закономерность прослеживалась и в верхних горизонтах почвы.

Несмотря на снижение количества осадков в весенний период, уровень влагозапасов оставался достаточно высоким, что обусловлено поступлением влаги за счет зимних осадков и талых вод. При этом отвальная обработка

обеспечивала наибольшую способность почвенного профиля к накоплению влаги.

К фазе колошения отмечено существенное снижение запасов продуктивной влаги во всех вариантах обработки, что обусловлено активным водопотреблением растений и недостатком атмосферных осадков весной. В слое 0–100 см запасы составили: при вспашке – 98 мм, чизелевании – 90 мм, дисковом лушении – 75 мм, нулевой обработке – 62 мм. Преимущество глубоких обработок сохранялось, однако различия между вспашкой и чизелеванием сокращались.

К фазе полной спелости наблюдалось дальнейшее уменьшение запасов влаги. Максимальные значения в слое 0–100 см отмечены при вспашке (61 мм) и чизелевании (57 мм). При дисковом лушении показатель составил 48 мм, при нулевой обработке – 40 мм. В верхнем 0–10 см слое запасы влаги были минимальными (0–4 мм), что отражает иссушение поверхностного горизонта в условиях недостаточного весеннего увлажнения.

В условиях 2019–2020 с.х.г. при осадках осенью, близких к среднемноголетним, и дефиците влаги весной, наиболее благоприятные условия для накопления и сохранения продуктивной влаги формировались при отвальной вспашке и чизелевании. Дисковое лушение занимало промежуточное положение, тогда как нулевая обработка характеризовалась наименьшими запасами влаги на протяжении всего вегетационного периода.

Следовательно, в засушливых весенних условиях системы глубокой основной обработки обеспечивали более устойчивый водный режим почвы и потенциально создавали лучшие предпосылки для формирования урожая озимой пшеницы. В 2019–2020 сельскохозяйственном году запасы продуктивной влаги в почве под озимой пшеницей формировались в условиях осенних осадков, близких к среднемноголетним значениям, и недостаточного увлажнения в весенний период. Это обусловило выраженную зависимость динамики влагообеспеченности посевов от основной обработки почвы.

Перед посевом в этом году наибольшие запасы влаги во всех изучаемых слоях отмечены при вспашке. В слое 0–100 см данный показатель составил 51 мм, что превышало значения при чизелевании (48 мм), дисковом рыхлении (32 мм) и нулевой обработке (25 мм). Аналогичная закономерность прослеживается и в слоях 0–50 и 0–20 см. Минимальные запасы влаги зафиксированы при нулевой обработке почвы (приложение 10).

В начале весенней вегетации наблюдалось существенное увеличение запасов продуктивной влаги во всех вариантах обработки. Максимальные значения вновь отмечены при вспашке: 156 мм в слое 0–100 см и 78 мм в слое 0–50 см. При чизелевании запасы влаги составили соответственно 145 и 72 мм, при дисковом рыхлении – 138 и 56 мм. Наименьшие показатели зафиксированы при нулевой обработке (110 мм в слое 0–100 см).

В фазу колошения сохранялась тенденция к преимуществу вспашки по обеспеченности почвы влагой. В метровом слое почвы (0–100 см) величина запасов продуктивной влаги достигала 170 мм, что превышало показатели при чизельной обработке на 12 мм, а при дисковом рыхлении – на 28 мм. В условиях нулевой обработки данный показатель снижался до 135 мм. В верхних горизонтах (0–10 и 0–20 см) различия между вариантами были менее выраженными, однако преимущество отвальной вспашки сохранялось.

К фазе полной спелости культуры во всех вариантах обработки наблюдалось закономерное уменьшение запасов влаги, обусловленное активным водопотреблением растений. Тем не менее, наибольшие значения сохранялись при отвальной обработке (144 мм в слое 0–100 см), далее следовали чизельная обработка (140 мм), дисковое рыхление (126 мм) и нулевая технология (110 мм). В пахотном горизонте (0–20 см) также отмечено преимущество вспашки, где содержание влаги достигало 26 мм.

Обобщение полученных данных свидетельствует о значительном влиянии основной обработки почвы на формирование и динамику запасов продуктивной влаги. Наиболее благоприятные условия для аккумуляции и сохранения влаги на протяжении вегетационного периода озимой пшеницы

обеспечивала отвальная вспашка. Чизельная обработка занимала промежуточное положение, тогда как дисковая и, в особенности, нулевая системы характеризовались более низкими влагозапасами, преимущественно в более глубоких горизонтах почвенного профиля (0–50 и 0–100 см).

Анализ динамики запасов продуктивной влаги в почве под озимой пшеницей в 2021–2022 гг. свидетельствует о выраженной зависимости водного режима агроценоза от основной обработки почвы. Гидротермические условия исследуемого периода характеризовались избыточным увлажнением осенью (количество осадков превышало среднемноголетние значения) и дефицитом влаги в весенний период, что обусловило контрастность формирования почвенной влагообеспеченности на разных этапах органогенеза культур (приложение 11)

На этапе предпосевной подготовки отмечены сравнительно невысокие запасы продуктивной влаги во всех вариантах обработки. Необходимо отметить, что максимальные значения запасов продуктивной влаги в слое 0–100 см отмечены при отвальной вспашке (58 мм), что превышало аналогичные показатели при дисковом рыхлении на 19 мм и при нулевой обработке на 26 мм. В условиях нулевой технологии уплотнение верхнего горизонта, вероятно, ограничивало вертикальную миграцию влаги, что обусловило минимальные значения влагозапасов.

К периоду возобновления весенней вегетации наблюдалось значительное увеличение запасов влаги во всех исследуемых слоях почвы. В метровом слое максимальная влагообеспеченность вновь зафиксирована при отвальной обработке (207 мм), что превышало показатели дискового рыхления на 27 мм и нулевой обработки на 57 мм.

К фазе колошения установлено закономерное снижение запасов продуктивной влаги, обусловленное интенсивным водопотреблением культуры и ограниченным поступлением атмосферных осадков. Наиболее выраженное уменьшение отмечено при нулевой обработке (98 мм в слое 0–100 см), что отражает более быстрое истощение доступной влаги в условиях

дефицита осадков. Наибольшие остаточные влагозапасы сохранялись при отвальной вспашке (130 мм). Аналогичная закономерность прослеживалась и в слое 0–50 см, где различия между отвальной обработкой и нулевой технологией достигала 20 мм, что свидетельствует о большей устойчивости водного режима при применении глубоких обработок почвы.

К фазе полной спелости озимой пшеницы запасы продуктивной влаги снижались до минимальных значений за вегетационный период. При этом нами показано, что при проведении отвальной вспашки эта величина была на уровне 79 мм, при чизельной обработке (75 мм), при использовании дискового рыхления (60 мм). При возделывании культуры по нулевой технологии нами получены еще меньшие значения.

Можно заключить, что в условиях достаточного увлажнения осеннего периода наиболее эффективными с точки зрения сохранения продуктивной влаги являются системы отвальной и безотвальной (чизельной) обработки. Нулевая технология характеризуется наименьшими влагозапасами на всех этапах наблюдений.

3.3. Динамика изменения твердости почвы

Повышенные значения твердости почвы оказывают отрицательное воздействие на рост корневой системы растений. Для озимой пшеницы особое значение имеет физическое состояние посевного слоя (0–10 см) в период сева.

Результаты наших данных по твердости почвы в слое 0–30 см в зависимости от основной обработки в 2020–2022 гг. выявили существенную разницу показателей как между вариантами обработки, так и по фазам развития культуры (таблица 5).

В начальный период весенней вегетации минимальные значения твердости отмечены при отвальной вспашке на глубину 20–22 см (14,3 кг/см²), что свидетельствует о высокой эффективности данного способа в снижении уплотненности почвы. При проведении чизельной обработке этот показатель

был несколько выше (15,3 кг/см²), что объясняется частичным сохранением естественного сложения и агрегатной структуры почвы при безотвальном рыхлении.

Варианты с дисковым лушением характеризовались повышенной твердостью (17,5 кг/см²), что обусловлено ограниченной глубиной воздействия и сохранением уплотненного подпахотного горизонта.

Таблица 5 – Изменение твердости почвы в зависимости от основной обработки почвы в слое 0–30 см, кг/см² (2020–2022 гг.)

Обработка почвы	Срок определения		
	в начале весенней вегетации	в фазу колошения	в фазу полной спелости
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	17,5	27,6	32,5
Вспашка на 20–22 см	14,3	23,6	28,2
Чизелевание на 20–22 см	15,3	25,1	30,4
Нулевая обработка (прямой посев)	20,9	30,3	36,7
НСР ₀₅	0,40	0,48	0,75

Максимальные значения получены при нулевой обработке (прямой посев) – 20,9 кг/см², что объясняется отсутствием механического рыхления и постепенным накоплением уплотнения в верхнем горизонте. Различия между вариантами существенно превышают величину НСР₀₅ (0,40 кг/см²), что подтверждает их статистическую достоверность. В зависимости от фазы вегетации и способа обработки почвы показатель твердости почвы в слое 0–30 см изменялся от 14,3 до 36,7 кг/см². Так в начале весенней вегетации на дисковом лушении твердость почвы составила 17,5 кг/см², на вспашке 14,3 кг/см², что на 3,2 кг/см² или 18,3 % меньше по сравнению с контролем, при НСР₀₅ – 0,40 получено достоверное увеличение твердости почвы. На

чизельной обработке почвы твердость составила 15,3 кг/см², что на 2,2 кг/см² или 12,6 % меньше по сравнению с контролем, снижение существенно. На нулевой обработке почвы – 20,9 кг/см², что на 3,4 кг/см² или 19,4 % больше по сравнению с контролем, увеличение твердости почвы достоверно.

В фазу колошения наблюдается закономерное увеличение твердости по всем вариантам, что связано с естественным уплотнением почвы под воздействием осадков, гравитационного оседания и механической нагрузки. При вспашке показатель составил 23,6 кг/см², при чизелевании – 25,1 кг/см², при дисковом лушении – 27,6 кг/см², а при нулевой обработке – 30,3 кг/см². Фазу колошения на дисковом лушении твердость почвы составила 27,6 кг/см², на вспашке 23,6 кг/см², что на 4 кг/см² или 14,5 % меньше по сравнению с контролем, при НСР₀₅ – 0,48 получено достоверное увеличение твердости почвы. На чизельной обработке почвы данный показатель составил 25,1 кг/см², что на 2,5 кг/см² или 9,1 % меньше по сравнению с контролем, снижение существенно. На нулевой обработке почвы показатель твердости почвы составил 30,3 кг/см², что на 2,7 кг/см² или 9,8 % больше по сравнению с контролем получено достоверное увеличение твердости почвы. Таким образом, ранжирование вариантов сохраняется: отвальная обработка формирует наиболее рыхлый профиль, тогда как прямой посев характеризуется наибольшей плотностью сложения. Превышение разностей над НСР₀₅ (0,48 кг/см²) указывает на достоверность выявленных тенденций.

К фазе полной спелости культуры наблюдается дальнейшее увеличение показателей твердости почвы во всех вариантах обработки. Наименьшие значения по-прежнему фиксируются при отвальной вспашке (28,2 кг/см²), несколько более высокие – при чизельной обработке (30,4 кг/см²).

Нами отмечено, что при дисковом лушении твердость почвы увеличивается до 32,5 кг/см², а максимальные значения данного показателя зафиксированы при применении нулевой технологии (36,7 кг/см²). На основании наших данных можно заключить, что отвальная вспашка на глубину 20–22 см обеспечивает наиболее низкий уровень твердости почвы на

протяжении всего вегетационного периода. Нулевая технология характеризуется стабильно повышенной твердостью в слое 0–30 см, что обусловлено отсутствием механического воздействия на почвенный профиль.

Нами показано, что основная обработка почвы является определяющим фактором динамики твердости почвы в течение вегетационного периода, причем различия между обработками почвы статистически значимы на всех этапах наблюдений. Из приведенных данных можно сделать вывод, что обработка почвы значительно влияет на показатель твердости почвы вспашка наилучшим образом действует на данный показатель.

Твердость почвы в слое 0–30 см в 2020 г. существенно варьировала в зависимости от основной обработки и сроков определения. В целом по всем вариантам отмечено закономерное увеличение показателя от начала весенней вегетации к фазе полной спелости, что связано с уплотнением пахотного слоя в течение вегетационного периода. Учитывая, что весенние осадки были ниже среднемноголетних значений, формирование повышенной плотности и твердости почвы было обусловлено недостаточным увлажнением и усилением процессов усадки (приложение 12).

В начале весенней вегетации наименьшая твердость почвы зафиксирована при вспашке на глубину 20–22 см – 15,9 кг/см². При чизелевании на ту же глубину показатель составил 17,1 кг/см², что на 1,2 кг/см² выше по сравнению со вспашкой. Дисковое лушение на 10–12 см обеспечило более высокую твердость – 19,0 кг/см². Наибольший уровень твердости почвы зафиксирован в варианте нулевой обработки (прямой посев) – 22,5 кг/см², что указывает на повышенную плотность верхнего горизонта при отсутствии механического рыхления.

В фазе колошения во всех вариантах обработки наблюдалось закономерное повышение твердости почвы. При этом минимальные значения сохранялись при отвальной вспашке (25,4 кг/см²), тогда как максимальные показатели фиксировались при нулевой технологии (32,1 кг/см²).

К фазе полной спелости отмечено дальнейшее увеличение твердости почвы: при отвальной обработке (до 30,3 кг/см²), при чизельной (до 32,4 кг/см²), а при нулевой технологии составило 38,6 кг/см². Наибольшая степень уплотнения на протяжении вегетационного периода характерна для системы прямого посева. В целом нами установлено, что отвальная вспашка обеспечивала наиболее благоприятное физическое состояние почвы в слое 0–30 см. Нулевая обработка, напротив, сопровождалась формированием повышенной твердости почвы, особенно в условиях недостаточного весеннего увлажнения.

Результаты оценки твердости почвы в слое 0–30 см в 2021 г. подтверждают зависимость агрофизических показателей как от основной обработки, так и от погодных условий. В весенний период отмечалось превышение количества осадков относительно среднемноголетних значений, что способствовало снижению плотности (приложение 13).

Поверхностная обработка обеспечивала формирование более рыхлого верхнего горизонта при сохранении повышенной плотности нижележащих слоев. Нами показано, что к фазе колошения отмечено увеличение твердости почвы (на 9,3 кг/см²). К уборке естественно формировался выраженно уплотненный почвенный слой.

К концу вегетации формируется наиболее уплотненный слой.

Однако важно учитывать, что при нулевой технологии уплотнение компенсируется развитой биопористостью (корни, ходы почвенной фауны), поэтому механическая твердость не всегда прямо отражает агрофизическое состояние.

Весенние осадки сгладили различия между вариантами в начале вегетации, однако по мере иссушения почвы структурные особенности каждой системы проявились отчетливо

В условиях 2021 года с достаточным весенним увлажнением глубокая отвальная обработка обеспечила наилучший режим рыхлости, чизелевание заняло промежуточное положение, поверхностная обработка и нулевая

система способствовали формированию более плотного пахотного слоя, а максимальное уплотнение отмечено при прямом посеве.

Нами установлено, что основная обработка почвы оказывает решающее влияние на формирование механической твердости почвы в слое 0–30 см, причем погодные условия лишь модифицируют, но не отменяют различия между технологиями. Проведенные исследования показали, что в 2022 году твердость почвы, являющаяся одной из ключевых агрофизических характеристик, существенно варьировала как в зависимости от применяемых способов основной обработки, так и от сроков ее определения (приложение 14).

При использовании дискового лущения на глубину 10–12 см (контроль) исходный уровень твердости составил 16,9 кг/см². К фазе колошения отмечено увеличение данного показателя на 64,5 %, а к уборке он достиг 32,6 кг/см².

Отвальная вспашка обеспечивала наиболее благоприятное сложение почвы в начальный период вегетации (14 кг/см²). По нашим данным чизельная обработка занимала промежуточное положение, что объясняется меньшей степенью разрушения почвенной структуры.

В дальнейшем к фазе колошения твердость возрастала до 25,5 кг/см², а к полной спелости (до 30,6 кг/см²).

Вариант нулевой обработки характеризовался устойчиво повышенными значениями твердости на протяжении всего периода наблюдений. Уже в начале весенней вегетации показатель составлял 20,6 кг/см², что на 21,7 % выше контрольного варианта и на 47,1 % превышало значение при отвальной вспашке.

Отсутствие механического рыхления закономерно привело к сохранению естественного сложения почвы. К фазе колошения твердость достигла 30,6 кг/см² (превышение контроля на 10,1%), а в фазе полной спелости зафиксирован абсолютный максимум за весь эксперимент – 37,2 кг/см². Это значение (на 14,1% выше контроля и на 33,8% выше вспашки)

свидетельствует о критическом уплотнении корнеобитаемого слоя, что может лимитировать развитие корневой системы и водопроницаемость.

Нами показано, что наименьшее показател твердости почвы в слое 0–30 см на всех этапах вегетации обеспечила вспашка, однако темпы вторичного уплотнения у данного варианта были максимальными.

Чизелевание, уступая вспашке в начальном разуплотнении, продемонстрировало сходную с контролем динамику уплотнения к концу сезона, оставаясь при этом более эффективным, чем дисковое лушение.

Нулевая обработка привела к формированию стабильно высокой твердости почвы, превышающей пороговые значения оптимальных параметров для роста большинства культур,

3.4 Засоренность посевов

Одним из ключевых факторов, лимитирующих получение стабильно высоких урожаев озимой пшеницы, является исходная засоренность посевов после выхода из зимы. Изучение видового состава и обилия сорного компонента агрофитоценоза в начале весенней вегетации (фаза кущения культуры) позволяет оценить фитосанитарную эффективность различных систем обработки почвы и спрогнозировать необходимость применения гербицидного фона. В таблице 9 представлены усредненные данные за 2020-2022 гг., характеризующие засоренность посевов сорта Алексеич в зависимости от предшествующей обработки почвы.

Таблица 6 – Засоренность посевов озимой пшеницы сорта Алексеич в начале весенней вегетации (до внесения гербицида) в зависимости от обработки почвы, шт./м² (2020–2022 гг.)

Обработка почвы	Видовой состав сорняков									
	Подмаренник цепкий	Ясколка	Вероника	Яснотка	Мак самосейка	Осот	Щетинник	Пастушья сумка	Амброзия полынолистная	Всего
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	4	6	1	-	2	1	-	2	1,2	17,2
Вспашка на 20–22 см	2	1	-	1	1,5	-	-	1	0,5	7,0
Чизелевание на 20–22 см	4	4	-	1	1	-	-	0,5	-	10,5
Нулевая обработка (прямой посев)	8	6	5	14	5	5	7	-	-	50,0

Анализ полученных данных свидетельствует о существенной дифференциации уровня засоренности в зависимости от антропогенного воздействия на пахотный слой. Наименьшая общая численность сорных растений отмечена в варианте со вспашкой на 20-22 см, где суммарное количество сорняков составило всего 7 шт./м². Это объясняется глубокой заделкой семян сорных растений в нижние горизонты, что затрудняет их прорастание, и провокацией прорастания части сорняков в послеуборочный период с последующим уничтожением их предпосевной обработкой.

Несколько выше была засоренность на варианте чизелевания на 20-22 см – 10,5 шт./м². Безотвальное рыхление, сохраняющее пожнивные остатки на поверхности, способствует сохранению влаги, но создает более благоприятные условия для прорастания ранних яровых сорняков по сравнению с оборотом пласта. В структуре засоренности здесь доминировал подмаренник цепкий (4 шт./м²) и ясколка (4 шт./м²).

Контрольный вариант (дисковое лушение на 10-12 см) показал практически двукратное превышение общего количества сорняков (17,2 шт./м²) по сравнению с глубокими обработками. Мелкое рыхление, проводимое ежегодно на одну глубину, приводит к формированию уплотненной «плужной подошвы» и накоплению семян и вегетативных зачатков сорняков именно в верхнем, самом благоприятном для прорастания слое почвы (0-12 см). Это подтверждается достаточно равномерным распределением видов и наличием корнеотпрысковых осота полевого (1 шт./м²).

Резкое ухудшение фитосанитарной обстановки зафиксировано при переходе к ресурсосберегающим технологиям. На варианте с нулевой обработкой (прямой посев) общая засоренность достигла максимального значения за все годы исследований – 50 шт./м², что в 7 раз выше контроля и почти в 3 раза выше показателя вспашки.

Характерной особенностью нулевой обработки является не только количественный рост, но и качественное изменение видового состава сорняков в сторону доминирования трудноискоренимых.

В структуре агрофитоценоза резко возросла доля яснотки (14 шт./м²) и вероники (5 шт./м²). Отсутствие механического повреждения и сохранение растительных остатков создает для этих видов микроклимат, сходный с естественными условиями, позволяя им успешно перезимовывать и активно развиваться весной.

Отмечено появление щетинника (7 шт./м²), который отсутствовал на других вариантах, что свидетельствует о формировании уплотненного сложения почвы, благоприятного для злаковых сорняков.

Зафиксировано наличие осота полевого (5 шт./м²). При прямом посеве его корневая система не травмируется механическими обработками, что способствует активному отрастанию от корней весной.

Анализ данных таблицы 6 показывает четкую закономерность, что интенсификация механической обработки (вспашка) способствует снижению потенциальной засоренности посевов. Минимизация обработки, особенно нулевая, приводит к накоплению семян сорняков в верхнем слое и создает благоприятные условия для развития специализированных сорных видов, что требует разработки усиленной системы химической защиты в весенний период.

Таблица 7 – Засоренность посевов озимой пшеницы сорта Алексеич через 28 дней после внесения гербицида в зависимости от обработки почвы, шт./м² (2020–2022 гг.)

Обработка почвы	Видовой состав сорняков					Всего
	Щетинник	Вьюнок полевой	Ясколка	Подмаренник цепкий	Осот полевой	
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	-	1	-	0,7	-	1,7
Вспашка на 20–22 см	-	-	-	0,7	-	0,7
Чизелевание на 20–22 см	-	1	-	-	-	1

Нулевая обработка (прямой посев)	0,5	1	1, 5	-	1,5	4,5
---	-----	---	------	---	-----	-----

Засоренность посевов озимой пшеницы сорта Алексеич через 28 дней после внесения гербицида в 2020–2022 гг. существенно различалась в зависимости от основной обработки почвы, что свидетельствует о выраженном агроэкологическом эффекте приемов обработки на структуру и плотность сорной растительности (таблица 7).

