

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ РОСТОВСКИЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»

На правах рукописи



Гаевая Эмма Анатольевна

СОХРАНЕНИЕ И ВОСПРОИЗВОДСТВО ПЛОДОРОДИЯ ЭРОДИРОВАННЫХ
ЧЕРНОЗЕМОВ СЕВЕРНОГО ПРИАЗОВЬЯ
1.5.19. Почвоведение (биологические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание учёной степени
доктора биологических наук

Научный консультант:
доктор биологических наук, профессор
Безуглова Ольга Степановна

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ). 16	
1. 1 Деградация почвы, масштабы распространения, способы предотвращения ...	16
1. 2 Роль севооборота в процессах развития деградации и воспроизводстве плодородия.....	23
1. 3 Роль приемов обработки почвы в защите почвы от деградации.....	25
1. 4 Влияние агрофизических свойств почвы на процессы деградации.....	28
1. 5 Роль корневой системы сельскохозяйственных растений в предотвращении процессов эрозии почвы	33
1. 6 Изменение плодородия почвы в результате процессов деградации.....	35
1. 7 Прогноз развития процессов деградации почвы на основе нейронных сетей	39
1. 8 Урожайность сельскохозяйственных культур в условиях эрозионно-опасного склона	41
2 УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ, СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	43
2. 1 Характеристика почвенно-климатических условий и места проведения исследований	43
2. 2 Методика проведения исследований и наблюдений.....	49
2. 3 Метеорологические условия проведения исследований	52
2. 4 Статистическая обработка результатов исследования.....	54
3 ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ НА ЭРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ КОНТУРНО-ПОЛОСНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИИ	56
3. 1 Динамика стока талой и ливневой воды на эрозионно-опасных склонах в зависимости от конструкции севооборотов	56
3. 2 Динамика стока талой и ливневой воды на эрозионно-опасных склонах в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур	61

3.3	Динамика смыва почвы на эрозионно-опасных склонах в зависимости от конструкции севооборотов.....	64
3.4	Динамика смыва почвы на эрозионно-опасных склонах в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур	70
3.5	Зависимость смыва почвы от стока талых и ливневых вод на эрозионно-опасных склонах.....	74
4	ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ НА ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ СКЛОНАХ ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ СРЕДНЕЭРОДИРОВАННЫХ	81
4.1	Прогноз стока талых и ливневых вод	81
4.2	Прогноз смыва почвы	86
5	ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗВИТИЕ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ	92
5.1	Динамика агрофизических показателей в зависимости от предшественников	92
5.2	Динамика агрофизических показателей в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур	98
5.3	Динамика водоустойчивых свойств чернозема обыкновенного в зависимости от предшественников.....	101
5.4	Динамика водоустойчивых свойств чернозема обыкновенного в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур.....	106
5.5	Изменение агрофизических показателей чернозема обыкновенного в результате проявления процессов деградации.....	108
5.6	Анализ агрофизических показателей методом главных компонент	112
5.7	Анализ водоустойчивых агрегатов методом главных компонент	117
5.8	Изменение плотности чернозема обыкновенного	120
5.9	Изменение водного режима чернозема обыкновенного	124
5.10	Изменения водопроницаемости чернозема обыкновенного	131
5.11	Динамика накопления снега на склонах	137
5.12	Влияние ливней на развитие эрозионных процессов черноземов обыкновенных	141
5.13	Гребнистость почвы.....	145

5. 14	Противоэрозионная устойчивость корневых систем	146
6	ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО СРЕДНЕЭРОДИРОВАННОГО В СИСТЕМЕ КОНТУРНО-ПОЛОСНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИИ	156
6. 1	Динамика гумуса в длительном опыте в зависимости от конструкции севооборотов и удобрений	156
6. 2	Динамика гумуса в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур	161
6. 3	Динамика гумуса в агрегатах различной размерности	165
6. 4	Динамика минерального азота в зависимости от конструкции севооборотов, удобрений и агротехнологии возделывания	168
6. 5	Динамика подвижного фосфора в зависимости от конструкции севооборотов и удобрений	170
6. 6	Динамика подвижного фосфора в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур	173
6. 7	Динамика обменного калия в зависимости от конструкции севооборотов и удобрений.....	175
6. 8	Динамика обменного калия в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур	178
6. 9	Динамика водородного показателя в зависимости от конструкции севооборотов, удобрений и агротехнологии возделывания	180
7	ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА И ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ НА ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ СКЛОНАХ ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ.....	183
7. 1	Прогноз динамики содержания гумуса.....	183
7. 2	Прогноз динамики содержания подвижного фосфора.....	190
7. 3	Прогноз динамики содержания обменного калия	196

8	БАЛАНС ГУМУСА И ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ НА ЧЕРНОЗЕМАХ ОБЫКНОВЕННЫХ СРЕДНЕЭРОДИРОВАННЫХ	203
8. 1	Баланс гумуса в зависимости от конструкции севооборотов и удобрений ..	203
8. 2	Баланс гумуса в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур	210
8. 3	Оценка состояния баланса гумуса в зависимости от конструкции севооборота, удобрений и агротехнологии возделывания	216
8. 4	Баланс основных элементов питания в зависимости от конструкции севооборотов и удобрений	219
8. 5	Баланс основных элементов питания в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур	232
8. 6	Состояние баланса основных элементов питания в зависимости от конструкции севооборота, удобрений и агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур	240
9	ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ НА ЧЕРНОЗЕМАХ ОБЫКНОВЕННЫХ СРЕДНЕЭРОДИРОВАННЫХ С ПОМОЩЬЮ СЕВООБОРОТОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИИ, ДОЗ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И АГРОТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....	244
9. 1	Урожайность сельскохозяйственных культур	244
9. 2	Сравнительная продуктивность севооборотов	263
9. 3	Выявление взаимосвязей между параметрами почвенного плодородия чернозёмов обыкновенных и продуктивностью озимой пшеницы на основе метода главных компонент	266
9. 4	Прогноз урожайности озимой пшеницы	276
10	ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИЕМОВ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И	

ПРОДУКТИВНОСТИ СЕВООБОРОТОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, РАЗМЕЩЕННЫХ НА ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ СКЛОНАХ	281
10. 1 Эколого-экономическая оценка приемов повышения плодородия	281
10. 2 Биоэнергетическая оценка приемов повышения плодородия почвы	291
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	301
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ	306
СПИСОК ТЕРМИНОВ	307
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	308
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТАБЛИЦЫ	357
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. АКТЫ О ВНЕДРЕНИИ В ПРОИЗВОДСТВО НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	414
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ПАТЕНТЫ.....	418

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Проблема почвенного плодородия возникла вместе со сложными процессами освоения земель. Особенно возросла нагрузка на почву в последние десятилетия, обусловленная нарушением основного закона земледелия – возврата почве питательных веществ и энергии, выносимых с урожаем сельскохозяйственных культур (Масютенко и др., 2022). Усугубляется проблема и разрастающимися с каждым годом процессами эрозии. За последние сто лет потеря гумуса в почве составила от 17 до 64 % от исходного, в среднем 25–30 %; за 10 тыс. лет (период землепользования) – около 16 % (Розанов, 1983). На Северном Кавказе с 1883 по 2022 гг. в два раза сократился контур чернозёмов с содержанием гумуса 7–10 %, существенно уменьшился и контур с содержанием 4–7 %, а наибольшие потери гумуса наблюдались в первые годы после распашки целины (Лозановская и др., 1987). Потери гумуса в начале прошлого века при низких урожаях культур составили 0,01 абс. % в год, с внедрением машинных технологий в 30–60 гг. – увеличилась до 0,03, в 80-90-е годы ещё больше – до 0,04–0,05 % (Ачканов и др., 2002).

В Ростовской области более 48,9 % пашни ежегодно подвергается водной эрозии. Площадь смытых почв составляет около 295,7 тыс. га. Ежегодные потери питательных веществ на пашне Ростовской области, вследствие смыва, составляют: азота 54 тыс. т, фосфора – 70 тыс. т и калия – 524 тыс. т, что превышает их количество, внесённое с удобрениями (Доклад о состоянии и использовании ..., 2022). Учитывая размеры эродированной пашни на Юге России и в Ростовской области, ставится задача – разработать и изучить севообороты с высокими почвозащитными свойствами и продуктивностью, близкой к продуктивности полевых севооборотов на плакоре. Решить это можно только сочетанием севооборотов необходимой конструкции с наиболее благоприятными для этого системами удобрения и обработки почвы.

Актуальность, отсутствие или недостаточность материала для положительного решения вышеизложенных проблем определили основную цель работы.

Степень разработанности темы. Изучением проблемы деградации черноземов и восстановления их плодородия занимались многие ученые: З.С. Артемьева, (2021); А.Т. Барабанов (2015); Г.П. Глазунов, (2022); Е.В. Дубовик, (2020); М.Н. Заславский, (1987); А.Н. Каштанов С.А., (2000); А.П. Карабутов, (2019); В.И. Кирюшин, (2024); В.А. Крылов, (2022); И.Н. Листопадов, (2009); М.И. Лопырев, (1989, 2012); С.М. Лукин, (2021); О.А. Макаров, (2024); Н.П. Масютенко, (2021, 2023); Д.С. Орлов, (1981); Е.В. Полуэктов, (2005, 2017); В.В. Попов, (2018); И.В. Подлесных, (2020; 2021, 2023); П.М. Сапожников, (2023); В.И. Свиридов, (2021); Г.П. Сурмач, (1976); Ю.П. Сухановский, (2023); С.А. Тарасов, (2020; 2021); О.Г. Чуян, (2015; 2022, 2023); и др. Однако сложность решения проблемы и различная степень выраженности процессов эрозии в разных регионах Ростовской области в зависимости от агротехнических приемов определяют актуальность настоящих исследований.

Цель исследования: на основе системного подхода к мониторингу многолетних данных и разработки комплекса приемов стабилизации и повышения плодородия черноземов обыкновенных теоретически обосновать количественные и качественные изменения, обеспечивающие восстановление плодородия эродированной пашни и экологическую устойчивость почвы, направленные на увеличение продуктивности севооборотов.

В задачи исследования входило:

- 1) провести оценку потерь почвенного плодородия за семь ротаций севооборотов (длительный период времени), выявить роль почвозащитных севооборотов и показатели поверхностного стока талой и ливневой воды и смыва почвы;
- 2) сделать предварительный прогноз развития эрозионных процессов и потерь основных элементов питания в севооборотах различных конструкций;
- 3) установить длительное влияние основной обработки почвы и предшественника на водный режим, агрофизические и агрохимические показатели плодородия чернозема обыкновенного, и урожайность культур полевых севооборотов;

- 4) выявить действие приемов основной обработки почвы на развитие корневой системы;
- 5) проанализировать изменение гумусового и азотного, фосфорного и калийного режимов чернозема обыкновенного и сделать предварительный прогноз для выявления наиболее рациональных уровней применения удобрений на эрозионно-опасных склонах, способствующих сохранению и восстановлению почвенного плодородия;
- 6) установить закономерности формирования урожая сельскохозяйственных культур, продуктивности севооборотов в зависимости от предшественников, агротехнологии и системы удобрений;
- 7) провести эколого-экономическую и биоэнергетическую оценку эффективности возделывания сельскохозяйственных культур в зависимости от агротехнических мероприятий в севооборотах различной конструкции.

Положения, выносимые на защиту:

1. Применение на эрозионно-опасных склонах Северного Приазовья элементов почвозащитной системы земледелия и почвозащитных севооборотов в сочетании с использованием удобрений обеспечивает сокращение стока и смыва почвы, стабилизацию водно-физических свойств, снижение потерь элементов питания и повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Закономерности фракционного распределения структурных отдельностей, установленные с применением анализа главных компонент, позволили теоретически обосновать процессы структурообразования в черноземах обыкновенных, показать их роль в предотвращении водной эрозии.

2. Ретроспективный мониторинг (36 лет) эродированных почв с применением различных агротехнических подходов, включающих экстенсивную систему земледелия, а также органоминеральную и минеральную системы удобрений, позволяет выявить закономерности изменения параметров почвенного плодородия. На эродированных землях экстенсивная система земледелия ведет к снижению содержания гумуса и основных элементов питания. Введение в структуру севооборота на эрозионно-опасных склонах 20 % многолетних трав и внесение

$N_{84}P_{48}K_{48}+8$ т навоза обеспечивает бездефицитное воспроизводство плодородия почвы, а увеличение доли многолетних трав до 40 % при этой же дозе удобрений приводит к расширенному воспроизводству плодородия.

3. Применение автоматизированных нейросетевых моделей позволяет прогнозировать динамику процессов эрозии, содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия на склонах крутизной 3,5–4° при различных системах удобрения и длительности их применения. Использование этого подхода эффективно в севооборотах различных конструкций и агротехнологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

4. Разработана модель параметров почвенного плодородия чернозема обыкновенного среднеэродированного с применением метода главных компонент, учитывающая вклад интегральных факторов в почвенное плодородие, что обеспечивает более точное прогнозирование планируемой урожайности озимой пшеницы.

Рабочая гипотеза состояла в том, что рациональной структурой посевов и чередованием культур в севооборотах в сочетании с различными системами обработки почвы и агротехническими противоэрозионными приемами, а также с различными системами удобрений, можно экспериментально определить оптимальный вариант технологии восстановления плодородия эродированной пашни.

Научная новизна. Впервые на обыкновенных черноземах на эрозионно-опасном склоне крутизной 3,5–4° изучена эффективность почвозащитного комплекса в длительном полевом опыте. Проведен анализ процессов эрозии в севооборотах различной конструкции, расположенных на склоне, за длительный период, определены потери основных элементов питания в результате процессов деградации. Впервые рассмотрена на черноземах обыкновенных Ростовской области экологическая роль севооборотов различной эрозионной устойчивости, систем обработки почвы и удобрений в регулировании водного и пищевого режимов, определены основные показатели изменения плодородия почвы и продуктивности культур при систематическом внесении минеральных и органических удобрений, расширены и углублены знания о водном и пищевом режиме почвы, рассчитан ба-

ланс гумуса, элементов питания в севообороте при различных системах удобрения и их эколого-экономическая эффективность. Впервые экспериментально установлены сочетания агрономических и экологических факторов, позволяющих наиболее эффективно применять контурно-полостную систему, а также на основе разработанных технологических элементов – севооборотных, почвозащитных, агрохимических – создать целостную в организационном, агрономическом и экологическом плане ландшафтную систему земледелия.

На основании анализа главных компонент впервые были выделены интегральные факторы, вносящие наибольший вклад в дисперсию, и разработана модель параметров почвенного плодородия для чернозема обыкновенного, что позволяет с большей точностью прогнозировать урожайность озимой пшеницы. Также впервые теоретически обоснованы процессы структурообразования в черноземах обыкновенных, показана их роль в предотвращении водной эрозии.

Впервые показано, что метод обработки большого массива данных с помощью автоматизированных нейросетевых моделей позволяет делать прогноз динамики процессов эрозии, содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия на склоновых землях.

Теоретическая и практическая значимость. Определены фактические величины стока талых и ливневых вод за длительный период времени, выявлена зависимость между стоком талых и ливневых вод и смывом почвы, количеством осадков и средней температурой периода снеготаяния, что позволяет оценивать вклад севооборотов различной конструкции и приемов обработки почвы в сокращение процессов эрозии. Проведен ретроспективный анализ структурно-агрегатного состава чернозема обыкновенного. Проведенные комплексные исследования изменения за длительный период времени содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия, выполненные в рамках единого методологического подхода, с учетом специфики среднеэродированных склонов, являются теоретической основой для создания концепции сохранения и воспроизводства плодородия черноземов обыкновенных.

Практическая значимость работы заключается в разработке приёмов сохранения и воспроизводства плодородия чернозема обыкновенного среднеэродированного на склоне крутизной 3,5-4,0° в севооборотах различной конструкции: для сокращения процессов эрозии использовать контурно-полосную организацию территории с простейшими гидротехническими сооружениями, почвозащитные севообороты с 20-40 % многолетних трав, чизельную обработку почвы и удобрения в дозе 5 т навоза и $N_{46}P_{30}K_{30}$, при отсутствии навоза увеличить дозу минеральных удобрений до $N_{84}P_{48}K_{48}$ и долю многолетних трав до 40 %, что позволит до минимума сократить экологические осложнения. Систематически проводить мониторинг содержания гумуса и основных элементов питания для составления прогноза. Долгосрочный прогноз процессов эрозии с использованием автоматизированной нейронной сети на склонах крутизной 3,5-4° с учетом конструкции севооборотов и приемов обработки почвы показал эффективность комплекса рекомендуемых приемов в предупреждении процессов эрозии.

Личный вклад автора. Результаты получены при непосредственном участии автора в период с 2007 по 2022 гг. Автором разработана структура диссертационной работы, проведен анализ экспериментального материала, выполнена статистическая обработка, расчёт экономической и биоэнергетической эффективности, обобщен экспериментальный материал в виде диссертационной работы.

Методология и методы исследования. При проведении исследований применялся системный подход и комплексные методы: сравнительно-аналитический, вариационно-статистический и экономический. Мониторинг, наблюдения и учет, химические и физические анализы, а также статистическая обработка проводились по общепринятым методикам.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждена многолетними исследованиями, значительным объемом проведенных анализов и наблюдений, обработкой экспериментального материала. Полевые исследования проводили в 1990–2022 гг. в длительном полевом эксперименте по изучению севооборотов, приемов обработки почвы и уровней применения удобрений на эрозионно-опасном склоне юго-восточной экспозиции крутизной до 3,5-4° в системе

контурно-ландшафтной организации территории склона. Севообороты развернуты в пространстве и во времени, размещение рендомизированное в трехкратной повторности. Опыт зарегистрирован в Российской Географической сети длительных опытов с удобрениями (аттестат № 169). Применялись эмпирические и теоретические методы исследования, результаты длительных полевых экспериментов и агрохимических анализов почвы были подвергнуты статистической обработке, с использованием дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов, а также общепринятых критериев вероятности и значимости, с применением современных компьютерных программ Statistica 13.3.

Апробация работы. Результаты исследований отражены в годовых отчетах FNFZ-2022-0003 по научно-исследовательской работе отдела земледелия ФГБНУ ФРАНЦ в 2007-2022 гг., ежегодных отчетах в Геосети о результатах длительного опыта № 169 в 2019-2022 гг. Материалы исследований были представлены в виде докладов и опубликованы в материалах международных конференций. Основные из них: «Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур» (Горки, 2018); «Адаптивно ландшафтное земледелие: вызовы XXI века» (Курск, 2018); «Почвы в биосфере» (Томск, 2018); «Современное состояние чернозёмов» (Ростов-на-Дону, 2019; 2023); «Международные Бочкаревские чтения» (Рязань, 2019); «Проблемы современной аграрной науки» и «Проблемы плодородия почв в современном земледелии» (Красноярск, 2020, 2024); «Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы» (Москва, 2024); а также в Трудах VIII и IX съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева «Почвы – стратегический ресурс России» Сыктывкар, 2021) и «Почвы – опора России» (Казань, 2024), «International online conference on environmental transformation and sustainable development in Asian region, Entransasia 2020» (Irkutsk, 2020); International scientific Conference (Курск, 2021); «International Conference on World Technological Trends in Agribusiness» (Omsk, 2020).

Соответствие темы паспорта специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.5.19. Почвоведение по п. 5. Теоретические, научно-методические и практические вопросы физики и механики почв.

Изучение водно-физических свойств, водного и температурного режимов почв в естественных и агроценозах; по п. 6. Теоретические и научно-методические вопросы химии почв. Изучение взаимодействия органических и минеральных компонентов почв. Техногенное и агрогенное химическое загрязнение почв, изменение их естественной кислотности, химического состава и физико-химических свойств; по п. 8. Оценка плодородия почв и мониторинг его состояния. Агрохимические и экологические основы управления почвенным плодородием и оптимизация его параметров; по п. 12. Охрана почв и почвенного покрова от деградации. Разработка методов моделирования, прогнозирования и предупреждения эрозийных процессов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 171 работ, общим объемом 93,2 п.л. (личный вклад автора 60,2 п.л.), 8 из них – статьи в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и Web of Science, 2 в статьях, входящих в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI), 28 – в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК РФ; 8 монографий и глав монографий, 12 методических рекомендаций производству, а также 2 патента (в соавторстве).

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 419 страницах машинописного текста, содержит 87 таблиц, 70 рисунков, библиографический список включает 390 источников, из них на иностранном языке 102, 3 приложения. Состоит из введения, трех частей, включающих 5 глав, выводов и рекомендаций производству.

Финансовая поддержка исследований. Работа выполнена в рамках государственного задания FNFZ-2022-0003 «Разработать усовершенствованные эколого-адаптивные технологии возделывания новых сортов сельскохозяйственных культур в севооборотах различных конструкций Приазовской зоны Ростовской области», а также при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (№ FENW-2023-0008), Мегагранта РНФ (№ 25-76-31013) и Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030").

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность и глубокую признательность доктору биол. наук О.С. Безугловой за ценные замечания и предложения, оказание консультативной помощи в написании диссертационной работы, а также зав. отделом земледелия и растениеводства ФГБНУ ФРАНЦ, канд. с.-х. наук Н.Н. Вошедскому, сотрудникам отдела канд. с.-х. наук В.А. Кулыгину, д-ру. с.-х. наук И.Н. Ильинской, С.А. Тарадину, А.В. Мищенко за оказанную помощь и поддержку в решении поставленных задач.

1 ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Деградация почвы, масштабы распространени, способы предотвращения

Эрозия является одной из величайших угроз почвенным ресурсам, и она ускоряет деградацию земель и приводит к потере плодородия, а значит и потере урожая сельскохозяйственных культур, не только в России, но и во всем мире (Доклад о состоянии и использовании земель..., 2022; Chen et al., 2021; Wang et al., 2023). Количественная оценка антропогенной эрозии почвы и ее анализ поможет облегчить и целенаправленно решить проблему эрозии почвы (Гаевая, Безуглова, 2024; Borrelli et al., 2023). Средняя глобальная скорость эрозии почв в мире колеблется между 12 и 15 т/га, что выше скорости почвообразования (Зинченко и др., 2018; Biggelaar et al., 2003; Riquetti et al., 2023a; Benaud, 2021).

Эрозионные процессы в Российской Федерации остаются одним из главных источников потерь ресурсов плодородия почвы и урожая, ухудшения окружающей среды (Глобальный климат..., 2021). Борьба с эрозией и дефляцией является одним из основных факторов сохранения плодородия почвы. Более половины сельскохозяйственных угодий и пашни в настоящее время эродировано. На землях, подверженных эрозии, урожайность снижается на 10–30 %, а иногда на 90 %. На территории Российской Федерации наибольшая доля негативных процессов приходится на эрозии – водную (1 996,43 тыс. га, или 15,5 %) и ветровую (1 136,94 тыс. га, или 8,8 %) (Доклад о состоянии и использовании земель..., 2022). Эрозия почв является масштабным и вредоносным видом деградации почв, что усугубляется ее широким распространением (Полуэктов и Костянская, 2017; Bettoni et al., 2023; Han et al., 2023).