При дисковом лушении на 10–12 см (контрольный вариант) суммарная численность сорняков составила 1,7 шт./м². Видовой состав был представлен преимущественно вьюнком полевым (1 шт./м²) и подмаренником цепким (0,7 шт./м²). Другие виды – щетинник, ясколка и осот полевой – не отмечены. Это указывает на относительную эффективность поверхностной обработки в сочетании с гербицидом, однако наличие корнеотпрыскового вьюнка свидетельствует о сохранении многолетних форм в верхнем слое почвы.

Вариант отвальной вспашки на глубину 20–22 см характеризовался минимальным уровнем засоренности (0,7 шт./м²). Глубокая отвальная обработка способствовала заделке семян сорняков в нижние горизонты почвы и снижению их всхожести, что в сочетании с гербицидной защитой обеспечивало максимальный фитосанитарный эффект.

При чизельной обработке уровень засоренности был умеренным и составил 1,0 шт./м².

В ходе исследований установлено, что наибольшая засоренность посевов зафиксирована при применении нулевой технологии (4,5 шт./м²), что в 2,6–6,4 раза превышало показатели вариантов с механической обработкой почвы. Данный вариант также отличался наиболее высоким видовым разнообразием сорной растительности, так как выявлено присутствие

щети́нника (0,5 шт./м²), вью́нка полевого (1,0 шт./м²), яско́лки (1,5 шт./м²) и осо́та полевого (1,5 шт./м²).

Отсутствие механического воздействия способствовало сохранению семенного банка сорняков в поверхностном горизонте и активизации прорастания как однолетних, так и многолетних видов.

Установлено, что через 28 суток после применения гербицидов минимальная засоренность посевов озимой пшеницы сорта «Алексеич» наблюдалась при отвальной вспашке. Несколько более высокие показатели отмечены при чизельной обработке и дисковом лущении, тогда как нулевая обработка почвы характеризовалась максимальной численностью и видовым разнообразием сорной растительности.

Полученные данные подтверждают значимую роль способа обработки почвы в формировании фитосанитарного состояния агроценоза даже при применении химической защиты растений.

Таблица 8 – Засоренность посевов озимой пшеницы сорта Алексеич перед уборкой в зависимости от обработки почвы, шт./м² (2020–2022 гг.)

Обработка почвы	Видовой состав сорняков				
	Вьюнок полевой	Подмаренни к цепкий	Бодяк седой	Амброзия полыннолис тная	Всего
Дисковое лущение на 10–12 см (к)	1,1	1	-	1	3,1
Вспашка на 20–22 см	-	1	-	1,1	2,1
Чизелевание на 20–22 см	-	1	1,1	1	3,1

Нулевая обработка (прямой посев)	1,0	0,5	1,0	4,5	7,0
---	-----	-----	-----	-----	-----

Изучение видового состава и количественных показателей засоренности в посевах озимой пшеницы сорта Алексеич перед уборкой урожая выявило существенную зависимость этих параметров от основной обработки почвы. Усредненные за три года исследования данные (2020–2022 гг.) демонстрируют четкую дифференциацию как по общему уровню засоренности, так и по доминированию конкретных биологических групп сорняков (таблица 8).

В варианте с чизелеванием была отмечена тенденция к увеличению доли бодяка седого (*Cirsium incanum*) – 1,1 шт./м², что, вероятно, связано с меньшей степенью крошения почвы по сравнению со вспашкой и сохранением фрагментов корней, способных к регенерации, в зоне аэрации.

Наибольшая засоренность посевов была зафиксирована при нулевой обработке почвы (прямом посеве) – 7,0 шт./м², что в 3,3 раза превышает показатель контроля (дисковое лушение) и в 2,3 раза – показатель вспашки. Отказ от механической обработки привел к формированию принципиально иного типа засоренности. Во-первых, здесь наблюдалось максимальное видовое разнообразие с присутствием всех учитываемых видов. Во-вторых, резко возросла численность амброзии полыннолистной, достигшая 4,5 шт./м², что составило 64% от общего количества сорняков в этом варианте. Это объясняется накоплением семян амброзии в верхнем (0–5 см) слое почвы, который не заделывается вглубь при нулевой обработке, создавая тем самым оптимальные условия для прорастания этого светлюбивого вида. Также отмечено присутствие вьюнка полевого и бодяка седого, корневые системы которых со временем консолидируются в верхних горизонтах, не разрушаемых плугом или чизелем.

Таблица 9 – Засоренность посевов озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от обработки почвы, шт./м² (2020–2022 гг.)

Обработка почвы	Количество сорняков		
	до применения гербицида	через 28 дней после применения гербицида	перед уборкой
Дисковое лущение на 10–12 см (к)	17,2	1,7	3,1
Вспашка на 20–22 см	7	0,7	2,1
Чизелевание на 20–22 см	10,5	1	3,1
Нулевая обработка (прямой посев)	45	4,5	7,0

Засоренность посевов озимой пшеницы сорта Алексеич в 2020–2022 гг. существенно варьировала в зависимости от применяемой основной обработки почвы, что свидетельствует о значительном влиянии агротехнического приема на фитосанитарное состояние агроценоза (таблица 9).

До применения гербицида наименьшая плотность сорных растений отмечена при вспашке на глубину 20–22 см – 7 шт./м². Несколько более высокий показатель зафиксирован при чизелевании на аналогичную глубину – 10,5 шт./м², что, вероятно, связано с менее выраженным оборотом пласта и сохранением части семенного банка сорняков в верхнем горизонте. При дисковом лущении на 10–12 см уровень засоренности составил 17,2 шт./м², что в 2,5 раза превышало показатель при вспашке. Максимальная численность сорняков выявлена при нулевой обработке (прямой посев) – 45 шт./м², что более чем в шесть раз выше по сравнению с отвальной обработкой. Данный

факт указывает на накопление семян сорных растений в поверхностном слое почвы при отсутствии механического воздействия.

Через 28 дней после применения гербицида во всех вариантах опыта наблюдалось резкое снижение численности сорной растительности. Наиболее низкая остаточная засоренность сохранялась при вспашке – 0,7 шт./м². При чизелевании показатель составил 1,0 шт./м², при дисковом лущении – 1,7 шт./м². Даже в условиях нулевой обработки произошло значительное сокращение количества сорняков – до 4,5 шт./м², однако данный вариант по-прежнему характеризовался наибольшей плотностью нежелательной растительности.

К периоду уборки отмечено частичное восстановление засоренности во всех вариантах, что обусловлено прорастанием последующих волн сорняков и снижением гербицидного эффекта. Минимальное количество сорных растений вновь зафиксировано при вспашке (2,1 шт./м²). При дисковом лущении и чизелевании показатели были идентичными – по 3,1 шт./м². Вариант с нулевой обработкой сохранял наиболее неблагоприятную фитосанитарную ситуацию – 7,0 шт./м².

Нами установлено, что в условиях 2020–2022 гг. отвальная вспашка на глубину 20–22 см обеспечивала наиболее эффективное снижение исходной и конечной засоренности посевов озимой пшеницы сорта Алексеич. Минимизация механической обработки, особенно переход к прямому посеву, сопровождалась существенным увеличением плотности сорной растительности на всех этапах учета. Полученные данные подтверждают определяющую роль способа основной обработки почвы в регулировании сорного компонента агрофитоценоза и формировании устойчивой продукционной системы.

3.5 Межфазный период, густота стояния и высота растений озимой пшеницы

Анализ наших данных, представленных в таблице 10 показал, что в условиях 2020–2022 гг. приемы основной обработки почвы (фактор А) и уровень минерального питания (фактор В) не оказали значительного влияния на продолжительность межфазных периодов вегетации озимой пшеницы сорта Алексеич, за исключением начальных этапов органогенеза.

Анализируя наши показатели по продолжительности периода посев-всходы установлено, что на вариантах с дисковым лушением (контроль), вспашкой и нулевой обработкой продолжительность была практически одинакова и составила 13,3 дня. Вместе с тем, при чизелевании показано незначительное увеличение данного периода до 14,0 дней, что может быть связано с более рыхлым сложением верхнего слоя почвы. Влияние уровня удобрений в пределах одного способа обработки отсутствовало.

Рассматривая период всходы – кушение, нами установлено, что длительность этого этапа варьировала незначительно по вариантам эксперимента.

Продолжительность периода «кушение – конец осенней вегетации» также незначительно изменяется по вариантам опыта. Необходимо отметить, что удобрения не изменили продолжительность данного периода. В ходе эксперимента нами отмечено, что все последующие межфазные интервалы оказались одинаковыми во всех изучаемых вариантах. Это свидетельствует о том, что в условиях проведенного опыта генотип сорта Алексеич детерминировал продолжительность генеративных фаз в большей степени, чем фоны питания и обработки почвы.

В целом можно заключить, что применяемые приемы основной обработки почвы (дисковое лушение, вспашка, чизелевание, нулевая обработка) и уровни минерального питания (без удобрений, $N_{70}P_{70}K_{50} + N_3O$, $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$) в среднем за три года не приводили к значительному изменению продолжительности вегетационного периода озимой пшеницы сорта Алексеич.

Таблица 10 – Межфазные периоды растений озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от приемов выращивания, дни (2020–2022 гг.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрения (фактор В)	Посев – всходов	Межфазный период									Вегетационный период	
			всходы – кущение	кущение – конец осенней вегетации	конец осенней вегетации – начало весенней вегетации	начало весенней вегетации - выход в трубку	выход в трубку - колошение	колошение – цветение	цветение-молочная спелость	молочная спелость- восковая спелость	восковая спелость- полная спелость	посев - полная спелость	без зимнего покоя
Дисковое лущение на 10-12 см (к)	Без удобрения(к)	13,3	16,7	13,0	111,7	40,7	23,7	4,0	24,0	12,0	11,0	270,0	158,3
	$N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$	13,3	16,7	13,0	111,7	40,7	23,7	4,0	24,0	12,0	11,0	270,0	158,3
	$N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$	13,3	16,7	13,0	111,7	40,7	23,7	4,0	24,0	12,0	11,0	270,0	158,3
Вспашка на 20-22 см	Без удобрения	13,3	16,7	13,0	111,7	40,7	23,7	4,0	24,0	12,0	11,0	270,0	158,3
	$N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$	13,3	16,7	13,0	111,7	40,7	23,7	4,0	24,0	12,0	11,0	270,0	158,3
	$N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$	13,3	16,7	13,0	111,7	40,7	23,7	4,0	24,0	12,0	11,0	270,0	158,3
Чизелевание на 20-22 см	Без удобрения	14,0	16,7	12,3	111,7	40,7	23,7	4,0	24,0	12,0	11,0	270,0	158,3
	$N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$	14,0	16,7	12,3	111,7	40,7	23,7	4,0	24,0	12,0	11,0	270,0	158,3
	$N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$	14,0	16,7	12,3	111,7	40,7	23,7	4,0	24,0	12,0	11,0	270,0	158,3
Нулевая обработка (прямой посев)	Без удобрения	13,3	16,7	13,0	111,7	40,7	23,7	4,0	24,0	12,0	11,0	270,0	158,3
	$N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$	13,3	16,7	13,0	111,7	40,7	23,7	4,0	24,0	12,0	11,0	270,0	158,3
	$N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$	13,3	16,7	13,0	111,7	40,7	23,7	4,0	24,0	12,0	11,0	270,0	158,3

В 2020–2022 гг. динамика густоты стояния растений озимой пшеницы характеризовалась закономерным снижением численности растений от фазы весеннего кущения к молочно-восковой спелости независимо от способа основной обработки почвы и уровня минерального питания. При этом абсолютные показатели густоты существенно варьировали в зависимости от агрофона (таблица 11).

Таблица 11 – Динамика густоты стояния растений озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от приемов выращивания, шт./м² (2020–2022 гг.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрение (фактор В)	Фаза вегетации			
		весеннее кущение	выход в трубку	колошение	молочно-восковая спелость
Дисковое лущение на 10–12 см (к)	Без удобрений (к)	394	330	318	275
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	397	336	321	287
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	399	345	330	305
Вспашка на 20–22	Без удобрений	371	315	295	265
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	375	322	307	271
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	379	332	315	280
Чизелевание на 20–22 см	Б/уд	380	323	301	270
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	382	331	314	278
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	384	341	321	289
Нулевая обработка (прямой посев)	Без удобрений	309	274	251	210
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	322	284	263	215
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	358	309	276	228

На варианте с дисковым лущением на глубину 10–12 см (контроль по обработке) исходная густота в фазу весеннего кущения составляла 394–399 шт./м². К фазе выхода в трубку отмечалось уменьшение показателя до 330–345 шт./м², а к колошению – до 318–330 шт./м². Минимальные значения фиксировались в период молочно-восковой спелости (275–305 шт./м²). Применение удобрений способствовало стабилизации стеблестоя: при максимальном уровне питания (N₁₄₀P₁₄₀K₁₀₀ + N₆₀) к уборочной спелости

сохранялось до 305 шт./м², что на 30 шт./м² превышало контроль без удобрений. Нами установлено, что при проведении отвальной вспашке плотность растений в фазу весеннего кущения была 371–379 шт./м², что незначительно уступало значениям, полученным при дисковом лушении. К фазе молочно-восковой спелости нами наблюдалось уменьшение данного показателя до 265–280 шт./м². Необходимо отметить, что применение минеральных удобрений способствовало повышению сохранности растений на 6–15 шт./м² по сравнению с неудобренным фоном.

При чизелевании нами установлено, что значение густоты стояния растений в фазу весеннего кущения составляла 380–384 шт./м², а к молочно-восковой спелости снижалась до 270–289 шт./м². Применение максимального уровня минерального питания обеспечивало повышение густоты стояния растений до 289 шт./м² в конце вегетации, что указывает на более высокую сохранность продуктивных стеблей при оптимальном минеральном питании.

Наиболее низкие значения густоты на всех этапах органогенеза отмечены при нулевой обработке (прямой посев). В фазу весеннего кущения показатель составлял 309 шт./м² без удобрений и 322 шт./м² при внесении N₇₀P₇₀K₅₀ + N₃₀. К молочно-восковой спелости численность растений уменьшалась до 210–215 шт./м², что отражает усиление внутривидовой конкуренции и, вероятно, менее благоприятные условия для перезимовки и весенней регенерации при данной технологии.

В целом установлено, что наибольшая густота стояния растений во все фазы развития формировалась при дисковом лушении в сочетании с повышенными дозами минеральных удобрений. Усиление уровня питания способствовало не только увеличению исходной численности растений, но и повышению их сохранности в процессе вегетации. Независимо от технологии обработки почвы, общая тенденция характеризовалась поэтапным снижением густоты вследствие естественной элиминации растений и редукции непродуктивных побегов, что соответствует биологическим особенностям

культуры и закономерностям формирования продуктивного стеблестоя озимой пшеницы.

Таблица 12 – Динамика густоты стояния растений озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от приемов выращивания, шт./м² (2020 г.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрение (фактор В)	Фаза вегетации			
		весеннее кущение	выход в трубку	колошение	молочно-восковая спелость
Дисковое лущение на 10–12 см	Без удобрений (к)	391	313	301	256
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	395	319	304	270
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	398	328	313	287
Вспашка на 20–22	Без удобрений	364	307	270	247
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	368	313	296	250
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	370	322	304	256
Чизелевание на 20–22 см	Без удобрений	372	310	275	251
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	375	317	303	260
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	376	325	309	272
Нулевая обработка (прямой посев)	Без удобрений	303	266	233	195
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	319	274	254	199
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	352	302	270	222

В 2020 г., характеризовавшемся пониженным количеством осадков в весенне-летний период, изучалась динамика густоты стояния растений озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от основной обработки почвы (фактор А) и уровней минерального питания (фактор В). Во всех вариантах опыта отмечено закономерное снижение густоты стояния растений от фазы весеннего кущения к молочно-восковой спелости, что обусловлено естественным выпадением растений в процессе вегетации и усилением внутривидовой конкуренции в условиях дефицита влаги. Наибольшая густота стояния во все фазы развития формировалась в вариантах с повышенными

дозами минеральных удобрений ($N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$), независимо от способа обработки почвы (приложение 15).

При дисковом лушении отмечены максимальные показатели густоты стояния среди всех способов обработки почвы. В фазе весеннего кушения густота составляла 391 шт./м² на контроле и возрастала до 398 шт./м² при внесении повышенной дозы удобрений, а к фазе молочно-восковой спелости численность снижалась до 256 шт./м² (без удобрений) и 287 шт./м² ($N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$).

При отвальной вспашке исходная густота стояния была ниже, чем при дисковом лушении (364–370 шт./м² в фазе весеннего кушения и 247–256 шт./м² к молочно-восковой спелости. Повышение доз удобрений способствовало улучшению сохранности растений, однако по абсолютным показателям вариант уступал дисковому лушению.

Чизелевание обеспечило промежуточные показатели густоты стояния: Внесение повышенных доз удобрений существенно снижало потери растений в засушливый период, что свидетельствует о положительном влиянии улучшенного минерального питания на устойчивость посевов к водному стрессу.

При прямом посеве зафиксированы минимальные значения густоты стояния (303 шт./м² на контроле в фазе весеннего кушения и 195 шт./м² к молочно-восковой спелости. Даже при максимальном уровне удобрений (352 и 222 шт./м² соответственно) показатели оставались ниже, чем при традиционных способах обработки почвы. В условиях недостатка осадков это может быть связано с более плотным сложением почвы и ухудшением водно-воздушного режима, что снижало полевую всхожесть и сохранность растений.

Нами показано, что в засушливых условиях весенне-летнего периода оптимизация обработки почвы в сочетании с повышенным уровнем минерального питания являлась важным фактором стабилизации густоты стояния и сохранности растений озимой пшеницы сорта Алексеич.

Динамика высоты растений озимой пшеницы в 2020–2022 гг. определяется факторами опыта (таблица 13).

Таблица 13 – Динамика высоты растений озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от приемов выращивания, см (2020–2022 гг.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрение (фактор В)	Фаза вегетации			
		весеннее кущение	выход в трубку	колошение	молочно- восковая спелость
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	Без удобрений (к)	24,6	46,4	74,7	91,7
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	26,3	49,1	81,5	94,6
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	28,4	52,0	89,7	97,4
Вспашка на 20–22	Без удобрений	21,2	43,2	69,3	85,6
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	23,4	44,8	76,1	83,6
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	26,2	46,5	85,3	91,2
Чизелевание на 20–22 см	Без удобрений	23,4	44,1	72,1	90,3
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	25,4	46,0	80,1	92,3
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	27,1	47,6	87,4	94,5
Прямой посев	Без удобрений	16,5	33,4	57,8	74,8
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	17,2	39,4	68,9	79,5
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	19,4	45,2	83,4	84,4

Во всех вариантах прослеживается закономерная последовательность онтогенетического развития растений: весеннее кущение → выход в трубку → колошение → молочно-восковая спелость, сопровождающаяся устойчивым увеличением высоты. Однако интенсивность и масштаб прироста существенно варьируют в зависимости от уровня агрофона.

Если рассматривать рост растений как динамическую кривую, то при высоком уровне минерального питания она приобретает более крутой и

протяженный характер, тогда как при ограниченном обеспечении элементами питания отличается меньшей выраженностью и плавностью.

При дисковом лущении на глубину 10–12 см отмечена наиболее выраженная и стабильная динамика роста. В варианте без внесения удобрений высота растений увеличивалась с 24,6 см до 91,7 см к фазе молочно-восковой спелости. Максимальный уровень минерального питания ($N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$) обеспечивал достижение 97,4 см, что является наибольшим показателем среди всех исследуемых вариантов. При этом влияние удобрений проявлялось уже на ранних этапах развития и усиливалось к фазе колошения (до 89,7 см). Наиболее интенсивный прирост наблюдался в интервале «выход в трубку – колошение», что свидетельствует о достаточном обеспечении растений элементами питания в критический период формирования стебля.

Отвальная вспашка характеризовалась более умеренной динамикой роста по сравнению с дисковым лущением: без удобрений высота растений составляла 85,6 см, при максимальном уровне питания – 91,2 см.

Чизельная обработка обеспечивала равномерное нарастание высоты растений, при этом наибольший прирост отмечен в фазе колошения (до 87,4 см при максимальном агрофоне), что свидетельствует о благоприятных условиях аэрации и влагообеспеченности.

Вариант нулевой обработки (прямой посев) отличался наименьшими показателями высоты: без удобрений растения достигали 16,5 см в фазе кущения и 74,8 см к полной спелости.

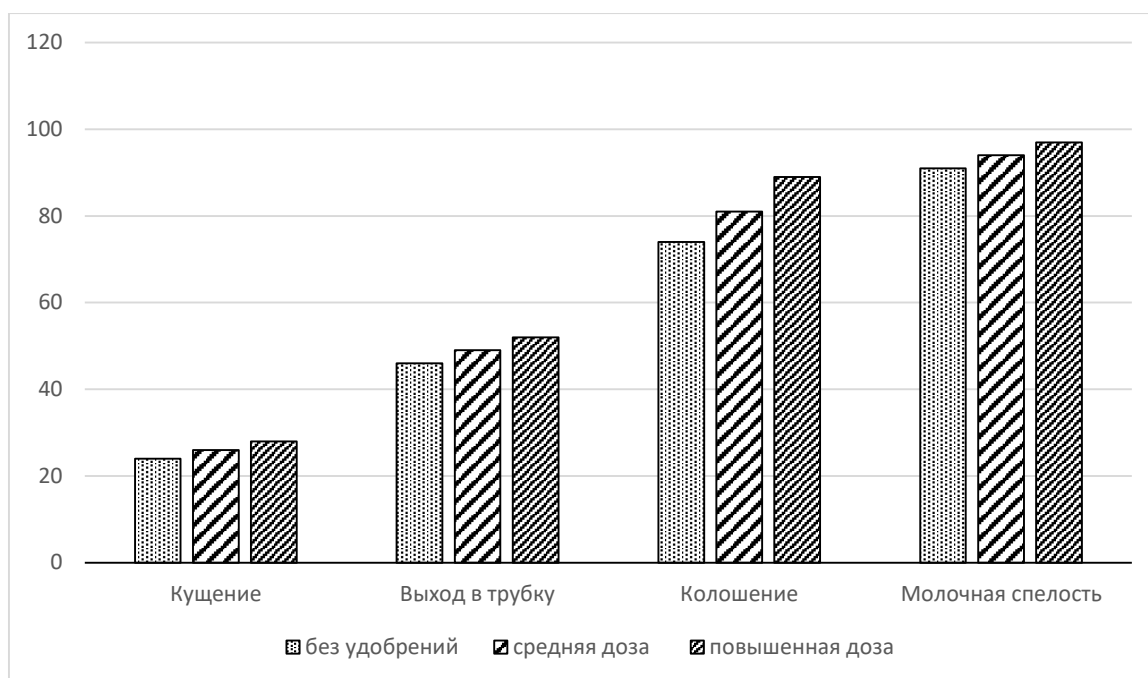


Рисунок 2- Изменение высоты растений озимой пшеницы в зависимости от применения удобрений, см (2020-2022 гг., дисковое лущение)

Представленные данные рисунка 2 показывают изменение высоты растений озимой пшеницы в зависимости от дозы внесения минеральных удобрений на фоне дискового лущения. Нами установлено, что применение удобрений оказывает положительное влияние на рост побегов.