Большинство пахотных земель в Российской федерации расположены в зонах, подверженных эрозии. Наиболее подвержены эрозии и дефляции – Поволж-

ский (85–95 %), Северо-Кавказский (92–98 %), Центрально-Черноземный (53–56 %), Уральский (59–67 %) регионы (Гаевая, 2018; Доклад о состоянии и использовании ..., 2022).

Эффективность земледелия неразрывно связана с сохранением и восстановлением плодородия пахотных земель. Оптимальное сочетание агроэкологических факторов почвенного плодородия – одно из основных условий высокой продуктивности и устойчивости земледелия. В Ростовской области водной эрозии подвержены 295,7 тыс. га (48,9 %); ветровой – 136,4 тыс. га (22,5 %); засолением охвачены 17,3 тыс. га (2,9 %); переувлажненные почвы составляют 3,38 тыс. га (0,6%) (Доклад о состоянии и использовании ..., 2022).

Ветровая эрозия (дефляция) характеризуется выносом наиболее мелких частиц почвы и проявляется на любых типах рельефа, охватывая огромные территории. Распространение на поверхности почв дефляции приводит к незаметному, но постоянному снижению почвенного плодородия – в результате теряется пятая часть продукции растениеводства. Ущерб, наносимый дефляцией, заключается не только в переносе эродированного материала, но и в значительных потерях питательных элементов почвы, определяющих окультуренность и плодородие почвы (Полуэктов и Цвылев, 2008; Чуян и др. 2021; Zarrinabadi et al., 2023).

Водная эрозия почв – один из основных видов деградации, который характеризуется разрушением и истощением почвенного покрова под действием талых, дождевых или ирригационных вод (Zhao et al., 2023; Zhu et al., 2023; Khosravi et al., 2023; Liu et al., 2023; Zhang et al., 2023). При этом изменяются его физические, химические свойства, ухудшается водный режим, что способствует изменению структуры почвенного покрова и проявлению почвенной засухи. Водная эрозия на основе оценки интенсивности годового смыва гумусового горизонта подразделяется на следующие категории: слабосмытые – 0,5–1,0 т/га; среднесмытые – 1,0–5,0 т/га; сильносмытые – 5,0–10,0 т/га. В Южном федеральном округе по степени проявления эрозии, деградированные почвы составляют: слабосмытые – 67,1 %, среднесмытые – 18,9 %, сильносмытые – 14,0 % (Доклад о состоянии и использовании ..., 2022).

В Ростовской области наибольшая доля эродированных земель по степени смыва приходится на следующие зоны: Северо-Западная зона от 74,4 до 46,3 % территории; Северо-Восточная от 69,1 до 21,2 %; Приазовская от 56,1 до 17,3 %. Остальные зоны Ростовской области в незначительной степени подвержены процессам водной эрозии (Полуэктов и Цвылев, 2008).

В результате образования больших снегозапасов возникает интенсивный сток талых и ливневых вод, которому способствуют глубокое промерзание почвы и слабая инфильтрация (Барабанов, 2015; Cao et al., 2023). Потери питательных веществ во время снеготаяния могут достигать: азота – около 60 %, P_2O_5 – 95, K_2O – 70, Mg и Ca – 70 % общих потерь (Беляускас, 1985; An et al., 2023).

По данным Г.П. Сурмача (1976), на слабосмытых почвах по сравнению с несмытыми урожай сельхозкультур снижается в среднем на 10–15 %, на средне-смытых – от 10 до 40 %, на сильносмытых – от 40 до 60 %, и на весьма сильносмытых – от 60 до 80 %. Поэтому сохранение и воспроизводство плодородия на смытых почвах является очень актуальной проблемой.

Освоение ландшафтных систем земледелия южных регионов необходимо, прежде всего, в связи с тем, что эрозионные процессы негативно сказываются на уровне почвенного плодородия, значительно снижают производство земледельческой продукции (Вошедский и др., 2020). Недобор продукции в относительно умеренные по проявлению эрозионных процессов годы составляет в южных регионах не менее 3 млн тонн (Иванов, 2007; Шабает, 2001).

Для получения высоких урожаев в условиях эрозионно-опасных склонов с использованием адаптивно-ландшафтных систем земледелия в южных регионах страны технологии должны иметь почвозащитную направленность. Это, в первую очередь, необходимо на склонах крутизной до 3,5–4°, где почвы обладают в большинстве случаев довольно высоким уровнем плодородия, однако подвержены эрозионным процессам, что снижает их потенциальную продуктивность. Таких земель на Северном Кавказе свыше 5 млн гектаров, только в Ростовской области около 2 млн (Гаевая, 2016; Мероприятия по охране почв..., 2010; Листопадов и Игнатев, 2010; Wang et al., 2023).

Одной из задач земледелия является сокращение смыва почвы до безопасных пределов и максимальное сохранение почвенной влаги. Сток талых вод с рыхлой пашни наблюдается один раз в три года (вероятность 30 %, лет), с уплотненной пашни (посевы озимой пшеницы и многолетних трав) – два раза в три года (вероятность 65 %, лет) (Полуэктов и др., 2018).

Интенсивное развитие эрозионных процессов выдвигает на первый план в качестве почвозащитных систем земледелия соотношение сельскохозяйственных угодий, где основу должны составлять лесные насаждения, сенокосы, пастбища, водоемы (Полуэктов и др., 2018; Milazzo et al., 2023; Liuet al., 2023; Yuan et al., 2023). В качестве других приемов по защите почвы от деградации предлагается создание гидротехнических сооружений (валы, канавы, запруды, распылители стока и др.), специальные агротехнические приемы, залужение и др. (Полуэктов, 2017; Полуэктов и др., 2018; Wei et al., 2023).

От типов агроландшафтов, почвозащитных обработок почвы, наличия полевых защитных лесных насаждений и их состояния во многом зависит разработка почвозащитных мелиоративных мероприятий. Защита почв от эрозии – проблема сложная, и решаться она должна комплексно (Гаевая, 2013; Peng et al., 2023).

Часть черноземов России выпажана в результате интенсивного использования, содержит недостаточное количество гумуса, элементов питания растений, характеризуется низкой степенью оструктуренности (Гаевая и др., 2022а). Такие почвы уязвимы для засух и суховеев, а также водной и дефляции. Сохранение и повышение плодородия деградированных почв для получения дополнительной продукции предполагает проведение мероприятий по оптимизации природопользования на основе научнообоснованных форм хозяйственной деятельности (Плескачев и Борисенко, 2005; Сапожников и др., 2023).

В системе почвозащитных мероприятий одним из важных элементов является противоэрозионная организация территории на основе контурно-полосного размещения культур и агрофонов. Сущность данного приема заключается в том, что поле занимает не одной культурой, а двумя, и размещаются они не сплошными массивами, а чередуются между собой отдельными лентами-полосами ши-

риной от 50 до 100 м, в зависимости от крутизны склона. Чередование культур и агрофонов проводится так, чтобы в полосах сменяли друг друга рыхлая (зябь) и уплотненная (посевы озимых культур, многолетних трав) пашня. В летний период одни полосы (например, четные) должны заниматься культурами сплошного сева (озимые, однолетние и многолетние травы и другие), а другие (нечетные) – эрозионно-опасными (чистый пар или пропашные культуры) (Гаевая, 2018; Вошедский и др., 2020; 2021; 2022а; Кирюшин, 2024; Макаров и др., 2024; Полуэктов, 2017).

Еще более сложная ситуация складывается в условиях почвозащитного агроландшафта, где необходимо не только максимально сохранять и рационально использовать влагу атмосферных осадков, но и предохранять почву на эрозионно-опасных склонах от смыва и размыва. Иными словами, необходимо превратить влагу из фактора разрушительного в фактор, работающий на стабилизацию и повышение урожайности культур в севообороте (Вошедский и др., 2022б; Зеленский и др., 2002; Листопадов, 2005; Каштанов, 2000; Полуэктов и Чешев, 1990; Saggau et al., 2023; Schmaltz et al., 2023).

Полосное размещение культур применяется в различных вариантах, различающихся как по ширине полос – от буферных, шириной в несколько метров, до полос, различных по противоэрозионной устойчивости культур одинаковой ширины, так и по степени копирования рельефа местности на склонах. По последнему признаку различают два вида полосного размещения сельскохозяйственных культур – полосное и контурное. Полосное предполагает размещение полос поперёк господствующего склона параллельно друг другу, но не строго по горизонталям рельефа. Контурное предполагает размещение полос строго по горизонталям рельефа местности (Демченко и Полуэктов, 1983; Котлярова, 1990; Тютюнов, 2020; Lang et al., 2023). Для борьбы с водной эрозией на пашне полосное размещение культур необходимо вводить, начиная с приводораздельной части и заканчивая подножием склона (Вошедский и др., 2020). В этом случае севообороты будут размещаться полосами, являясь основой, позволяющей наиболее эффективно, с лучшей отдачей осуществлять все другие противоэрозионные мероприятия (Каштанов и др., 1994).

Как отмечает академик А.Н. Каштанов (1998), «...Контурная организация территории является наиболее выраженной формой дифференцированного (с учётом местных условий) подхода в земледелии для создания целых агроэкосистем и ландшафтов».

Контурно-полосное размещение сельскохозяйственных культур является организационной основой контурно-мелиоративного земледелия – так как все линейные рубежи, границы полей севооборота, рабочих участков, лесополос, гидротехнических сооружений, направление обработки почвы – размещаются по контурам. О высокой противоэрозионной эффективности полосного размещения сельскохозяйственных культур на склонах свидетельствуют многочисленные экспериментальные данные, полученные в различных почвенно-климатических зонах страны (Булгарова, 1987; Солдат, 2020; Riquetti et al., 2023b).

В Донском НИИСХ НПО «Дон» на базе АПК «Рассвет» Каменского района Ростовской области с 1988 по 1991 гг. проводили исследования по соединению влагообеспеченности чистого пара и устойчивых к эрозии занятых паров путем их контурно-полосного размещения на склонах. Был установлен положительный эффект от использования контурно-полосного размещения чистого пара и занятых паров донником и эспарцетом на склонах 3-4°, а также дифференцированное применение отвальной и плоскорезной обработки почвы в зависимости от складывающихся погодных условий, преобладающего вида эрозионных процессов (Кисс, 1996).

Также в 1999-2002 гг. в Донском Зональном НИИСХ были проведены исследования по изучению системного влияния контурно-полосного размещения сельскохозяйственных культур и агрофонов, стокорегулирующих лесных полос, простейших гидротехнических сооружений на интенсивность процессов эрозии и урожайность сельскохозяйственных культур. В результате проведенных исследований было выявлено, что на черноземах обыкновенных среднеэродированных, на склонах 3-5°, для задержания стока талых и дождевых вод сильной интенсивности и сокращения смыва почвы до допустимых величин, рекомендуется использовать систему почвозащитных мероприятий, включающую

контурно-полосное размещение сельскохозяйственных культур, усиленных лесной полосой и валом-канавой (Сидаренко, 2003; Dezericky, 2023).

Следует отметить, что последние десятилетия в исследованиях, направленных на защиту почв от эрозии, как в нашей стране, так и за рубежом, уделяется недостаточно внимания совершенствованию полосного и контурно-полосного размещения сельскохозяйственных культур на склонах (Han et al., 2023). Между тем, оно является не только достаточно эффективным и относительно малозатратным противоэрозионным мероприятием, но и организационной основой построения более сложного и многокомпонентного противоэрозионного комплекса, дополнительные элементы которого (лесные полосы, валы-канавы), как правило, расположены по границам полос. Также недостаточно разработан вопрос о размещении почвозащитных севооборотов в системе контурно-полосной организации территории. Как правило, в чётных и нечётных полосах на склонах размещают сельскохозяйственные культуры и агрофоны по принципу чередования устойчивых и неустойчивых в эрозионном отношении (Каштанов и Заславский, 1984; Чибилёв, 2022; Patriche, 2023).

Многолетние исследования ФГБНУ ФРАНЦ по разработке почвозащитных адаптивно-ландшафтных систем земледелия были направлены на создание почвозащитных комплексов для полевых севооборотов. Установлены элементы противоэрозионных комплексов, в частности:

- полосное размещение культур с направлением линий, приближенным к горизонталям местности;
- проведение сева сельскохозяйственных культур и всех технологических операций по их возделыванию поперек склона;
- применение противоэрозионных приемов обработки почвы, направленных на разрушение плужной подошвы, предотвращение водной эрозии, улучшение водно-физических свойств почвы;
- использование в севообороте предшественников для сельскохозяйственных культур, повышающих эрозионную устойчивость поля (Вошедский и др., 2022а, 2022б; Гаевая, 2016; Гаевая и Тарадин, 2014; Каргин, 2006).

1.2 Роль севооборота в процессах развития деградации и воспроизводстве плодородия

Задача современного земледелия состоит в экологизации севооборотов, с использованием биологической системы регулирования режима органического вещества в почве. Научно обоснованная организация территории эрозионно-опасных склонов способствует повышению влагообеспеченности и продуктивности сельскохозяйственных культур и севооборотов в целом (Гаевая, 2018; Сухановский и др., 2011; Смирнова и др., 2011; Чернова и др., 2020; Wen et al., 2023).

Применение только агротехнических противоэрозионных приемов не позволяет снизить эрозию до допустимых пределов из-за недостаточной их эффективности. Поэтому необходимо применять в комплексе агротехнические и мелиоративные приемы для борьбы с эрозией почвы. При этом необходимо занимать эрозионно-опасные склоны почвозащитными севооборотами, позволяющими не только предотвращать эрозионные процессы, но и повышать плодородия почвы, за счет наличия многолетних трав (Корчагин и Терентьев, 2007; Heyder et al., 2023).

Основой ландшафтных систем земледелия являются севообороты, адаптивные к конкретным природным условиям – прежде всего к типам ландшафтов, почве и климату (Гаврилюк и др., 1983; Gaevaya and Bezuglova, 2021). Для ландшафтных систем земледелия севообороты разрабатываются с учётом агрономически целесообразного размещения культур по предшественникам, сроков возврата их на поле в процессе ротации, адаптивности культур к конкретным почвенно-климатическим условиям, а также биологической и техногенной возможности получения наибольшего хозяйственного эффекта (Вошедский и др., 2020; Листопадов, 2005; Немцев, Сабиров, 2012).

Процесс совершенствования севооборотов должен осуществляться в плане оптимизации структуры посевных площадей, стабилизации и повышения параметров почвенного плодородия, возможности предотвращения экологических осложнений, в первую очередь почвенной эрозии. Система севооборотов является

основой для дифференцированной обработки почвы, рационального применения удобрений и интегральной защиты урожая (Листопадов, 2007; Bahddou et al., 2023).

Эрозионно-опасные склоны крутизной до 3,5-4,0° составляют на Юге России более 20 % пахотных земель (Листопадов и др., 2009). Доля эродированных и дефлированных почв продолжает неуклонно увеличиваться. В течение последних 20 лет темпы их прироста достигли 6-7 % каждые 5 лет. Предотвращение эрозионных процессов можно осуществить, используя специальные почвозащитные севообороты. Решение проблемы видится в придании полевым севооборотам определённых почвозащитных свойств, что становится возможным в условиях ландшафтного земледелия при контурно-ландшафтной организации территории эрозионно-опасных склонов. При этом предполагается полосное, приближенное к горизонталям местности размещение культур севооборота, горизонтальное направление обработки почвы, посева культур, всех видов технологических операций (Листопадов, 2005; Плескачев, Борисенко, 2005; Gaevaya et al., 2021a).

В адаптивно-ландшафтном земледелии различные типы и виды севооборотов должны занимать земельные массивы в зависимости от характера рельефа и, прежде всего, от потенциальной возможности проявления эрозионных процессов (Вошедский и др., 2020; Dehkordi et al., 2023). При крутизне склонов до 3,5-4° ведущее место в структуре посевов должны занимать культуры сплошного сева, а пропашные и пар возможны при контурно-полосном размещении с эрозионно-устойчивыми культурами в сочетании с комплексом агротехнических противоэрозионных мер. На склонах крутизной 5-8° с сильно смытыми почвами необходимы специальные почвозащитные севообороты с комплексом простейших противоэрозионных сооружений (Вошедский и др., 2020; Жученко, 2001; Листопадов, 2007; Kalehhouei et al., 2023).

Почвозащитное значение севооборотов проявляется в двух направлениях: первое – создание специальных почвозащитных севооборотов с высокой долей многолетних трав и культур сплошного сева, и второе – наделение почвозащитными свойствами обычных по конструкции полевых севооборотов. Почвозащит-

ные севообороты надежно предотвращают развитие эрозионных процессов на склонах, однако и по общей продуктивности, и по ассортименту выращиваемой земледельческой продукции они существенно уступают полевым севооборотам (Лопырев и Рябов, 1989; Полуэктов и Чешев, 1990).

Исследования показали, что процессы водной эрозии могут наносить необратимый ущерб сельскохозяйственным полям, обходясь в десятки миллиардов долларов в год во всем мире (Rafaeli et al., 2023). Зернопаровые севообороты с короткой ротацией обеспечивают сравнительно высокий выход зерна, но не способствуют сохранению почвенного плодородия из-за отрицательного баланса органического вещества (Гаевая и Сафонова, 2014).

Для прекращения потери и восстановления плодородия почв на склонах рекомендуются почвозащитные севообороты с максимальным насыщением многолетними травами (до 80 %). Зерновые культуры в этих севооборотах применяются, главным образом, в качестве покровных (для посева трав) и пластовых культур. Однако высокое насыщение севооборота многолетними травами при длительной эксплуатации создает опасность перехода смытых земель, прилегающих к балкам, в категорию бросовых (Глобальный климат ..., 2021; Листопадов, 2005; Buryak et al., 2023; Dezericky et al., 2023).

Почвозащитное значение севооборотов с многолетними травами проявляется в двух направлениях: первое – это защита почв от эрозии, и второе – сохранение почвенного плодородия за счет поступления органического вещества в виде опада и корневых выделений. Большинство многолетних трав является злакобобовыми смесями, в состав которых входит бобовый компонент способный к азотфиксации и пополнению почвы легко доступным азотом (Тимошкин и др., 2009).

1.3 Роль приемов обработки почвы в защите почвы от деградации

В основу построения систем обработки почвы должны быть положены принципы разноглубинности, минимализации (для почв с высоким уровнем плодородия), а также ресурсосбережения. Наряду с этим при выборе приемов обра-

ботки почвы и технологии их выполнения необходимо учитывать комплекс агрофизических и технологических свойств почвы, ее физические и химические свойства, гранулометрический состав, удельное сопротивление, физическую спелость, а также мощность гумусового слоя. Как известно, функции основной обработки почвы включают оптимизацию плотности почвы и ее структурного состояния, регулирование водного режима, предотвращение эрозии, регулирование режима органического вещества и биогенных элементов, размещение удобрений, регулирование фитосанитарных условий, создание оптимальных условий для посева (Листопадов, 2005; Qiao et al., 2023).

Особую сложность представляет обработка почвы в аридных условиях, а также в местах проявления водной и ветровой эрозии почв (Гаевая и др., 2022а). Применение противоэрозионной обработки не увеличивает затраты энергии на производство продукции культур севооборота, а снижает затраты на возмещение потерь от эрозионных процессов (Вошедский и др., 2020; Иванов, 2014; Листопадов и др., 2009; Hou et al., 2021; Zhao et al., 2023).

Наибольшее количество энергетических затрат приходится на зяблевую вспашку до 30-50 %. Если считать, что затраты энергии на проведение традиционной системы обработки почвы составляют 100 %, то чизельной – 75 %, а по комбинированной – 34 %. Уменьшение глубины вспашки на 1 см снижает расход топлива на 0,4-0,6 кг/га. Применение ресурсосберегающих обработок экономит горюче-смазочные материалы. Применение плоскорезов-щелевателей сокращает энергозатраты от 9 до 54 %, затраты труда – от 17 до 57 %, смыв почвы – на 40-60 %, при снижении всех этих показателей уровень рентабельности повышается на 10-37 % (Шабает, 2009).

Научной основой перехода к ресурсосберегающим и почвозащитным технологиям является – минимальная обработка почвы, не ухудшающая по сравнению со вспашкой большинство параметров почвенного плодородия. Такие показатели, как плотность почвы, водные свойства, пищевой режим и урожайность, оказываются близкими как по минимальной обработке, так и по вспашке (Жученко, 2001; Листопадов, 2007; Harche et al., 2023; Luo et al., 2023).

Применение высокоэнергонасыщенных тракторов оправдано при работе в комплексе с широкозахватными агрегатами, выполняющими за один проход по полю несколько операций. Например, сочетание предпосевной обработки почвы и посева культур за один проход трактора сокращает количества выполняемых операций в 2-3 раза. Сокращение операционных технологий возделывания зерновых культур за счет применения посевных комплексов, ведет к снижению затрат на 16 % по минимальной технологии и на 27 % – по нулевой технологии, что связано с сокращением затрат на ГСМ соответственно на 46 и 69 % (Кравченко, 2014).

Обработка почвы должна рассматриваться непременно как элемент агротехнологии, находящийся в тесном взаимодействии с другими элементами (севооборот, доля пара, предшественник, удобрение, пестициды и т.д.) и агроэкологическими условиями, которые в той или иной мере определяют выбор приемов обработки, глубины, частоты, возможности совмещения операций (Мищенко и др., 2016; Clement et al., 2023).

В последние десять – пятнадцать лет имеет место «сдвиг» в сторону минимализации обработки почвы, но он носит явно выраженный экономический акцент, не всегда согласованный с земледельческими требованиями. Несмотря на то, что многие исследователи считают, что углубление пахотного слоя существенно влияет на улучшение водного и пищевого режимов почвы, большая доля их утверждает об отрицательной роли этого приема (Вошедский и др., 2020). Под истинным же ресурсосбережением следует понимать сокращение затрат на единицу получаемой продукции (Каличкин, 2008; Шарков, 2009).

В последние годы минимализация обработки почвы рассматривается как одно из важнейших условий экологизации земледелия, и особое внимание уделяется мульчированию поверхности почвы. В засушливых условиях эту роль выполняют стерня, пожнивные остатки и измельченная солома. Некачественно измельченная солома создает дополнительные трудности при обработке почвы, бороновании и посеве (Xing et.al., 2023).

Подводя итоги анализу эффективности почвозащитных обработок почвы, можно утверждать, что их использование, особенно в зоне интенсивного проявле-

ния эрозионных процессов и в условиях недостаточной влагообеспеченности, оказывает положительное влияние на урожайность, оптимизацию основных водно-физических показателей и сохранение плодородия почвы. Развитие новых систем и приемов основной обработки почвы должно идти по пути энергосбережения, экологизации и биологизации – основных принципов новой адаптивно-ландшафтной системы земледелия.

Ресурсосбережение и экологизация систем обработки почвы – взаимосвязанные направления. Их реализация связана, прежде всего, с переходом на научно обоснованные системы обработки почвы, которые должны выполнять тройную функцию:

- агротехнологическую, что означает адаптацию комплекса агротехнических мероприятий к местным почвенно-климатическим условиям;
- экономико-экологическую, то есть обеспечение сохранения и повышения почвенного плодородия, позволяющего получать дополнительную продукцию и повышать экономические показатели хозяйственной деятельности в целом в результате предотвращения ущерба природной среде (Вошедский и др., 2020);
- ресурсо-энерго сберегающую, которая предусматривает разработку низкозатратных и энергосберегающих вариантов технологических процессов, применение более рациональных технических средств. Ресурсосбережение предполагает не упрощение технологий, а обоснованное использование агротехнических приемов, применение той или иной системы обработки почвы с наименьшими затратами (Глухих и Собянин, 2000; Gunay et al., 2023).

1. 4 Влияние агрофизических свойств почвы на процессы деградации

На интенсивность поверхностного стока влияет плотность пахотного слоя почвы. На зяби в слое почвы 0-30 см она была значительно ниже, чем под посевами многолетних трав. Более рыхлая почва значительно быстрее впитывает влагу атмосферных осадков. Впитывание влаги в почву на зяби происходило в 2–19 раз быстрее (1,34-1,56 мм/мин. против 0,13-0,67 мм/мин.), и меньше при этом её теря-

лось со стоком. Применение полосного возделывания сельскохозяйственных культур уменьшило сток в 4,4 раза, а смыв – в 2,3 раза (Германюк, 1976; Лукьянов и Прущик, 2022).

При применении в севообороте минимальной обработки плотность сложения почвы в слое 0–30 см повышается на 0,1-0,26 г/см³. В последующие годы плотность сложения увеличивается на 0,26-0,33 г/см³ и на пятый год достигает 1,42-1,45 г/см³ (Замятин и Свечников, 2023).

Равновесная плотность сложения пахотного слоя чернозема обыкновенного составляет – 1,25-1,30 г/см³. Для большинства культур севооборота ее оптимальная величина изменяется в пределах 50-60 %, а порозность аэрации (некапиллярная) основных типов почв варьирует в пределах 15-25 % (Бакиров и др., 2018; Беховых и Беховых, 2022; Gaevaya et al., 2021c).

Одним из центральных вопросов обработки почвы в большинстве южных регионов является накопление и рациональное использование почвенной влаги. При мульчировании более эффективно используются как осадки, так и влага, конденсирующаяся из воздуха при перепаде дневных и ночных температур (Мокриков и др., 2019; González-Pelayo et al., 2023).

Почвозащитные обработки, такие как чизельная, плоскорезная, улучшают водный режим почвы, что связано с большим накоплением снега и лучшим усвоением осенне-зимних осадков за счет сохранения стерни и мульчи из измельченной соломы (Lucas-Bojja et al., 2018). Особенно четко эта закономерность прослеживается в годы с засушливым осенним периодом, когда во время посева по крупноглыбистой вспашке в почве накапливается на 30-60% влаги меньше, чем при других обработках. Посев по высокой стерне обеспечивает прирост урожайности на 16 % и накопление 40-50 мм продуктивной влаги (Корчагин и Новиков, 2009).

В засушливых зонах южных регионов страны главным фактором, обеспечивающим величину и стабильность урожаев возделываемых культур, является почвенная влага. Недостаточная влагообеспеченность, дефицит влаги могут быть причиной низких урожаев, их нестабильности. На эрозионно-опасных склонах

(речь идет о водной эрозии) ситуация усугубляется тем, что значительная часть влаги, поступающей в виде атмосферных осадков, теряется на сток и смыв (Гаевая, 2016). На эрозионно-опасных склонах крутизной до $3,5-4^\circ$ в среднем за год на сток и смыв уходит до 12-15% поступающей с осадками влаги (Листопадов и др., 2012).

Водный, воздушный, пищевой режимы почв и условия роста растений зависят от гранулометрического состава почвы. Структурный состав почв состоит из элементарных частиц, которые в естественном состоянии соединены в сложную систему микро- и макроагрегатов (Gan et al., 2024; Liu et al., 2023; Xiao et al., 2023). Изменение агрегатного состава приводит к изменению физических свойств почвы (Вошедский и др., 2020; Гаевая и др., 2022).

Особое место в изучении занимает обработка почвы, осуществляемая в севооборотах. Прослеживается довольно убедительная зависимость эрозионной устойчивости полей севооборотов от приемов обработки почвы. Безотвальные обработки обеспечивают более высокую устойчивость к смыву и размыву, тогда как глубокая гребнистая вспашка способна удержать от стока значительное количество воды на склоне в $3,5-4^\circ$ (Вошедский и др., 2020; Игнатьев и Гаевая, 2010).

Причина низких урожаев сельскохозяйственных культур – потеря влаги на склонах, засоренность посевов, несоблюдение чередования культур в севообороте. На склоновых землях наблюдается снижение влагообеспеченности, обусловленное процессами стока талых и ливневых вод, что приводит к снижению продуктивности сельскохозяйственных культур (Гармашов и Качанин, 2007; Моисеев и Еремин, 2012).

Для обеспечения максимального задержания осадков на месте их выпадения необходимы специальные агротехнические приемы:

- направленные на создание противоэрозионного микрорельефа на поверхности пашни (лункование, прерывистое бороздование, создание микролиманов, обвалование);
- придающие поверхности пашни устойчивую поверхность (микрокулисная обработка, мульчирование, сохранение на поверхности почвы пожнивных остат-

ков);

- обеспечивающие задержание снега на полях (посев кулис, поделка снежных валиков, полосное уплотнение) (Вошедский и др., 2020; Полуэктов и Луганцев, 2005).

Эти агротехнические приемы являются сравнительно дешёвыми и легкодоступными из всей системы почвозащитных мероприятий, так как выполняются одновременно с одной из технологических операций в процессе возделывания той или иной культуры; задерживают осадки на месте их выпадения, способствуя тем самым дополнительному накоплению влаги в почве, что особенно важно в районах с недостаточным увлажнением, они не усложняют проведения уходных работ, и не мешают проведению других технологических операций по возделыванию сельскохозяйственных культур (Вошедский и др., 2020; Гаевая, 2016; Чешев, 1987).

В современных условиях важнейшими факторами, лимитирующими увеличение урожайности зерна сельскохозяйственных культур, являются уровень минерального питания, сорт и количество продуктивной влаги в период вегетации. Наиболее значимым фактором для формирования высокой урожайности культуры являются погодные условия, доля воздействия которых может варьировать от 30 до 65%, и в меньшей степени оказывают влияние приемы основной обработки почвы (Белоус и Торилов, 2011; Денисов и др., 2012; Дериглазова, 2012).

Применение почвозащитных обработок позволяет сохранить на поле стерню и предотвратить сток талых и ливневых вод и, как следствие, улучшить аккумуляцию почвой влаги. После основной обработки почвы в максимально взрыхленном состоянии наблюдается высокая водопроницаемость, позволяющая частично впитывать влагу и препятствовать развитию эрозионных процессов. Вместе с тем, если на целине талые воды усваиваются полностью и отсутствует сток во время ливней, то на пашне сток может достигать больших размеров не только из-за низкой водопроницаемости, но и за счет малого количества стерневых и пожнивных остатков (Влащук и др., 2017).

Многолетнее использование почв как пахотных земель приводит к ухудшению их структурного состояния за счет формирования глыбистой структуры (агрегаты размерностью более 10 мм), при уменьшении содержания агрономически ценных агрегатов и коэффициента структурности ($K_{стр}$). Значительно уменьшается и содержание наиболее ценной фракции агрегатов (5–1 мм) как на бессменно пахующей почве, так и при бессменном возделывании озимой пшеницы. Снижается и количество водоустойчивых агрегатов, причем средневзвешенный диаметр (СВД) водоустойчивых агрегатов становится существенно ниже оптимальных значений (Еремина и др., 2019; Мамонтов и др., 2019).

Изучение структурного состояния верхнего гумусированного горизонта пахотных и естественных почв показало, что содержание агрономически ценных агрегатов в естественных ценозах (луг, залежь, сенокосы) выше, чем на пашне (Гаевая и др., 2022а; Бойцова, 2017). При распахке, структура дробится на более мелкие отдельности, образуются частицы размером $<0,25$ мм, которые могут слипаться в неводоустойчивые макроагрегаты и глыбы >10 мм. Оставление почвы в залежном состоянии приводит к восстановлению структуры, при этом глыбы и крупные агрегаты, взаимодействуя со свежепоступившим органическим веществом, приобретают водоустойчивость, и со временем структурные отдельности >10 мм практически все переходят в более мелкие размерные категории, пополняя фракции диаметром от 10 до 3 мм (Гаевая и др., 2022а; Холодов и др., 2019).

Плодородие почвы, его сохранение и рациональное использование в сельскохозяйственном производстве во многом определяется интенсивностью и направленностью биохимических процессов. Ведущая роль при этом принадлежит синтезу и минерализации гумуса (Орлов, 1981). Агрономическая ценность содержания в почве определяет ее агрофизические свойства, такие как поглощательная и водоудерживающая способность, плотность, структура, которая в свою очередь достигается в процессе обработки почвы (Столбовой и Гребенников, 2020).

Обработка сама по себе ничего не привносит в почву, однако от нее зависят агрофизические характеристики почвы, определяющие водно-воздушные и тер-

мические условия почвенного климата, степень и глубину заделки растительных остатков. В зависимости от приемов основной обработки формируется то или иное строение почвенного профиля по распределению в нем частиц твердой фазы, запасов питательных веществ, перемещению углекислого газа и влаги (Вошедский и др., 2020; Гаевая, 2008).

Длительные опыты позволяют исследовать происходящие с почвой изменения под воздействием природных и антропогенных факторов: оценить в динамике влияние удобрений, возделываемых культур, систем обработки почвы, метеорологических условий на агрохимические и агрофизические свойства почвы. Преимуществом таких исследований является и возможность проводить наиболее объективную и достоверную оценку потерь и накопления органического вещества при различных агрогенных воздействиях. Однако для установления количественных закономерностей временной динамики органического углерода в стационарных полевых опытах необходимо решение ряда теоретических и методологических проблем (Гаевая и др., 2022а).

1.5 Роль корневой системы сельскохозяйственных растений в предотвращении процессов эрозии почвы

Технологии обработки почвы изменяют строение и сложение пахотного слоя, что сказывается на росте и формировании корневых систем. В пахотном слое находится от 80 до 95% общего количества корней, из которых значительная часть приходится на «деятельные, усваивающие корни». Н.А. Качинский (1963) отмечал, «что с первого же взгляда нас поражает резкое смещение корней в пахотный слой и ничтожное их количество в нижележащих уплотнённых горизонтах». Ежегодная вспашка, формируя более рыхлое сложение почвы, способствует лучшему развитию корней (Кузыченко и др., 2020; Листопадов и др., 2009).

Плотность почвы оказывает непосредственное влияние на формирование корневой системы. В более рыхлой почве корни растений проникают гораздо глубже, чем в уплотненной, выполненной дисковыми орудиями или любым дру-

гим способам на небольшую глубину (Площинская, 2018). Исследованиями Безуглова и Гафурова (2002) показано, что минимальные обработки способствуют поверхностному росту корней, а значит, и поступлению корневых остатков в верхние слои почвы (Wei et al., 2023).

На склоновых землях за счет миграции элементов питания корневые системы более мощно развиваются при всех способах обработки почвы: в пахотном и подпахотном слоях почвы в верхней части склона масса корней составляет в среднем 41,6 ц/га, а в нижней – 48,3 ц/га. Основные различия были отмечены в слое почвы 0-20 см. Почвозащитные технологии обработки, изменяя строение пахотного слоя, влияют на распределение и массу корней по слоям почвы (Гаевая и др., 2012). Вспашка, снижая плотность почвы, способствует лучшему проникновению корней в подпахотные горизонты, по сравнению с дискованием (Марков и др., 2021; Zhang et al., 2023).

Строение и размеры корневых систем в значительной мере зависят от наличия в том или ином почвенном слое элементов минерального питания в доступной для растений форме. Наличие и распределение как почвенной влаги, так и элементов питания, является следствием как природных, так и техногенных факторов, в первую очередь предшественника в севообороте, приемов обработки почвы, применения удобрений. Преобладание влаги в верхних слоях почвы обуславливает приповерхностное расположение основной массы корней. При относительно достаточном увлажнении всей толщи почвы корневая система значительную часть скелетных и усваивающих элементов закладывает в более глубоких и богатых влагой слоях. Во всех случаях влага и ее распределение в почвенных слоях является хотя и не единственным, но решающим условием в формировании корневых систем (Листопадов и др., 2016; Hu et al., 2023; Santana et al., 2023).

Немаловажное значение корневая система имеет и в противоэрозионном плане (Han et al., 2023). Хорошо развитая корневая система многолетних трав способна защитить почву от смыва и размыва. С началом весенней вегетации возобновляется формирование и дальнейшее развитие корневой системы озимой

пшеницы. Образуются новые скелетные и усваивающие корни, происходит «захват» новых объемов почвы. Увеличивается взаимное проникновение корней в сферу расположения соседних растений. Создается действенная «армирующая» структура, способная противостоять смыву почвы (Листопадов и др., 2016; Листопадов и др., 2009). Защитная функция корневой системы проявляется в скреплении почвы в полосах, а чередование устойчивых и неустойчивых к эрозии полос позволяет сократить сток и смыв до безопасных пределов (Rafaeli et al., 2023).

Контурно-ландшафтная организация эрозионно-опасного склона, чередования неустойчивого к смыву почвы чистого пара с полосами озимой пшеницы позволяют существенно сократить, а в отдельных случаях и полностью приостановить эрозионные процессы. Таковы важнейшие в агрономическом плане свойства корневых систем в севообороте (Листопадов и др., 2016).

1. 6 Изменение плодородия почвы в результате процессов деградации

Анализ сложившейся ситуации в земледелии выявил снижение показателей почвенного плодородия, которое ведет к потере урожайности сельскохозяйственных культур. По данным периодических обследований в последние десятилетия, содержание гумуса снизилось на 0,3-1,0%. Стабилизация параметров почвенного плодородия невозможна из-за значительного выноса элементов питания с урожаем сельскохозяйственных культур, а также в результате стока и смыва почвы. Недостаточное внесение органических и минеральных удобрений приводит к процессам деградации почвы (Гуторова, и др., 2019; Чернова и др., 2020; Juhos et al., 2021).

Для решения неблагоприятно складывающейся проблемы сохранения и повышения почвенного плодородия необходим ряд комплексных мер, направленных на рациональное и экологически безопасное применение минеральных и органических удобрений. Для этого Администрацией Ростовской области были утверждены «Правила рационального использования земель сельскохозяйственного назначения в Ростовской области» (Постановление Администрации области от 20

сентября 2012 г. № 905). В правилах регламентируют деятельность сельхозтоваропроизводителей по сохранению и восстановлению плодородия почв и определяют обязательные мероприятия (Гаевая, 2019). Одно из требований – это внесение различных видов и доз органических удобрений, а также заделка измельченных пожнивных остатков, побочной продукции сельскохозяйственных культур с применением азотных удобрений и внесение компенсационных доз азотных удобрений 15-20 кг/га д.в.

Для увеличения выхода сельскохозяйственной продукции необходимо использовать эродированные земли. По данным государственного учета, общая площадь эродированных, сельскохозяйственных угодий составляет 130 млн га, в том числе пашни – 84,8 млн га. В целом по стране, в составе эродированных сельскохозяйственных угодий средне- и сильноэродированные почвы занимают 26 %. Ежегодная убыль гумуса на пашне составляет 0,62 т/га, содержание его в пахотных почвах за последние сто лет снизилось на 30-40% (Безуглова и др., 2020; Гаевая, 2016; Медведева и др., 2018; Логачев и др., 2022).

Анализ результатов мониторинга органического вещества (гумуса) в почве – основного показателя, определяющего почвенное плодородие, в 2020 г. показывает, что в Российской Федерации из обследованных 11,4 млн га преобладают слабогумусированные почвы 36,9 %, или 4,2 млн га., среднегумусированные – 30,3 %, или 3,5 млн га., сильногумусированные – 11,6 %, или 1,3 млн га. Наибольшее количество пахотных земель с содержанием гумуса меньше минимального по России расположено в Ростовской области. Площадь среднегумусированных земель составляет 462,2 млн га, или 76,4 % от обследованной общей площади (Доклад о состоянии.... 2022).

В Ростовской области наиболее низкое содержание гумуса в Восточной зоне (2,18 %), Северо-Восточной – (2,86 %) и Центрально орошаемой – (3,17 %). В остальных зонах области его содержание колеблется от 3,3 до 4,08 % (Современное сельскохозяйственное землепользование..., 2007).

За последние 20 лет содержание гумуса в черноземах Ростовской области снизилось на 0,2-0,7 %. Вспашка приводит к излишней минерализации органиче-

ского вещества. Поэтому необходимы системы земледелия, в которых применяются технологии, основанные на обработке почвы без оборота пласта (Гогмачадзе и Гогмачадзе, 2021; Шеуджен и Гуторова, 2023).

Количество подвижных форм азота, фосфора и калия в почве непостоянно и зависит от многих факторов, в том числе от приемов обработки. Наибольший вынос гумуса и элементов питания с твердым стоком происходит на участках со вспашкой. Использование поверхностной обработки позволяет снизить потерю гумуса на 14-43 %, азота – на 16-66 %, фосфора – на 14-53 %, калия – на 14-43 % относительно вспашки (Крыщенко и др., 2008, 2016; Шабаев и др., 2008; Liu et al., 2023; Yang et al., 2023).

Применение мелких плоскорезных обработок на глубину 12–14 см, которые прерываются глубокой (до 30 см) вспашкой в пару, создают наиболее благоприятные условия для образования гумусовых веществ, увеличения глубины гумусового горизонта (Научно-практические основы... 2017).

Почвозащитные технологии обработки почвы с оставлением на поле соломы способствуют формированию мульчирующего слоя, который сохраняет влагу, усиливает микробиологические процессы минерализации, обеспечивая затраты на измельчение и внесение соломы на 33% ниже, чем на её уборку (Колсанов и др., 2010; Lucas-Borja et al., 2019).

Задача современного земледелия состоит в экологизации севооборотов, с использованием биологической системы регулирования режима органического вещества в почве (Alves et al., 2023). Научно обоснованная организация территории эрозионно-опасных склонов, с использованием противоэрозионных обработок почвы способствует повышению влагообеспеченности и продуктивности сельскохозяйственных культур и севооборотов в целом (Мероприятия по охране почв..., 2010; Котлярова, 2010).

Главными причинами, вызывающими изменение содержания гумуса в почве, являются: усиленная минерализация ее органических компонентов вследствие интенсивной обработки и применения минеральных удобрений, недостаточное поступление корневых и пожнивных остатков, а также органических удобрений,

развитие эрозионных процессов (He et al., 2023; Kallenbach et. al., 2013; Gaevaya et al., 2021b). На сегодняшний день восстановить содержание органического вещества в пахотных черноземах до уровня целины практически невозможно из-за большой разницы между поступлением его источников на целине и на пашне (Гаевая, 2018; Комарова, 2012; Чевердин и др., 2015; Bin et.al., 2010; Денисов и др., 2012).

Возделывание многолетних трав в полевых севооборотах позволяет обеспечить сохранение потенциала плодородия и положительный баланс гумуса. Равновесный баланс гумуса без применения органических удобрений возможен также при запахивании соломы (Белоусов и Белоусова, 2017; Гаевая, 2018; Зеленин и Смирнов, 2012; Кузыченко и др., 2017; Куликова и др., 2017; Янюк и др., 2014).

Аналогичные данные по потере плодородия чернозема типичного были получены в длительном опыте (25 лет) в зернопропашных севооборотах без внесения органических и минеральных удобрений. Выявлено снижение содержание гумуса в слое почвы 0-40 см на 0,43-0,47%. Внесение 4 т/га навоза и минерального удобрения в дозе $N_{40}P_{50}K_{50}$ на гектар севооборотной площади не предотвращает снижение содержания гумуса (Гаевая, 2018). Введение в пятипольный севооборот 20% многолетних бобовых трав при внесении этой же дозы удобрений поддерживает содержание гумуса на исходном уровне, а при введении 40% многолетних бобовых трав отмечена тенденция увеличения содержания гумуса (Гаевая и др., 2022a). Поддержание положительного баланса гумуса возможно при использовании органических и минеральных удобрений и увеличении доли многолетних бобовых трав в структуре севооборота (Куликова и др., 2022; Лазарев и Айдиев, 2006; Cai et. al., 2019; Roy et al., 2023; Hou et al., 2021).

Восстановление плодородия на эродированных почвах путём внесения органических и минеральных удобрений способствует накоплению органического вещества и улучшает водно-физические свойства (Безуглова и др., 2015; Penn and Camberato, 2019; Zhang et al., 2022). Защитные лесные насаждения на склоновых смытых землях активизируют утраченное плодородие (Петелько, 2017; Комарова, 2012; Чевердин и др., 2015; Pachev, 2015; Stumpe et.al., 2000).

Для сохранения плодородия почвы необходим контроль со стороны государства, который должен обеспечить выполнение сельскохозяйственными землепользователями обязанностей, определенных законодательством:

1) производить продукцию способами, гарантирующими воспроизводство плодородия земель, а также исключаящими неблагоприятное воздействие на природную среду;

2) соблюдать стандарты и регламенты агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных и противозерозионных мероприятий;

3) отчитываться об использовании агрохимикатов и пестицидов;

4) содействовать почвенным, агрохимическим, фитосанитарным и экологотоксикологическим обследованиям земель;

5) информировать органы исполнительной власти о фактах деградации и загрязнения земель. Основные принципы такого контроля – оперативность, постоянство, открытость (гласность) и охват разных аспектов землепользования (Асеева, 2013; Гаевая, 2018; Венчиков, 2008; Шеуджен и др., 2014).

1. 7 Прогноз развития процессов деградации почвы на основе нейронных сетей

Проблема почвенного плодородия возникла вместе со сложными процессами освоения земель. В результате водной эрозии возникает деградация земель, которая затрагивает около миллиарда гектаров в мире. Особенно возросла нагрузка на почву в последние десятилетия с внедрением интенсивных систем земледелия, создания новых сортов, увеличением урожайности сельскохозяйственных культур и в результате усиливающихся с каждым годом процессов деградации (Гаевая и Безуглова, 2024; Масютенко и др., 2021).

Последствия водной эрозии – это снижение плодородия почвы, сокращение роста растительности, заполнение долин и водохранилищ, опустынивание и разрушение инфраструктуры человека, снижении качества воды, экономический и

экологический ущерб для общества (Гаевая и Безуглова, 2024; Гуторова и др., 2012; Мальцев и Ермолаев, 2019).

Повсеместное распространение в последние десятилетия процессов деградации вынуждает использовать современные методы моделирования и прогнозирования эрозионных процессов. В результате составления долгосрочных прогнозов появляется возможность своевременно проводить комплекс предупредительных мероприятий по защите земель сельскохозяйственного назначения от эрозии, планировать систему лесомелиоративных и агротехнических почвозащитных мероприятий, оптимизировать организацию системы землепользования (Гаевая и Безуглова, 2024; Фетюхин и Черненко, 2018).