В ходе эксперимента нами показано, что максимальный абсолютный прирост высоты растений при внесении удобрений наблюдался в фазу колошения (+15 см при повышенной дозе по сравнению с контролем). Максимальная эффективность удобрений проявилась в фазы выхода в трубку и колошения. В фазу молочной спелости различия между вариантами нивелируются, что свидетельствует о завершении ростовых процессов и переходе растений к формированию зерна.

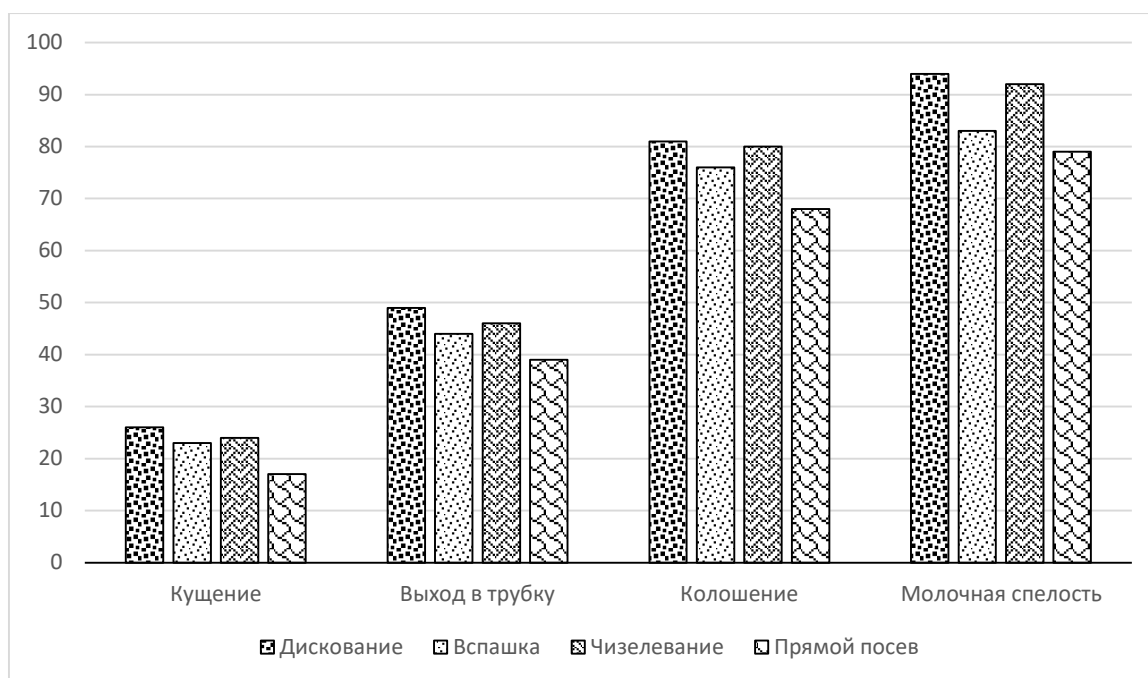


Рисунок 3 – Изменение высоты растений озимой пшеницы в зависимости от обработки почвы, см (2020–2022 гг., $N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$)

В ходе эксперимента на фоне внесения минеральных удобрений ($N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$) изучали влияние различных обработок почвы на ростовые процессы растений озимой пшеницы (рисунок 3)

На начальном этапе вегетации наибольшая высота растений отмечена при использовании дискового лущения (26 см) и чизелевания (24 см). Минимальная высота была в варианте прямого посева (17 см), что на 34% ниже, чем при дисковании. Угнетение начального роста растений при прямом посеве, вероятно, связано с повышенной плотностью почвы.

Нами отмечено, что наибольшая высота растений была на протяжении всего периода вегетации при проведении дискового лущения (от 26 до 94 см). Высота растений при чизелевании была близка к значениям высоте на дисковании. При прямом посеве растения формировались наиболее низкорослых растений (от 17 до 79 см).

В целом установлено, что уровень минерального питания является определяющим фактором интенсификации роста растений. Наиболее выраженная отзывчивость на внесение удобрений отмечена при дисковом

лущении, тогда как нулевая обработка характеризуется замедленным начальным развитием, но сохраняет высокую чувствительность к повышенному агрофону.

3.6 Площадь листьев и фотосинтетический потенциал

Листовой аппарат озимой пшеницы играет ключевую функциональную роль в обеспечении роста растений, их адаптации к неблагоприятным условиям зимнего периода и формировании конечной зерновой продуктивности.

В осенне-зимний период листья, преимущественно 3–5-го порядка, обеспечивают синтез и накопление запасных углеводов, которые депонируются в узле кущения и основаниях стеблей. Данный этап предвегетационного фотосинтеза в значительной степени определяет формирование урожая, обеспечивая до 25–40 % конечной массы зерна в условиях континентального климата.

В весенне-летний период ведущая роль в фотосинтетической деятельности принадлежит листьям верхнего яруса, особенно после фазы колошения. Согласно современным данным, флаговый лист обеспечивает от 30 до 52 % ассимилятов, поступающих в зерно в период налива, при этом его вклад варьирует в зависимости от сортовых особенностей, густоты стояния растений и гидротермических условий.

В целом за 2020–2022 гг. установлено, что оптимизация обработки почвы в сочетании с достаточным уровнем минерального питания является определяющим фактором формирования высокоразвитого листового аппарата озимой пшеницы, что, в свою очередь, создает предпосылки для реализации ее продукционного потенциала (таблица 14).

Таблица 14 – Динамика площади листовой поверхности озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от приемов выращивания, тыс. м²/га (2020–2022 гг.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрение (фактор В)	Фаза вегетации			
		весеннее кущение	выход в трубку	колошение	молочно- восковая спелость
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	Без удобрений (к)	13,3	27,8	48,2	17,5
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	14,3	29,6	53,4	19,3
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	16,0	33,5	59,1	22,4
Вспашка на 20–22	Без удобрений	12,1	25,0	40,0	15,5
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	13,4	27,1	47,0	16,9
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	14,9	30,6	52,1	19,5
Чизелевание на 20–22 см	Без удобрений	12,5	26,6	44,8	16,7
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	13,8	28,8	49,8	18,2
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	15,3	32,9	55,6	20,6
Нулевая обработка (прямой посев)	Без удобрений	9,6	18,7	31,8	10,2
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	11,2	21,2	36,9	11,5
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	13,0	25,4	41,8	13,7

Во всех вариантах опыта нарастание листовой поверхности происходило от фазы весеннего кущения к выходу в трубку с последующим достижением максимума в период колошения. В фазе молочно-восковой спелости отмечалось закономерное снижение площади листовой поверхности,

обусловленное физиологическим старением листьев и перераспределением ассимилятов в генеративные органы. В целом динамика формирования листового аппарата соответствовала типичному для озимой пшеницы паттерну: кущение → интенсивный рост → максимум в фазе колошения → последующее уменьшение к молочно-восковой спелости.

Проведенный нами анализ влияния основной обработки почвы (фактор А) показал, что при дисковом лушение формировались наибольшие значения площади листовой поверхности на всех стадиях онтогенеза. Так, в фазу весеннего кущения данный показатель находился в пределах 13,3–16,0 тыс. м²/га, достигая максимальных значений в фазу колошения – 48,2–59,1 тыс. м²/га.

При отвальной вспашке площадь листовой поверхности была ниже по сравнению с вариантом дискового лушения на протяжении всего периода вегетации. Так, в фазу весеннего кущения она составляла 12,1–14,9 тыс. м²/га, а в фазу колошения – 40,0–52,1 тыс. м²/га. Снижение максимальных значений относительно варианта поверхностной обработки в среднем достигало 10–15 %, что свидетельствует о менее благоприятных условиях влагообеспеченности и, как следствие, о менее интенсивном формировании листового аппарата.

Показатель площади листьев при чизелевании занимало промежуточное положение между дисковым лушением и вспашкой. По интенсивности формирования листовой поверхности данный способ приближался к дисковому лушению, однако несколько уступал ему при всех уровнях удобрения.

Наиболее низкие значения площади листьев отмечены при прямом посеве, так при весеннем кущении 9,6–13,0 тыс. м²/га, а в фазу колошения 31,8–41,8 тыс. м²/га. Отставание от дискового лушения в фазу максимального развития достигало 25–30 %, что свидетельствует о более медленном стартовом росте и ограничении формирования ассимиляционного аппарата.

Применение удобрений в дозе ($N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$) способствовало увеличению площади листьев в среднем на 8–15 % относительно контроля без удобрений. Рост особенно заметен в фазу выхода в трубку и колошения, что указывает на активизацию фотосинтетического аппарата в период интенсивного органогенеза.

Максимальные значения листовой поверхности во всех способах обработки получены именно при повышенном уровне питания: прирост по сравнению с неудобренным фоном достигал 20–30 %, что свидетельствует о высокой отзывчивости культуры на интенсификацию минерального питания.

Наиболее выраженный эффект от совместного действия факторов отмечен при сочетании поверхностной обработки почвы и повышенного уровня минерального питания. В этом варианте формировалась максимальная площадь листовой поверхности во все фазы развития, что указывает на синергизм агротехнических приемов. Минимальные показатели наблюдались при прямом посеве без удобрений, что подтверждает ограниченность продукционного потенциала при снижении уровня агрохимического и агротехнического воздействия.

Нами установлено, что формирование листовой поверхности носило ярко выраженный фазовый характер с максимумом в период колошения, повышение доз минеральных удобрений закономерно усиливало развитие ассимиляционного аппарата, а среди обработок почвы наибольший потенциал обеспечивало дисковое лушение, наименьший – нулевая обработка.

Независимо от агротехнического фона, развитие листовой поверхности носило одновершинный характер с пиком в фазе колошения. Наибольшая отзывчивость на интенсификацию приемов выращивания прослеживается именно в критическую фазу колошения, когда формируется потенциальная продуктивность фотосинтеза.

Проведение дискового лушения и чизелевание в 2021 году продемонстрировали наилучшие результаты. В варианте с максимальным удобрением ($N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$) на этих обработках к фазе колошения

сформировалась максимальная площадь листьев – 62,2 и 60,4 тыс. м²/га соответственно. Высокая эффективность данных приемов объясняется созданием оптимального водно-воздушного режима: глубокое чизелевание предотвращает застой влаги в условиях переувлажнения, а дисковое лушение обеспечивает быстрое прогревание верхнего слоя (приложение 16).

Вспашка (20–22 см) показала средние результаты (56,7 тыс. м²/га на удобренном фоне). Отставание связано с чрезмерным разуплотнением пахотного горизонта и образованием «плужной подошвы» (в условиях ливневых дождей это могло ухудшить миграцию элементов питания в корнеобитаемый слой).

Нулевая обработка (No-Till) выявила существенное подавление развития листового аппарата. Даже на высоком агрохимическом фоне ($N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$) площадь листьев в колошение составила лишь 43,3 тыс. м²/га, что на 30% ниже, чем на дисковом лушении. В условиях аномального увлажнения переуплотнение почвы и низкие темпы нитрификации в стартовый период (весеннее кушение – 13,6 тыс. м²/га) стали лимитирующими факторами. Растения испытывали угнетение из-за недостаточной аэрации корневой системы в переувлажненной среде.

Прослеживается четкая прямолинейная зависимость: увеличение доз удобрений ведет к росту ассимиляционной поверхности на всех фонах обработки.

Фон $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ обеспечил максимальную реализацию потенциала сорта. Прирост относительно неудобренного контроля (без удобрений) в фазе колошения составил от +23% на вспашке до +29% на чизелевании.

Важно отметить, что повышенный фон азота (N_{60} в подкормку) способствовал не только увеличению пиковой площади, но и замедлению темпов деградации листового аппарата в фазе молочно-восковой спелости. На варианте «Дисковое лушение + $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ » площадь листьев на последнюю фазу вегетации составила 23,8 тыс. м²/га, что является наивысшим показателем среди всех комбинаций.

Максимальная фотосинтетическая мощность (62,2 тыс. м²/га) была достигнута при сочетании ресурсосберегающего рыхления (дисковое лушение 10-12 см) и полного минерального удобрения (N₁₄₀P₁₄₀K₁₀₀ + N₆₀).

Весна 2022 года с дефицитом осадков и площадь листовой поверхности (тыс. м²/га) формировалась не только под влиянием питания, но и в зависимости от способности обработки почвы аккумулировать и сохранять влагу (приложение 17).

При поверхностной обработке формировалась наибольшая листовая масса и в фазе колошения максимум достигал 60,0 тыс. м²/га абсолютный рекорд опыта. Поверхностное рыхление, вероятно, обеспечило лучшее сохранение весенней влаги в верхнем слое и активизацию корневой системы. На фоне повышенного питания растения максимально реализовали генетический потенциал сорта.

По сравнению с дисковым лушением на вспашке, показатели ниже на 6–8 тыс. м²/га в пиковой фазе. Глубокая вспашка могла усилить весеннее иссушение профиля. При дефиците осадков это стало лимитирующим фактором, и даже высокий фон удобрений не позволил достичь максимума.

При нулевой обработке (прямой посев) отмечена минимальная листовая поверхность. Даже на высоком фоне питания показатели существенно ниже остальных технологий. Это объясняется тем, что в условиях весеннего дефицита влаги нулевая обработка могла замедлить прогрев почвы, а уплотнение верхнего горизонта ограничило развитие корней и доступ к влаге.

В условиях 2022 года во всех вариантах внесение удобрений увеличивало площадь листьев на 8–25 % и способствовало более медленному отмиранию листьев к молочно-восковой спелости. В засушливую весну решающим фактором стало сочетание влагонакопления и минерального питания.

Фотосинтетический потенциал (ФП) – это показатель, который характеризует способность посева растений использовать солнечную энергию для образования органического вещества в течение вегетационного периода.

Чем выше фотосинтетический потенциал посева, тем больше органического вещества образуется в процессе фотосинтеза, что напрямую влияет на формирование урожая зерна.

ФП зависит от площади листьев и продолжительности их функционирования. Хорошо развитый и долго работающий листовой аппарат обеспечивает более интенсивный фотосинтез. С помощью фотосинтетического потенциала можно оценивать эффективность: удобрений, сортовых особенностей, приемов обработки почвы.

Таблица 15 – Фотосинтетический потенциал озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от приемов выращивания, тыс. м²*сутки/га (2020–2022 гг.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрение (фактор В)	Межфазные периоды			
		кущение (весной) – выход в трубку	выход в трубку – колошение	колошение – молочная спелость	кущение (весной) – молочная спелость
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	Без удобрения (к)	545,3	667,2	1349,6	2562,1
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	586,3	710,4	1495,2	2791,9
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	656,0	804,0	1654,8	3114,8
Вспашка на 20–22	Без удобрения	496,1	600	1120,0	2216,1
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	549,4	650,4	1316,0	2515,8

	$N_{140}P_{140}K_{100}$ + N_{60}	610,9	734,4	1458,8	2804,1
Чизелевание на 20–22 см	Без удобрения	512,5	638,4	1254,4	2405,3
	$N_{70}P_{70}K_{50}$ + N_{30}	565,8	691,2	1394,4	2651,4
	$N_{140}P_{140}K_{100}$ + N_{60}	627,3	789,6	1556,8	2973,7
Нулевая обработка (прямой посев)	Без удобрения	393,6	448,8	890,4	1732,8
	$N_{70}P_{70}K_{50}$ + N_{30}	459,2	508,8	1033,2	2001,2
	$N_{140}P_{140}K_{100}$ + N_{60}	533,0	609,6	1170,4	2313,0

Фотосинтетический потенциал (ФП), выраженный в тыс. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$, является интегральным показателем функционирования ассимиляционного аппарата посева, отражающим суммарную активность листовой поверхности в течение межфазных периодов органогенеза.

Независимо от способа обработки почвы увеличение нормы минеральных удобрений сопровождалось последовательным и статистически выраженным ростом фотосинтетического потенциала во все межфазные периоды. Так, при дисковом лущении (10–12 см) суммарный ФП за период «кущение (весной) – молочная спелость» увеличился с 2562,1 тыс. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$ на контроле (без удобрений) до 2791,9 при внесении $N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$ до 3114,8 при повышенной норме $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ (таблица 14).

Прирост относительно контроля составил соответственно 229,8 и 552,7 тыс. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$. Аналогичная тенденция отмечена при вспашке, чизелевании и нулевой обработке, что свидетельствует о доминирующей роли

азотно-фосфорно-калийного питания в формировании листового аппарата и пролонгации его физиологической активности.

Наиболее интенсивный рост ФП наблюдался в период «колошение – молочная спелость», что отражает ключевое значение данного этапа для накопления ассимилятов и налива зерна.

Нами отмечены высокие показатели ФП во всех межфазных периодах обеспечило дисковое лущение на 10–12 см. При максимальной дозе удобрений суммарный показатель достиг 3114,8 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сутки/га}$, что превышает вспашку на 20–22 см – на 310,7 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сутки}$, а нулевую обработку – на 801,8 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сутки/га}$

Вспашка характеризовалась наименьшими значениями среди традиционных способов обработки, особенно на фоне отсутствия удобрений (2216,1 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сутки/га}$). Вариант нулевой обработки (прямой посев) характеризовался наименьшими значениями фотосинтетического потенциала независимо от уровня минерального питания. Даже при внесении максимальных доз удобрений суммарный показатель (2313,0 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сутки/га}$) не достигал уровня, зафиксированного в контрольном варианте при дисковом лущении. Это свидетельствует о сдерживании формирования листовой поверхности, обусловленном повышенной плотностью почвы, замедленным ее прогреванием, а также возможной конкуренцией с пожнивными остатками за элементы питания на ранних этапах развития растений.

Результаты исследования указывают на выраженное взаимодействие факторов А и В. Наибольшая отзывчивость посевов на минеральное питание отмечена при дисковом лущении и чизельной обработке, где переход от контрольного варианта к максимальному уровню удобрений сопровождался наиболее значительным приростом фотосинтетического потенциала. В условиях нулевой обработки эффективность применения удобрений была ниже, что подтверждает ограничивающее влияние агрофизических свойств почвы на реализацию продукционного потенциала растений.

Формирование фотосинтетического потенциала озимой пшеницы является результатом комплексного взаимодействия агротехнических факторов: минеральное питание выполняет функцию активного регулятора физиологической продуктивности посевов, тогда как способ основной обработки почвы определяет степень реализации данного потенциала через влияние на водно-воздушный режим и условия развития корневой системы.

В целом доказано, что оптимальное сочетание щадящей поверхностной обработки почвы и повышенных норм минеральных удобрений обеспечивает максимальную реализацию фотосинтетического потенциала агроценоза озимой пшеницы, что является теоретическим и практическим основанием для совершенствования технологий возделывания культуры в условиях современного адаптивного земледелия.

3.7 Урожайность и ее структура

Под элементами структуры урожая имеют ввиду такие органы и признаки растений, которые создают и определяют величину урожая. Для озимой пшеницы это количество продуктивных стеблей, длина колоса, количество колосков и зерен в колосе, выполненность колоса и масса зерна с одного колоса.

Создание оптимального количества продуктивных стеблей является важным условием получения высокого урожая. Считается что урожайность колосовых культур на 50 % определяется густотой продуктивного стеблестоя, на 25 % озерненностью колоса и на 25 % массой 1000 зерен.

Различные элементы технологии возделывания направлены на оптимизацию условий роста и развития растений, а также их влияние на показатели структуры урожая. Обработка почвы влияет на густоту стояния, выживаемость растений. Минеральные удобрения способствуют повышению продуктивной кустистости, озерненности колоса, массы 1000 зерен

Биологизированные системы удобрения положительно влияют на массу 1000 семян, содержание белка и клейковины

Основные закономерности влияния погоды на структуру урожая.

Так, осадки сентября-октября (посев – всходы) влияют на густоту стояния растений и скоростью появления всходов. Количество влаги, накопленной в почве к моменту возобновления весенней вегетации, напрямую связано с будущим урожаем, особенно по непаровым предшественникам.

Среднесуточная температура мая и июня критически важна для процессов цветения, оплодотворения и налива зерна. Исследования фиксируют достоверную отрицательную связь между высокой температурой в этот период и массой 1000 зерен.

И последнее, суммарное влияние осадков и температур на протяжении всей вегетации определяет итоговый уровень урожайности. В засушливые годы урожайность может падать почти вдвое по сравнению с влажными, даже на удобренных фонах.

Формирование урожайности озимой пшеницы определяется совокупностью структурных элементов, к числу которых относятся густота продуктивного стеблестоя, параметры колоса, озерненность, масса зерна и биологическая урожайность. Анализ полученных данных показывает, что как система обработки почвы, так и уровень минерального питания существенно влияли на формирование данных показателей.

Количество продуктивных стеблей варьировало в зависимости от технологии обработки почвы и уровня удобрений (таблица 16).

Таблица 16 – Элементы структуры урожая озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от приемов выращивания (2020–2022 гг.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрения (фактор В)	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	Длина колоса, см	Количество колосков в колосе, шт.		Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Масса зерна с 1 колоса, г	Биологическая урожайность, г с 1 м ²
				всего	в т.ч. продуктивных				
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	Без удобрения (к)	395	9,4	19,2	16,8	38	39,3	1,33	520,4
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	422	9,8	19,8	17,4	40	41,4	1,44	605,6
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	443	10,3	20,3	18,2	41	42,5	1,58	701,2
Вспашка на 20–22 см	Без удобрения	378	9,1	18,7	16,0	36	37,4	1,27	481,9
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	401	9,6	19,5	17,1	38	39,7	1,40	562,8
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	414	10,0	19,8	17,9	39	41,6	1,50	623,5
Чизелевание на 20–22 см	Без удобрения	386	9,3	19,0	16,5	37	38,0	1,32	510,7
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	415	9,6	19,6	17,2	39	41,1	1,41	584,2

Продолжение таблицы 16

	$N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$	432	10,2	20,1	18,0	40	42,3	1,53	660,1
Нулевая обработка (прямой посев)	Без удобрения	325	8,4	16,5	14,0	35	36,9	1,08	351,3
	$N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$	338	8,9	17,7	16,0	38	38,5	1,16	391,5
	$N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$	351	9,8	19,6	17,2	39	40,1	1,25	438,8

На контрольном варианте без удобрений наибольшая густота стеблестоя наблюдалась при дисковом лущении (395 шт./м²), тогда как при вспашке данный показатель был несколько ниже – 378 шт./м², а при чизелевании – 386 шт./м². Минимальное значение отмечено при нулевой обработке почвы – 325 шт./м².