Составление долгосрочных прогнозов с помощью искусственного интеллекта позволяет анализировать большие объемы данных, выявлять скрытые закономерности и предсказывать будущие тенденции, обнаруживать скрытые закономерности и зависимости в данных, что помогает улучшить точность прогнозов. Автоматизированные нейронные сети (АНС) являются полезным инструментом, поскольку они могут иметь дело с нелинейной функциональной регрессией. Использование АНС позволяет сделать долгосрочные прогнозы: развития темпов эрозии (Rodriguez-Delgado et.al., 2019, Bui et.al., 2019), моделирование стока (Starkloff et.al., 2019, Wagena et.al., 2020), прогнозировать качество ливневой воды в городах (May, Sivakumar, 2009), влияние изменения климата на риск развития эрозии (Aslan et.al., 2019), составление карт оползней и эрозии (Bragagnolo et.al., 2020), мониторинг окружающей среды (Тунакова и др., 2023), прогнозирования распределения нитратов в грунтовых водах (Almasri, Kaluarachchi, 2005) и в стоках из зон землепользования (Kim, Gilley, 2008), прогнозирование урожайности кукурузы (Гаевая и Безуглова, 2024; Uno et.al., 2005), пшеницы и др. культур (Zhang et.al., 2022).

1. 8 Урожайность сельскохозяйственных культур в условиях эрозионно-опасного склона

Актуальная задача современного земледелия – повышение и стабилизация урожайности сельскохозяйственных культур – может быть успешно решена только на основе сохранения и неуклонного роста почвенного плодородия. В сложившейся обстановке интенсивного ведения сельскохозяйственного производства с каждым годом растущее отчуждение питательных веществ из почвы обуславливает непрерывную минерализацию гумуса, снижение его запасов и ухудшение качественного состава ((Гаевая, 2018; Липски, 2002; Богданович и Олійник, 2014).

В условиях аридизации климата, повышения среднегодовой температуры воздуха, учащения весенне-летних засух, неравномерности выпадения осадков значимость озимых культур, и прежде всего озимой пшеницы, как наиболее адаптивной культуры, значительно возрастает (Гаевая и др., 2022; Zhou et al., 2023; Salazar-Gutierrez et. al., 2013; Saiyed et. al., 2009). В настоящее время озимая пшеница является одной из наиболее востребованных продовольственных культур, посевные площади которой в Ростовской области составляют около 3,0 млн га, что составляет около 80% посевных площадей под зерновыми культурами и 63% всех посевных площадей области. При этом в условиях засухи 55-60% общего вала зерна обеспечивает именно озимая пшеница. В 2021 году область экспортировала 7,1 млн т зерна, в том числе пшеницы 6,1 млн т (Зональные системы земледелия ... 2022).

По данным Минсельхоза Ростовской области, фактическая урожайность озимой пшеницы на Дону в зависимости от влагообеспеченности года составляет 36-40 ц/га, что значительно ниже потенциальных показателей. Причина этого – недостаточное внедрение в производство достижений науки, новых, урожайных сортов. Актуальным остается разработка и совершенствование основных элементов агротехнологии возделывания озимой пшеницы с применением новых, перспективных сортов для оптимизации факторов, способствующих получению высокой, устойчивой урожайности этой культуры (Грабовец и Фоменко, 2022).

Агротехнология является важнейшей частью системы земледелия, обеспечивающая сохранение плодородия почвенного покрова, стабильность урожаев сельскохозяйственных культур, охрану окружающей среды ((Гаевая, 2018; Islam et. al., 2017; Majeed et. al., 2014). В аридных районах такие элементы технологии как прием основной обработки почвы, фон минерального питания и норма высева семян, в значительной мере определяют оптимальные условия для возделывания сельскохозяйственных культур, интенсивность накопления и сбережения влаги, имеют особое значение (Бирюкова и др., 2013; Гаевая, 2018; Вошедский и др., 2022 а; Kostić et. al., 2021; Mandić et. al., 2015; Mussarat et. al., 2021).

На Северном Кавказе второй по занимаемой площади культурой является яровой ячмень. Он возделывается на площади около 2 млн га, при этом в пределах 30% посевов приходится на Ростовскую область. Потенциальная урожайность зерна достигает 7,0 т/га. Урожайность ярового ячменя колеблется в зависимости от погодных условий: в неблагоприятные годы – 1,20 т/га, в благоприятные – 3,40 т/га (Вошедский, 2015; Давыдова, 2011; Корнилов и др., 2006).

К сожалению, несмотря на большое количество публикаций, материалов по способам сохранения плодородия крайне мало, тем более в севооборотах различных конструкций, на эрозионно-опасных склонах, в разных почвенно-климатических условиях и при решении конкретных агрономических задач.

Самое же главное заключается в том, что сохранение плодородия почвы должно рассматриваться как элемент агротехнологии, находящийся в тесном взаимодействии с другими элементами (севооборот, паровое поле, предшественник, приемы обработки почвы, удобрения, пестициды и др.).

2 УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ, СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика почвенно-климатических условий и места проведения исследований

Полевые исследования проводили в 1990-2022 гг. в длительном полевом эксперименте по изучению севооборотов, приемов обработки почвы и уровней применения удобрений на эрозионно-опасном склоне юго-восточной экспозиции крутизной до 3,5-4° балки Большой Лог Аксайского района Ростовской области. Опытный участок вписывается в контурно-ландшафтную систему организации территории склона, размещение культур – полосное, направление обработки почвы и посева – поперек склона приближенно к горизонталям. Средняя ширина полос 54 м. Опыт зарегистрирован в Российской Географической сети длительных опытов с удобрениями (аттестат № 169) (Гаевая, 2020; Гаевая и Безуглова, 2024).

Почвенный покров участка представлен черноземом обыкновенным карбонатным среднесмытым среднемощным малогумусным тяжелосуглинистым на лессовидном суглинке (Классификация и диагностика почв СССР, 1977). Согласно международной классификации WRB почва диагностируется как Calcic Chernozem (Loamic, Pachic) (World reference base..., 2014) (Приложение А1-А3). Мощность $A_{\text{пах}}$ – 25-30 см, $A+B$ – от 40 до 60 см – в зависимости от смытости ((Гаевая и др., 2022а). Горизонт А имеет зернистую структуру, АВ – орехово-комковатую и зернисто-комковатую. Вскипают почвы с поверхности или в верхней части гумусового горизонта. С той же глубины начинается отложение карбонатов, сначала в виде мицелия, потом в виде прожилок. На глубине 120 см или глубже появляется белоглазка.

Среднегодовой сток 20 мм (максимальный 34,4 мм). Среднегодовой смыв почвы 18,5 т/га (максимальный – 42 т/га) (Гаевая, 2016). Смытость почвенного покрова при закладке опыта – среднеэродирован. Слой весеннего стока 10% обеспеченности – 52 мм, среднегодовой сток около 20 мм (Гаевая и др., 2022а). Плот-

ность почвы в пахотном слое варьирует в пределах 1,10-1,25 г/см³. Порозность пахотного горизонта – 61,5, подпахотного – 54 %. Полевая влагоемкость 33-35 весовых процентов, влажность завядания 13,9-15,4 % (Гаевая и др., 2022а). По гранулометрическому составу – мелких фракций 36,52 %, крупных – 36,65 %.

Содержание общего азота в слое 0-30 см 0,14-0,16%, исходное содержание подвижных фосфатов низкое – 15,7-18,2 мг, обменного калия – 282-337 мг на 1 кг почвы (Гаевая, 2019).

Схемы полевых опытов и агротехника их исследования

Исследования проводили в трех севооборотах различной конструкции, расположенных в системе контурно-полосной организации территории. Опытные поля севооборотов и уровней применения удобрений располагались рендомизированно, приемы обработки почвы – последовательно.

Схема опыта

В опыт включены три фактора:

Фактор А – Севообороты;

Фактор Б – Система обработки почвы;

Фактор С – Система удобрений.

Фактор А. Были использованы три севооборота с различным соотношением эрозионно-устойчивых и неустойчивых культур. Севооборот «А» включал 20 % чистого пара, 60 % – зерновых колосовых культур и 20 % – пропашных культур. Севооборот «Б» включал 20 % зернобобовых, 40 % – зерновых колосовых культур, 20 % – пропашных культур и 20 % – многолетних трав. Севооборот «В» включал 40 % – зерновых колосовых культур, 20 % – пропашных культур и 40 % – многолетних трав (Гаевая и Безуглова, 2024). В качестве многолетних трав высевали: с 1990 г. по 2008 г. люцерну; с 2009 г. по 2014 г. четырехкомпонентную смесь (люцерна + эспарцет + житняк + кострец); с 2015 г. на опыте высевается эспарцет. Пропашные культуры высевали: с 1990 г. по 2010 г. кукурузу на силос; с 2011 г. в севообороте «А» и «Б» кукуруза на силос была заменена на подсолнечник, в севообороте «В» – кукуруза на зерно (Гаевая, 2018).

Севообороты

Севооборот «А»	Севооборот «Б»	Севооборот «В»
1. Пар чистый	1. Горох	1. Пропашные
2. Озимая пшеница	2. Озимая пшеница	2. Озимая пшеница
3. Озимая пшеница	3. Пропашные	3. Яровой ячмень
4. Пропашные	4. Яровой ячмень	4. Многолетние травы
5. Яровой ячмень	5. Многолетние травы	5. Многолетние травы

Пространственная схема размещения полей севооборотов приведена на Рисунке 1.

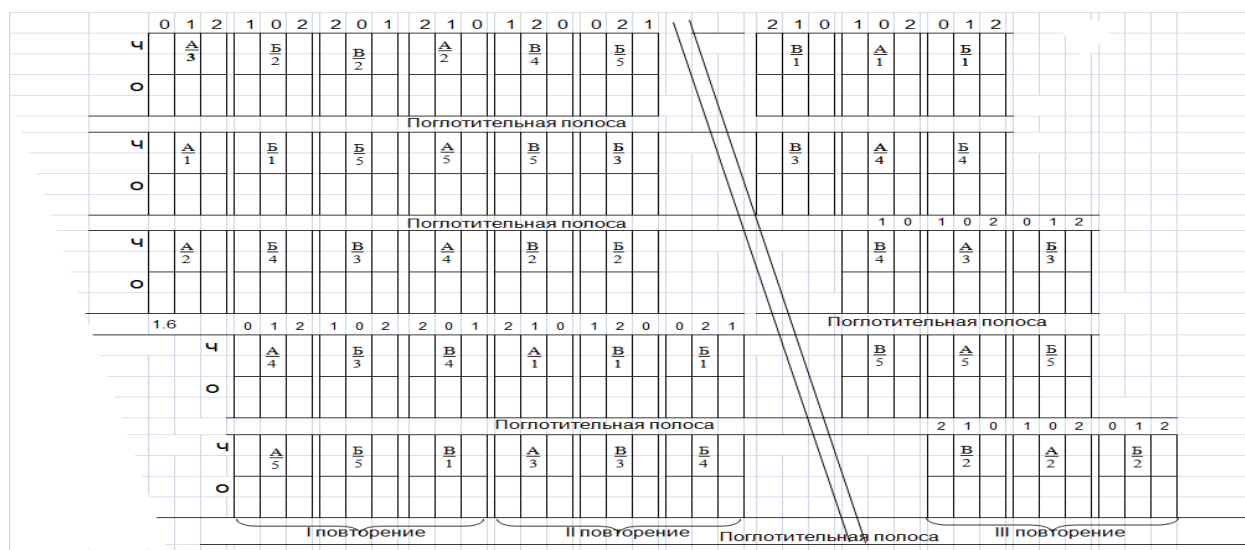


Рисунок 1 – Пространственная схема длительного опыта 1986–2022 гг.

Примечания: «0», «1», «2» – уровень применений удобрений;

«А», «Б», «В» – севообороты; «Ч», «О» – система обработки почвы.

Размер опытных делянок:

1^{го} порядка – 2070 м² (69×30) – поля севооборотов;

2^{го} порядка – 690 м² (23×30) – уровень применения удобрений;

3^{го} порядка – 345 м² (23×15) – приемы обработки почвы.

Система обработки почвы (Фактор Б). Исследования на опыте проводили по 2-м вариантам обработки почвы в севооборотах: почвозащитная (чизельная) и отвальная (контроль).

Почвозащитная обработка (чизельная) осуществляется чизельным плугом ПЧ-2,5 или ПЧ-4,5, как основная обработка на глубину 27-30 см в паровом поле, под кукурузу на силос или зерно, подсолнечник; 23-25 см – под многолетние травы и под горох, и на 20-22 см – под ячмень (Гаевая и др., 2022а). Культивация осуществлялась противоэрозионным культиватором КПЭ-3,8А при уходе за паровым полем и предпосевная обработка почвы под яровые культуры и озимую пше-

ницу.

Отвальная обработка – состоит из основной обработки (вспашки), выполняемой плугом ПЛН-5-35 под яровые культуры (под горох – на глубину 23-25 см, под кукурузу на силос (зерно) и подсолнечник на 23-25 см, под ячмень 20-22 см, под паровое поле на глубину 27-30 см) (Гаевая и др., 2022а). Уходные работы за паровым полем – культивация от 10-12 см до 7-8 см. Дискование под посев озимых после непаровых предшественников на глубину 7-8 (до 10) см – дискатором любой модификации или тяжелыми дисками.

Система удобрений (Фактор С).

По степени внесения удобрений Д.И. Шашко (1985) выделил три условных уровня интенсивности земледелия: низкий – удобрение до 75 кг/га д.в.; средний – удобрения от 75 до 150 кг/га д.в.; высокий – удобрения свыше 150 кг/га д.в.

Нами использовались следующие уровни применения удобрений:

«О» – нулевой уровень применения удобрений (естественное плодородие).

С 1990 г. по 2005 г.

«1» – первый уровень применения удобрений (средний) – 5 т навоза + $N_{46}P_{30}K_{30}$ (106 кг д.в. на 1 га севооборотной площади).

«2» – второй уровень применения удобрений (высокий) – 8 т навоза + $N_{84}P_{48}K_{48}$ (180 кг. д.в. на 1 га севооборотной площади) (Гаевая, 2016) (Таблица 1).

С 2006 года доля подвижного фосфора уменьшена на 18–38% с целью предупреждения «зафосфачивания» («1» – P_{24} , «2» – P_{30}).

«1» – первый уровень применения удобрений (средний) 5 т навоза + $N_{46}P_{24}K_{30}$ (100 кг д.в. на 1 га севооборотной площади).

«2» – второй уровень применения удобрений (высокий) – 8 т навоза + $N_{84}P_{30}K_{48}$ (162 кг д.в. на 1 га севооборотной площади) (Гаевая, 2020) (Таблица 2).

С 2013 года из опыта было исключено внесение органических удобрений.

«1» – первый уровень применения удобрений (средний) – $N_{46}P_{24}K_{30}$ (100 кг д.в. на 1 га севооборотной площади).

Таблица 1 – Система внесения удобрений с 1990 по 2005 гг.

СевООБОРОТ «А»							
Уровень при- менения удобрений	Пар чи- стый	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Кукуруза на силос	Яровой ячмень	Всего за севООБОРОТ	На 1 га се- вООБОРОТ- ной площа- ди
0	0	0	0	0	0	0	0
1	Н- 25, Р ₉₀ К ₉₀	Н ₄₀	Н ₉₀ Р ₆₀ К ₆₀	Н ₄₀	Н ₆₀	Н-25, N ₂₃₀ Р ₁₅₀ К ₁₅₀	Н-5, N ₄₆ Р ₃₀ К ₃₀
2	Н-40, Р ₁₂₀ К ₁₂₀	Н ₆₀	Н ₁₈₀ Р ₉₀ К ₉₀	Н ₉₀	Н ₉₀ Р ₃₀ К ₃₀	Н-40, N ₄₂₀ Р ₂₄₀ К ₂₄₀	Н-8, N ₈₄ Р ₄₈ К ₄₈
СевООБОРОТ «Б»							
Уровень при- менения удоб- рений	Горох	Озимая пшеница	Кукуруза на силос	Яровой ячмень	Люцерна	Всего за севООБОРОТ	На 1 га се- вООБОРОТНОЙ площади
0	0	0	0	0	0	0	0
1	Н-12,5, Р ₉₀ К ₉₀	Н ₈₀	Н-25, N ₆₀	Н ₆₀ Р ₆₀ К ₆₀	Н ₃₀	Н-25, N ₂₃₀ Р ₁₅₀ К ₁₅₀	Н-5, N ₄₆ Р ₃₀ К ₃₀
2	Н-20, Р ₁₂₀ К ₁₂₀	Н ₁₂₀ Р ₃₀ К ₃₀	Н-40, N ₁₂₀	Н ₉₀ Р ₉₀ К ₉₀	Н ₇₀	Н-40, N ₄₂₀ Р ₂₄₀ К ₂₄₀	Н-8, N ₈₄ Р ₄₈ К ₄₈
СевООБОРОТ «В»							
Уровень при- менения удоб- рений	Кукуруза на силос	Озимая пшеница	Яровой ячмень	Люцерна	Люцерна	Всего за севООБОРОТ	На 1 га се- вООБОРОТНОЙ площади
0	0	0	0	0	0	0	0
1	Н-25, N ₄₀	Н ₆₀ Р ₉₀ К ₉₀	Н ₆₀ Р ₆₀ К ₆₀	0	Н ₇₀	Н-25, N ₂₃₀ Р ₁₅₀ К ₁₅₀	Н-5, N ₄₆ Р ₃₀ К ₃₀
2	Н-40, N ₉₀	Н ₁₂₀ Р ₁₂₀ К ₁₂₀	Н ₉₀ Р ₉₀ К ₉₀	0	Н ₁₂₀ Р ₃₀ К ₃₀	Н-40, N ₄₂₀ Р ₂₄₀ К ₂₄₀	Н-8, N ₈₄ Р ₄₈ К ₄₈

Таблица 2 – Система внесения удобрений с 2006 по 2013 гг.

СевООБОРОТ «А»							
Уровень при- менения удобрений	Пар чи- стый	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Кукуруза на силос	Яровой ячмень	Всего за се- вООБОРОТ	На 1 га сево- оборотной площади
0	0	0	0	0	0	0	0
1	Н- 25, Р ₇₀ К ₇₀	Н ₅₀	Н ₉₀ Р ₃₀ К ₃₀	Р ₂₀ К ₂₀	Н ₆₀	Н-25, N ₂₃₀ Р ₁₂₀ К ₁₅₀	Н-5, N ₄₆ Р ₂₄ К ₃₀
2	Н-40, Р ₉₀ К ₉₀	Н ₁₂₀	Н ₁₈₀ Р ₂₀ К ₆₀	Р ₄₀ К ₄₀	Н ₉₀ Р ₂₀ К ₃₀	Н-40, N ₄₂₀ Р ₁₅₀ К ₂₄₀	Н-8, N ₈₄ Р ₃₀ К ₄₈
СевООБОРОТ «Б»							
Уровень при- менения удоб- рений	Горох	Озимая пшеница	Кукуруза на силос	Яровой яч- мень	Много- летние травы	Всего за сево- оборот	На 1 га сево- оборотной площади
0	0	0	0	0	0	0	0
1	Р ₄₀ К ₄₀	Н ₁₂₀ Р ₃₀ К ₃₀	Н- 25, Р ₂₀ К ₂₀	Н ₈₀ Р ₃₀ К ₃₀	Н ₃₀ К ₃₀	Н-25, N ₂₃₀ Р ₁₂₀ К ₁₅₀	Н-5, N ₄₆ Р ₂₄ К ₃₀
2	Р ₅₀ К ₅₀	Н ₁₈₀ Р ₄₀ К ₄₀	Н-40, Р ₄₀ К ₄₀	Н ₁₂₀ Р ₂₀ К ₆₀	Н ₁₂₀ К ₅₀	Н-40, N ₄₂₀ Р ₁₅₀ К ₂₄₀	Н-8, N ₈₄ Р ₃₀ К ₄₈
СевООБОРОТ «В»							
Уровень при- менения удоб- рений	Кукуруза на силос	Озимая пшеница	Яровой ячмень	Многолет- ние травы	Много- летние травы	Всего за сево- оборот	На 1 га сево- оборотной площади
0	0	0	0	0	0	0	0
1	Н-25, N ₈₀ Р ₂₀ К ₂₀	Н ₉₀ Р ₃₀ К ₄₀	Н ₄₀ Р ₄₀ К ₄₀	Р ₃₀ К ₃₀	Н ₂₀ К ₂₀	Н-25, N ₂₃₀ Р ₁₂₀ К ₁₅₀	Н-5, N ₄₆ Р ₂₄ К ₃₀
2	Н-40, N ₁₂₀ Р ₃₀ К ₃₀	Н ₁₂₀ Р ₄₀ К ₇₀	Н ₈₀ Р ₈₀ К ₈₀	Н ₄₀	Н ₆₀ К ₆₀	Н-40, N ₄₂₀ Р ₁₅₀ К ₂₄₀	Н-8, N ₈₄ Р ₃₀ К ₄₈

«2» – второй уровень применения удобрений (высокий) – $N_{84}P_{30}K_{48}$ (162 кг д.в. на 1 га севооборотной площади) (Гаевая, 2020) (Таблица 3).

Таблица 3 – Система внесения удобрений с 2014 по 2020 гг.

Севооборот «А»							
Уровень применения удобрений	Пар чистый	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Кукуруза на силос	Яровой ячмень	Всего за севооборот	На 1 га севооборотной площади
0	0	0	0	0	0	0	0
1	$P_{70} K_{70}$	N_{50}	$N_{90}P_{30}K_{30}$	$P_{20}K_{20}$	N_{60}	$N_{230}P_{120}K_{150}$	$N_{46}P_{24}K_{30}$
2	$P_{90} K_{90}$	N_{120}	$N_{180}P_{20}K_{60}$	$P_{40}K_{40}$	$N_{90}P_{20}K_{30}$	$N_{420}P_{150}K_{240}$	$N_{84}P_{30}K_{48}$
Севооборот «Б»							
Уровень применения удобрений	Горох	Озимая пшеница	Кукуруза на силос	Яровой ячмень	Многолетние травы	Всего за севооборот	На 1 га севооборотной площади
0	0	0	0	0	0	0	0
1	$P_{40}K_{40}$	$N_{120}P_{30}K_{30}$	$P_{20}K_{20}$	$N_{80}P_{30}K_{30}$	$N_{30}K_{30}$	$N_{230}P_{120}K_{150}$	$N_{46}P_{24}K_{30}$
2	$P_{50} K_{50}$	$N_{180}P_{40}K_{40}$	$P_{40}K_{40}$	$N_{120}P_{20}K_{60}$	$N_{120}K_{50}$	$N_{420}P_{150}K_{240}$	$N_{84}P_{30}K_{48}$
Севооборот «В»							
Уровень применения удобрений	Кукуруза на силос	Озимая пшеница	Яровой ячмень	Многолетние травы	Многолетние травы	Всего за севооборот	На 1 га севооборотной площади
0	0	0	0	0	0	0	0
1	$N_{80}P_{20}K_{20}$	$N_{90}P_{30}K_{40}$	$N_{40}P_{40}K_{40}$	$P_{30}K_{30}$	$N_{20}K_{20}$	$N_{230}P_{120}K_{150}$	$N_{46}P_{24}K_{30}$
2	$N_{120}P_{30}K_{30}$	$N_{120}P_{40}K_{70}$	$N_{80}P_{80}K_{80}$	N_{40}	$N_{60}K_{60}$	$N_{420}P_{150}K_{240}$	$N_{84}P_{30}K_{48}$

С 2020 года были восстановлены дозы внесения фосфорных удобрений (Таблица 4).

Таблица 4 – Система внесения удобрений с 2020 по 2022 гг.

Севооборот «А»							
Уровень применения удобрений	Пар чистый	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Подсолнечник	Яровой ячмень	Всего за севооборот	На 1 га севооборотной площади
0	0	0	0	0	0	0	0
1	$P_{60}K_{60}$	N_{40}	$N_{90}P_{40}K_{40}$	$N_{40}P_{20}K_{20}$	$N_{60}P_{30}K_{30}$	$N_{230}P_{150}K_{150}$	$N_{46}P_{30}K_{30}$
2	$P_{80} K_{80}$	N_{70}	$N_{180}P_{90}K_{90}$	$N_{80}P_{40}K_{40}$	$N_{90}P_{70}K_{70}$	$N_{420}P_{240}K_{240}$	$N_{84}P_{48}K_{48}$
Севооборот «Б»							
Уровень применения удобрений	Горох	Озимая пшеница	Подсолнечник	Яровой ячмень	Многолетние травы	Всего за севооборот	На 1 га севооборотной площади
0	0	0	0	0	0	0	0
1	$P_{60}K_{60}$	N_{90}	$N_{40}P_{20}K_{20}$	$N_{60}P_{40}K_{40}$	$N_{40}P_{30}K_{30}$	$N_{230}P_{150}K_{150}$	$N_{46}P_{30}K_{30}$
2	$P_{80} K_{80}$	$N_{120}P_{30}K_{30}$	$N_{80}P_{40}K_{40}$	$N_{120}P_{70}K_{70}$	$N_{100}P_{40}K_{40}$	$N_{420}P_{240}K_{240}$	$N_{84}P_{48}K_{48}$
Севооборот «В»							
Уровень применения удобрений	Кукуруза на зерно	Озимая пшеница	Яровой ячмень	Многолетние травы	Многолетние травы	Всего за севооборот	На 1 га севооборотной площади
0	0	0	0	0	0	0	0
1	$N_{40}P_{20}K_{20}$	$N_{90}P_{60}K_{60}$	$N_{40}P_{40}K_{40}$	N_{20}	$N_{40}P_{30}K_{30}$	$N_{230}P_{150}K_{150}$	$N_{46}P_{30}K_{30}$
2	$N_{120}P_{60}K_{60}$	$N_{120}P_{80}K_{80}$	$N_{80}P_{80}K_{80}$	N_{20}	$N_{80}P_{60}K_{60}$	$N_{420}P_{240}K_{240}$	$N_{84}P_{48}K_{48}$

«1» – первый уровень применения удобрений (средний) – $N_{46}P_{30}K_{30}$ (106 кг д.в. на 1 га севооборотной площади).

«2» – второй уровень применения удобрений (высокий) – $N_{84}P_{48}K_{48}$ (180 кг д.в. на 1 га севооборотной площади).

Органические удобрения в виде полуперепревшего навоза, фосфорные и калийные удобрения вносили под основную обработку почвы. Подкормка азотными удобрениями озимой пшеницы производилась по мерзлоталой почве, яровые культуры подкармливали по всходам.

2. 2 Методика проведения исследований и наблюдений

Исследования проводили с использованием следующих учетов и наблюдений:

- 1) Водно-физические свойства почвы:
 - Определение запасов продуктивной влаги термостатно-весовым методом в слое почвы 0-100 см на вариантах различной основной обработки почвы (ГОСТ 82268-89);
 - Определение баланса продуктивной влаги на посевах по методике А.Н. Костякова (Костяков, 1957; Вадюнина и Корчагина, 1986).
 - Определение водопроницаемости почвы по Качинскому в два срока наблюдения (возобновление весенней вегетации и полная спелость) методом залива колец (Доспехов и др., 1987).
 - Определение агрегатного состава почвы проведено в образцах с ненарушенной структурой по методу Саввинова (методом качания сит) и просеивания в воде на приборе Бакшеева, в слое почвы 0-10, 10-20, 20-30 см по Б.А. Доспехову (1987) (ежегодно – посеве озимой пшеницы). Полученные результаты усреднены для пахотного слоя 0-30 см. Выделение агрегатов и определение водоустойчивости структурных отдельностей проведено просеиванием на воздухе и в воде по методу Саввинова (Вадюнина и Корчагина, 1986).

По результатам просеивания на воздухе определяли коэффициент структурности ($K_{стр}$) по формуле (1):

$$K_{стр} = \frac{\Sigma(10-0.25\text{мм})}{\Sigma(>10\text{мм}, <0.25\text{ мм})} , \quad (1)$$

- где над чертой сумма агрономически ценных агрегатов 10-0,25 мм, под чертой – сумма агрегатов глыбистой и пылевой фракций.

По результатам просеивания в воде определяли коэффициент водопрочности ($K_{ву}$) по формуле (2):

$$K_{ву} = \frac{\Sigma(7-0.25\text{мм})}{\Sigma(>7\text{мм}, <0.25\text{ мм})} , \quad (2)$$

- где над чертой сумма водостойких агрегатов размером 7-0,25 мм; под чертой сумма агрегатов размером $> 7, < 0,25$ мм.

Средневзвешенный диаметр (СВД) агрегатов для просеивания на воздухе и в воде рассчитывали по формуле (3):

$$СВД = \frac{d_1 \times p_1 + p_2 \times d_2 + \dots + p_n \times d_n}{100} , \quad (3)$$

где, d_1, d_2, d_n – средний диаметр фракций, мм; p_1, p_2, p_n – содержание данной фракции, % (Теории и методы ..., 2007).

- Определение плотности сложения в образцах с ненарушенным сложением, в слое почвы 0-10, 10-20, 20-30 см по Б.А. Доспехову, (ежегодно при посеве) (Доспехов и др., 1987).

2) Агрохимические свойства почвы

Сроки отбора проб для определения агрохимических свойств почвы начиная с 1986 года – в третьей декаде мая:

- Определение содержания гумуса по Тюрину в слое 0-30 см, 1 раз в четыре года на закрепленных площадках под контрольной культурой – озимой пшеницей (ГОСТ 226213-91, Агрохимические методы, 1975).
- Определение содержания подвижных элементов питания $N-NO_3$; $N-NH_4$ на закрепленных площадках под контрольной культурой – озимой пшеницей – в слое

почвы 0-30 см (ГОСТ 26489-86, ГОСТ 26489-85).

- Определение содержания подвижных элементов питания – фосфор и калий по Мачигину на закрепленных площадках под контрольной культурой в слое почвы 0-30 см (ГОСТ 26205-91).

При расчете баланса элементов питания учитывали приходную и расходную части элементов питания. В приходную часть включены: поступления с осадками, семенами, удобрениями, посевным материалом, фиксацией азота бобовыми культурами и свободноживущими микроорганизмами (Шеуджен и др., 2021). В расходной части учитывали потери элементов питания со смывом и отчуждение с основной продукцией (Лыков, 1979). С атмосферными осадками в почву ежегодно поступало, согласно литературным данным, азота 3,7 кг/га (Бобрицкая, 1962), фосфора – 0,1, калия – 3,6 кг/га (Юркин, 1974). Поступление элементов питания с семенами рассчитывали путем умножения нормы высева культур, пересчитанной в сухое вещество, на содержание N, P₂O₅, K₂O. Расходная часть баланса включала потери азота (15%) в результате денитрификации от удобрений (Смирнов, Суков, 1974; Кореньков, Лаврова, 1974) и вынос культурами с урожаем (Зональные системы земледелия..., 2022).

Емкость баланса рассчитывали по формуле (4):

$$E = П + Р \quad (4)$$

где E – емкость баланса, кг д.в.;

П – приходная часть баланса, кг д.в.;

Р – расходная часть баланса, кг д.в.

Интенсивность баланса рассчитывали по формуле (5):

$$И = \frac{П}{Р} \times 100 \quad (5)$$

где И – интенсивность баланса, кг д.в.;

П – приходная часть баланса, кг д.в.;

Р – расходная часть баланса, кг д.в.

3) Количественные и качественные показатели урожая

Учет урожая культур сплошного сева по вариантам опыта проводили комбайном «Сампо» с учетной площади 50 м², с последующим взвешиванием; урожай зеленой массы кукурузы, подсолнечника и кукурузы на зерно – на учетных площадках 25 м² в трехкратной повторности; урожай зеленой массы многолетних трав – на учетных площадках 1 м² в трехкратной повторности (Доспехов, 1979).

- Определение качества (сырой клейковины и ИДК) зерна озимой пшеницы (ГОСТ 10846-91).
- Определение массы 1000 зерен (ГОСТ 10846-91).
- Определение гребнистости (путем накладывания шнура на поверхность опытной делянки после обработок) по методике Б.А. Доспехова (1979).
- Определение стока талой и ливневой воды на фоне различных приемов обработки почвы (методом микроплощадок) (Германюк, 1976; Методические рекомендации по учету..., 1975).
- Определение запаса воды в снеге на фоне различных приемов обработки почвы (Доспехов, 1979).
- Определение смыва и размыва почвы измерением объема водороев – метод Н.В. Дьякова (1984). Для этого измеряли глубину, ширину и длину водороев с последующим определением объема смытой почвы и переводом в тонны с 1 га.
- Определение количества органического вещества, поступающего в почву с пожнивными (метод рамок) и корневыми остатками (отмывка монолитов по Н.З. Станкову (1964).
- Расчет экономической и биоэнергетической оценки по методикам (Полуэктов и др., 2002, Удалов и др., 2008).

2.3 Метеорологические условия проведения исследований

Климат зоны проведения исследований – засушливый, умеренно жаркий, континентальный (Гаевая, 2016). Относительная влажность воздуха имеет ярко

выраженный годовой ход. Наименьшие её значения отмечаются в июле – 50-60 %, минимальные в отдельные дни могут быть 25–30 % и ниже. Приход ФАР за вегетацию 3,5-4,0 млрд ккал/га (Селянинов, 1977).

Среднее многолетнее количество осадков 483 мм, распределение их в агрономической оценке часто малоблагоприятное (3,7 года из каждых 10). За весенне-летний период выпадает 260-300 мм. Накопление влаги в почве начинается в основном в конце октября – ноябре, и максимальный её запас отмечается ранней весной (с середины марта до начала апреля). Осень наступает чаще всего в конце сентября (Гаевая, 2020).

Среднегодовая температура 8,6°C, средняя температура января (минус 6,6°C), июля +23°C, минимальная зимой – минус 41°C, максимальная летом – до 40°C. Безморозный период 175-180 дней. Сумма активных температур 3210-3400°. Частые явления – суховеи, имеют место пыльные бури различной интенсивности (Агроклиматические ресурсы..., 1972).

За период с 1990 года по 2022 год годовое количество осадков составило 551 мм, или на 14,0 % больше среднемноголетнего количества (Гаевая, 2020) (Рисунок 2, Приложение А4).



Рисунок 2 – Среднемноголетние значения количества осадков и температуры воздуха в 1991-2022 гг.

И хотя количество атмосферных осадков в 1990-2022 годах выше, чем средний показатель, но их распределение по фазам формирования растений, особенно поздних культур, оставляло желать лучшего: значительная часть осадков выпадала зимой в виде снега, что на эрозионно-опасных склонах способствовало в период таяния развитию водной эрозии.

Температурный режим ($10,6^{\circ}\text{C}$) был также выше среднеемноголетних значений на 23,7 %, в отдельные месяцы эта разница была более чем два раза.

2.4 Статистическая обработка результатов исследования

Математическую обработку полученных результатов проводили с использованием Microsoft Excel и программе Statistica 13.3 (StatSoft, Inc. STATISTICA, 2020). В Таблицах представлены средние значения (M) и их стандартные отклонения ($\pm \text{SEM}$).

Для уменьшения размерности данных был использован анализ главных компонент (Principal Component Analysis – PCA), который является одним из широко используемых методов, направленных на изучение закономерностей при обработке многомерных данных. Он считается наиболее эффективным способом понижения размерности данных, позволяющим описывать объекты меньшим числом обобщенных показателей – главными компонентами (ГК). Анализ проведен на основе корреляционной матрицы с использованием программного обеспечения (Гаевая и др., 2022а; Гаевая и Безуглова, 2024; StatSoft, Inc. STATISTICA, 2020).

Составление долгосрочных моделей прогноза было осуществлено с помощью нейросетевых моделей с использованием программы STATISTICA – автоматизированные нейронные сети (АНС). Тип сети при использовании АНС – многослойный персептрон (MLP). Количество входных нейронов равнялось длине ряда данных, используемых для составления прогноза. Размер подвыборок равнялся: обучающей – 70 %, контрольной – 30 %. Сложность нейронной сети определялась количеством нейронов на внутреннем слое. Число скрытых элементов на внутреннем слое было: минимальных скрытых нейронов – 2, максимальных скрытых

нейронов – 12. Число обучаемых АНС составляло 50 шт., а сохраняемых сетей АНС – 5 шт. (лучших сетей, созданных в процессе обучения). Используемый метод обучения нейронных сетей – алгоритм BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno) с использованием итерационного алгоритма, который предназначен для решения нелинейных задач с большим количеством неизвестных (Гаевая и Безуглова, 2024).

Из построенных 5 АНС были выбраны три сети, которые имели наибольшую (т.е. коэффициент корреляции был наиболее высоким) обучающую и контрольную производительность, и наименьшую ошибку. В качестве меры производительности программы STATISTICA был использован коэффициент корреляции между входными и выходными (предсказанными значениями сети) переменными. Коэффициент корреляции показывает близость всех предсказанных значений нейронной сети к целевым значениям данных (Гаевая и Безуглова, 2024).

Вторым критерием оценки качества построенных нейронных сетей является распределение остатков сети (т.е. разность между фактическими и предсказанными значениями). По визуальному анализу гистограмм можно заключить, что остатки имеют распределение близкое к нормальному с нулевым средним, т.е. расположение блоков должны соответствовать нормальному распределению Гаусса (Гаевая и Безуглова, 2024).

Еще одним графиком, используемым для оценки качества построенных АНС, является диаграмма рассеяния фактически наблюдаемых и предсказанных значений, показывающая насколько фактическая функция соответствует прогнозной. Чем лучше между ними соответствие, тем ближе точки ложатся на прямой под углом 45° , которая отображается на графике. В действительности этот график представляет не что иное, как визуализацию коэффициента корреляции, который играет ключевую роль в выборе сетей (Гаевая и Безуглова, 2024).

3 ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ НА ЭРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ КОНТУРНО-ПОЛОСНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИИ

3.1 Динамика стока талой и ливневой воды на эрозионно-опасных склонах в зависимости от конструкции севооборотов

Одним из основных факторов потери плодородия на эрозионно-опасных склонах является водная эрозия почв. Эрозия представляет собой процесс отрыва и переноса почвенных частиц эрозионно-образующими факторами. Вместе со сносимой в результате эрозионных процессов почвой уносятся не только элементы минерального питания и органическое вещество, составляющие естественное плодородие почв, но и вносимые минеральные и органические удобрения, что отражается на экономических показателях выращивания сельскохозяйственных культур на склонах (Ильинская и др., 2023).

Различные по конструкции и по соотношению культур в структуре посевов севообороты имеют различные показатели по стоку талой и ливневой воды. Эти параметры существенно отличаются от аналогичных показателей при сплошном размещении культур на склонах. Вместе с тем, эрозионная устойчивость изучаемых севооборотов не одинакова, поскольку различна она для культур и чистого пара, входящих в конструкцию конкретного севооборота. Целесообразное взаимное расположение в полосах культур и чистого пара способно в значительной мере сократить сток, а в отдельных случаях – и полностью приостановить.

Сток талой воды в первую очередь определяется запасом воды в снеге и интенсивностью снеготаяния (Вошедский и др., 2020). Вне изучаемых севооборотов на склоне той же крутизны, не имеющего почвозащитного комплекса, сток талой и ливневой воды составил в среднем 34,4 мм (Листопадов и Игнатьев, 2010).

Наблюдения за стоком талых и ливневых вод проводили, начиная с 1992 по 2022 год, т.е. 30 лет. Процессы эрозии были проявлены не каждый год, а в 22-х лет наблюдений, что составило 71%. Различные погодные условия в период тая-

ния снега по-разному влияют на эрозионные процессы, при стремительном нарастании среднесуточных температур, интенсивном выпадении осадков в виде дождя и снега, а также существенных запасах воды в снеге, складываются предпосылки для стока талых вод. При постепенном нарастании среднесуточных температур происходит медленное таяние снега и частичное оттаивание верхнего слоя почвы, тем самым создаются условия, способствующие для развития процессов стока. На зяблевых полях, подготовленных для посева яровых культур, где почва не защищена, потоки воды смывают с поверхности поля плодородный слой до промерзшей почвы или до плужной подошвы. Наличие в севообороте 20 или 40% многолетних трав способно сократить, а в отдельных случаях полностью предотвратить сток талых вод. Многолетние травы, имея хорошо развитую корневую систему и достаточное количество растительных остатков на поверхности поля, способны надежно защитить почву от стока и смыва, в отличие от зяблевых полей. Еще одна культура, остающаяся зимовать, – это озимая пшеница, которая также защищает поверхность почвы от развития процессов эрозии. Однако её способность противостоять смыву и размыву зависит от ряда факторов. Один из факторов – это условия перезимовки: при суровых зимах посевы могут частично вымерзнуть и почва будет подвержена эрозионным процессам. Другой фактор, влияющий на процессы стока и смыва, – это состояние развития растений, позволяющее полностью закрыть почву, а хорошее развитие корневой системы, способно надежно скрепить почву, предотвращая от смыва и размыва. Поэтому правильно сконструированный севооборот позволяет надежно защищать эрозионные участки от процессов эрозии (Гаевая, 2019).

Для изучения эрозионной устойчивости склонов за контрольный вариант был взят полевой севооборот «А», в структуру посевных площадей которого входило 20 % чистого пара, 20 % пропашных культур и 60 % колосовых культур. Эрозионная устойчивость других севооборотов была сопоставлена с севооборотом «А» (Гаевая, 2019).

В севооборотах при контурно-ландшафтной организации склона и полосном размещении культур, при использовании отвальной обработки почвы величина

стока талой воды и смыва почвы определялась в значительной мере соотношением эрозионно-устойчивых и неустойчивых культур. В севообороте «В» с 40% многолетних трав в структуре посевов отмечена наибольшая эрозионная устойчивость – сток был на 56,3% ($p < 0,05$) меньше, чем в севообороте без многолетних трав (Гаевая, 2019). Соответственно ниже были потери гумуса и элементов минерального питания. В целом, за период исследований наибольший сток воды зарегистрирован также в севообороте «А» с 20% чистого пара и без многолетних трав $22,7 \pm 1,7$ мм ($p < 0,05$), а самый низкий ($9,5 \pm 1,0$ мм; ($p < 0,05$)) в севообороте «В» – без чистого пара и с 40% многолетних трав в структуре посевов (Рисунок 3, Приложение А5).

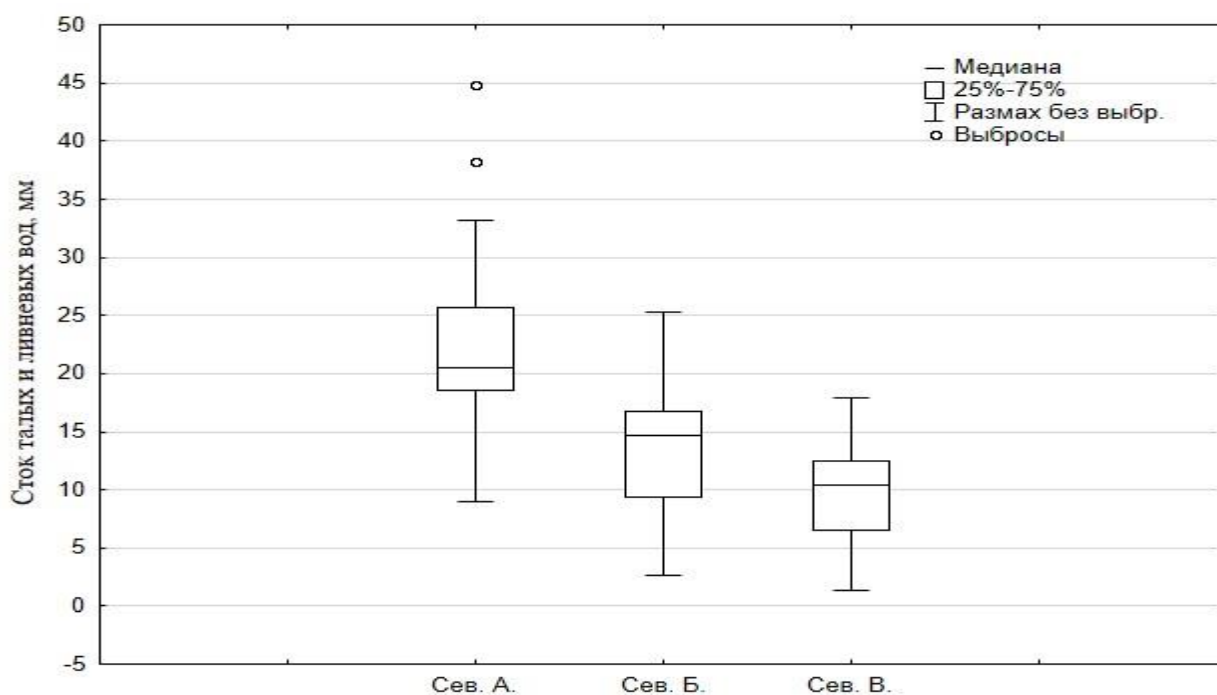


Рисунок 3 – Диаграмма размаха стока талой и ливневой воды в зависимости от конструкции севооборота, 1992-1994; 1997-2000; 2003-2008; 2010-2019 гг., 2021 г., мм., (Листопадов и др., 2012; Гаевая, 2019).

Севооборот «Б» с 20% многолетних трав занимал промежуточное положение, в нем сток составлял $13,3 \pm 1,3$ мм, что на 33,9% ниже, чем в севообороте с 20% чистого пара и больше на 25,6%, чем в севообороте с 40% многолетних трав в структуре посевов (Гаевая и Безуглова, 2024).

Во все годы контурно-полосная организация территории склона и чередова-

ние в полосах устойчивых и неустойчивых к эрозии культур позволили и территориально, и по силе проявления значительно сократить эрозионные процессы. Более защищенными полосы чистого пара и озимой пшеницы оказались не только в отношении сплошного размещения парового поля, но и в отношении сплошного размещения озимой пшеницы, очевидно, потому что часть воды поглощалась полосами чистого пара, имеющими в летнее время высокую водопроницаемость.

В Таблице 5 представлены статистические показатели стока талых и ливневых вод по отвальной обработке почвы. Максимальные значения стока были отмечены в севообороте «А» с 20% чистого пара (44,8 мм), а минимальные в севообороте «В» с 40% многолетних трав (1,0 мм) по отвальной обработке почвы. Однако разброс значений увеличивается от севооборота «А» к севообороту «В» (коэффициент вариации 34,9 и 49,7).

Таблица 5 – Статистические показатели стока талых и ливневых вод по отвальной обработке почвы в зависимости от конструкции севооборота, т/га, 1992–1994; 1997–2000; 2003–2008; 2010–2019, 2021 гг.