Внесение минеральных удобрений способствовало увеличению плотности продуктивного стеблестоя во всех вариантах опыта. Наиболее высокий показатель сформировался при сочетании дискового лущения и повышенной дозы удобрений (N₁₄₀P₁₄₀K₁₀₀ + N₆₀) – 443 шт./м², что превышало контроль на 48 шт./м².

Аналогичная закономерность отмечена при чизелевании и вспашке, где густота стеблестоя возрастала соответственно до 432 и 414 шт./м². При прямом посеве увеличение было менее выраженным и составило 351 шт./м², что указывает на ограниченные возможности формирования стеблестоя при минимальном механическом воздействии на почву.

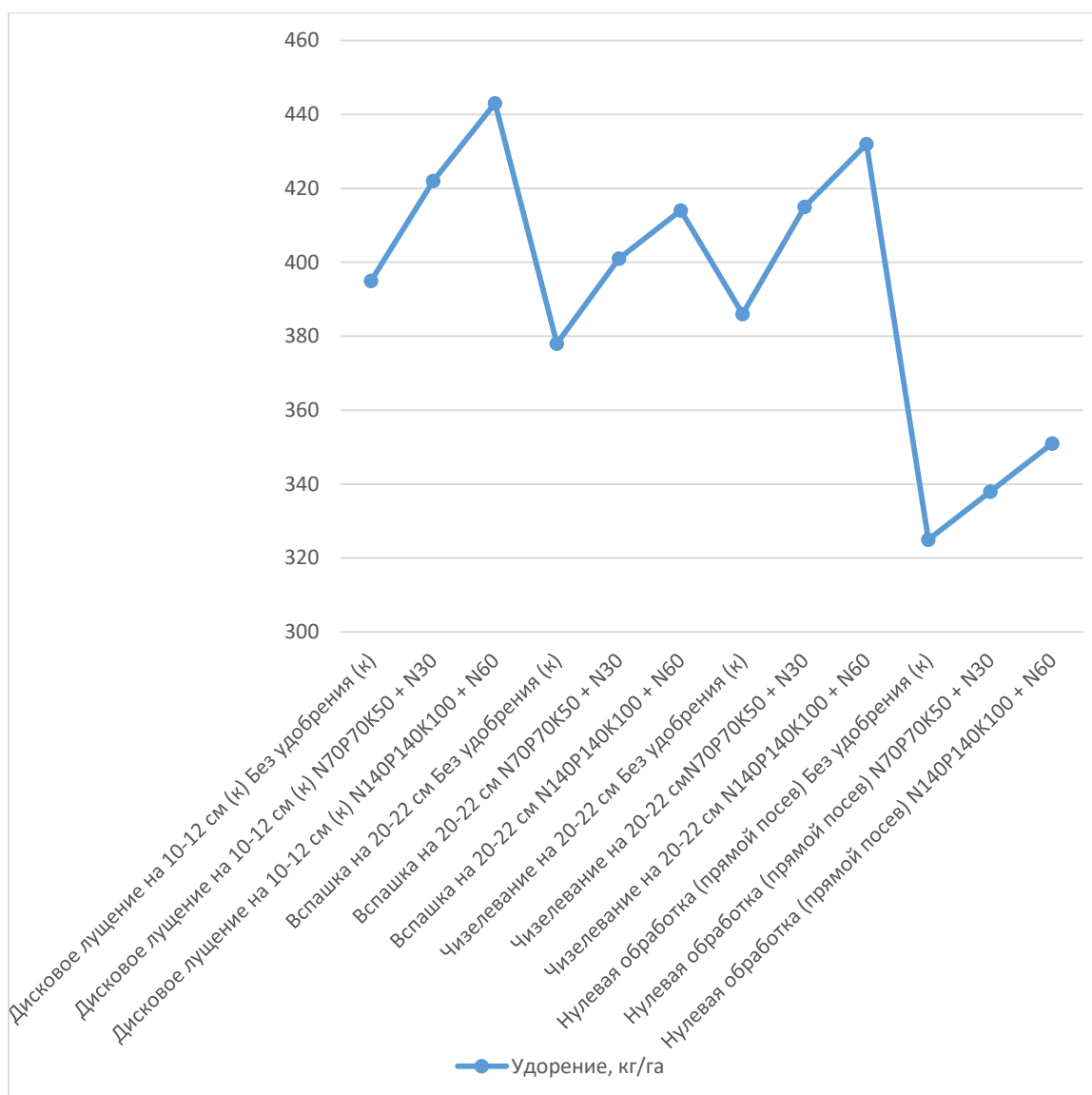


Рисунок 4 – Количество продуктивных стеблей озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от приемов выращивания (2020–2022 гг.)

Анализируя данные рисунка 4 видно, что минимальное количество продуктивных стеблей отмечено нами при прямом посеве без внесения удобрений. Установлено, что максимальное количество растений формируется при проведении дискового лущения и чизеливания с внесением повышенных доз.

Одним из важных показателей структуры урожая является длина колоса, характеризующая потенциал формирования зерна. На контрольных вариантах длина колоса изменялась от 8,4 см при нулевой обработке до 9,4 см при

дисковом лущении. Внесение удобрений способствовало увеличению данного показателя.

При нулевой обработке даже при высоком уровне питания длина колоса достигала лишь 9,8 см, что несколько уступает традиционным способам обработки почвы.

Количество зерен в колосе является важным показателем продуктивности растения.

На вариантах без внесения удобрений количество зерен составляло от 35 до 38 штук на соцветии. Применение минеральных удобрений способствовало увеличению озерненности колоса. Наибольшее количество зерен сформировалось при дисковом лущении и высокой дозе удобрений – 41 зерно, что на 3 зерна больше контроля

Масса 1000 зерен является интегральным показателем условий налива и обеспеченности растений элементами питания. На контрольных вариантах данный показатель изменялся от 36,9 г (нулевая обработка) до 39,3 г (дисковое лущение).

При внесении удобрений наблюдалось устойчивое увеличение массы зерна (до 45,2 г). Нами установлено, что наибольшая масса зерна формировалась при интенсивных технологиях обработки почвы и повышенном уровне минерального питания.

Масса зерна с одного колоса также существенно зависела от исследуемых факторов. На контрольных вариантах данный показатель варьировал от 1,08 г при прямом посеве до 1,33 г при дисковом лущении. При применении удобрений наблюдалось увеличение массы зерна:

Биологическая урожайность отражает суммарный эффект формирования всех элементов структуры урожая. На вариантах без удобрений наибольшая урожайность получена при дисковом лущении – 520,4 г/м², несколько ниже – при чизелевании (510,7 г/м²) и вспашке (481,9 г/м²). Минимальный показатель отмечен при нулевой обработке – 351,3 г/м².

Внесение минеральных удобрений существенно увеличивало урожайность. Максимальное значение наблюдалось при сочетании дискового лущения и высокой дозы удобрений – 701,2 г/м².

При нулевой обработке даже при высоком уровне питания урожайность достигала лишь 438,8 г/м², что значительно уступало традиционным системам обработки почвы.

Результаты исследований показали, что элементы структуры урожая озимой пшеницы существенно зависели как от обработки почвы, так и от уровня минерального питания растений. Наиболее благоприятные условия для формирования продуктивного стеблестоя, увеличения длины колоса, озерненности и массы зерна складывались при дисковом лущении почвы на 10–12 см в сочетании с внесением повышенной дозы минеральных удобрений (N₁₄₀P₁₄₀K₁₀₀ + N₆₀).

Минимальные значения большинства показателей структуры урожая отмечены при нулевой обработке почвы, что свидетельствует о менее благоприятных условиях формирования продуктивности культуры в данных условиях.

На основе данных таблицы рассчитаны коэффициенты корреляции между элементами структуры урожая.

Наблюдается очень сильная положительная корреляция между урожайностью и густотой продуктивного стеблестоя ($r \approx 0,95–0,97$).

Это свидетельствует о том, что увеличение плотности продуктивных стеблей является одним из основных факторов повышения урожайности озимой пшеницы. Связь между урожайностью и длиной колоса также тесная положительная ($r \approx 0,90–0,93$). Более длинный колос способен формировать больше колосков и зерен.

Отмечена также высокая положительная корреляция между урожайностью и количеством зерен в колосе ($r \approx 0,88–0,92$).

Корреляционный анализ проведен для выявления степени сопряженности биологической урожайности озимой пшеницы с основными

элементами структуры урожая в среднем за 2020–2022 сельскохозяйственные годы. В качестве результативного признака рассматривалась биологическая урожайность Y (г/м²), а в качестве объясняющих – показатели продуктивного стеблестоя и продуктивности колоса.

Нами рассчитаны простые линейные регрессии урожайности от густоты продуктивного стеблестоя и уравнение приняло вид:

$$Y = -717,89 + 3,09 \cdot X_1, R^2 = 0,976. Y = -717,89 + 3,09 \cdot X_1, \text{ где } R^2 = 0,976.$$

Обозначения:

Y – биологическая урожайность, г/м²;

X_1 – продуктивные стебли, шт./м²;

Увеличение густоты на 10 шт./м² ассоциируется в среднем с ростом урожайности примерно на 30,9 г/м² (в рамках данного массива наблюдений). Установлено, что наиболее тесная положительная связь с урожайностью выявлена для густоты продуктивного стеблестоя: коэффициент корреляции между Y и количеством продуктивных стеблей составил $r = 0,988$, что соответствует очень высокой силе связи. Данный результат подтверждает определяющую роль формирования оптимальной плотности продуктивного агроценоза как базового условия повышения урожайности озимой пшеницы.

Простая линейные регрессии урожайности от количества зерен в колосе приняла вид:

$$Y = -708,04 + 33,30 \cdot X_3, R^2 = 0,627. Y = -708,04 + 33,30 \cdot X_3, \text{ где } R^2 = 0,627.$$

Обозначения:

Y – биологическая урожайность, г/м²;

X_3 – число зерен в колосе, шт.;

Связь урожайности с числом зерен в колосе характеризовалась как положительная, однако менее выраженная ($r = 0,792$), что может быть обусловлено тем, что озерненность колоса, хотя и отражает

потенциал продуктивности, в исследуемых вариантах изменялась в более узком диапазоне по сравнению с густотой стеблестоя.

В 2020 году агрометеорологические условия характеризовались недостаточным количеством осадков как в осенний период, так и в летние месяцы, что оказало определенное влияние на формирование урожайности озимой пшеницы. Несмотря на дефицит влаги, применение минеральных удобрений и выбор способа обработки почвы позволили существенно варьировать уровень продуктивности культуры.

Наиболее высокая урожайность была получена при дисковом лущении почвы на глубину 10–12 см. Без внесения удобрений она составила 45,5 ц/га, тогда как применение удобрений в дозе $N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$ способствовало увеличению урожайности до 50,2 ц/га. Максимальный показатель в данной системе обработки почвы отмечен при повышенной норме удобрений $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ – 58,9 ц/га (таблица 17)

Таблица 17 – Урожайность зерна озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от приемов выращивания (2020–2022 гг.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрение (фактор В)	Год			
		2020	2021	2022	среднее
Дисковое лущение на 10–12 см	Без удобрения (к)	45,5	52,6	49,5	49,2
	$N_{70}P_{70}K_{50} +$ N_{30}	50,2	63,6	60,0	57,9
	$N_{140}P_{140}K_{100} +$ N_{60}	58,9	73,2	66,9	66,3
Вспашка на 20–22	Без удобрения	43,9	48,9	44,9	45,9
	$N_{70}P_{70}K_{50} +$ N_{30}	49,7	56,2	54,8	53,6

	$N_{140}P_{140}K_{100} +$ N_{60}	56,3	67,0	60,2	61,2
Чизелевание на 20–22 см	Без удобрения	44,7	49,8	47,9	47,5
	$N_{70}P_{70}K_{50} +$ N_{30}	50,6	58,2	57,9	55,6
	$N_{140}P_{140}K_{100} +$ N_{60}	57,1	68,3	65,1	63,5
Нулевая обработка (прямой посев)	Без удобрения	30,2	34,3	32,2	32,2
	$N_{70}P_{70}K_{50} +$ N_{30}	33,5	38,6	35,9	36,0
	$N_{140}P_{140}K_{100} +$ N_{60}	36,8	40,1	39,2	38,7

При традиционной вспашке на глубину 20–22 см урожайность была несколько ниже. На контрольном варианте она составила 43,9 ц/га. Внесение средней дозы удобрений обеспечило повышение урожайности до 49,7 ц/га, тогда как применение повышенной дозы способствовало росту показателя до 56,3 ц/га.

При чизелевании почвы на глубину 20–22 см урожайность также возрастала с увеличением уровня минерального питания. На варианте без удобрений она составила 44,7 ц/га, при дозе $N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$ – 50,6 ц/га, а при повышенной дозе удобрений достигла 57,1 ц/га.

Наименьшие показатели урожайности отмечались при нулевой обработке почвы (прямой посев). На контрольном варианте урожайность составила 30,2 ц/га, применение средней дозы удобрений увеличило ее до 33,5 ц/га, а повышенной – до 36,8 ц/га. В условиях недостаточного увлажнения 2020 года наиболее продуктивными оказались варианты с дисковым лущением и чизелеванием почвы при повышенных дозах минеральных удобрений.

Гидротермические условия 2021 года были значительно более благоприятными для формирования урожая. Количество атмосферных осадков как в осенний, так и в летний период превышало среднее многолетние значения, что обеспечило оптимальные условия для роста, развития и продуктивного кущения растений.

В данных условиях наибольшая урожайность зерна также была получена на вариантах с дисковым лущением почвы. На контрольном варианте урожайность составила 52,6 ц/га. Применение удобрений в дозе $N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$ способствовало увеличению урожайности до 63,6 ц/га, а при использовании повышенной дозы $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ она достигла 73,2 ц/га, что является максимальным значением среди всех вариантов опыта (таблица 16).

При вспашке на глубину 20–22 см урожайность без удобрений составила 48,9 ц/га. Применение средней дозы минеральных удобрений обеспечило повышение урожайности до 56,2 ц/га, тогда как при увеличении дозы удобрений до $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ показатель достиг 67,0 ц/га.

При чизелевании на глубину 20–22 см урожайность также возрастала по мере увеличения уровня минерального питания. На контрольном варианте она составила 49,8 ц/га, при внесении удобрений в дозе $N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$ – 58,2 ц/га, а при повышенной дозе $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ – 68,3 ц/га.

На вариантах с нулевой обработкой почвы уровень урожайности оставался наименьшим. Без внесения удобрений урожайность составила 34,3 ц/га, при применении средней дозы удобрений – 38,6 ц/га, а при повышенной дозе – 40,1 ц/га.

Следовательно, благоприятный водный режим 2021 года способствовал значительному увеличению урожайности озимой пшеницы во всех вариантах опыта, однако наибольший эффект обеспечивало сочетание интенсивного минерального питания и обработки почвы дисковыми орудиями.

В 2022 году количество осадков в осенний период было близким к норме, тогда как летом наблюдался их дефицит относительно средних многолетних значений. Такие условия несколько ограничивали потенциал

продуктивности культуры, особенно на вариантах с менее эффективной системой обработки почвы.

Наиболее высокий уровень урожайности вновь наблюдался при дисковом лущении на глубину 10–12 см. На контрольном варианте урожайность составила 49,5 ц/га. Внесение удобрений в дозе $N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$ увеличило ее до 60,0 ц/га, а применение повышенной дозы $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ позволило достичь 66,9 ц/га.

При вспашке на глубину 20–22 см урожайность без удобрений составила 44,9 ц/га. Применение средней дозы удобрений обеспечило увеличение показателя до 54,8 ц/га, тогда как при повышенной дозе урожайность достигла 60,2 ц/га. При чизелевании на глубину 20–22 см без удобрений урожайность составила 47,9 ц/га. Внесение $N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$ повысило ее до 57,9 ц/га, а при дозе $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ она достигла 65,1 ц/га.

При нулевой обработке почвы урожайность оставалась самой низкой: на контроле она составила 32,2 ц/га, при средней дозе удобрений – 35,9 ц/га, а при повышенной – 39,2 ц/га.

В 2021 году нами изучалось влияние факторов на урожайность озимой пшеницы и установлено, что средняя урожайность по опыту составила 54,2 ц/га, что существенно выше показателей предыдущего года, что указывает на более благоприятные условия вегетации. Варьирование урожайности по вариантам находилось в пределах от 34,3 до 73,2 ц/га, что свидетельствует о значительном влиянии изучаемых факторов (таблица 18).

Таблица 18 – Изменение урожайности озимой пшеницы в зависимости от агротехнологий, ц/га (2021)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрение (фактор В)			Средние А (НСР=0,54)
	Без удобрений (к)	$N_{70}P_{70}K_{50}$ + N_{30}	$N_{140}P_{140}K_{100}$ + N_{60}	
Дисковое лущение на 10–12 см (к)	52,6	63,6	73,2	63,1

Вспашка на 20–22 см	48,9	56,2	67,0	57,4
Чизелевание на 20-22 см	49,8	58,2	68,3	58,8
Нулевая обработка (прямой посев)	34,3	38,6	40,1	37,7
Средние В - НСР=0,60	46,4	54,2	62,2	Х _{ср.} =54,2

Для средних АВ НСР=1,12

Влияние обработки почвы (фактор А) показало, что различия между всеми вариантами обработки превышают НСР, следовательно, являются статистически достоверными и максимальная урожайность обеспечивается при дисковом лущении, которое достоверно превосходит чизелевание на 4,3 ц/га и вспашку на 5,7 ц/га.

Рассматривая влияние удобрений (фактор В) видно, что все различия между вариантами существенно превышают НСР и увеличение доз удобрений сопровождается достоверным ростом урожайности. Максимальная прибавка относительно контроля достигает 15,8 ц/га, что указывает на высокую эффективность минерального питания в условиях 2021 года.

В условиях 2021 года максимальная продуктивность озимой пшеницы (до 73,2 ц/га) достигается при сочетании дискового лущения и высоких доз минеральных удобрений.

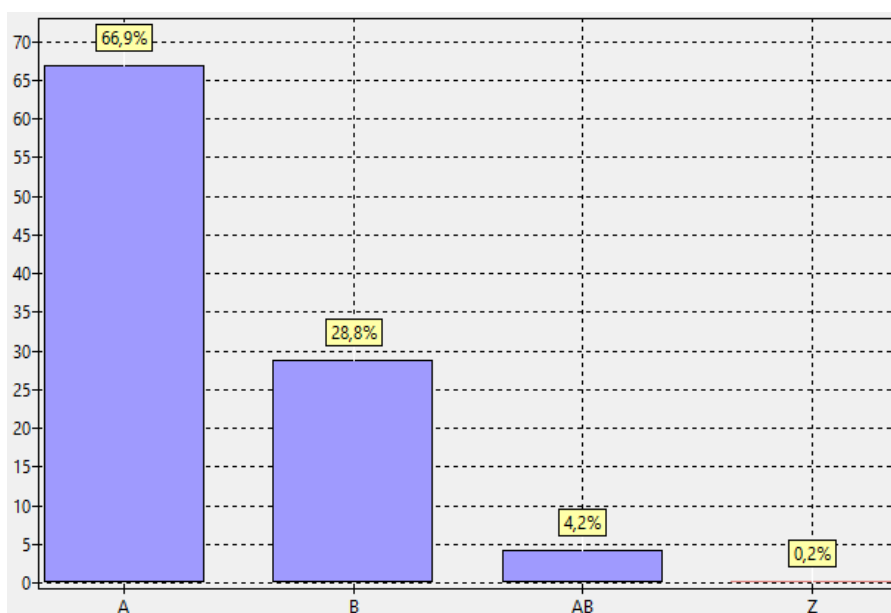


Рисунок 5– Доля взаимодействия факторов на урожайность озимой пшеницы, % (2021г.)

Примечание: А - обработка почвы; В – удобрение

Нами установлено, что наибольший вклад в формирование урожайности в условиях 2021 года вносил фактор А (69%). Доля влияния фактора В (удобрения)меньшая и составила 28,8 %, что указывает на его значительное, но менее выраженное воздействие по сравнению с обработкой почв (рисунок 5).

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что в условиях 2021 года формирование урожайности озимой пшеницы определяется преимущественно системой обработки почвы, при существенном участии минерального питания.

Анализируя влияние способов обработки почвы (фактор А) и уровней удобрений (фактор В) на урожайность озимой пшеницы в 2020 году видно, что средняя урожайность по опыту составила 46,5 ц/га, при этом варьирование по вариантам находилось в пределах от 30,2 до 58,9 ц/га (приложение 18)

Рассматривая влияние фактора А (обработка почвы) видно, что различия между дисковым лущением, чизелеванием и вспашкой находятся на границе или превышают $НСР_{05}$, что указывает на их слабую, но статистически достоверное отличие. Нулевая обработка уступает всем другим вариантам на 16–18 ц/га и различия значительно превышают $НСР_{05}$.

Анализируя влияние фактора В (удобрения)видим, что все различия между вариантами значительно превышают $НСР$, то есть увеличение доз удобрений сопровождается достоверным ростом урожайности.

Можно заключить, что максимальная урожайность (до 58,9 ц/га) достигается при сочетании интенсивного удобрения и рациональной обработки почвы. Эффективность удобрений зависит от способа обработки почвы, что подтверждает наличие взаимодействия факторов.

Нами представлены доли влияния факторов и их взаимодействия на формирование урожайности озимой пшеницы в условиях 2020 года (приложение 19).

В ходе исследований установлено, что наибольший вклад в построение урожайности вносит фактор А (обработка почвы). Это свидетельствует о доминирующей роли способа основной обработки в формировании продуктивности культуры в условиях этого года.

Доля влияния фактора В (уровень удобрений) составляет 26,5 %, что также указывает на его высокую значимость. Однако по сравнению с обработкой почвы влияние удобрений выражено в меньшей степени, хотя остается статистически достоверным.

Вклад взаимодействия факторов А×В незначителен и составляет всего 1,7 %, что указывает на слабую зависимость эффективности удобрений от способа обработки почвы. Иными словами, действие факторов в основном проявляется независимо друг от друга.

В 2022 году проведенная нами оценка влияния способов обработки почвы (фактор А) и уровней минерального питания (фактор В) на урожайность озимой пшеницы показала, что средняя урожайность по опыту составила 51,2 ц/га, что меньше, чем в 2021 году (приложения 20)

Анализируя влияние обработки почвы (фактор А) на урожайность нами показано, что различия между всеми способами обработки существенно превышают HCp_{05} , следовательно, являются статистически достоверными, а дисковое лущение обеспечивает наибольшую урожайность, достоверно превосходя чизелевание на 1,8 ц/га и вспашку на 5,5 ц/га;

Рассматривая действие удобрений на этот показатель видно, что все различия между вариантами значительно превышают HCp , то есть увеличение доз удобрений сопровождается достоверным ростом урожайности.