Показатель	Севооборот		
	«А» 20% чистого пара и 0% многолетних трав	«Б» 0% чистого пара и 20% многолетних трав	«В» 0% чистого пара и 40% многолетних трав
Максимум, мм	44,8	25,3	17,9
Минимум, мм	9,0	2,6	1,0
Среднее, мм	22,7	13,3	9,5
Стандартная ошибка, мм	1,7	1,3	1,0
Геометрическое среднее, мм	21,6	11,6	7,6
Медиана, мм	20,5	14,7	10,4
Доверительный интервал (-95,0%)	19,2	10,7	7,4
Доверительный интервал (95,0%)	26,3	16,0	11,6
Дисперсия выборки, мм	63,1	34,5	22,2
Стандартное отклонение, мм	7,9	5,9	4,7
Коэффициент вариации, %	34,9	44,0	49,7
Асимметрия	1,30±0,49	-0,32±0,49	-0,26±0,49
Экссесс	2,15±0,95	-0,18±0,95	-0,06±0,95
Число наблюдений	22		

Используя показатель коэффициента стока, можно оценить долю осадков, израсходованную на образование стока талых вод. Коэффициент стока – это отношение объема поверхностного стока на склоне ко всей сумме осадков в период

весеннего снеготаяния. Сумма осадков определялась сложением запаса воды в снеге и количества осадков в период интенсивного снеготаяния. Для Ростовской области интенсивное снеготаяние наступает в конце февраля – начале марта, когда температура воздуха имеет положительные значения. Наибольший коэффициент стока отмечен в севообороте «А» с 20% чистого пара (0,32), по мере увеличения доли многолетних трав от 20 до 40% этот показатель снижался до 0,18–0,13. При сплошном размещении культур максимальный сток составлял 34,4 мм, а коэффициент стока был наиболее высоким – 0,49 (Листопадов и др., 2010; Гаевая, 2019) (Рисунок 4.).

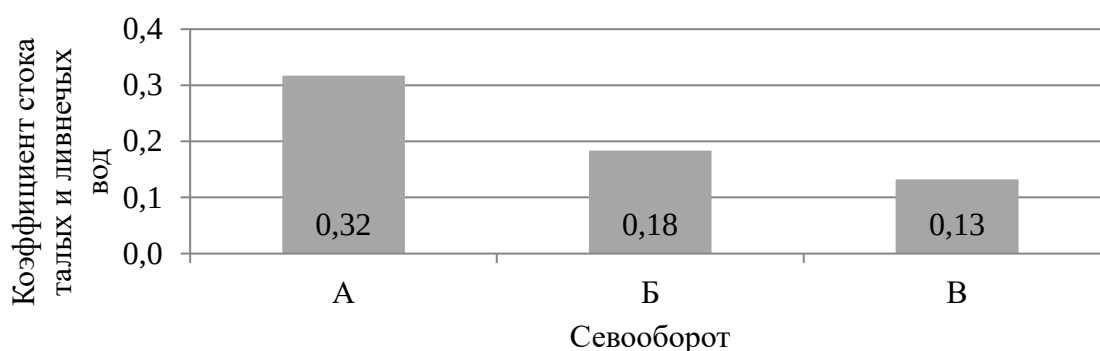


Рисунок 4 – Коэффициент стока в зависимости от конструкции севооборота, 1992-1994; 1997-2000; 2003-2008; 2010-2019, 2021 гг.

Предотвратить эрозионные процессы на склонах возможно, используя ряд противоэрозионных мероприятий, среди которых – агротехнические, лесомелиоративные, а также создание простейших гидротехнических сооружений в дополнение к контурно-полосной организации территории.

Полосная организация территории склона предусматривает разбивку поля на полосы, приближенные к горизонталям местности, причем полосы должны быть по возможности параллельны для удобной работы тракторов. Крутые повороты необходимо сглаживать также для нормативной работы тракторных агрегатов. Разбивку необходимо начинать с приводораздельной части склона и заканчивать подножием. Ширина полос зависит от крутизны склона и с увеличением его крутизны уменьшается их ширина от 150 м до 40 м. (Лопырев и Рябов, 1989).

Таким образом, контурно-полосная организация территории склона и чередование в полосах устойчивых и неустойчивых к эрозии культур позволили сократить сток на 34,0-71,2%. Эрозионная устойчивость севооборотов определяется наличием почвозащитного компонента – многолетних трав от 20 до 40%, позволяющих сократить сток талой и ливневой воды на 33,9-56,3%.

3. 2 Динамика стока талой и ливневой воды на эрозионно-опасных склонах в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур

Приемы обработки почвы имеют различный потенциал к сдерживанию процессов эрозии почв, вызванных стоком талых и ливневых вод. Применение почвозащитной обработки почвы (чизельной) сокращало сток воды за счет стерни и растительных остатков на поверхности почвы. За этот период отмечено, что приемы обработки отразились на показателе стока воды: при чизельной обработке он на 23,9 % ($p < 0,05$) ниже, чем на отвальной обработке в севообороте «А». Введение в севооборот многолетних трав от 20 до 40 % и применение чизельной обработки почвы сократило сток талых и ливневых вод на 21,0-21,5 % ($p > 0,05$) (Гавеева и Безуглова, 2024) (Рисунок 5, Приложение А5).

Взаимное расположение в полосах на склоне культур и чистого пара способны в значительной степени сократить, а в отдельных случаях и полностью приостановить эрозионные процессы (Листопадов и др., 2009). Замена отвальной вспашки почвозащитной обработкой сокращает сток талых и ливневых вод в севообороте «А» на 5,4 мм, в севообороте «Б» – на 2,8 мм, в севообороте «В» – на 2,1 мм.

Статистические показатели стока талых и ливневых вод при использовании чизельной обработки почвы дают представление об изменении данных за длительный период наблюдений. Максимальные значения стока были отмечены в севообороте «А» с 20% чистого пара (28,0 мм), а минимальные в севообороте «В» с 40% многолетних трав (1,0 мм) при использовании чизельной обработки почвы.

Разброс значений, описываемый коэффициентом вариации, дает представление о неоднородности данных и увеличивается в севообороте «А» к севообороту «В» ($V_{\sigma} - 26,5$ и $47,4$) (Таблица 6).

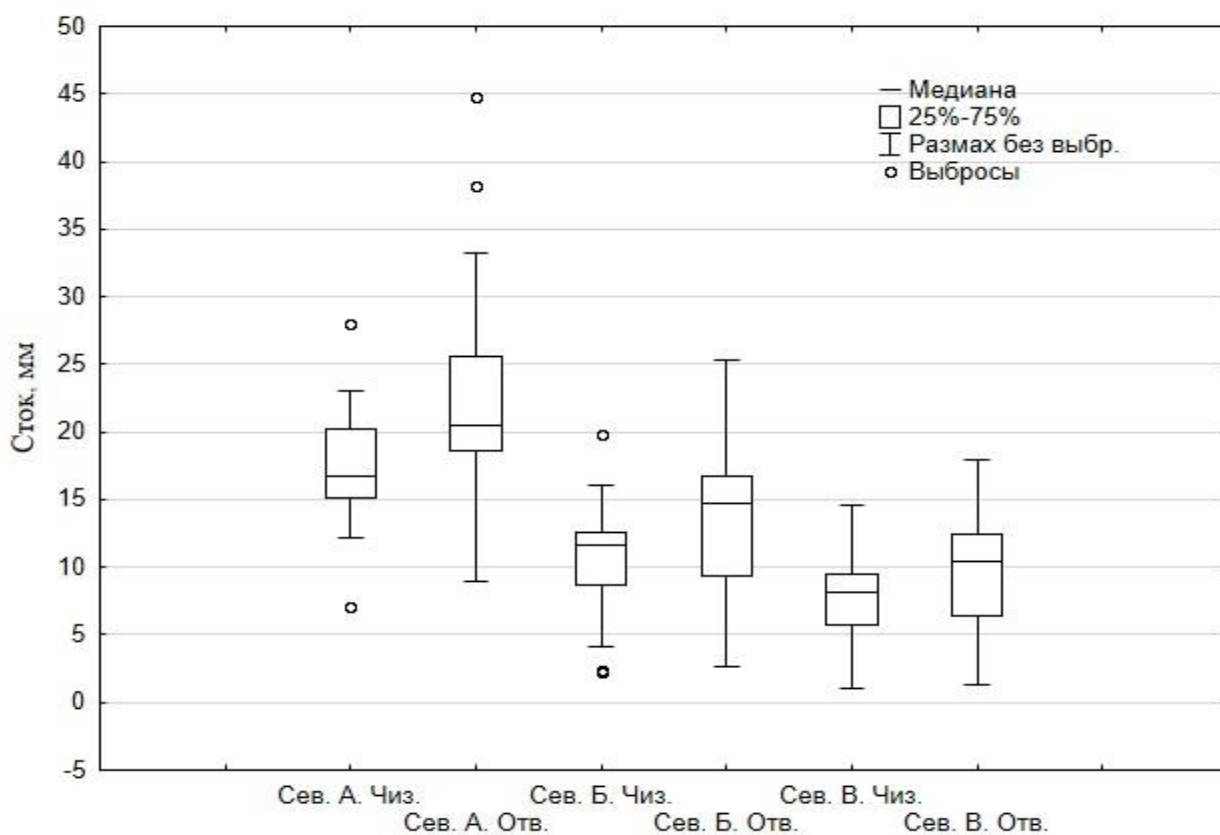


Рисунок 5 – Диаграмма размаха стока талой и ливневой воды в зависимости от приема обработки почвы, 1992-1994; 1997-2000; 2003-2008; 2010-2019, 2021 гг., мм., (Листопадов и др., 2012; Гаевая, 2019).

Применение почвозащитной обработки сокращает сток талых и ливневых вод в севооборотах в сравнении с отвальной (Гаевая и Безуглова, 2024). Почвозащитная обработка, выполненная чизельным плугом, позволяет рыхлить почву без оборота пласта, при этом стерня и пожнивные остатки остаются на поверхности почвы, защищая поверхность поля от эрозионных процессов в течение весеннего снеготаяния. Сток воды, как и смыв почвы, зависел от конструкции севооборота и от обработки почвы. Одним из показателей, с помощью которого можно оценить эффективность противоэрозионных мероприятий, является коэффициент подверженности эрозионным процессам, который показывает отношение фактического смыва к предельно допустимому (Гаевая и др., 2022а).

Коэффициент стока при использовании чизельной обработки почвы в севооборотах уменьшился с увеличением доли многолетних трав от 0% в севообороте «А» до 40% в севообороте «В» на 22,3%; 19,2% и 19,5% по сравнению с отвальной обработкой почвы (Рисунок 6).

Таблица 6 – Показатели стока талых и ливневых вод по чизельной обработке почвы в зависимости от конструкции севооборота, т/га, 1992-1994; 1997-2000; 2003-2008; 2010-2019, 2021 гг.

Показатель	Севооборот		
	«А» 20% чистого пара и 0% многолетних трав	«Б» 0% чистого пара и 20% многолетних трав	«В» 0% чистого пара и 40% многолетних трав
Максимум, мм	28,0	19,8	14,5
Минимум, мм	7,1	2,3	1,0
Среднее, мм	17,3	10,5	7,5
Стандартная ошибка, мм	1,0	0,9	1,0
Геометрическое среднее, мм	16,7	9,4	6,2
Медиана, мм	16,7	11,6	8,1
Доверительный интервал (-95,0%)	15,3	8,7	5,9
Доверительный интервал (95,0%)	19,3	12,4	9,0
Дисперсия выборки, мм	21,1	18,2	12,5
Стандартное отклонение, мм	4,6	4,3	3,5
Коэффициент вариации, %	26,5	40,4	47,4
Асимметрия	0,21±0,49	-0,33±0,49	-0,33±0,49
Экссесс	0,71±0,95	0,41±0,95	-0,41±0,95
Число наблюдений	22		

Стабилизировать процессы эрозии возможно с помощью мелиоративных мероприятий, применяя простейшие гидротехнические сооружения валы-канавы, заполненные растительными остатками, или напашные валы, на границе полос.

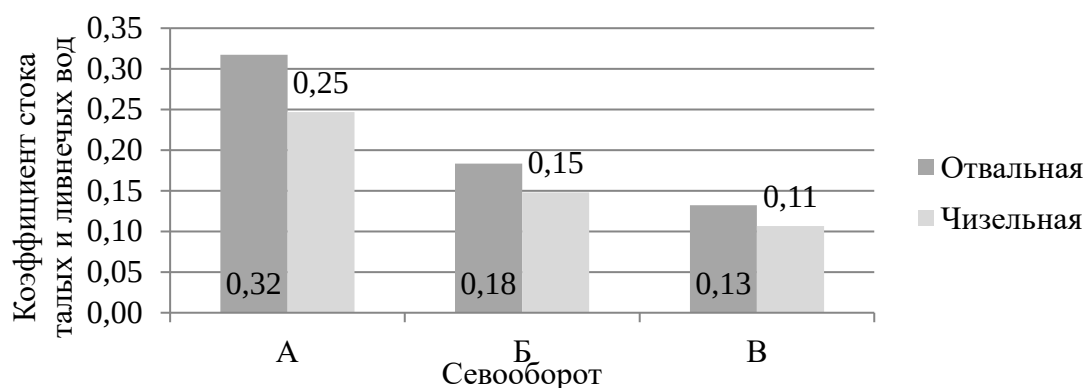


Рисунок 6 – Коэффициент стока в зависимости от приемов обработки почвы, 1992–1994; 1997–2000; 2003–2008; 2010–2019, 2021 гг.

Также одним из способов защиты почвы от эрозии является чередование отвальной вспашки с безотвальными обработками поля или глубоких отвальных и безотвальных обработок почвы с поверхностными.

Использование различной доли многолетних трав в структуре севооборота от 0 до 40% привело к уменьшению коэффициента стока в ряду: 0,25 → 0,15 → 0,11.

Таким образом, применение почвозащитной обработки почвы (чизельной) с сохранением на поверхности стерни на склонах крутизной 3,5-4° сокращает сток талых и ливневых вод на 20,0-23,9% ($p < 0,05$). Введение в севооборот многолетних трав от 20 до 40% и применение чизельной обработки почвы сократило сток талых и ливневых вод на 21,0-21,5%.

3.3 Динамика смыва почвы на эрозионно-опасных склонах в зависимости от конструкции севооборотов

Длительные опыты позволяют вести наблюдение в динамике за несколькими показателями одновременно. Одним из признаков деградации склоновых земель является смыв почвы. Вместе с водой вниз по склону уносится плодородный слой почвы. В остальные годы условия периода весеннего снеготаяния и летние ливни процессов эрозии не вызывали. Интенсивность смыва почвы также зависела от складывающихся условий. В среднем количество смытой почвы на полях, не имеющих почвозащитного комплекса, составило 18,5 т/га, максимальное количе-

ство превышало 42,0 т/га (Гаевая и др., 2016; Листопадов и др., 2012) (Рисунок 7 а, б, Приложение А6).

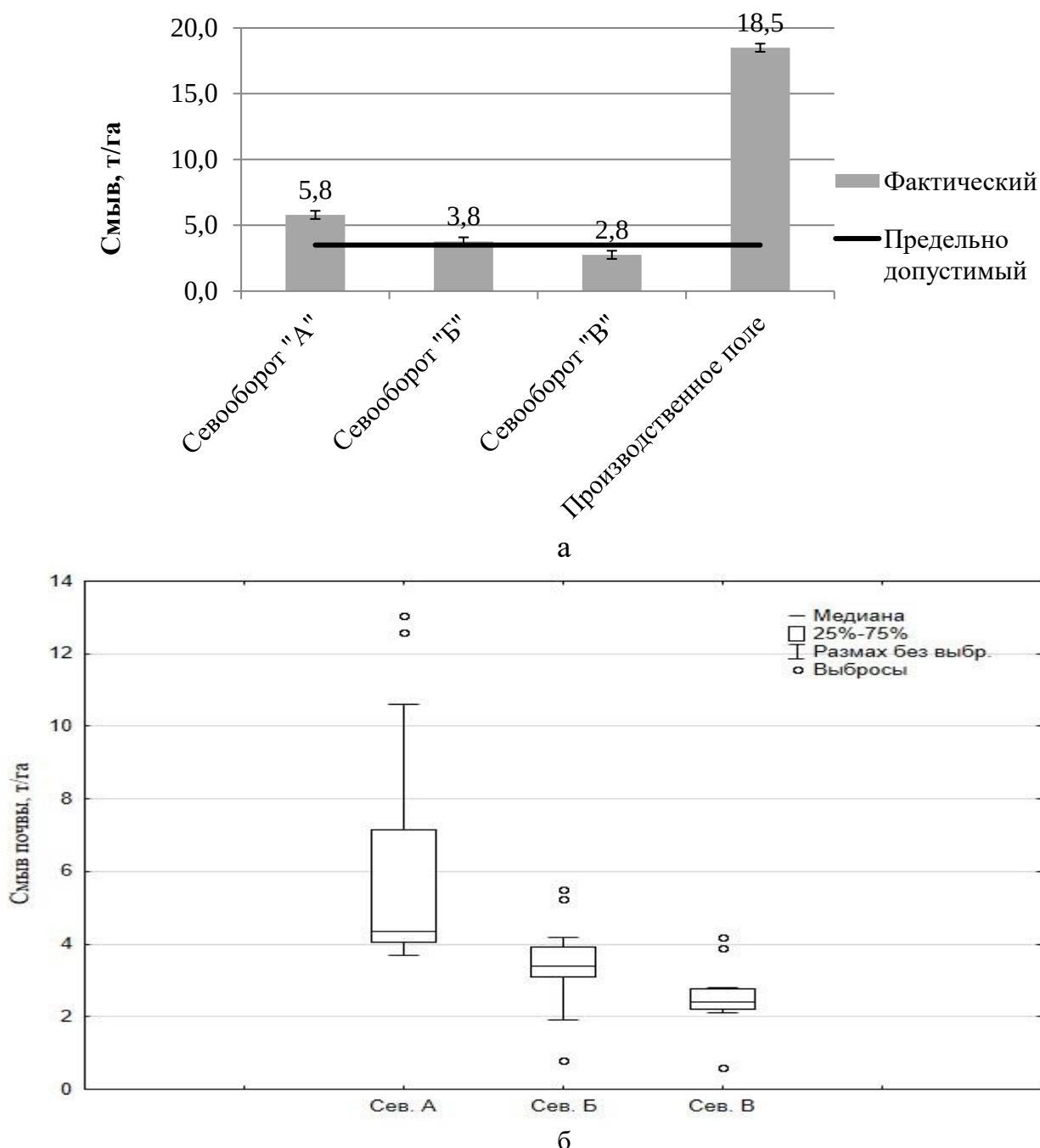


Рисунок 7 – Смыв почвы в зависимости от конструкции севооборота по отвальной обработке почвы (севооборот «А» – 20% чистого пара и 0% многолетних трав; севооборот «Б» – 0% чистого пара и 20% многолетних трав; севооборот «В» – 0% чистого пара и 40% многолетних трав) 1992-1994; 1997-2000; 2003-2008; 2010-2019 гг., 2021 г., а) соотношение количества смытой почвы в севооборотах и предельно допустимые потери почвы, б) статистические характеристики средних значений смыва почвы (Листопадов и др., 2012; Гаевая, 2019).

Предельно допустимые потери почвы для Ростовской области составляют 3,0–3,5 т/га в год – это то количество почвы, которое может образоваться в течение года в естественных ценозах в пересчете на органический углерод (Полуэктов, 1984).

Использование систем земледелия на ландшафтной основе с контурно-полосным размещением культур, простейшими гидротехническими сооружениями и почвозащитными севооборотами в длительном опыте позволило сократить эти потери (Гаевая и др., 2020; Гаевая и др., 2022а). В изучаемых севооборотах, в зависимости от их конструкции, эрозионные процессы были различной интенсивности. Наибольшее количество смытой почвы было отмечено в севообороте с 20% чистого пара, и составляло 5,8 т/га. Севооборот с 20% многолетних бобовых трав (люцерна и эспарцет) занимал промежуточное положение. В этом севообороте смыв почвы составлял 3,8 т/га ($p < 0,05$), то есть уменьшение смыва составило 35,5%. По мере увеличения доли многолетних трав до 40% количество смытой почвы уменьшилось более чем в два раза до 2,8 т/га ($p < 0,05$), и соответственно уменьшение смыва достигало 52,5% (севооборот «В») (Гаевая и др., 2022а).

Сравнение двух севооборотов с различной долей многолетних трав в структуре посевов (20% и 40%) показало преимущества последнего. В севообороте «В» количество смытой почвы было на 29,9% ($p < 0,05$) меньше, чем в севообороте «Б» с 20% многолетних трав.

Как было отмечено ранее, на производственных полях, не имеющих почвозащитного комплекса, смыв почвы составил 18,5 т/га. Контурно-полосная организация территории с простейшими гидротехническими сооружениями способствовала сокращению смыва почвы в севооборотах на 68,7–85,1% с большими значениями в севообороте с 40% многолетних трав.

В севообороте «А» смыв почвы почти вдвое (39,6–48,3 %) превышает предельно допустимые потери почвы (3,0–3,5 т/га). В год с наименьшим проявлением эрозионных процессов 40% многолетних трав полностью способны защитить севооборот от смыва почвы (Гаевая, 2019). В среднем, за годы наблюдения смыв почвы был на 7,1–20,4 % больше предельно допустимых потерь почвы. Увеличе-

ние доли многолетних трав до 40 % в структуре севооборота позволяет сократить смыв почвы до значений (2,8 т/га), не превышающих предельно допустимые потери.

На интенсивность смыва почвы влияют многие факторы, такие как: количество и высота снегового покрова, температура воздуха в период снеготаяния, глубина промерзания почвы, плотность, инфильтрационная способность почвы, влажность и многие другие (Mamoon, 2019; Wang, 2023; Qiu et al., 2023). За длительный период наблюдений количество смытой почвы в севооборотах изменялось в широких пределах от $3,7 \pm 0,5 - 0,4 \pm 0,3$ т/га до $12,8 \pm 0,5 - 6,8 \pm 0,3$ т/га с максимальными значениями в севообороте «А». Столь значительные колебания значений смытой почвы, обобщенные за длительный период наблюдений, отразились на стандартной ошибке. Изменчивость показателя смыва почвы можно оценить по коэффициенту вариации. В изучаемых севооборотах коэффициент вариации более 33,3% (46,0–56,8 %), значит, данная выборка неоднородна (Лакин, 1990) (Таблица 7).

Таблица 7 – Показатели смыва по отвальной обработки почвы в зависимости от конструкции севооборота, т/га, 1992-2022 гг.

Показатель	Севооборот		
	«А» 20% чистого пара и 0% многолетних трав	«Б» 0% чистого пара и 20% многолетних трав	«В» 0% чистого пара и 40% многолетних трав
Минимум, т/га	3,7	0,8	0,4
Максимум, т/га	12,8	9,6	6,8
Среднее, т/га	5,8	3,8	2,8
Геометрическое среднее, т/га	5,4	3,3	2,1
Медиана, т/га	4,4	3,4	2,4
Доверительный интервал (-95,0%)	4,7	3,0	2,0
Доверительный интервал (95,0%)	6,9	4,6	3,3
Дисперсия выборки, т/га	7,1	3,5	2,3
Стандартное отклонение, т/га	2,7	1,9	1,5
Стандартная ошибка, т/га	0,5	0,4	0,3
Коэффициент вариации, %	46,0	49,7	56,8
Эксцесс	1,67	1,54	1,25
Асимметрия	2,07	3,97	2,88

В ландшафтном земледелии одним из значимых показателей характеристики севооборотов является коэффициент подверженности эрозионным процессам, который является отношением фактических потерь почвы при эрозии к допустимым в данных условиях (при контурно-полосной организации территории и применения противоэрозионного технологического комплекса они приняты 0,7-1,0 т/га) (Лопырев и Рябов, 1989).

Коэффициент подверженности эрозионным процессам средний за годы наблюдения, когда водная эрозия имела место: в севообороте «А» составлял 1,7-1,9, в севообороте «Б» – 1,1-1,3 и в севообороте «В» – 0,8-0,9. Иными словами, с увеличением доли многолетних трав до 40% коэффициент подверженности эрозионным процессам уменьшился в два раза (Гаевая и др., 2022а) (Таблица 8).

Если эрозионную устойчивость севооборота «В» (с 40 % многолетних трав и без чистого пара) принять за 100 %, то устойчивость севооборота «Б» с 20 многолетних трав составит 35,7 %, а севооборота «А» (с 20 % чистого пара и без многолетних трав) – только 7,1 %.

Таблица 8 – Коэффициент подверженности эрозионным процессам по отвальной обработке в зависимости от конструкции севооборота, т/га, 1992-2022 гг.

Севооборот	Коэффициент подверженности эрозионным процессам, Кэ	
	max	min
«А» – 20% чистого пара и 0% многолетних трав	1,7	1,9
«Б» – 0% чистого пара и 20% многолетних трав	1,1	1,3
«В» – 0% чистого пара и 40% многолетних трав	0,8	0,9

Наиболее полно агрономический смысл адаптивно-ландшафтного земледелия проявляется при контурно-мелиоративной организации территории, которая предполагает на эрозионно-опасных склонах полосное приближенное к горизонталям размещение культур, а также приближенные к горизонталям направления обработки почвы, посева, уходных и других технологических операций по возделыванию сельскохозяйственных культур в севооборотах. Ландшафтное земледелие предполагает комплекс агротехнических, лесомелиоративных, гидротехниче-

ских приемов (сооружений), способствующих сокращению стока талой и ливневой воды, а также смыва почвы до безопасных пределов.

В связи с этим, целью наших исследований было выявление лучшего предшественника для озимой пшеницы при возделывании на эрозионно-опасных склонах в системе контурно-полосной организации территории. Для этого все культуры севооборотов были оценены с помощью коэффициентов эрозионной опасности, предложенных М.И. Лопыревым и Е.И. Рябовым (1989). Наиболее эрозионно-опасным является севооборот «А», в структуре которого имеется 20 % поле чистого пара, имеющий средний коэффициент эрозионной опасности 0,60. С увеличением доли многолетних трав от 20 до 40 % уменьшается и коэффициент эрозионной опасности до 0,46-0,37, а севообороты приобретают эрозионную устойчивость (Таблица 9).

Таблица 9 – Эрозионная устойчивость севооборотов различной конструкции, 1990–2022 гг. (Вошедский и др., 2022)

Агрофон, культура	Севооборот		
	А	Б	В
Чистый пар	1	-	-
Озимая пшеница	0,3	0,3	0,3
Озимая пшеница	0,3	-	-
Яровой ячмень	0,6	0,6	0,6
Горох	-	0,6	-
Подсолнечник	0,8	0,8	-
Кукуруза на зерно	-	-	0,85
Многолетние травы 1-го года пользования	-	-	0,08
Многолетние травы 2-го года пользования	-	0,03	0,03
Итого на 1 га севооборотной площади:	0,60	0,46	0,37

Наши исследования по разработке почвозащитных адаптивно-ландшафтных систем земледелия были направлены на создание почвозащитных комплексов для полевых севооборотов (Гаевая, 2016). Установлены элементы противоэрозионных комплексов, в частности:

- полосное размещение культур с направлением линий, приближенным к горизонталям местности;

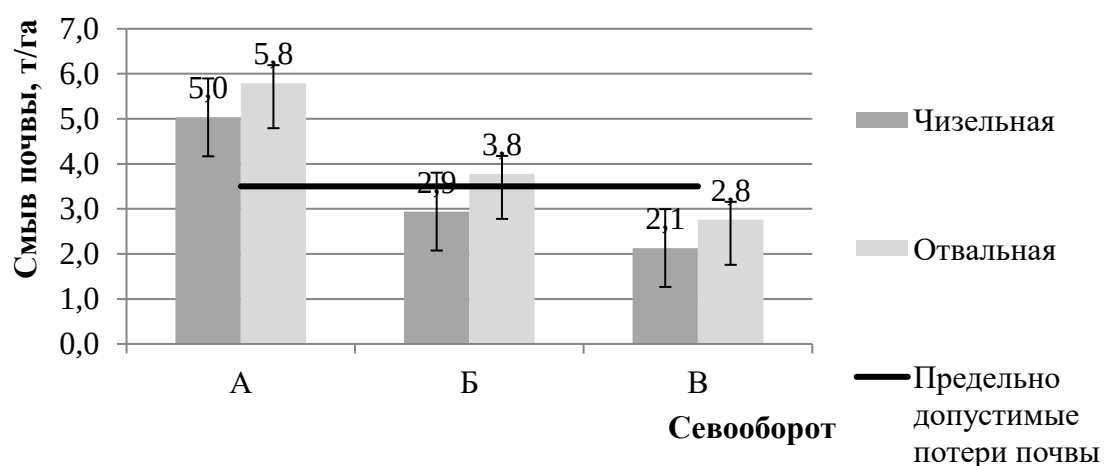
- проведение сева сельскохозяйственных культур и всех технологических операций по их возделыванию поперек склона;
- применение противоэрозионных приемов обработки почвы, направленных на разрушение плужной подошвы, предотвращение водной эрозии, улучшение водно-физических свойств почвы;
- использование в севообороте предшественников для сельскохозяйственных культур, повышающих эрозионную устойчивость поля (Гаевая, 2016).

Таким образом, использование контурно-полосной организации территории склона крутизной 3,5-4,0° с простейшими гидротехническими сооружениями сокращает смыв почвы в севооборотах на 68,7-85,1 %. Эрозионную устойчивость севооборотов, размещенных на эрозионно-опасном склоне, определяет наличие почвозащитного компонента – многолетних трав, введение в севооборот от 20 до 40 % многолетних трав позволяет сократить смыв почвы на 35,0-52,5 %.

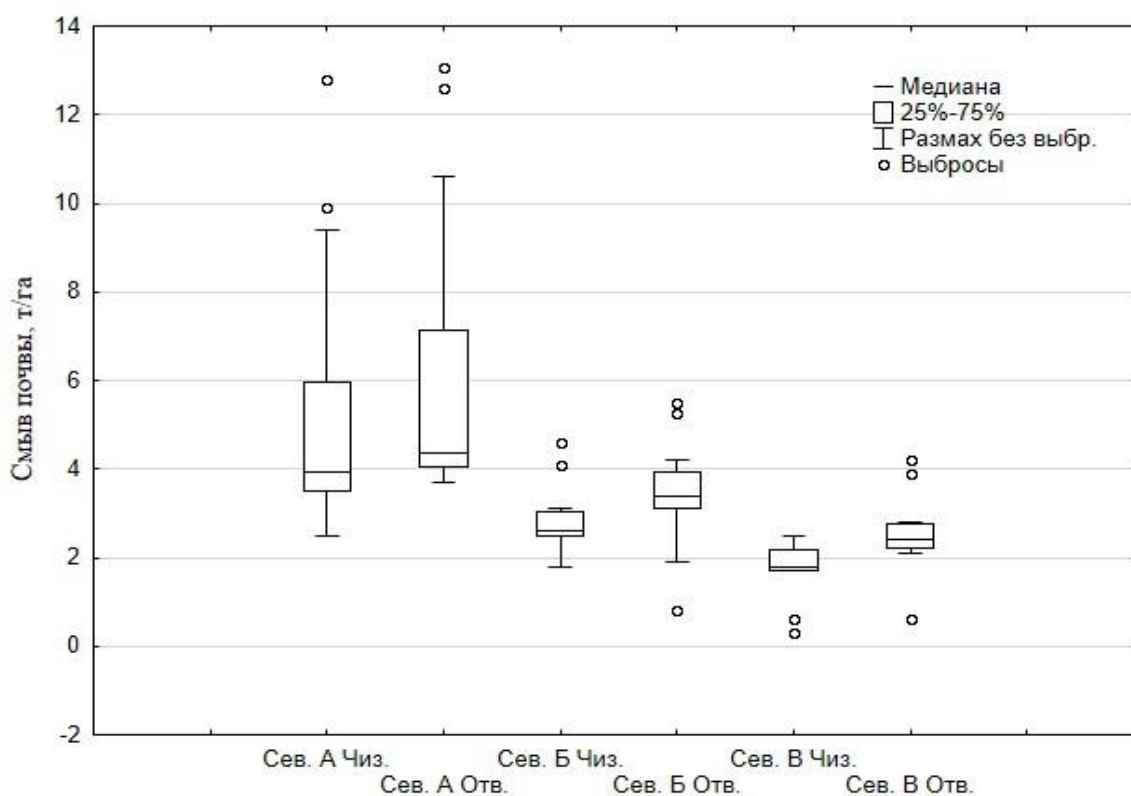
3.4 Динамика смыва почвы на эрозионно-опасных склонах в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур

Одним из способов предотвращения процессов эрозии является способ обработки почвы. В наших исследованиях мы изучали почвозащитную обработку почвы – чизельную. Применение чизельной обработки почвы имело тенденцию уменьшения смыва почвы в севообороте «А» с 5,8 т/га до 5,0 т/га или на 13,0%; в севообороте «Б» с 3,8 т/га до 2,9 т/га или – на 22,2%; а в севообороте «В» – 2,8 т/га до 2,1 т/га или на 22,7% по сравнению с отвальной обработкой почвы ($p > 0,05$) (Рисунок 8 а, б, Приложение А6).

Разница между севооборотами при использовании чизельной обработки почвы имела аналогичную тенденцию уменьшения эрозионных процессов, как и при использовании отвальной обработки почвы. Однако, разница между севооборотами была статистически достоверна (41,6-57,7%) ($p < 0,05$). По-видимому, сказывается совместное применение почвозащитной обработки почвы и многолетних трав в структуре посевов.



а



б

Рисунок 8 – Смыв почвы в зависимости от приемов обработки почвы (севооборот «А» – 20% чистого пара и 0% многолетних трав; севооборот «Б» – 0% чистого пара и 20% многолетних трав; севооборот «В» – 0% чистого пара и 40% многолетних трав) 1992-1994; 1997-2000; 2003-2008; 2010-2019 гг., 2021 г., а) соотношение количества смытой почвы в севооборотах и предельно допустимые потери почвы, б) статистические характеристики средних значений смыва почвы (Листопадов и др., 2012; Гаевая, 2019).

Сплошное размещение культур на склоновых землях приводит к развитию процессов эрозии (смыв почвы до 18,5 т/га). Использование контурно-полосной организации территории склона совместно с почвозащитной обработкой сокращает смыв почвы в севооборотах на 72,8-88,5%, с большими значениями в севообороте с 40% многолетних трав (Гаевая и Безуглова, 2024).

Чизельная обработка почвы сокращает развитие эрозионных процессов, оставляя на поверхности почвы стерню и растительные остатки, способные до определенного предела сдерживать проявление эрозии (Вошедский и др., 2020). Рыхление почвы происходит без оборота пласта на глубину 18-30 см в зависимости от агротехнических требований возделываемой культуры. Долотообразные лапы орудия разуплотняют почву на глубине, не нарушая верхний слой. Такой прием обработки почвы способствует улучшению аэрации, накоплению влаги в почве, ее разуплотнению.

В зависимости от погодных условий по-разному формировался смыв почвы. Максимальный смыв был отмечен в севообороте с 20% чистого пара и составлял $13,1 \pm 0,5$ т/га. По мере увеличения доли многолетних трав (20-40%) в структуре посевных площадей максимальный смыв почвы уменьшался до $5,5 \pm 0,3$ - $7,5 \pm 0,2$ т/га (Гаевая и др., 2022а) (Таблица 10).

Использование почвозащитной обработки почвы сокращает развитие эрозионных процессов в севооборотах с многолетними травами ниже предельно допустимых значений (3,0-3,5 т/га). Только в севообороте с 20 % чистого пара смыв почвы при использовании чизельной обработки превышает на 30,5-40,4 % предельно допустимые значения. В севооборотах с почвозащитным компонентом – многолетними травами среднемноголетний смыв почвы был в допустимых пределах. Это подтверждает коэффициент подверженности эрозионным процессам (Васильченко и Гаевая, 2016) (Таблица 11).

Таблица 10 – Показатели смыва по чизельной обработке почвы в зависимости от конструкции севооборота, 1992-2022 гг.

Показатель	Севооборот		
	«А» 20% чистого пара и 0% многолетних трав	«Б» 0% чистого пара и 20% многолетних трав	«В» 0% чистого пара и 40% многолетних трав
Минимум, т/га	2,5	0,7	0,1
Максимум, т/га	13,1	7,5	5,5
Среднее, т/га	5,0	2,9	2,1
Геометрическое среднее, т/га	4,6	2,6	1,7
Медиана, т/га	4,0	2,6	1,8
Доверительный интервал (-95,0%)	3,9	2,3	1,6
Доверительный интервал (95,0%)	6,2	3,6	2,5
Дисперсия выборки, т/га	7,1	2,1	1,3
Стандартное отклонение, т/га	2,7	1,5	1,2
Стандартная ошибка, т/га	0,5	0,3	0,2
Коэффициент вариации, %	53,1	49,5	56,3
Экссесс	1,88	1,66	1,36
Асимметрия	2,97	4,07	3,36

Эрозионная устойчивость севооборота «В» наибольшая (100%), в севообороте «Б» она составляет 38,0%, в севообороте «А» (с 20% чистого пара и без многолетних трав) – только 10,5%.

Таблица 11 – Коэффициент подверженности эрозионным процессам по чизельной обработке в зависимости от конструкции севооборота, т/га, 1992-2022 гг.

Севооборот	Коэффициент подверженности эрозионным процессам	
	max	min
«А» – 20% чистого пара и 0% многолетних трав	1,4	1,7
«Б» – 0% чистого пара и 20% многолетних трав	0,8	1,0
«В» – 0% чистого пара и 40% многолетних трав	0,6	0,7

Таким образом, контурно-полосная организация территории склона совместно с почвозащитной обработкой сокращает смыв почвы на 72,8-88,5%, с большими значениями в севообороте с 40% многолетних трав. Использование чизельной обработки почвы в севооборотах сокращает смыв почвы на 13,0-20,6%, в сравнении с отвальной обработкой почвы.

3.5 Зависимость смыва почвы от стока талых и ливневых вод на эрозионно-опасных склонах

Севообороты, различные по конструкции и по соотношению культур в структуре посевов, имеют различные показатели по стоку талой и ливневой воды и смыву почвы (Гаевая и Безуглова, 2024). Эти показатели существенно отличаются от аналогичных при сплошном размещении культур на склонах. Различаются они и в изучаемых севооборотах, поскольку в каждом из них соотношение эрозионно-устойчивых и неустойчивых культур (и пара) различно.

На смыв почвы влияют многие факторы, один из которых – это сток талых и ливневых вод (Рисунок 9). С увеличением количества стока на эрозионно-опасных склонах увеличивается и количество смытой почвы. Влияние стока талых и ливневых вод на смыв почвы достаточно велико и лежит в пределах от 78,2 до 89,5% случаев изменчивости (Гаевая и Безуглова, 2024).

Из приведенных уравнений регрессии видно, что с увеличением стока на 1 мм, при прочих равных условиях, смыв почвы увеличивается в севообороте «А» на 0,13 т/га в варианте с чизельной обработкой почвы, и на 0,27 т/га – с отвальной обработкой почвы. В севообороте «Б» и «В», при соблюдении этих же условий, количество смытой почвы при применении чизельной обработки почвы увеличивается на 0,11 и 0,12 т/га, при отвальной – 0,14 и 0,16 т/га, соответственно (Гаевая и Безуглова, 2024).

Значительное влияние на эрозионные процессы оказывают метеорологические условия периода формирования стока талых вод и смыва почвы. Как правило, интенсивное снеготаяние начинается в марте, при наступлении положительных среднесуточных температур воздуха. Поэтому мы проанализировали влияние сумма осадков и средней температуры периода снеготаяния на развитие процессов эрозии. На матричном графике отображено влияние сумма осадков периода снеготаяния на сток ($r = 0,46-0,56$) и смыв ($r = 0,39-0,79$), имеющую среднюю силу связи (Рисунок 10).

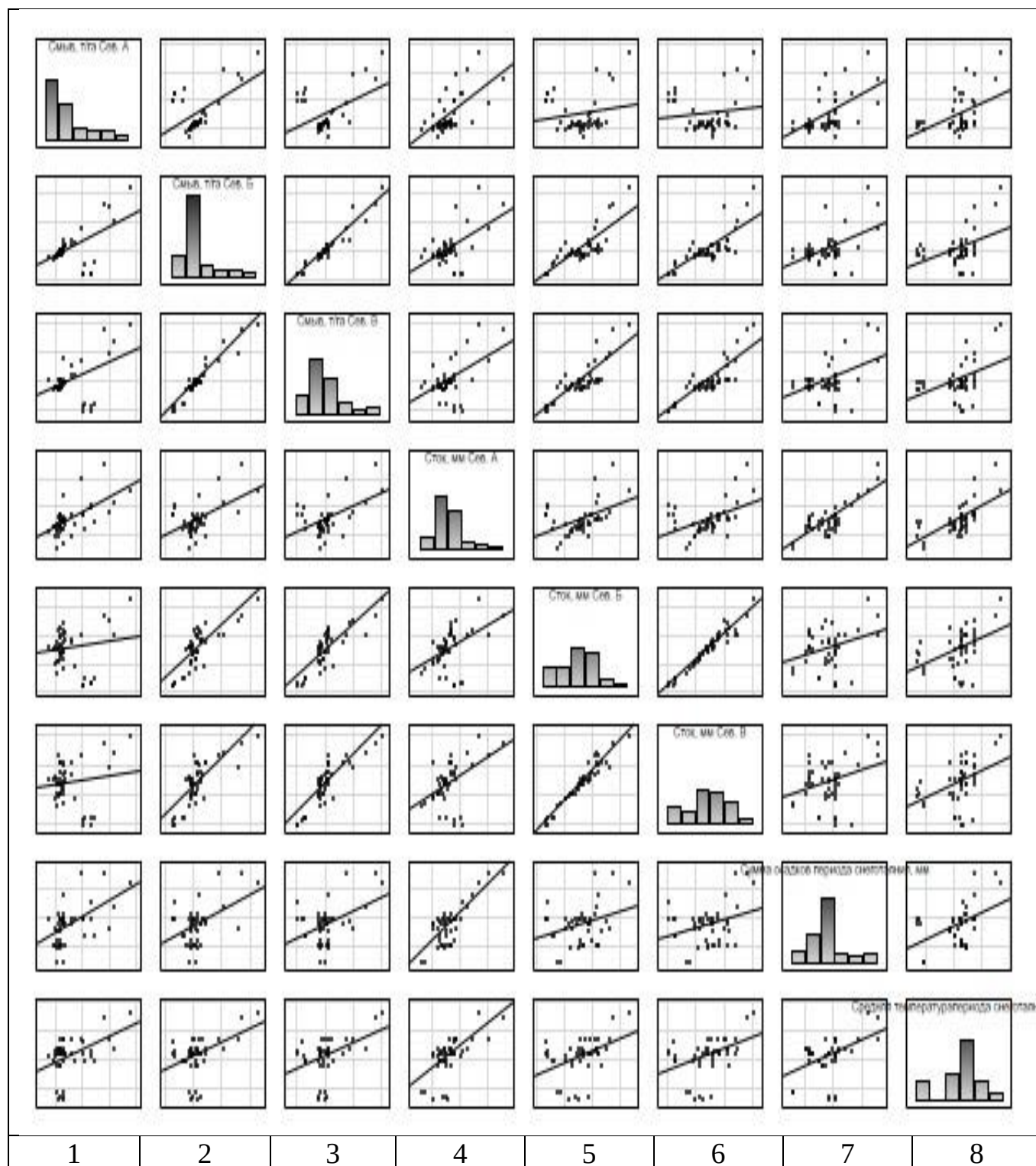


Рисунок 10 – Матричный график зависимости смыва почвы, т/га в севооборотах А, Б, В, (1,2,3); от стока воды, мм в севооборотах А, Б, В, (4,5,6); от сумма осадков периода снеготаяния, мм (7) и средней температуры периода снеготаяния, °С (8), 1990-2022 гг.

В этот период, по нашим исследованиям сумма, осадков колебалась в пределах от 2 до 105 мм, а среднесуточная температура была минимальная (минус 1,1 °С), а

максимальная $+4,7^{\circ}\text{C}$. При этих условиях сток и смыв изменялся от 1,0 мм до 44,8 мм и 0,4 т/га до 13,8 т/га соответственно (Рисунок 11).