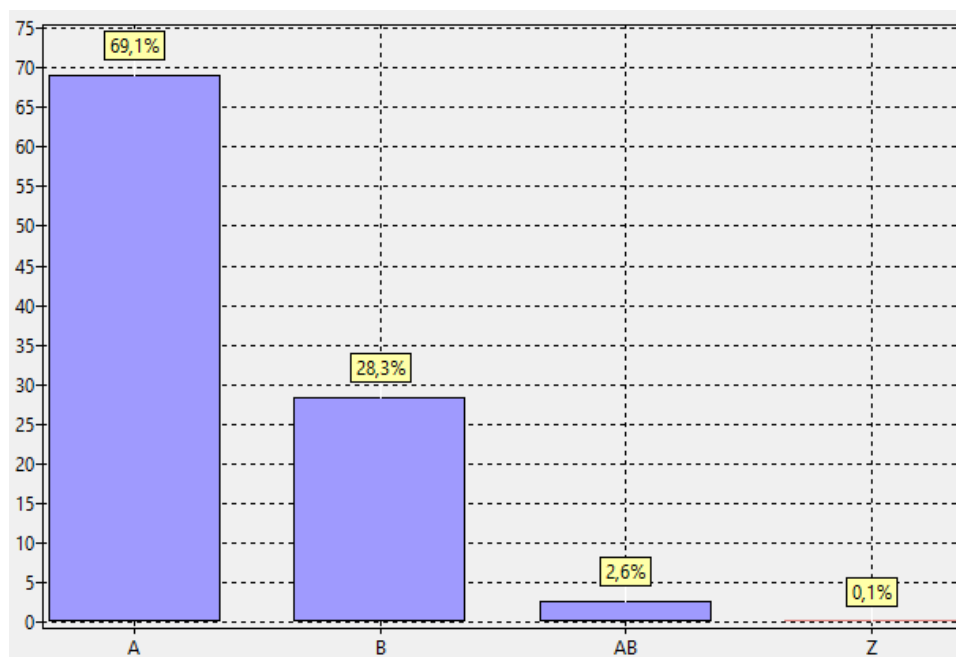


Рисунок 6 – Доля взаимодействия факторов на урожайность озимой пшеницы, % (2022г.)

Примечание: А - обработка почвы; В – удобрение

Установлено, что наибольший вклад в изменение урожайности в 2022 году вносил фактор А. Доля влияния фактора В (удобрения) составляет 28,3 (рисунок 6).

Полученные в ходе исследований результаты показывают, что в условиях 2022 года продуктивность озимой пшеницы определяется преимущественно обработкой почвы при существенном участии минерального питания.

Анализ средних значений урожайности за годы исследований позволил установить устойчивую закономерность повышения продуктивности озимой пшеницы при увеличении доз минеральных удобрений независимо от способа обработки почвы.

Наиболее высокие средние показатели урожайности отмечены при дисковом лущении почвы. На контрольном варианте урожайность составила 49,2 ц/га, при внесении удобрений в дозе $N_{70}P_{70}K_{50} + N_{30}$ – 57,9 ц/га, а при повышенной дозе $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ – 66,3 ц/га (таблица 19).

Таблица 19 – Средняя урожайность по вариантам опыта, ц/га (2020–2022 гг.)

Обработка почвы	Без удобрений	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	Прирост от максимальной дозы удобрений (к контролю)
Дисковое лущение 10–12 см	49,2	57,9	66,3	+17,1 ц/га (+34,8%)
Вспашка 20–22 см	45,9	53,6	61,2	+15,3 ц/га (+33,3%)
Чизелевание 20–22 см	47,5	55,6	63,5	+16,0 ц/га (+33,7%)
Нулевая обработка (прямой посев)	32,2	36,0	38,7	+6,5 ц/га (+20,2%)

При вспашке на глубину 20–22 см средняя урожайность составила соответственно 45,9; 53,6 и 61,2 ц/га. При чизелевании на глубину 20–22 см она достигала 47,5; 55,6 и 63,5 ц/га соответственно. Наименьшая урожайность на протяжении всего периода наблюдений была получена при нулевой обработке почвы, где средние показатели составили 32,2 ц/га на контроле, 36,0 ц/га при внесении средней дозы удобрений и 38,7 ц/га при повышенной дозе.

Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что применение повышенных доз минеральных удобрений в сочетании с ресурсосберегающими способами обработки почвы, такими как дисковое лущение и чизелевание, способствует формированию наиболее высокой урожайности зерна озимой пшеницы.

Нами проведен анализ основных показателей качества зерна озимой пшеницы, сформировавшиеся под влиянием факторов, изучаемых в эксперименте (таблица 20). Установлено, что на неудобренном фоне максимальное содержание сырого протеина (белка) отмечено при вспашке (11,3 %), минимальное отмечено при нулевой обработке (10,1 %). Применение минеральных удобрений улучшало технологические свойства зерна. Наибольший положительный эффект от внесения удобрений проявился в вариантах со вспашкой и чизелеванием.

Таблица 20 – Показатели качества зерна озимой пшеницы в зависимости от обработки почвы и минеральных удобрений (2020–2022 гг.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрения (фактор В)	Содержание белка %	Клейковина %	ИДК	Стекловидность %	Натура зерна г/л
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	Без удобрений (контроль)	10,4	18,1	67,4	43,2	709
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	11,5	20,8	65,3	45,5	715,6
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	13,5	24,7	62,3	48,0	741,9
Вспашка на 20–22 см	Без удобрений	11,3	18,0	67,2	43,1	705
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	13,2	23,6	65,1	43,3	714,5
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	14,1	26,0	62,1	47,8	740,5
Чизелевание на 20–22 см	Без удобрений	10,8	17,9	61,7	43,0	704
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	12,1	21,4	65,1	44,2	714
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	13,9	25,8	62,0	47,6	735,4
Нулевая обработка (прямой посев)	Без удобрений	10,1	17,7	69,1	40,8	682
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	11,4	19,1	66,2	41,9	707,4
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	12,9	20,5	63,1	45,4	719,9

Так, содержание белка возрастало по мере увеличения дозы удобрений во всех приемах обработки почвы. Нами показано, что максимальное значение белка (14,1 %) достигнуто в варианте вспашка и при внесении N₁₄₀P₁₄₀K₁₀₀ +

N₆₀, что на 2,8 % выше неудобренного контроля. Минимальный прирост от удобрений (с 10,1 до 12,9 %) наблюдался при нулевой обработке.

Аналогичная тенденция прослеживается по содержанию клейковины в зерне. Так, наибольшее количество зафиксировано при вспашке (18,0 %) и дисковании (18,1 %), наименьшее отмечено при нулевой обработке (17,7 %). В ходе исследований установлено, что содержание клейковины также возрастало пропорционально дозе удобрений. Лучший показатель (26,0 %) отмечен нами при вспашке и при внесении максимальной дозы удобрений. При нулевой обработке даже на высоком фоне удобрений (N₁₄₀P₁₄₀K₁₀₀ + N₆₀) содержание клейковины не превысило 20,5 %, что существенно ниже, чем при других способах обработки.

Определение показателя ИДК показало нам, что величина его варьировала от 61,7 (чизелевание) до 69,1 (нулевая обработка). То есть, нами установлено, что во всех вариантах значение ИДК соответствует группе удовлетворительной (II) и хорошей (I) клейковины, однако при нулевой обработке имеется тенденция к ухудшению физических свойств. Показатель ИДК на вариантах, где вносилось удобрение, имел тенденцию к снижению во всем вариантам обработки почвы, однако оставался в пределах оптимальных значений (62,1–66,2 ед. ПК), за исключением нулевой обработки на контроле (69,1).

В ходе эксперимента нами установлено, что стекловидность повышалась с ростом уровня минерального питания. Максимальная стекловидность (48,0 % при вспашке, 47,8 % при дисковании и 47,6 % при чизелевании) отмечено на высоком фоне удобрений) и эти значения соответствуют требованиям на сильную и ценную пшеницу. Необходимо отметить, что при нулевой обработке даже на высоком фоне удобрений стекловидность составила лишь 45,4 %.

Анализ показателя натура зерна показал, что его значение практически не менялась по вариантам обработки почвы. А натура зерна наиболее значительно возрастала на вариантах, где применялись удобрения (с

дискованием от 709 до 741 г/л) и вспашкой от 705 до 740 г/л). При прямом посеве прибавка при внесении удобрений была минимальной (от 682 до 719 г/л).

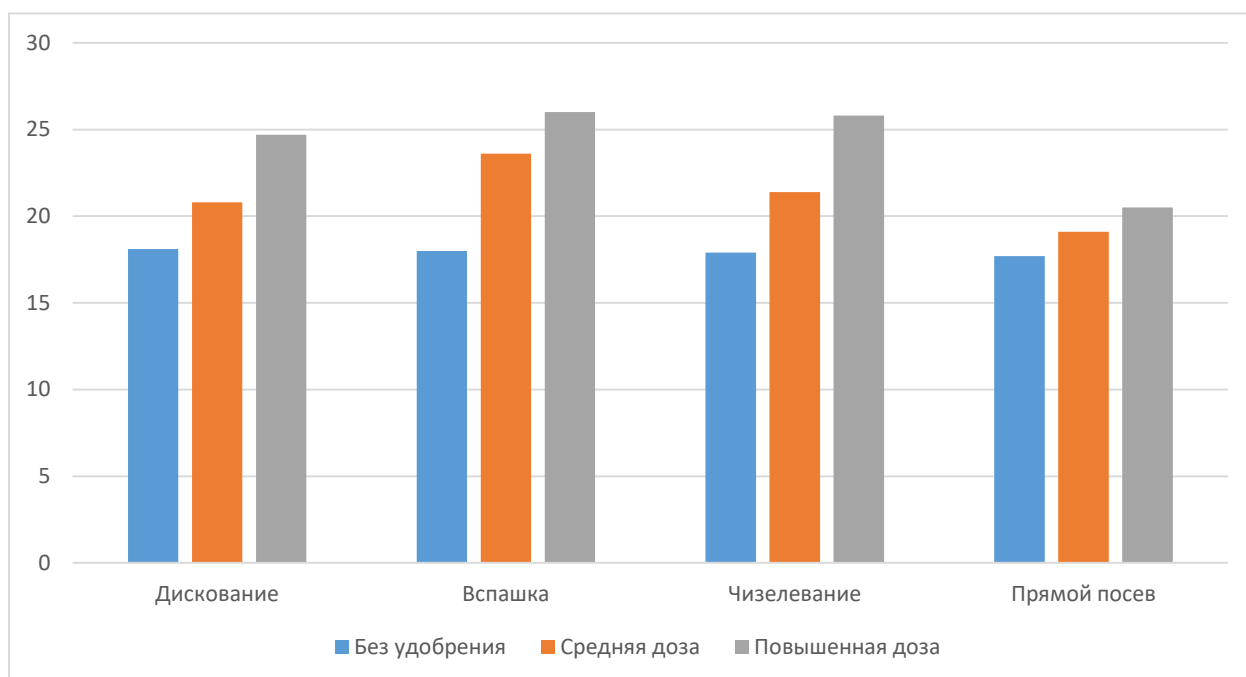


Рисунок 7 – Изменение содержания белка в зерне озимой пшеницы в зависимости от агротехнологий, % (2020-2022 гг.)

Нами показано, что максимальное содержание белка в зерне озимой пшеницы обеспечивается при вспашке и чизелевании (рисунок 7). Необходимо отметить, что такое значение белка при обоих приемах обработки почвы достигается при внесении повышенной дозы удобрений. Нами рассчитана очень высокая отрицательная корреляция ($r = -0,90$) между суммой осадков за вегетацию и содержанием белка в зерне. Это согласуется с известными положениями физиологии растений, что при дефиците осадков снижается урожайность, но повышается содержание белка.

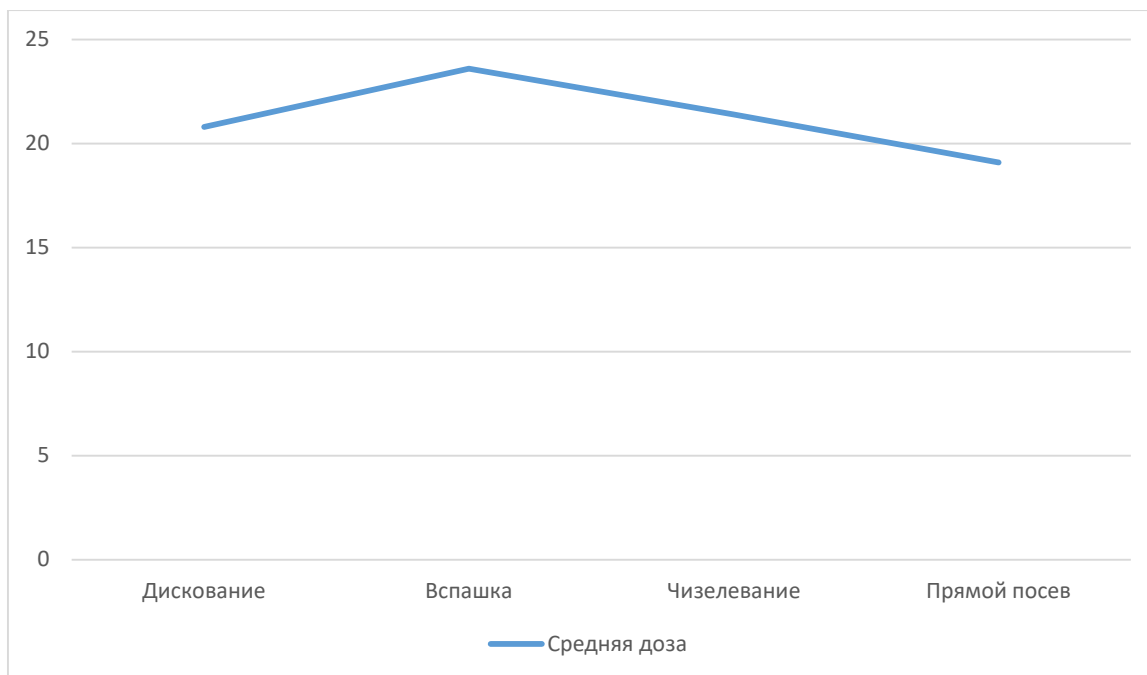


Рисунок 8 – Изменение содержания белка в зерне озимой пшеницы в зависимости от приемов обработки почвы, % (2020-2022 гг., $N_{70}P_{70}K_{50}+N_{30}$)

Нами установлено, что вспашка обеспечивает максимальный показатель (24,0 %) в накоплении белка в зерне при внесении средней дозы удобрений (рисунок 8). Нами показано, что прямом посеве получен наименьший результат, что объясняется уплотнением почвы, ухудшением аэрации и замедлением минерализации органического вещества.

4 АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ДОЗ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Экономические показатели при выращивании озимой пшеницы играют ключевую роль, потому что позволяют оценить не просто урожай, а эффективность всего производственного процесса. Без них невозможно понять, целесообразно заниматься этой культурой и, кроме того, как улучшить результаты. Прежде всего важен показатель урожайности. Он напрямую влияет на объем продукции и, соответственно, выручку. Но высокая урожайность сама по себе не гарантирует прибыль, если затраты слишком велики, особенно с ростом цен минеральные удобрения и топливо.

Следующий важный показатель - это затраты на производство (расходы на семена, удобрения, средства защиты растений, топливо, оплату труда, амортизацию техники). Анализ затрат помогает определить, где можно снизить издержки без потери качества. Ключевым итоговым показателем является себестоимость продукции (стоимость производства 1 тонны зерна). Чем она ниже при стабильном качестве, тем выше конкурентоспособность хозяйства.

Также важна стоимость валовой продукции, которая зависит не только от объема, но и от цены на зерно. На ее основе рассчитывается прибыль, то есть разница между доходами и затратами. В целом, экономические показатели позволяют оценить прибыльность выращивания озимой пшеницы, принять решения о целесообразности расширения или сокращения посевов или оптимизировать технологию выращивания.

Представленные данные демонстрируют комплексное влияние основной обработки почвы (фактор А) и уровня минерального питания (фактор В) на экономическую эффективность возделывания озимой пшеницы

(таблица 21) При этом прослеживается устойчивая закономерность как агротехнических приемов обработки почвы, так и доз удобрений.

Таблица 21 – Изменение показателей экономической эффективности возделывания озимой пшеницы в зависимости от системы основной обработки почвы и норм минеральных удобрений, среднее 2020-2022 гг. (цены 2022 года)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрения (фактор В)	Урожайность, ц/га	Стоимость валовой продукции с 1 га, тыс. руб.	Производственные затраты на 1 га, тыс. руб.	Себестоимость 1т зерна, тыс. руб.	Чистый доход с 1 га, тыс. руб.	Норма рентабельности, %
Дисковое лушение на 10–12 см	Без удобрения (к)	49,2	78,72	38,23	7,77	40,49	105,91
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	57,9	92,64	43,02	7,43	49,62	115,34
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	66,3	106,08	48,3	7,29	57,78	119,63
Вспашка на 20–22 см	Без удобрения	45,9	73,44	39,13	8,53	34,31	87,68
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	53,6	85,76	44,28	8,26	41,48	93,68
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	61,2	97,92	49,15	8,03	48,77	99,23
Чизелевание на 20–22 см	Без удобрения	47,5	76	38,28	8,06	37,72	98,54
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	55,6	88,96	43,26	7,78	45,7	105,64
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	63,5	101,6	48,11	7,58	53,49	111,18
Нулевая обработка (прямой посев)	Без удобрения	32,2	51,52	23,1	7,17	28,42	123,03
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	36,0	57,6	25,18	6,99	32,42	128,75
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	38,7	61,92	28,32	7.32	33.61	118,68

Прежде всего, анализ урожайности показывает, что наибольшие значения формируются при более интенсивных системах питания независимо от способа обработки. Так, при дисковом лушении увеличение доз удобрений с нулевого уровня до максимального ($N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$) обеспечивает рост урожайности с 49,2 до 66,3 ц/га, что соответствует приросту более чем на 34 %. Аналогичная тенденция наблюдается и при вспашке (с 45,9 до 61,2 ц/га) и чизелевании (с 47,5 до 63,5 ц/га). В то же время нулевая обработка демонстрирует существенно более низкий уровень продуктивности – максимум 38,7 ц/га даже при высоких дозах удобрений, что указывает на ограниченность данного приема в условиях рассматриваемой технологии.

Экономические показатели в значительной степени коррелируют с урожайностью, однако их динамика определяется также уровнем затрат. Стоимость валовой продукции закономерно возрастает с увеличением доз удобрений во всех вариантах. Наиболее высокий показатель отмечен при дисковом лушении с максимальным удобрением и составила 106,08 тыс. руб./га, что превышает аналогичный вариант при вспашке на 8,3 % и при чизелевании на 4,4 %. Нулевая обработка характеризуется минимальной выручкой (51,52–61,92 тыс. руб./га), что обусловлено низкой урожайностью.

Производственные затраты возрастают по мере интенсификации технологии, однако их абсолютный уровень существенно зависит от способа обработки почвы. Наиболее затратной является вспашка (до 49,15 тыс. руб./га), что связано с высокой энергоемкостью данного приема. Дисковое лушение и чизелевание занимают промежуточное положение, тогда как нулевая обработка отличается минимальными затратами (23,1–28,32 тыс. руб./га), что объясняется исключением механической обработки почвы.

Себестоимость продукции демонстрирует обратную зависимость от урожайности: при повышении уровня удобрений она, как правило, снижается. Минимальные значения достигаются при дисковом лушении (7,29 тыс. руб./т) и чизелевании (7,58 тыс. руб./т) на фоне максимальных доз удобрений. Вспашка уступает по этому показателю (до 8,03 тыс. руб./т), а при нулевой

обработке наблюдается нестабильная динамика: несмотря на низкие затраты, ограниченная урожайность не позволяет существенно снизить себестоимость.

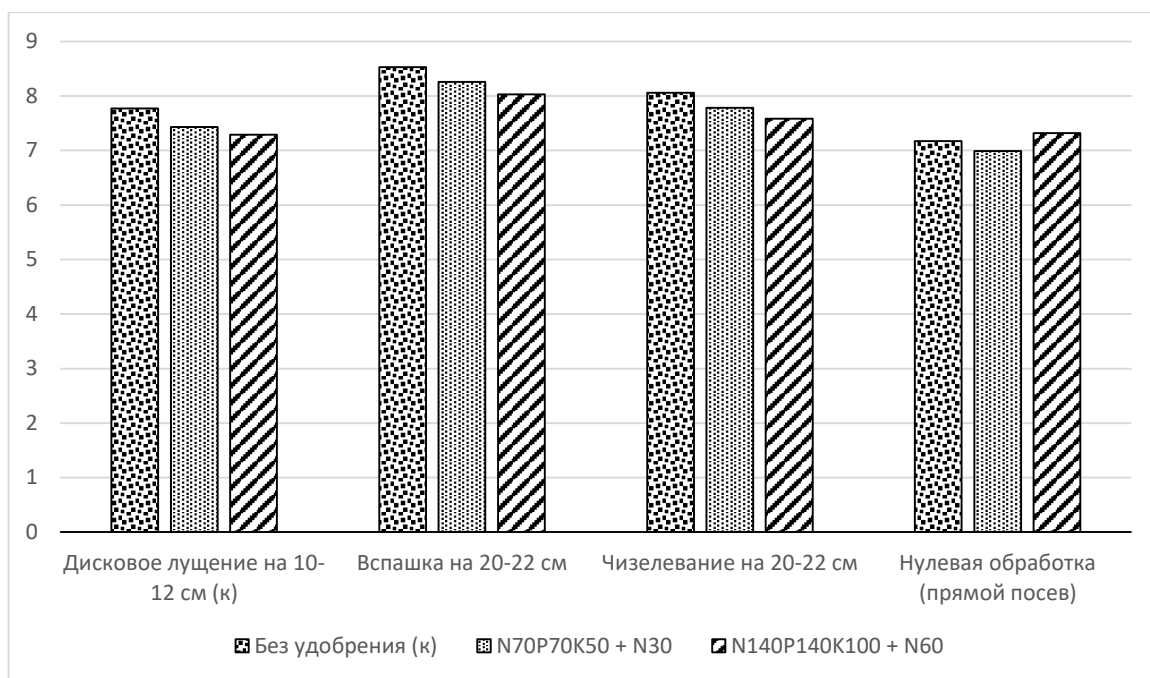


Рисунок 9 – Себестоимость 1 т зерна в зависимости от агротехнических приемов, тыс. руб.

Данные графика 9 иллюстрирует обратную зависимость между уровнем урожайности и себестоимостью продукции. Наиболее низкие значения себестоимости достигаются при применении высоких доз удобрений в сочетании с дисковым лущением и чизелеванием. При вспашке отмечено увеличение данного показателя вследствие более высоких затрат.

Чистый доход является интегральным показателем эффективности и наиболее наглядно отражает преимущества различных технологий. Максимальные значения чистого дохода достигаются при дисковом лущении с высоким уровнем удобрений и был на уровне 57,78 тыс. руб./га, что свидетельствует о высокой окупаемости затрат. Чизелевание в аналогичных условиях несколько уступает (53,49 тыс. руб./га), но сохраняет высокую эффективность. Нулевая обработка обеспечивает минимальный доход (28,42–33,6 тыс. руб./га), несмотря на низкие затраты.

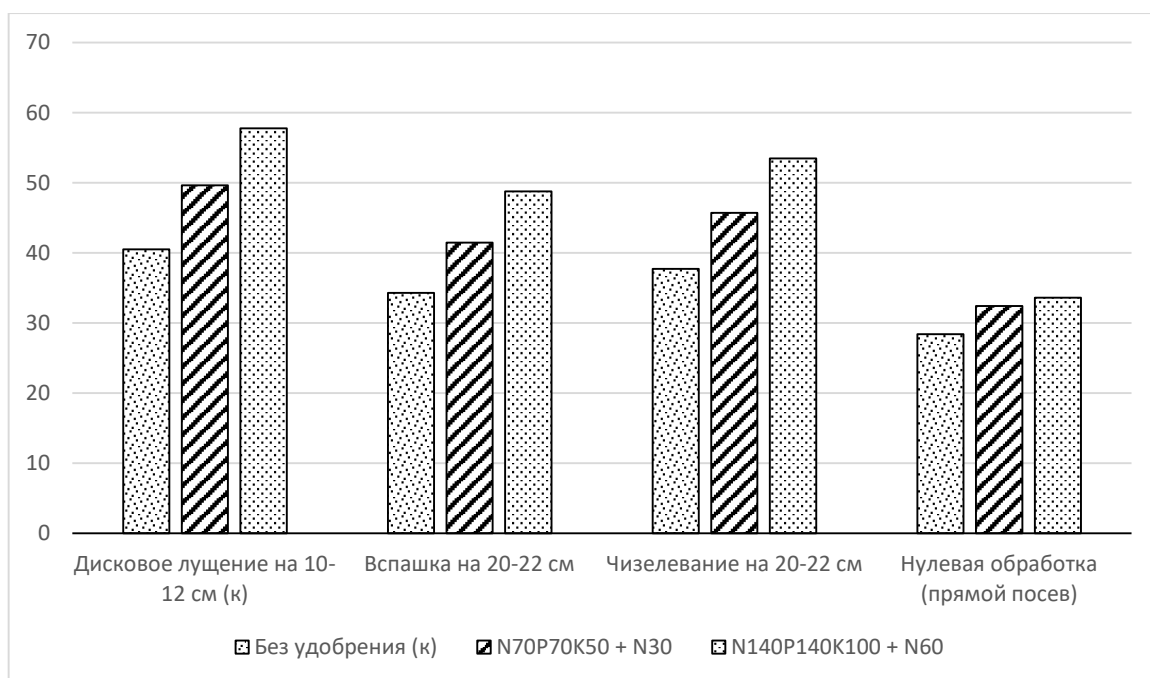


Рисунок 10 – Чистый доход при различных обработках почвы и уровнях минерального питания, тыс. руб./га

Анализ свидетельствует, что максимальный чистый доход формируется при дисковом лушении на фоне высоких доз удобрений (рисунок 10). Чизелевание обеспечивает сопоставимые результаты, однако несколько уступает лидирующему варианту. Вспашка характеризуется более низкими значениями дохода, а нулевая обработка, несмотря на низкие затраты, не позволяет достичь высокого уровня прибыли из-за ограниченной продуктивности.

Наибольшие значения уровня рентабельности зафиксированы при нулевой обработке (до 128 %), что объясняется крайне низкими затратами, несмотря на относительно невысокую прибыль. Среди традиционных систем обработки лидирует дисковое лушение (до 119 %), обеспечивающее оптимальное сочетание урожайности и затрат. Чизелевание характеризуется стабильной рентабельностью (до 111 %), тогда как вспашка имеет наименьшие показатели (до 99 %), что подтверждает ее меньшую экономическую целесообразность в современных условиях.

Проведенный нами анализ позволяет сделать вывод о том, что наибольшую экономическую эффективность обеспечивает сочетание дискового лущения с повышенными дозами минеральных удобрений. Чизелевание может рассматриваться как альтернативный ресурсосберегающий вариант с близкими показателями. Вспашка уступает по большинству экономических критериев, а нулевая обработка, несмотря на высокую рентабельность, ограничена низким уровнем абсолютного дохода. В целом, оптимизация системы обработки почвы в сочетании с рациональным применением удобрений является ключевым фактором повышения эффективности производства озимой пшеницы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетний полевой эксперимент, проведенный в 2020–2022 годах на территории Западного Предкавказья, позволил дать всестороннюю агрономическую и экономическую оценку приемам обработки почвы и системе минерального питания на агрофизические показатели почвы, ростовые процессы, урожайность и показатели качества зерна. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Обработка почвы существенно влияет на структурно-агрегатное состояние верхнего слоя. В осенний период отвальная обработка почвы способствует формированию преимущественно крупноглыбистой структуры, тогда как применение нулевой технологии обеспечивает преобладание агрегатов среднего размера (10–3 мм), характеризующихся повышенной водопрочностью. В весенний период во всех вариантах обработки наблюдается тенденция к снижению доли крупных агрегатов и увеличению содержания мелкодисперсной фракции. Тем не менее, при нулевой обработке структура почвы сохраняет наибольшую устойчивость.

2. Наибольшее количество продуктивной влаги перед посевом было отмечено на варианте с дисковым лущением (50,7 мм), на чизельной обработке почвы (47,7 мм), а на вспашке и на прямом посеве этот показатель составил соответственно 32,0 мм и 25,7 мм. К началу возобновления весенней вегетации запасы продуктивной влаги на варианте с чизельной обработкой почвы в 100 см слое были 193,0 мм, что выше чем на контроле на 21,7 мм, и превышали показатели на вспашке.

3. При дисковом лущении твердость почвы увеличивается до 32,5 кг/см², а максимальные значения данного показателя зафиксированы при применении нулевой технологии (36,7 кг/см²). На основании наших данных можно заключить, что отвальная вспашка на глубину 20–22 см обеспечивает наиболее низкий уровень твердости почвы на протяжении всего вегетационного периода. Нулевая технология характеризуется стабильно

повышенной твердостью в слое 0–30 см, что обусловлено отсутствием механического воздействия на почвенный профиль.

4. Лучшие показатели крошения почвы были отмечены на дисковом лушении, где комковато-зернистые фракции сформировались с преобладанием частиц 0,25–10 мм и коэффициентом структурности 1,7. Коэффициент структурности на вариантах с чизельной обработкой почвы и при вспашке был ниже 1,00.

5. Динамика количества сорной растительности за периоды учета показывала, что вспашка имела преимущество в подавлении сорной растительности в сравнении с дисковым лушением и чизельной обработкой почвы. На варианте с нулевой обработкой почвы отмечено значительно большее количество сорных растений.

Это можно объяснить тем, что вспашка на глубину 20–22 см. способствует перемещению семян сорной растительности с верхнего горизонта в более глубокие слои почвы, а нулевая обработка почвы (прямой посев) способствует накоплению семян сорной растительности в поверхностном слое почвы.

6. В среднем за годы исследований общая продолжительность вегетации озимой пшеницы в зависимости от основной обработки почвы и норм удобрений отличались незначительно, и составила на варианте с прямым посевом 259–263 дня, а по вспашке и дисковому лушению 260–264 дня.

7. Высота растений озимой пшеницы зависела от уровня минерального питания и от обработки почвы. Самые высокорослые растения сформировались при проведении дискового лушения с применением $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ (97,4 см), а самые низкие 74,8 см на прямом посеве без удобрений.

8. Изучаемые в опыте варианты оказали положительное влияние на густоту стояния озимой пшеницы. Максимальная густота стояния в фазу молочно – восковой спелости была отмечена на дисковом лушении с нормой удобрений $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ (305 шт./м²). При проведении вспашки и

чизельной обработки этот показатель был меньше (280 шт./м² и 289 шт./м²). Минимальная густота стояния растений озимой пшеницы была на варианте с нулевой обработкой почвы и составила 228 шт./м².

9. Во всех вариантах опыта нарастание листовой поверхности происходило от фазы весеннего кущения к выходу в трубку с последующим достижением максимума в период колошения.

Проведенный нами анализ показал, что при дисковом лушение формировались наибольшие значения площади листовой поверхности на всех стадиях онтогенеза. В фазу весеннего кущения данный показатель находился в пределах 13–16 тыс. м²/га и достигал максимума в фазу колошения (48–59 тыс. м²/га).

При отвальной вспашке площадь листовой поверхности была ниже по сравнению с вариантом дискового лушения на протяжении всего периода вегетации. Наиболее низкие значения площади листьев отмечены при прямом посеве. Максимальные значения листовой поверхности во всех способах обработки получены при повышенном уровне питания и прирост по сравнению с неудобренным фоном достигал 20–30 %,

10. Установлено, что фотосинтетический потенциал озимой пшеницы существенно варьировал в зависимости от приемов основной обработки почвы и уровня минерального питания и наиболее интенсивное накопление фотосинтетического потенциала приходилось на период колошение – молочная спелость.

Повышение доз минеральных удобрений от контроля до N₁₄₀P₁₄₀K₁₀₀ + N₆₀ обеспечивало достоверное увеличение фотосинтетического потенциала во всех вариантах обработки почвы на 12–32 %. Максимальное значение этого показателя отмечено при дисковом лушении, где фотосинтетический потенциал до 3114 тыс. м²·сутки/га. Нулевая обработка почвы характеризовалась снижением фотосинтетического потенциала на 20–30 % по сравнению с дисковым лушением.

11. Изменение глубины обработки почвы и применение различных норм минеральных удобрений способствовало к формированию различных показателей элементов структуры урожая. Продуктивность посевов озимой пшеницы при применении минеральных удобрений определялась оптимальным сочетанием количества продуктивных стеблей и массы зерна с колоса.

12. Применение повышенных доз минеральных удобрений в сочетании с ресурсосберегающими способами обработки почвы, такими как дисковое лушение и чизелевание, способствует формированию наиболее высокой урожайности зерна озимой пшеницы. Максимальный показатель урожайности в среднем был получен на варианте с дисковым лушением и двойной нормой удобрений – 66,3 ц/га и изменения с другими вариантами обработки почвы математически достоверно. Применение минеральных удобрений также показывает существенную прибавку урожая в сравнение с контролем.

13. Установлено, что способы основной обработки почвы оказывают не значительное влияние на качество зерна озимой пшеницы. Наибольшее влияние на стекловидность, клейковину, белок оказали двойные нормы минеральных удобрений. Двойные нормы удобрений увеличили содержание белка на 6 - 17 %, а клейковину на 15-30 %.

14. Наиболее низкие значения себестоимости получены при применении высоких доз удобрений в сочетании с дисковым лушением и чизелеванием. Вариант с вспашкой уступает по данному показателю вследствие более высоких затрат. Максимальные значения чистого дохода достигаются при дисковом лушении с высоким уровнем удобрений (57,78 тыс. руб./га), что свидетельствует о высокой окупаемости затрат. Чизелевание в аналогичных условиях несколько уступает (53,49 тыс. руб./га), но сохраняет высокую эффективность. Нулевая обработка обеспечивает минимальный доход (28,42–33,6 тыс. руб./га), несмотря на низкие затраты.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ

На основе проведенных нами исследований для стабилизации плодородия чернозема и получения стабильных урожаев озимой пшеницы в условиях Западного Предкавказья сельскохозяйственному производству предлагается:

1. Озимую пшеницу сорта Алексеич (и сортов данного типа), выращиваемую по предшественнику сахарная свекла, для получения высокой урожайности 66,3 ц/га, с содержанием белка 13,5 % и клейковины — 24,7 % следует возделывать при дисковом лущении с внесением минеральных удобрений с нормой $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$. При этом чистый доход составляет 57 тыс. руб./га, а уровень рентабельности до 120 %.

2. Применение вспашки на 20–22 см вместо дискового лущения, и внесении минеральных удобрений $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ обеспечивает получение урожайности на уровне 61,2 ц/га при содержании белка 14,1 % и клейковины 26,0 %.

3. Чизельная обработка почвы и внесении минеральных удобрений $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$ обеспечивали урожайность на уровне 63,5 ц/га при содержании белка 13,9 % и клейковины 25,8 %.

4. При возделывании озимой пшеницы по технологии без обработки почвы с прямым посевом возможно получение урожая на уровне 38,7 ц/га при внесении $N_{140}P_{140}K_{100} + N_{60}$.

ПЕРСПЕКТИВА ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дальнейшее развитие темы должно быть направлено на установление основных закономерностей влияния ресурсосберегающих обработок почвы и уровней минерального питания на продуктивность озимой пшеницы в условиях долгосрочных опытов на различных пропашных предшественниках.

Практическая значимость дальнейших исследований заключается в создании зональных карт рекомендуемых ресурсосберегающих обработок для озимой пшеницы на Кубани, а также в разработке адаптированных систем удобрения, позволяющих снизить уровень финансовых затрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Краснодарского края. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 276 с.
2. Агрофизические аспекты формирования запасов влаги при различных способах обработки почвы / Е. П. Денисов, К. Е. Денисов, И. С. Полетаев, [и др.] // Аграрный научный журнал: естественные науки. – 2015. – № 9. – С. 21-26.
3. Амини, Х. Продуктивность озимой пшеницы при технологии прямого посева на черноземе выщелоченном в Краснодарском крае / Х. Амини, А. В. Загорулько // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф., посвящ. Году науки и технологий. Краснодар, 29–31 марта 2021 г. – Краснодар: КубГАУ, 2021. – С. 253–258.
4. Бакиров, Ф.Г. Эффективность ресурсосберегающих систем обработки черноземов степной зоны Южного Урала: автореф. дис. д-ра с.-х. наук / Ф.Г. Бакиров.- Оренбург, 2008.- 41 с.
5. Бараев, А.И. Почвозащитное земледелие : избранные труды / А. И. Бараев. – М. : Агропромиздат, 1988. – 383 с.
6. Беленков, А. И. Роль основной обработки почвы в современных системах земледелия России / А. И. Беленков // Современные тенденции в научном обеспечении АПК Верхневолжского региона : кол. монография : в 2 т. /ФГБНУ «Верхневолжский аграрный научный центр». – Иваново, 2018. – С. 99–109
7. Беседин, Н. В. Ресурсосберегающая обработка почвы при возделывании зерновых культур в севооборотах Центрального Черноземья : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Беседин Николай Васильевич. – Курск, 2006. –42 с.

8. Бесланеев, С. М. Дробное внесение азотных удобрений / С. М. Бесланеев, М. Б. Багов, О. М. Булатова // Агрохимический вестник. – № 4. – 2006. – С. 24–25.
9. Беспалова, Л.А. Результаты и перспективы селекции пшеницы и тритикале/ Л.А. Беспалова, Ю.М Пучков // Сб. науч. тр. КНИИСХ. Краснодар, – 2004. – Т1. С.17 - 29.
10. Беспалова, Л.А. Генетика, селекция, семеноводство и сортовая агротехника пшеницы и тритикале / Л.А. Беспалова // избранные труды: авторский сборник. Краснодар, – 2022, 578 с.
11. Беспалова, Л.А. Сорта пшеницы и тритикале / Л.А. Беспалова и [др.] // каталог. Краснодар, - 2022 184 с.
12. Букин, О. В. Сравнительная эффективность систем основной обработки почвы при возделывании гороха в условиях юга Нечерноземной зоны : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Букин Олег Владимирович. – Саратов, 2022. – 19с.
13. Бушнев, А. С. Изменение структуры чернозема выщелоченного при различных системах основной обработки почвы в севообороте с масличными культурами / А. С. Бушнев / Биологизация земель в адаптивно-ландшафтной системе земледелия. – Белгород : изд-во «Отчий край», 2015. – С. 28-33.
14. Васбиева, М. Т. Агрогенная трансформация плодородия дерново-подзолистых почв Предуралья : автореферат дис. ... доктора биологических наук : 4.1.3 / Васбиева Марина Тагирьяновна. – Москва, 2024. – С. 48.
15. Василько, В. П. Зависимость воздушного и водного режима чернозема выщелоченного от технологии возделывания в низинно-западинном агроландшафте под озимой пшеницей / В. П. Василько, Е. Н. Ничипуренко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 176. – С. 139–145.

16. Василько, В. П. Влияние технологии возделывания озимой пшеницы на ассимиляционную площадь листьев в условиях Западного Предкавказья / В. П. Василько, Е. Н. Ничипуренко, Т. Д. Федорова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 117. – С. 109-113.

17. Возделывание озимой пшеницы в многолетнем опыте / Семенихина Ю. А. [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2025. – №. 1 (79). – С. 462-474.

18. Влияние биологизированных технологий на биометрические показатели озимой пшеницы сорта Граф в условиях Краснодарского края / Е. Н. Ничипуренко, Т. Д. Федорова, К. В. Иващенко [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 191. – С. 173–183.

19. Влияние обработок почвы и норм внесения удобрений на повышение урожайности сортов озимой пшеницы на юго-востоке Казахстана / Куныпияева Г. Т. [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2025. – №. 2. – С. 59-71.

20. Влияние основной обработки почвы под озимую пшеницу на формирование ее продуктивности / Р. В. Кравченко, В. И. Прохода, С. И. Лучинский, А. А. Архипенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 169. – С. 124-132. – DOI 10.21515/1990-4665-169-011. – EDN CIXMX.

21. Влияние подготовки почвы и внесения аммофоса на урожайность и структуру урожая сортов озимой пшеницы / С.П. Капралов, А.А. Квашин, Н.Н. Нецадим, А.В. Коваль, [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 107. – С. 87–96.

22. Влияние приемов основной обработки почвы, удобрений и средств защиты растений на продуктивность озимой пшеницы / С. И.Тютюнов,

П. И. Солнцев, Ю.В. Хорошилова, [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 5. – С. 18–23.

23. Влияние применения макро- и микроэлементов в подкормку на формирование продуктивности озимой пшеницы в Центральной зоне Краснодарского края / А. М. Кравцов, А. В. Загорулько, Н. Н. Кравцова [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 210. – С. 283-291.

24. Влияние применения гербицидов на урожайность и технологические качества зерна яровой пшеницы / Бобровский А. В. [и др.] // Земледелие. – 2025. – №. 7. – С. 27-30.

25. Влияние системы основной обработки на плодородие почвы в низинно-западинном агроландшафте Центральной зоны Краснодарского края / В. П. Василько, В. Н. Герасименко, В. Н. Гладков [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2018. – № 74. – С. 19-24. – DOI 10.21515/1999-1703-74-19-24.

26. Влияние способов обработки почвы, минеральных и органических удобрений в различных севооборотах на содержание гумуса в черноземе типичном / С.И. Тютюнов, В.Д. Соловиченко, А.С. Цыгуткин, [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 5. – С. 7–12.

27. Влияние ресурсосберегающих обработок на агрофизические свойства обыкновенного чернозема и урожайность яровой пшеницы в предгорной степи Южного Урала / Я. З. Каипов, Р. Л. Акчурин, З. Р. Султангазин [и др.] // Земледелие. – 2020. – № 1. – С. 40-43.

28. Галеева, Л. П. Свойства черноземов выщелоченных Новосибирского Приобья при различных обработках / Л. П. Галеева, П. С. Широких // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 11. – С. 9-13.

29. Гамм Т.А. Влияние на урожай яровой пшеницы удобрений из органических отходов на черноземе обыкновенном / Т.А. Гамм, Е.В. Гривко, Б.Б. Идигенов // Плодородие. – 2023. – №2. – С.76-79.

30. Гоноченко, А. В. Влияние нормы высева на рост, развитие и урожайность озимой пшеницы в технологии прямого посева / А. В. Гоноченко, А. Н. Джандаров, В. К. Дридигер // Сельскохозяйственный журнал. – 2025. – № 2(18). – С. 4-15. – DOI 10.48612/FARC/2687-1254/001.2.18.2025. – EDN PNKYJR.
31. Горянин, О.И. Возделывание полевых культур в среднем Заволжье: монография /О.И. Горянин. – Самара, 2018. – 345 с.
32. ГОСТ 347002-2020 – межгосударственный стандарт «Пшеница хлебопекарная. Технические условия».
33. Гребенникова, Т. В. Оценка эффективности подкормки посевов озимой пшеницы серосодержащими удобрениями с разными формами серы в сочетании с КАС-32 в условиях Краснодарского края / Т. В. Гребенникова, М. М. Визирская, Л. М. Онищенко // Агрохимический вестник. – 2025. – № 3. – С. 28-31. – DOI 10.24412/1029-2551-2025-3-005.
34. Гречищев, Д. С. Изменения агрофизических свойств почвы в зависимости от обработки почвы в условиях Центральной зоны Краснодарского края / Д. С. Гречищев, С. С. Терехова // Наукосфера. – 2025. – № 2-1. – С. 190-195.
35. Григулецкий В. Г. Новая цифровая оценка действия азота, фосфора и калия на урожай озимой пшеницы в полевых опытах / В. Г. Григулецкий // Масличные культуры. – 2025. – Т. 201. – №. 1. – С. 70-82.
36. Гриднев, П.И. Эмиссия аммиака и ее последствия для окружающей среды / П.И. Гриднев, Т.Т. Гриднева, А.А. Шведов // Вестник ВНИИМЖ. – 2018. № 1 (29). – С. 42-49.
37. Губанов, Я.В. Озимая пшеница / Я.В. Губанов, Н.Н. Иванов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 303с.
38. Гуреев, И.И. Технологии выращивания ячменя с использованием микроэлементных удобрений и регуляторов роста / И.И. Гуреев, М.Н. Жердев, А.Л. Брежнев – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2015. – №3. – С. 34-36.

39. Дедов, А. В. Пути регулирования плодородия чернозема типичного в условиях юго-востока ЦЧР / А. В. Дедов, Л. А. Новикова, М. А. Несмеянова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 3(62). – С. 71-77.

40. Дедова, Е.М. Возделывание озимой пшеницы с применением органоминеральных удобрений в условиях Нечерноземной зоны / Е.И. Лупова, Е.М.Дедова, Д.В. Виноградов // Вестник КрасГАУ. – 2025. № 1. – С. 41–48.

41. Деревягин, С. С. Основная обработка почвы как важнейший фактор органического земледелия в засушливых условиях Нижнего Поволжья / С. С. Деревягин, З. М. Азизов, К. Е. Денисов // Аграрные конференции. – 2021. – № 4(28).– С. 1-19.

42. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов– 6-е изд. М.: Агропромиздат, 2014. – 351 с.

43. Дридигер, В.К. Возделывание озимой пшеницы в системе прямого посева в Ставропольском крае: монография/ В.К. Дридигер. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного университета, 2021. – 192 с.

44. Дятлова М. В. Эффективность внесения комплексных удобрений под озимую пшеницу / М. В. Дятлова, Т. В. Шайкова, Е. С. Волкова // Плодородие. – 2025. – №. 4 (145). – С. 23-26.

45. Ермилов, А.В. Влияние минеральных и органоминеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы на черноземе южном в условиях Нижнего Дона / А.В. Ермилов, Р.А. Каменев, В.В. Турчин, [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2021. – №6 (48). –С. 32-38.

46. Ермилов, А.В. Эффективность органоминеральных удобрений на основе морских водорослей при выращивании озимой пшеницы в условиях Ростовской области / А.В. Ермилов, Р.А. Каменев, В.В. Турчин, [и др.] // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2022. – №3(45). – С.33-39.

47. Зайцев, А. М. Структурное состояние выщелоченного чернозема в полях зернопаровых севооборотов / А. М. Зайцев / Севообороты,

ресурсосберегающие технологии и воспроизводство плодородия почв в адаптивно ландшафтном земледелии Приангарья. – Иркутск, 2005. – С. 89-94.

48. Измаилова, Д. С. Влияние азотных удобрений на урожайность озимой твердой пшеницы в Республике Крым / Д. С. Измаилова // Таврический вестник аграрной науки. – № 4 (20). – 2019. – С. 46–53.

49. Казаков, Г.И. Обработка почвы в Среднем Поволжье / Г.И. Казаков. – Самара: Изд-во Самарской ГСХА, 2008. – 251 с.

50. Квашин А. А. Повышение продуктивности агроценозов и воспроизводство плодородия чернозема обыкновенного Западного Предкавказья при длительном применении минеральных удобрений: автореф. дис.... д-ра с.-х. наук: 06.01.01, 06.01.04 / Квашин Александр Алексеевич. – Краснодар, 2011. – 43 с.

51. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия / В.И. Кирюшин. – М.: Колос, 2011. – 448 с.

52. Клостер, Н. И. Агроэкологическая эффективность приемов биологизации в земледелии Центрально-Черноземной зоны России : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Клостер Наталья Ивановна. – Орел, 2022. – 49с.

53. Ковальчук А.Н. Исследование воздействия кавитации на характеристики свиного навоза / А.Н. Ковальчук, Н.М. Ковальчук // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. – 2016. – № 18. – С. 13-16.

54. Ковтун, И.И. Оптимизация условий возделывания озимой пшеницы по интенсивной технологии / И.И. Ковтун, Н.И. Гойса, Б. А. Митрофанов.- Л.: Гидрометеиздат, 1990.- 288с.

55. Комелин А.М. Агроэкологическая эффективность способов внесения жидкого свиного навоза при возделывании озимой пшеницы / А. М. Комелин, С.И. Новоселов, Г.Е. Мерзлая // Плодородие. – 2023.- №3(132).- С. 37- 40. 57

56. Комелин А.М., Влияние жидкого органического удобрения на основе свиного навоза в последствии на урожайность и химический состав ячменя / А.М. Комелин, И.А. Новоселов, С.И. Новоселов // Вестник Чувашского аграрного университета. - 2024. – №3. – С. 30-35.

57. Коротких, Н.А. Влагообеспеченность яровой пшеницы при технологии No-Till в Лесостепи Приобья / Н.А. Кортких, Н.Г. Власенко, С.П. Кастючик // Земледелие. – 2013. - №3. – С.21-23.

58. Косякин, П.А. Влияние агротехники и условий увлажнения на дифференциацию слоев чернозема по содержанию питательных веществ в ЦЧР / П.А.Косякин, О.К. Боронтов, Е.Н. Манаенкова // АгроФорум. – 2020. – № 1. – С. 29–31.

59. Котельникова, М. Н. Агробиологическое обоснование способов основной обработки чернозема типичного и систем удобрения озимой пшеницы на северо-западной части ЦЧР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Котельникова Марина Николаевна. – Орел, 2020. – 22 с.

60. Кузыченко, Ю.А. Уплотнение почвы в процессе ее основной обработки в полевом звене севооборота / Ю. А. Кузыченко, А. К. Кобозев // Сельскохозяйственный журнал. – 2018. – Т. 2. – №11. – С. 18–22.

61. Лазарев, В. И. Эффективность микроэлементных удобрений марки МикроФид при обработке семян и посевов яровой пшеницы в условиях черноземных почв Курской области / В. И. Лазарев, Ж. Н. Минченко // Земледелие. - 2020. - № 2. - С. 20–23.

62. Левкина, А.Ю. Повышение продуктивности и качества озимой пшеницы при применении комплексных минеральных удобрений / А.Ю. Левкина, А.П. Солодовников, А.С. Линьков, С.С. Алексенко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. - № 3(35). – С.110-122.

63. Левкина, А.Ю. Влияние дефицита влаги и способов основной обработки почвы на урожайность озимой пшеницы в Саратовском Заволжье / А.Ю. Левкина, А.О. Кудашова // Инновации природообустройства и защиты

окружающей среды: сб. материалов I Национальной науч.-практ. конф. с междунар. уч. (23-24 января 2019 г.). - Саратов: КУБиК, 2019 – С.535 – 539.

64. Лошаков, В.Г. Севооборот и плодородие почвы / В.Г. Лошаков. – М. : Изд. СНИИА, 2012. – 512 с.

65. Лукьяненко П.П. Избранные труды. М.: Агропромиздат, 1990. - 428 с.

66. Максимчук В.Н. Баланс почвенной влаги в чистом пару при освоении залежи под посев озимой пшеницы в Нижнем Поволжье / В. Н. Максимчук, А. П. Солодовников, В. Т. Новиков // Вестник Донского государственного аграрного университета. - 2024. - №3 (53). - С. 5 - 12.

67. Малкандуева А.Х. Урожай и технологические качества зерна сортов озимой пшеницы в зависимости от приемов возделывания / А. Х. Малкандуева, М.В. Кашукоев // Известия КБНЦ РАН. - 2021. – №5(103). – С. 33– 39.

68. Малюга Н.Г. Влияние технологии возделывания на продуктивность озимой пшеницы / Н.Г. Малюга, Т.В. Логойда, А.В. Курепин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 99. – С. 786 – 802.

69. Мамсиров, Н.И. Оптимизация питательного режима озимой пшеницы / Н.И. Мамсиров, А.Ю. Кишев, А.А. Мнатсаканян // Аграрный вестник Урала. – 2022. – № 10 (225). – С. 21– 32.

70. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1989. – Вып. 2. – 197 с.

71. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1989. – Вып. 2. – 197 с.

72. Методические рекомендации по защите зерновых культур от вредных организмов. – Санкт-Петербург: ВИЗР, – 2002. – 25 с.

73. Методические рекомендации по определению экономической эффективности использования научных разработок в земледелии. – Краснодар, – 1986. – 61 с.

74. Минеев, В. Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В. Г. Минеев, Е. Х. Рашпе. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 260 с.
75. Минеев В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев. – М.: изд. МГУ, 2004. – 719 с.
76. Минакова О.А. Влияние удобрений и основной обработки почвы на показатели плодородия в посевах культур севооборота / О.А. Минакова, П.А. Косякин, Д.С. Мерзликина// Сахарная свекла.- 2023.- № 6.- С. 26-28.
77. Мнатсаканян А. А. Пролонгированные удобрения в технологии возделывания озимой пшеницы в условиях Краснодарского края / А. А. Мнатсаканян //Земледелие. – 2023. – №. 3. – С. 27-31.
78. Мнатсаканян А. А. Показатели плодородия чернозема выщелоченного в зависимости от систем основной обработки почвы / А. А. Мнатсаканян, Г. В. Чуварлеева, О. Б. Быков // Земледелие. – 2022. – № 5. – С. 15-19.
79. Мониторинг, фитосанитарный прогноз появления и распространения озимой совки в агроценозах озимой пшеницы в Рязанской области / Е. М. Дедова, Д. В. Виноградов, П. Н. Балабко, [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2025. № 1. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/1/st_122.pdf
80. Мухина, С.В. Технология возделывания озимой пшеницы / С. В. Мухина, Н.И. Юрьева, В.В. Авдеева // Зерновое хозяйство России. – 2011. – № 1(13). – С. 56–58.
81. Налиухин А.Н. Влияние различных систем удобрения и известкования на урожайность, технологические и хлебопекарные качества зерна озимой пшеницы в условиях Северного Нечерноземья / А. Н. Налиухин, Д.А. Белозеров // Агрохимия, 2020. - №1. - С.33-42.
82. Несмеянова М. А. Обработка почвы и ее роль в формировании плодородия почвы / М. А. Несмеянова, Б. А. Быканов //Аграрный научный журнал. – 2025. – №. 4. – С. 35-40.

83. Нецадим, Н.Н. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Антонина на черноземе выщелоченном в условиях Западного Предкавказья / Н.Н. Нецадим, А.С. Скоробогатова, Н.Н. Филипенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №05 (129). – С. 1364 – 1381.

84. Низкий урожай на Юге в этом году связан с несоблюдением технологии посевов – Зерновой Союз // OleoScore, 08.10.2025 .

85. Ничипуренко, Е. Н. Влияние биологизированных технологий на показатели плодородия почвы и урожайность озимой пшеницы сорта Граф в условиях Северного Предкавказья / Е. Н. Ничипуренко, Т. Д. Федорова, К. В. Иващенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 190. – С. 59–69.

86. С.И. Новоселов, И.В. Торуткин. Влияние жидкого органического удобрения на урожайность семян рапса / С.И. Новоселов, И.В. Торуткин //Вестник Чувашского аграрного университета. - 2024. – №4(31).- С.37-41 .

87. Никитин, С.Н. Использование биоудобрений при выращивании яровой пшеницы/ С.Н. Никитин // Защита и карантин растений. – 2009. – № 3. – С. 14-17.

88. Нугманова, Т.А. Использование биопрепаратов для растениеводства / Т.А. Нугманова // Сб. науч. тр. Государственного Никитского ботанического сада. – 2017. – №144–1. – С. 2-8.

89. Обработка почвы: учеб. пособие. – 3-е перераб. и доп. изд. / В. М. Кильдюшкин [и др.] – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 176 с.

90. Основная обработка почвы и продуктивность озимой пшеницы / А.В. Алабушев [и др.] // Земледелие. – 2009. - №4. – С. 23-24.

91. Особенности сорта мягкой озимой пшеницы Зодиак при возделывании его по различным предшественникам и срокам посева /

А. С. Попов, Г. В. Овсянникова, А. А. Сухарев [и др.] // Зерновое хозяйство России. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 92-98. – DOI 10.31367/2079-8725-2023-85-2-92-98. – EDN KXLQWL.

92. Писменная, Е.В. Влияние сортов и предшественников озимой пшеницы на плодородие почвы, урожайность и качество зерна в Ставропольском крае / Е.В. Писменная, М.Ю. Азарова, Л.Г. Курасова // Аграрныйнаучный журнал. – 2020. - №8. – С. 32-37.

93. Подекадный агрометеорологический бюллетень, Краснодар. – 2019.

94. Подекадный агрометеорологический бюллетень, Краснодар. – 2020.

95. Подекадный агрометеорологический бюллетень, Краснодар. – 2021.

96. Подекадный агрометеорологический бюллетень, Краснодар. – 2022.

97. Пономарев Д. Новые сорта – новые технологии. Как краснодарская селекция изменила подход к выращиванию озимой пшеницы // Agrobook.ru, 26.02.2026 .

98. Попов А. С. Технологические элементы интенсификации возделывания твердой озимой пшеницы в степной зоне Северного Кавказа : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Попов Алексей Сергеевич. – Краснодар : КубГАУ, 2020. – 356 с.

99. Попов А.С. Основная обработка почвы твердой озимой пшеницы / А.С. Попов // Зерновое хозяйство России. – 2019. – № 5 (65). – С. 40–44.

100. Плескачев, Ю. Н. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность зерновых культур / Ю. Н. Плескачев, И. А. Кощев, С. С. Кандыбин// Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1(99). – С. 23–26

101. Практикум по земледелию / И.В. Васильев [и др.] – М.: Колос – 2004. – 424 с.

102. Продуктивность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от агротехники в зерно-свекловичном севообороте / И.М. Никульников, О.К. Боронтов, В.В. Ситникова, [и др.]// Зерновые культуры. – 1998. –№ 1. – С. 9–10.
103. Продуктивность полевого севооборота при различных системах удобрения и известковании / Налиухин А.Н., Власова О.А., Ерегин А.В., [и др.] // Плодородие. 2020. № 4 (115). С. 30- 34..
104. Прокина, Л. Н. Влияние минеральных удобрений и микроэлементов ЖУСС-2 на фоне известкования почвы на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зернотравяном севообороте / Л. Н. Прокина // Достижения науки и техники АПК. – Т. 29. – № 3. – 2015. – С. 13–15.
105. Пруцков Ф.М. Интенсивная технология возделывания зерновых культур / Ф.М. Пруцков, И.П. Осипов – М.: Росагропромиздат, 1990. – С. 56 – 62.
106. Развитие системы обработки почвы на Ставрополье / О. И. Власова, А. Н. Есаулко, О. Г. Шабалдас [и др.] // Земледелие. – 2022. – № 8. – С. 26-30.
107. Растениеводство / Г. С. Посыпанов, В. Е. Долгодворов, Б. Х. Жеруков [и др.] // М.: КолосС, 2006. – 612 с.
108. Растениеводство: учебник / В. В. Коломейченко [и др.]. – М.: Агробизнесцентр, 2007. – 600 с.
109. Родионов, Е. А. Влияние способов основной обработки на плодородие чернозема обыкновенного, урожайность сахарной свеклы и подсолнечника в условиях юго-востока ЦЧР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Родионов Евгений Александрович. – Воронеж, 2006. – 22 с.
110. Санакулов, С. Ф. Влияние внесения карбамидно-аммиачной селитры на содержание нитратного азота в почве и накопление сухой массы озимой пшеницы / С. Ф. Санакулов, Б. И. Ниязалиев // Актуальные проблемы современной науки. – № 6 (103). – 2018. – С. 162–165.

111. Симашева А. О. Влияние технологических приемов обработки почвы и доз удобрений на коэффициент структурности чернозема типичного при возделывании озимой пшеницы / А. О. Симашева // прорывные научные исследования как двигатель науки: сборник статей. – 2025. – С. 74.
112. Солодовников А.П. Влияние способов подготовки чистого пара на агрофизические свойства, влажность почвы и урожайность озимой пшеницы в Нижнем Поволжье / А.П. Солодовников, В.Н. Максимчук // Аграрный научный журнал. - 2024. - №1. - С. 56-60.
113. Солодун, В. И. Современные направления совершенствования систем обработки почвы в регионе / В. И. Солодун // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2015. – № 15. – С. 11–17
114. Солодун, В. И. Инновационные технологии обработки почвы и посева в системах земледелия : учеб. пособие / В. И. Солодун, Т. В. Амакова, А. М. Зайцев ; Иркут. гос. аграр. ун-т им. А. А. Ежевского. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2019. – 116 с.
115. Солодовников, А.П. Динамика водно-физических свойств почвы в паровом звене при возделывании озимой пшеницы / А.П. Солодовников, Б.З. Шагиев, А.Ю. Левкина // Кормопроизводство. – 2019. - № 11. – С.17-21.
116. Солодовников, А.П. Влияние способов обработки почвы и агрохимикатов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в СаратовскомЗаволжье / А.П. Солодовников, А.Ю. Левкина // Аграрный научный журнал. – 2020. - № 3. – С.29-35 .
117. Сорокина, М. В. Урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от способа обработки почвы в условиях Орловской области / М. В. Сорокина // Научный журнал молодых ученых. – 2022. – № 1 (26). – С. 50–55.
118. Сорокина, М. В. Сравнительная оценка агротехнологий разной интенсивности и урожайность полевых культур в условиях Орловской области /М. В. Сорокина, В. Т. Лобков, Ю. А. Бобкова // Вестник аграрной науки. – 2022. –№ 3 (96)

119. Сохранение агрофизических показателей темно-каштановой почвы по безотвальной обработке при освоении залежи под посев озимой пшеницы / А.П. Солодовников, В.Н. Максимчук, А.С. Линьков, [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. - 2025. - Т. 17. - №3. - С. 48-53.
120. Сычев В.Г. Тенденция изменения агрохимических показателей плодородия почв Европейской части России / В.Г. Сычев // М.: ЦИНАО, 2000. – 187с.
121. Сычев В.Г. Плодородие почв и устойчивость земледелия / В. Г. Сычев– М.: Агропромиздат, 2015. – 320 с.
122. Сычев В. Г. Факторы эффективности минеральных удобрений / В. Г. Сычев // Плодородие. – 2025. – №. 3 (144). – С. 4-7.
123. Тарасенко, Б.И. Обработка почвы / Б.И. Тарасенко – 2-е изд., перед. и доп. Краснодар. – 1987. – 175 с.
124. Тарасенко, Б.И. Повышение плодородия почв Кубани / Б. И. Тарасенко // Краснодар: кн. изд-во. – 1973. – 128 с.
125. Технологические приемы обработки почв и продуктивность озимой пшеницы (по материалам Ростовской обл.) / Т.В. Минникова [и др.] // Агрохимия. – 2019. – № 10. – С. 64–71.
126. Тренина Л. О. Влияние системы обработки на агрофизические свойства почвы и продуктивность культур в звене полевого севооборота / Л. О. Тренина // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – №. 3. – С. 213-221.
127. Трофимова Т.А. Элементы минимализации обработки почвы / Т. А. Трофимова // Достижения аграрной науки в начале 21 века. – Воронеж, 2002. – С. 33-38.
128. Трутаева, Н.Н. Эффективность применения биопрепарата Гумистим и микроэлементного удобрения Микрофид комплекс при возделывании озимой пшеницы / Н.Н. Трутаева, В.И. Лазарев // Инновации в научно-техническом обеспечении АПК России: матер. Всероссийской

(национальной) научно практической конференции. – Курск: ФГБОУ ВО Курская ГСХА, 2020. – С. 169–173.

129. Турусов В.И. Обработка почвы под ячмень на различных элементах агроландшафта / В.И. Турусов, И.М. Корнилов // Земледелие. – 2013. - №1. – С. 19-20.

130. Турусов, В.И. Обработка почвы под ячмень на различных элементах агроландшафта/ В.И. Турусов, И.М. Корнилов// Земледелие. – 2013. - №1. – С. 19-20.

131. Урожайность сортов озимой пшеницы при различных агротехнологиях в центральной зоне Кубани / Н. Н. Нещадим, А. А. Квашин, А. В. Коваль, [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 96. – С. 173–180.

132. Урожайность сортов озимой пшеницы в зависимости от приемов подготовки почвы и применения удобрений / Н. Н. Нещадим, А. А. Квашин, А. В. Коваль, [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 182. – С. 202–217.

133. Урожайность и экономическая эффективность выращивания сортов озимой пшеницы / Н. Н. Нещадим, А. А. Квашин, К. Н. Горпинченко, А. В. Коваль, [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 107. – С. 126-132.

134. Урожайность и эффективность производства зерна озимой пшеницы по предшественнику подсолнечник в условиях Западного Предкавказья / Н. Н. Нещадим, К. Н. Горпинченко, А. С. Скоробогатова, [и др.] // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018. № 4 (176). – С. 122-126.

135. Физико–химические свойства чернозема выщелоченного приразличной обработке почвы и применении удобрений в севообороте ЦЧР /

О.А. Минакова, Д.С. Мерзликина, П.А. Косякин, [и др.] // Агрохимия.-2023.- №4.- С. 11-18.

136. Формирование густоты стояния, засоренности и урожайности озимой пшеницы по различным способам подготовки чистого пара и агрохимикатам в Поволжье / В. Н. Максимчук, А. П. Солодовников, Д. А. Уполовников, [и др.] // Аграрный научный журнал.- 2025. - №9. - С. 46 - 50.

137. Формирование урожая зерна яровой пшеницы в зависимости от доз навоза КРС различных сроков хранения / И. А. Бобренко, Н. В. Гоман, Н. М. Невенчанная, [и др.] // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2019. – № 3 (18). – С. 2.-10.,

138. Шакалий, С. Н. Влияние минерального удобрения на качество зерна пшеницы мягкой озимой / С. Н. Шакалий // Вестн. Курганской ГСХА. – №1. – 2015. – С. 40–43.

139. Шаляпин, В. В. Влияние меди и кобальта на посевные качества семян пшеницы мягкой озимой / В. В. Шаляпин, Л. М. Онищенко, Н. В. Репко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – № 190 (06). – 2023. – С. 137–147.

140. Шаповал, О.А. Формирование урожая озимой пшеницы при обработке регуляторами роста / О.А. Шаповал // Плодородие. - 2004. - №3(18). - С. 16.

141. Шафран С.А. Ассортимент минеральных удобрений и экономическая эффективность их применения / С.А. Шафран– М.: ВНИИА, 2020. –229 с.

142. Шафран С.А. Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности полевых культур. Сообщение 1. Азотные удобрения / С.А. Шафран // Агрохимия. – 2021. – № 7. – С. 27-35.

143. Шевченко С.Н. Научные основы современных технологических комплексов возделывания яровой мягкой пшеницы в Среднем Заволжье /

С. Н. Шевченко, В.А. Корчагин. – М.: ООО Редакция журнала Достижения науки и техники АПК, 2006. – 283 с.

144. Шеуджен, А. Х. Агрохимия / А. Х. Шеуджен, В. Т. Куркаев, Н. С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.

145. Шеуджен, А. Х. Питание и удобрение зерновых культур. Пшеница / А. Х. Шеуджен. – Майкоп: Изд-во ООО «Аякс». – 2010. – 64 с.

146. Шеуджен А.Х. Агробιοгеохимия чернозема. 2-е изд. доп. и перераб. / А.Х. Шеуджен – Майкоп: ООО «Полиграф-Юг», 2018. – 308с.

147. Экономическая эффективность длительного применения удобрений в севообороте / А. А. Квашин, К. Н. Горпинченко, Н. Н. Нецадим, [и др.] // В сборнике: О вопросах и проблемах современных сельскохозяйственных наук сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. – Челябинск. – 2017. – С. 5-10.

148. Эффективность применения свиного бесподстилочного навоза под зерновые культуры / Бобренко И.А., Шалак И.О., Гоман Н.В., [и др.] //Вестник Омского ГАУ.- 2022.- №1(45).- С. 13- 19.

149. Эффективность применения технологии No-till в различных почвенно-климатических зонах Ставропольского края / А. Н. Есаулко, Е. Б. Дрепа, А. Ю. Ожередова, [и др.] // Земледелие. – 2019. – № 7. – С. 28-31.

150. Bilsborrow, P. The effect of organic and conventional management on theyield and quality of wheat grown in a long-term field trial / P. Bilsborrow, J. Cooper, ...,S. Wilcockson // European Journal of Agronomy. – 2013. – Vol. 51. – P. 71–80.

151. Binary plantings as a factor of reducing the technogenic load of agrocenosis / M. A. Nesmeyanova, S. I. Korzhov, A. V. Dedov, E. V. Korotkikh // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Yekaterinburg, 15–16 октября2021 года. – Yekaterinburg, 2022. – P. 012151.

152. Binary plantings as a factor of reducing the technogenic load of agrocenosis / M.A. Nesmeyanova, S.I. Kozlov, A.V. Dedov [et al.] // IOP

Conference Series: Earth and Environmental Science, Yekaterinburg, 2022. – P. 012151.

153. De Costa, W. A. J. M. Agronomic regeneration of soil fertility in tropical Asian smallholder uplands for sustainable food production / W. A. J. M. De Costa, U.R. Sangakkara // The Journal of Agricultural Science. – 2006. – Vol. 144, No. 2. – P.133–143

154. Effect of Rye and Mix Cover Crops on Soil Water and Cotton Yield in a Humid Environment / J. Payero, M. Marshall, R. Davis [et al] // Open Journal of SoilScience. – 2021. – № 11. – P. 271-284.

155. Expression quantitative trait loci analysis of two genes encoding rubisco activase in soybean / Yin Z., Meng F., Song H., [and other]// Plant Physiol. – 2010. – V. 152(3). – P. 1625–1637.

156. Gowik U., The path from C3 to C4 photosynthesis / U. Gowik, P. Westholl // Plant Physiol. - 2011. - V. 155. - P. 56-63.

157. Heinze, S. Organische Düngung und reduzierte Bodenbearbeitung als Steuerungsfaktoren für die C-, N-, P- und S-Speicherung von Mikroorganismen: Autoreferat Doktors der Naturwissenschaften / S. Heinze. – Witzenhausen, 2009. – P. 21

158. Henry, R. J. Exploring natural selection to guide breeding for agriculture/R. J Henry, E. Nevo // Plant Biotechnol. - 2014. - № 12. - P. 655-66.

159. Huggins, D. Bodenschutz durch Verzicht auf Pflügen / D. R. Huggins, P. Reganold // Spektrum der Wissenschaft. – 2009. – № 5. – P. 78-85.

160. Pearce, R.S. Molecular analysis of acclimation to cold / R. S. Pearce // Plant Growth Regul. – 1999. – V. 29. – № 1. – P. 47–76.

161. Lal R. Soil conservation and management in dryland agriculture / R. Lal // Advances in Soil Science. – 2019. – Vol. 45. – P. 1–28.

162.Martin, G. Farming system design to feed the changing world. A review / Martin, R. Martin-Clouaire, M. Duru // Agronomy for SustainableDevelopment. – 2013. – Vol. 33, No. 1. – P. 131–149.

163. Montgomery D.R. Dirt: The erosion of civilizations / D. R. Montgomery – Berkeley: University of California Press, 2017. – 320 p.
164. Mosha, H. A. The Effect of Integrated Grasses in Controlling Soil, Nutrient and Organic Matter in Loess Plateau, China / H. A. Mosha, Zh. Xingchang // EuropeanResearcher. – 2013. – No. 1-2(39). – P. 202–208.
165. Nesmeyanova, M. A. Role of allelopathic activity of plants in the regulation of infestation of agrophytocenoses / M. A. Nesmeyanova, T. A. Trofimova, A. V. Dedov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming, Voronezh, 17–18 октября 2019 года. – Voronezh: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012023.
166. Productivity of winter grain crops varieties and their cultivation efficiency depending on the use of agrochemicals in the non-black earth region conditions / D.V. Vinogradov, E.M. Dedova, E.I. Lupova, [and others] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2025. – Vol. 17, P. 47-42
167. Singh, B. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress / B. Singh, K.Usha, //Plant Growth Regulation. -2003. - № 39. - P. 137–141.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1

Метеорологические данные в год проведения опыта (данные МС г. Краснодара), 2020–2021 с.х.г.

Месяц	Среднемесячная температура воздуха, °С					Количество осадков, мм				
	Декады			Средне- месячная	Средне- многолет- няя	Декады			Сумма за месяц	Средне- многолет- няя
	1	2	3			1	2	3		
Сентябрь	23,8	20,6	19,5	21,3	17,8	109	0	1	110	35
Октябрь	17,4	17,6	13,8	16,2	11,5	5	10	2	17	49
Ноябрь	10,7	3,3	3,1	5,7	5,8	16	5	17	38	58
Декабрь	1,2	2,2	2,1	1,9	2,0	1	3	18	22	65
Январь	4,6	-3,1	4,3	2,0	-0,6	53	52	4	109	52
Февраль	5,0	-2,8	-0,9	0,5	0,5	54	44	9	107	42
Март	3,6	4,4	5,5	4,5	5,0	6	27	24	57	44
Апрель	10,0	10,9	12,4	11,1	12,2	17	61	8	86	48
Май	15,9	18,0	19,8	18,0	17,0	17	39	9	65	60
Июнь	18,0	22,4	24,8	21,7	21,0	20	49	39	108	68
С 1.10.20 по 31.03.21г.	-	-	-	-	-				460	310
С 1.04 по 31.06.21г.	-	-	-	-	-				259	226
С 1.10.20 по 31.06.21г.	-	-	-	-	-				719	536

Метеорологические данные в год проведения опыта (данные МС г. Краснодара), 2021-2022 с.х.г.

Месяц	Среднемесячная температура воздуха, °С					Количество осадков, мм				
	Декады			Средне- месячная	Средне- многолет- няя	Декады			Сумма за месяц	Средне- многолет- няя
	1	2	3			1	2	3		
Сентябрь	18,1	19,3	14,1	17,2	17,8	21	15	52	88	35
Октябрь	10,9	12,5	8,0	10,5	11,5	17	0	24	41	49
Ноябрь	10,8	3,8	8,3	7,6	5,8	19	3	35	57	58
Декабрь	8,5	4,4	1,8	4,9	2,0	11	10	15	36	65
Январь	5,9	0,4	-0,5	1,9	-0,6	65	50	46	161	52
Февраль	2,9	4,7	8,0	5,2	0,5	17	10	20	47	42
Март	3,2	-1,5	6,7	2,8	5,0	25	11	13	49	44
Апрель	12,6	12,3	15,2	13,4	12,2	12	11	2	25	48
Май	11,7	15,3	18,3	15,1	17,0	23	8	17	48	60
Июнь	24,2	23,3	21,6	23	21,0	0	16	145	161	68
С 1.10.20 по 31.03.21г.	-	-	-	-	-				391	310
С 1.04 по 31.06.21г.	-	-	-	-	-				234	226
С 1.10.20 по 31.06.21г.	-	-	-	-	-				625	536

Структурно-агрегатный состав почвы в верхнем пятисантиметровом слое почвы, 2019-2020 с.х.г.

Обработка почвы	Фракции почвы (мм), %					Водопрочность, %	
	>10	10–3	3–1	<1	<0,25	> 1 мм	>0,25 мм
Осенью (ноябрь)							
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	32,1	29,7	17,6	18,0	2,6	30	70
Вспашка на 20–22 см	41,1	31,6	15,3	10,5	1,5	37	72
Чизелевание на 20-22 см	27,5	29,2	21,5	18,8	3,0	21	63
Нулевая обработка (прямой посев)	19,9	48,5	20	10,4	1,2	34	76
Кущение (осень)							
Дисковое лушение на 10–12 см (к)	5,5	16,9	25,5	46,2	5,9	19	53
Вспашка на 20-22 см	3,5	13,5	31,8	45,9	5,3	25	67
Чизелевание на 20–22 см	4,2	15,5	26,5	48,0	5,8	18	61
Нулевая обработка (прямой посев)	3,2	18,5	25,6	49,8	2,9	32	68

Структурно-агрегатный состав почвы в верхнем пятисантиметровом слое почвы, 2020-2021 с.х.г.

Обработка почвы	Фракции почвы (мм), %					Водопрочность, %	
	>10	10-3	3-1	<1	<0.25	> 1 мм	>0.25 мм
Осенью (кущение)							
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	30,4	29,9	17,4	18,9	3,4	29	68
Вспашка на 20-22 см	41,2	31,9	15,6	9,8	1,5	40	75
Чизелевание на 20-22 см	26,8	27,6	21,2	21,2	3,2	21	62
Нулевая обработка (прямой посев)	20,1	50,9	17,8	10,1	1,1	35	75
Весной (март)							
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	5,6	17,1	25,6	45,8	5,9	18	52
Вспашка на 20-22 см	3,5	13,9	31,7	45,5	5,4	25	63
Чизелевание на 20-22 см	4,0	15,1	26,5	48,8	5,6	20	54
Нулевая обработка (прямой посев)	3,4	18,4	26,3	48,9	3,0	32	67

Структурно-агрегатный состав почвы в верхнем пятисантиметровом слое почвы, 2021-2022 с.х.г.

Обработка почвы	Фракции почвы (мм), %					Водопрочность, %	
	>10	10-3	3-1	<1	<0.25	> 1 мм	>0.25 мм
Осенью (кущение)							
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	30,2	29,8	18,7	18,9	2,4	25	66
Вспашка на 20-22 см	40,4	31,6	15,3	10,9	1,8	37	75
Чизелевание на 20-22 см	27,0	27,2	20,9	21,0	3,9	18	64
Нулевая обработка (прямой посев)	18,5	54,2	16,2	10,1	1,0	33	77
Весной (март)							
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	5,1	16,7	25,1	47,5	5,6	20	54
Вспашка на 20-22 см	3,8	14,0	32,8	44,2	5,2	22	65
Чизелевание на 20-22 см	4,1	15,3	26,8	48,4	5,4	19	56
Нулевая обработка (прямой посев)	3,6	18,6	26,1	48,6	3,1	29	69

Крошение почвы при различных способах ее обработки под озимой пшеницей,
2019-2020 с.х.г.

Обработка почвы	Фракции (мм), %						Коэффициент структурности
	>100	100-10	10-3	3-1	1-0,25	<0,25	
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	4,4	27,4	21,7	17,2	23,4	5,9	1,7
Вспашка на 20-22 см	12,8	40,0	23,1	11,4	10,7	2,0	0,8
Чизелевание на 20-22 см	6	25,4	22,7	18,1	21,1	5,1	1,7
Нулевая обработка (прямой посев)	1,9	40,5	38,3	8,4	10,0	0,9	1,3

Крошение почвы при различных способах ее обработки под озимой пшеницей,
2020-2021 с.х.г.

Обработка почвы	Фракции (мм), %						Коэффициент структурности
	>100	100-10	10-3	3-1	1-0,25	<0,25	
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	2,7	34,1	17,4	19,8	22,4	3,6	1,5
Вспашка на 20-22 см	8,1	37,0	20,9	18,6	12,9	2,5	1,1
Чизелевание на 20-22 см	4,0	31,1	19,8	23,0	18,2	3,9	1,6
Нулевая обработка (прямой посев)	1,0	42,7	25,3	17	16,0	1,0	1,3

Крошение почвы при различных способах ее обработки под озимой пшеницей,
2021-2022 с.х.г.

Обработка почвы	Фракции (мм), %						Коэффициент структурности
	>100	100-10	10-3	3-1	1-0,25	<0,25	
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	3,6	27,1	19,9	21,4	25,1	3,0	2,0
Вспашка на 20-22 см	9,7	35,1	17,4	18,8	17,2	1,8	1,1
Чизелевание на 20-22 см	5,3	31,5	16,0	22,0	21,8	3,4	1,5
Нулевая обработка (прямой посев)	1,5	44,9	23,7	19,1	10,3	0,5	1,1

Запасы продуктивной влаги в почве под озимой пшеницей в зависимости от системы основной обработки почвы и нормы удобрения, 2019-2020 с.х.г.

Обработка почвы (фактор А)	0-10	0-20	0-50	0-100
	W,мм			
Перед посевом				
Дисковое лущение	0	3	10	25
Вспашка	2	5	15	43
Чизелевание	1	4	13	40
Нулевая обработка	0	1	9	20
В начале возобновления весенней вегетации				
Дисковое лущение	20	40	96	196
Вспашка	32	56	104	216
Чизелевание	29	50	100	205
Нулевая обработка	15	33	82	178
В фазу колошения				
Дисковое лущение	9	18	39	75
Вспашка	15	27	50	98
Чизелевание	13	25	45	90
Нулевая обработка	5	15	30	62
В фазу полной спелости				
Дисковое лущение	1	4	19	48
Вспашка	4	10	29	61
Чизелевание	2	7	21	57
Нулевая обработка	0	1	15	40

Запасы продуктивной влаги в почве под озимой пшеницей в зависимости от системы основной обработки почвы и нормы удобрения, 2020-2021 г.

Обработка почвы (фактор А)	0-10	0-20	0-50	0-100
	W,мм			
Перед посевом				
Дисковое	0	2	10	32
Вспашка	2	6	18	51
Чизелевание	1	4	15	48
Нулевая обработка	0	1	8	25
В начале возобновления весенней вегетации				
Дисковое	10	24	56	138
Вспашка	16	33	78	156
Чизелевание	14	29	72	145
Нулевая обработка	5	19	48	110
В фазу колошения				
Дисковое	10	20	68	142
Вспашка	13	26	80	170
Чизелевание	11	24	72	158
Нулевая обработка	6	15	59	135
В фазу полной спелости				
Дисковое	8	20	55	126
Вспашка	12	26	66	144
Чизелевание	10	24	62	140
Нулевая обработка	5	15	49	110

Запасы продуктивной влаги в почве под озимой пшеницей в зависимости от системы основной обработки почвы и нормы удобрения, 2021-2022 г.

Обработка почвы (фактор А)	0-10	0-20	0-50	0-100
	W,мм			
Перед посевом				
Дисковое	5	8	15	39
Вспашка	8	12	26	58
Чизелевание	7	11	24	55
Нулевая обработка	3	5	12	32
В начале возобновления весенней вегетации				
Дисковое	14	30	88	180
Вспашка	17	35	94	207
Чизелевание	16	33	92	198
Нулевая обработка	12	20	73	150
В фазу колошения				
Дисковое	6	16	49	110
Вспашка	9	21	60	130
Чизелевание	8	19	55	125
Нулевая обработка	4	12	40	98
В фазу полной спелости				
Дисковое	4	7	20	60
Вспашка	7	11	29	79
Чизелевание	6	10	27	75
Нулевая обработка	2	5	15	51

Твердость почвы в зависимости от системы основной обработки почвы в слое 0–30 см кг/см² (2020)

Вариант	Сроки определения		
	в начале весенней вегетации	в фазу колошения	в фазу полной спелости
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	19,0	29,1	34,2
Вспашка на 20-22 см	15,9	25,4	30,3
Чизелевание на 20-22 см	17,1	27,0	32,4
Нулевая обработка (прямой посев)	22,5	32,1	38,6

Твердость почвы в зависимости от системы основной обработки почвы в слое 0–30 см кг/см² (2021)

Вариант	Срок определения		
	в начале весенней вегетации	в фазу колошения	в фазу полной спелости
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	16,6	25,9	30,7
Вспашка на 20-22 см	13,0	21,7	26,5
Чизелевание на 20-22 см	14,1	22,8	28,2
Нулевая обработка (прямой посев)	19,6	28,2	34,3

Твердость почвы в зависимости от системы основной обработки почвы в слое 0–30 см кг/см² (2022)

Вариант	Срок определения		
	в начале весенней вегетации	в фазу колошения	в фазу полной спелости
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	16,9	27,8	32,6
Вспашка на 20-22 см	14,0	23,7	27,8
Чизелевание на 20-22 см	14,7	25,5	30,6
Нулевая обработка (прямой посев)	20,6	30,6	37,2

Динамика площади листовой поверхности озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от приемов выращивания, тыс. м²/га (2020 г.)

Обработка почвы (Фактор А)	Удобрение (Фактор В)	Фаза вегетации			
		весеннее кущение	выход в трубку	колошение	молочно- восковая спелость
Дисковое лушение на 10-12 см	Без удобрений	13.1	26.3	45.3	16.2
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	14.0	27.8	50.1	17.8
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	15.4	31.5	55.2	20.6
Вспашка на 20-22	Без удобрений	11.6	23.9	34.8	14.1
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	12.9	26.0	43.5	15.2
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	14.2	29.0	47.3	17.5
Чизелевание на 20-22 см	Б/уд	11.9	25.3	39.1	15.1
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	13.2	27.3	45.0	16.6
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	14.4	31.0	50.7	18.8
Нулевая обработка (прямой посев)	Без удобрений	8.9	17.7	29.1	9.2
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	10.3	20.1	34.9	10.5
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	12.3	24.3	40.5	13.1

Динамика площади листовой поверхности озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от приемов выращивания, тыс. м²/га (2021 г.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрение (фактор В)	Фаза вегетации			
		весеннее кущение	выход в трубку	колошение	молочно- восковая спелость
Дисковое лушение на 10-12 см	Без удобрений	13.5	28.9	50.4	18.5
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	14.8	31.0	55.8	20.4
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	16.5	35.1	62.2	23.8
Вспашка на 20-22	Без удобрений	12.6	25.8	44.8	16.7
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	13.9	28.1	50.6	18.1
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	15.6	31.8	56.7	20.8
Чизелевание на 20-22 см	Б/уд	13.0	27.5	49.8	18.1
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	14.2	29.5	54.2	19.4
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	15.8	34.1	60.4	21.6
Нулевая обработка (прямой посев)	Без удобрений	10.1	19.5	33.6	11.1
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	11.1	22.0	38.6	12.4
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	13.6	26.4	43.3	14.3

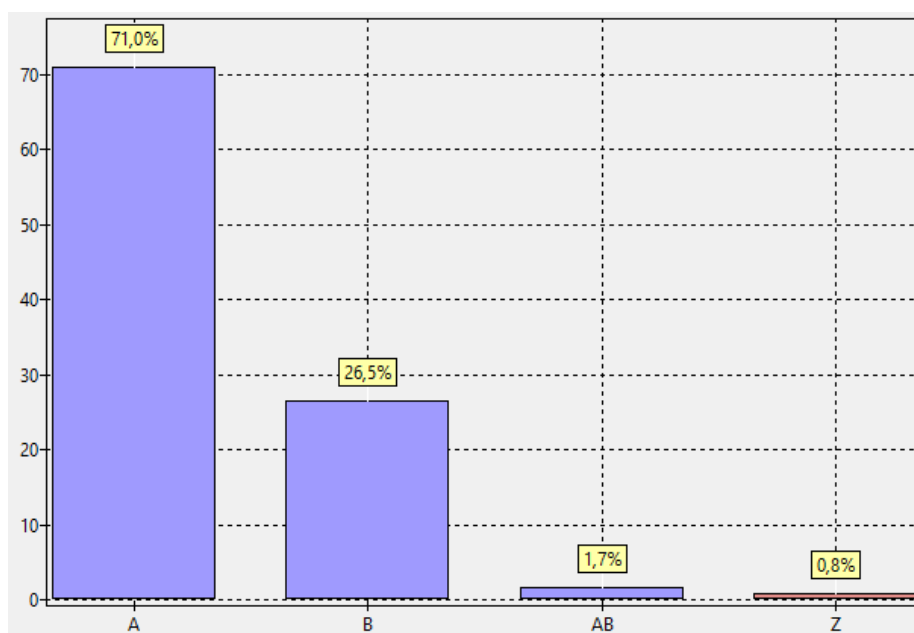
Динамика площади листовой поверхности озимой пшеницы сорта Алексеич в зависимости от приемов выращивания, тыс. м²/га (2022 г.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрение (фактор В)	Фаза вегетации			
		весеннее кущение	выход в трубку	колошение	молочно- восковая спелость
Дисковое лушение на 10-12 см	Без удобрений	13,4	28.2	48.9	17.8
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	14,5	30.1	54.3	19.7
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	16.2	34.1	60.0	22.9
Вспашка на 20-22	Без удобрений	12.2	25.3	40.7	15.6
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	13.5	27.4	47.1	17.3
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	15.0	31.0	52.5	20.3
Чизелевание на 20-22 см	Без удобрений	12.7	27.2	45.8	16.7
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	13.9	29.7	50.5	18.7
	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	15.6	33.3	55.9	21.3
Нулевая обработка (прямой посев)	Без удобрений	9.7	19.0	32.7	10.5
	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	11.0	21.5	37.2	11.7

Изменение урожайности озимой пшеницы в зависимости от агротехнологий,
ц/га (2020 г.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрение (фактор В)			Средние А (НСР=1,10)
	Без удобрений (к)	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	45,5	50,2	58,9	51,5
Вспашка на 20-22 см	43,9	49,7	56,3	50,0
Чизелевание на 20-22 см	44,7	50,6	57,1	50,8
Нулевая обработка (прямой посев)	30,2	33,5	36,8	33,5
Средние В - НСР=0,87	41,1	46,0	52,3	X _{ср.} =46,5

Доля взаимодействия факторов на урожайность озимой пшеницы, % (2020г.)



Примечание: А - обработка почвы; В – удобрение.

Изменение урожайности озимой пшеницы в зависимости от агротехнологий,
ц/га (2022 г.)

Обработка почвы (фактор А)	Удобрение (фактор В)			Средние А (НСР=0,31)
	Без удобрений (к)	N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀ + N ₃₀	N ₁₄₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ + N ₆₀	
Дисковое лушение на 10-12 см (к)	49,5	60,0	66,9	58,8
Вспашка на 20-22 см	44,9	54,8	60,2	53,3
Чизелевание на 20-22 см	47,9	57,9	65,1	57,0
Нулевая обработка (прямой посев)	32,2	35,9	39,2	35,8
Средние В - НСР=0,30	43,6	52,2	57,9	X _{ср.} =51,2

Для средних АВ НСР=0,57