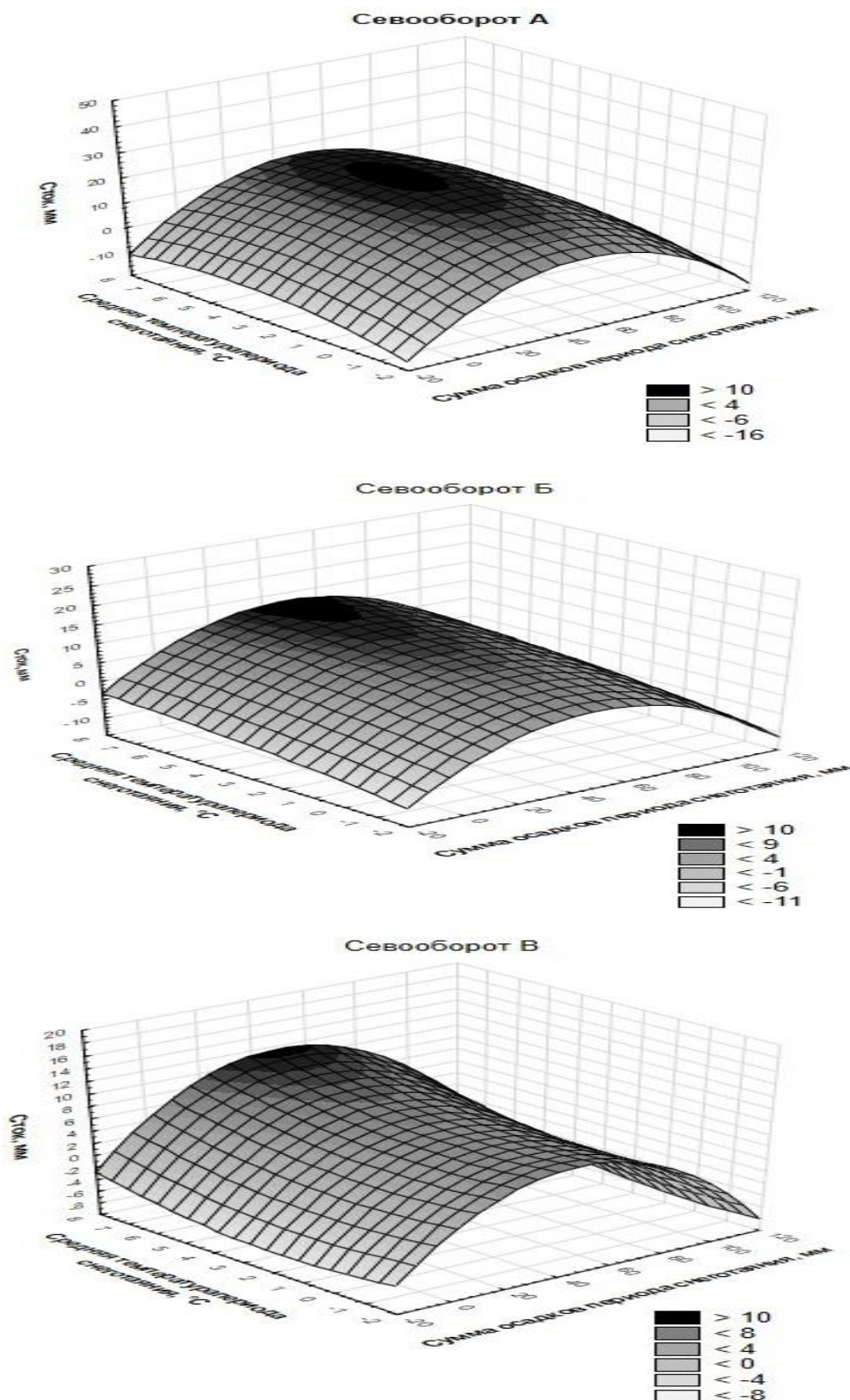


Рисунок 11 – Зависимость стока (мм) от средней температуры периода снеготаяния ($^{\circ}\text{C}$) и суммы осадков периода снеготаяния (мм) в севооборотах различной конструкции, 1990-2022 гг.

В результате анализа были выявлены следующие закономерности: при увеличении количества осадков периода снеготаяния с 45-60 мм до 50-70 мм и увеличении значений средней температуры периода снеготаяния сток увеличивается в почвозащитных севооборотах. Если в севообороте с 20 % чистого пара в среднем сток составляет 15-20 мм при температуре 1,5-2 °С, то с увеличением доли многолетних трав интенсивный сток начинается при значениях средней температуры периода снеготаяния на 2-4 °С выше. В севообороте с 20 % многолетних трав максимальный сток (10-15 мм) отмечается при температуре 3-4 °С, а в севообороте с 40 % многолетних трав сток не превышает 12 мм при температуре 5-6 °С.

Смыв почвы также зависит от осадков периода снеготаяния и от стока талых вод (Гаевая и Безуглова, 2024). Построенные зависимости подтверждают ранее сделанный вывод, что с увеличением доли многолетних трав в севооборотах уменьшается смыв почв от 14 до 8 т/га. В севообороте с 20 % чистого пара максимальный смыв почвы 14 т/га отмечался при стоке 50 мм, однако ($r = 0,65-0,84$), сумма осадков периода снеготаяния оказывает меньшее влияние, чем температура ($r = 0,39-0,79$). По расчетным данным, смыв почвы отмечается при осадках 20 мм. По-видимому, в этом случае на показатель смыва почвы оказывает влияние и запас воды в снеге (Рисунок 12).

В севооборотах с долей многолетних трав 20-40 % отмечена прямая зависимость смыва почвы от стока и суммы осадков периода снеготаяния (Гаевая и Безуглова, 2024). Максимальный смыв почвы в почвозащитных севооборотах составляет 8-10 т/га при стоке 20-28 мм и сумме осадков периода снеготаяния 20-60 мм. Поэтому в севооборотах с 20-40 % многолетних трав с увеличением суммы осадков периода снеготаяния и стока талых вод увеличивается смыв почвы.

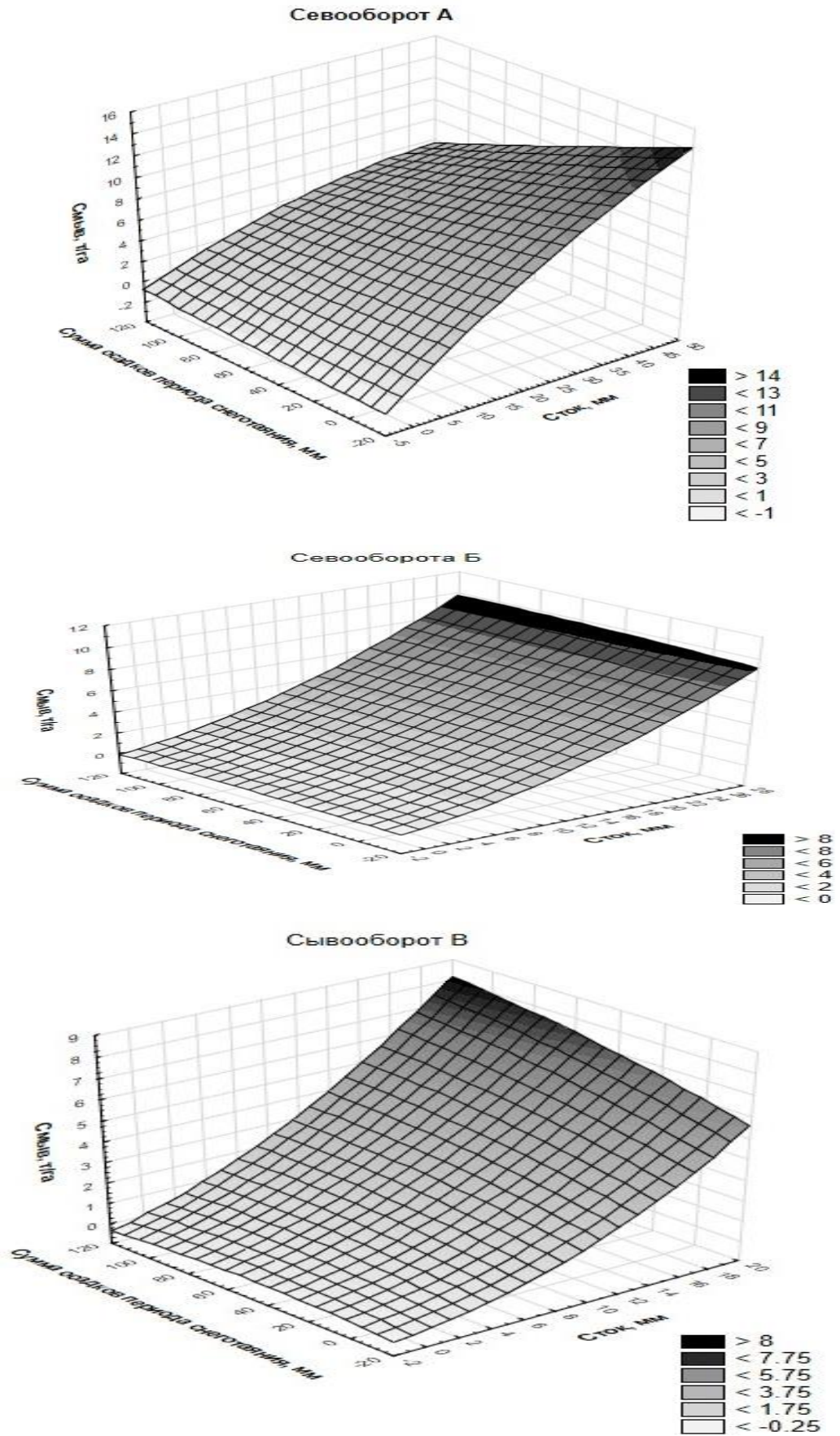


Рисунок 12 – Зависимость смыва почву (т/га) от средней температуры (°C) и суммы осадков периода снеготаяния (мм) в севооборотах различной конструкции, 1990-2022 гг.

Таким образом, в результате проведенного математического анализа выявлена тесная зависимость между стоком талых и ливневых вод и смывом почвы, описываемая в 78,2-89,5% случаев изменчивости. При увеличении стока воды на 1 мм увеличивается смыв почвы на 0,11-0,13 т/га при чизельной обработке почвы и на 0,14-0,27 т/га – при отвальной. В почвозащитных севооборотах при увеличении количества осадков и увеличении значений средней температуры периода снеготаяния сток талых вод увеличивается, смыв почвы увеличивается с возрастанием суммы осадков периода снеготаяния и стока талых вод.

4 ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ НА ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ СКЛОНАХ ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ СРЕДНЕЭРОДИРОВАННЫХ

4.1 Прогноз стока талых и ливневых вод

Повсеместное распространение в последние десятилетия процессов деградации вынуждает использовать современные методы моделирования и прогнозирования эрозионных процессов. В результате составления долгосрочных прогнозов можно своевременно проводить комплекс предупредительных мероприятий по защите земель сельскохозяйственного назначения от эрозии, планировать систему лесомелиоративных и агротехнических почвозащитных мероприятий; оптимизировать организацию системы землепользования (Гаевая и Безуглова, 2024); Фетюхин и Черненко, 2018).

Поэтому нами был составлен долгосрочный прогноз развития эрозионных процессов с использованием автоматизированных нейронных сетей. В результате проведения анализа показателей стока талых и ливневых вод в севооборотах различных конструкций с 1990 по 2022 гг. были построены и отобраны три автоматизированные нейронные сети с наилучшими статистическими параметрами. Одним из критериев оценки качества построенных сетей был визуальный анализ диаграммы рассеяния фактических и предсказанных значений стока талых и ливневых вод. На диаграмме видно, что большинство значений находятся близко или непосредственно на линии тренда, а полученные значения (на диаграмме обозначены как «Выход») имеют прямую и большую тесноту связи с фактическими значениями (Целевая), поэтому выбранные три нейронные сети могут быть использованы для построения долгосрочного прогноза (Гаевая и Безуглова, 2024) (Приложение А8).

Статистические параметры построенных нейронных сетей представлены в Приложении А7. Архитектура нейронной сети – многослойный персептрон (MLP), имеющий 32 входных нейрона, от 2 до 6 нейронов на внутреннем слое и 1

нейрон на выходе. В дальнейшем все нейронные сети будут построены по этому принципу. Высокие коэффициенты корреляции производительности обучения (0,99) и низкие ошибки (0,01-0,08) подтверждают хорошее качество построенных нейронных сетей (Гаевая и Безуглова, 2024).

Контрольная производительность показывает тесноту связи полученных и фактических значений. Чем меньше разница между производительностью обучения и контрольной производительностью, тем построенная сеть лучше работает или точнее дает предсказания. Для севооборота «А» контрольная производительность несколько занижена (0,42-0,46) по сравнению с результатами, полученными для севооборотов «Б» и «В» (0,60-0,66), но в севообороте «А» и разброс исходных значений был достаточно велик (7,1-44,8). Подробный анализ был проведен в Главе 1.

На рисунке 13 представлен долгосрочный прогноз стока талых и ливневых вод на 100 лет. Из проекции временного ряда видно, что наибольшая частота проявления стока талых и ливневых вод отмечена в севообороте «А», имеющим в структуре посевных площадей 20% чистого пара. С введением в севооборот многолетних трав с долей в структуре посевных площадей от 20 до 40% частота проявления и интенсивность стока сокращается.

Анализ предсказанных значений стока, сделанный при помощи нейросетевого прогноза, подтвердил эту тенденцию. В севообороте «А» разброс фактических значений стока за весь период наблюдений колебался в пределах 7,1-44,8 мм. В результате проведенного анализа получены предсказанные значения стока (0,2-30,5 мм), что меньше на 31,9-83,3% фактических результатов (Гаевая и Безуглова, 2024).

Можно предположить, что при существующих условиях сток талых и ливневых вод в севообороте «А» сократится на треть, а в севооборотах с 20 и 40 % многолетних трав в структуре посевных площадей на 22,9 и 24,9% соответственно (с 17,9-25,3 мм до 13,1-19,0 мм) (Гаевая и Безуглова, 2024) (Таблица 12).

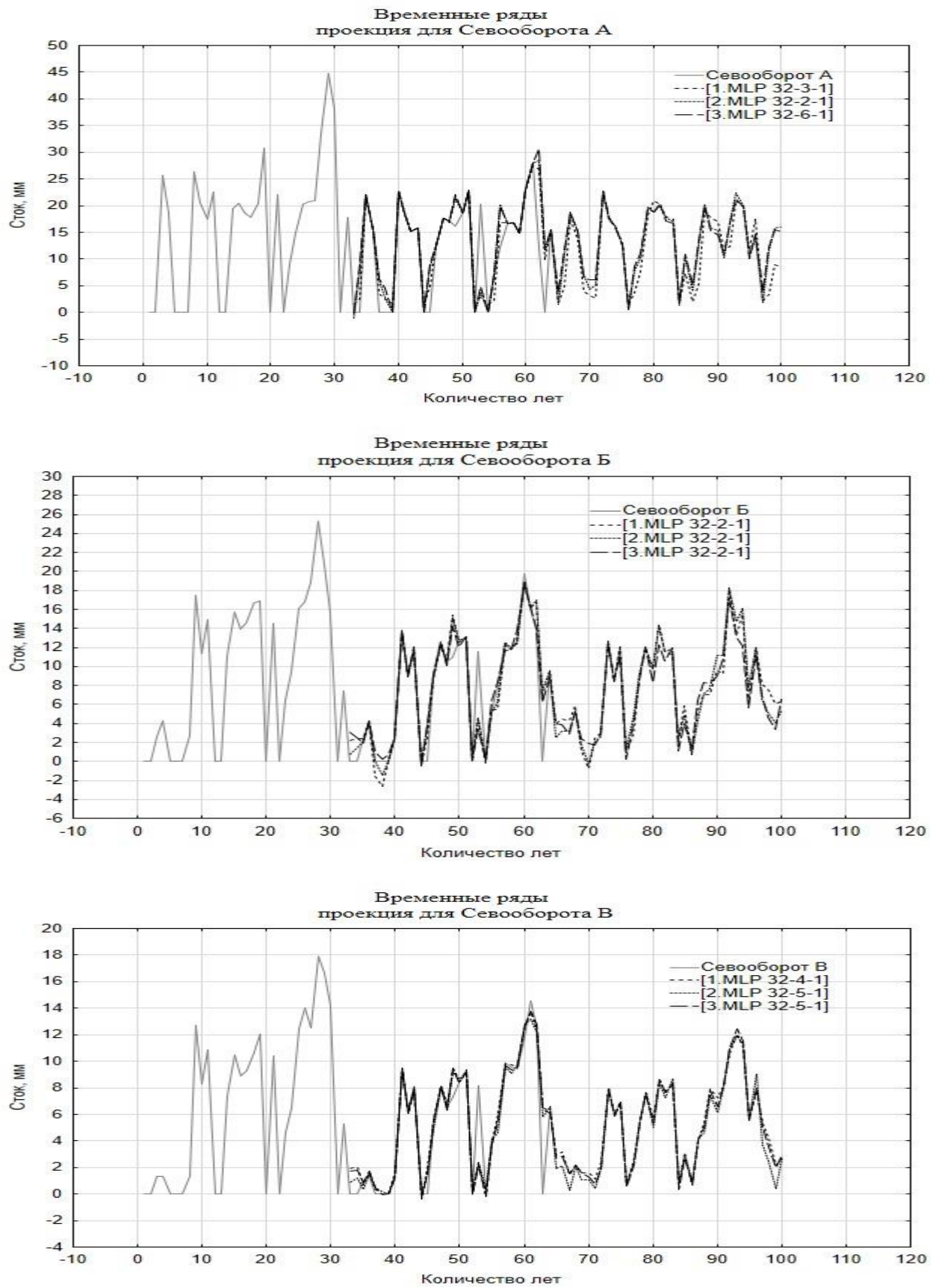


Рисунок 13 – Проекция временного ряда до 2122 года для стока талых и ливневых вод в севооборотах различных конструкций, мм.

Таблица 12 – Фактические и предсказанные значения стока талых и ливневых вод в севооборотах различных конструкций, мм

Показатель	Фактическое значение	Предсказанное значение		
		MLP 32-3-1	MLP 32-2-1	MLP 32-6-1
Севооборот «А»				
Min-Max	7,1-44,8	1,5-27,5	1,2-28,5	0,2-30,5
Среднее	20,0	13,7	13,7	13,7
Севооборот «Б»				
		MLP 32-2-1	MLP 32-2-1	MLP 32-2-1
Min-Max	2,3-25,3	2,7-19,0	1,5-18,9	0,5-18,6
Среднее	11,9	8,2	8,2	8,2
Севооборот «В»				
		MLP 32-4-1	MLP 32-5-1	MLP 32-5-1
Min-Max	1,0-17,9	0,4-13,7	0,1-13,1	0,3-13,8
Среднее	8,5	5,8	5,8	5,8

Большое значение для сокращения процессов эрозии имеет выбор агротехнологии возделывания культур. Нами были проанализированы две агротехнологии с использованием отвальной вспашки и почвозащитной (чизельной) обработкой почвы. На основе фактических данных стока талых и ливневых вод были построены нейронные сети для двух обработок почвы. Полученные значения имеют большую тесноту связи с фактическими результатами стока талых и ливневых вод по различным обработкам почвы (Приложение А8).

На основе статистических параметров были отобраны по три нейронные сети для каждой обработки почвы. Полученные нейронные сети характеризуются высокой степенью производительности (0,74-0,98) и низкими ошибками (0,03-2,49). Одним из важных факторов оценки качества построенной нейронной сети является небольшая разница между производительностью обучения (0,98) и контрольной производительностью (0,74-0,76), используемой для проверки качества работы сети (Приложение А8).

Анализ временных рядов, построенных для стока талых и ливневых вод в зависимости от используемых агротехнологий, выявил общую тенденцию для применяемых обработок почвы. Временной ряд полученных значений за продолжительный период имеет тенденцию к затуханию, но с различной степенью интенсивности (Гаевая и Безуглова, 2024) (Рисунок 14).

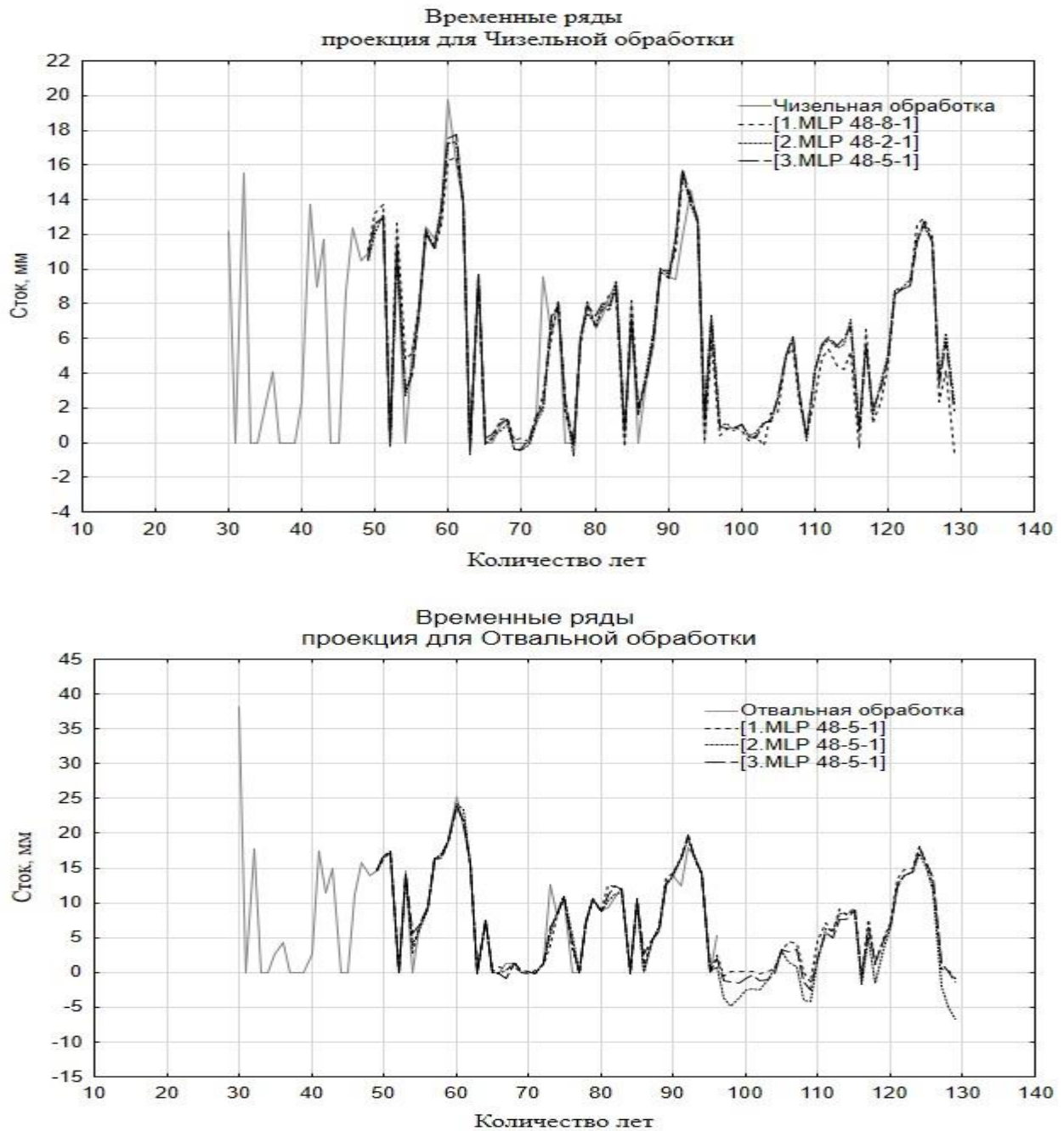


Рисунок 14 – Проекция временного ряда до 2122 года данных стока талых и ливневых вод при использовании различных агротехнологий, мм

Приведенные на рисунке тенденции подтверждают полученные предсказанные значения. Процессы эрозии, вызванные стоком талых и ливневых вод, стремятся к минимальным значениям (0,1-0,72 мм), с отдельными «пиками» максимальных значений (17,8-24,2 мм) с большими значениями по отвальной обработке почвы (Таблица 13).

Применение почвозащитной обработки для снижения процессов эрозии позволит в течение длительного периода сокращает сток с 28,0 мм до 0,28-17,8 мм (39,2-72,0%). При использовании отвальной обработки почвы получены значительные фактические величины стока воды (44,8 мм), а прогноз до 2122 года предсказывает сокращение процессов эрозии в два раза, а возможно, и полное прекращение процессов деградации (0,1-24,2 мм или 90,0-45,9%) (Гаевая и Безуглова, 2024).

Таблица 13 – Фактические и предсказанные значения стока талых и ливневых вод при использовании различных агротехнологий, мм

Показатель	Фактическое значение	Предсказанное значение		
		MLP 48-8-1	MLP 48-2-1	MLP 48-5-1
Чизельная обработка				
Min-Max	1,0-28,0	0,28-16,4	0,73-17,3	0,42-17,8
Среднее	11,9	8,0	8,0	8,0
Отвальная обработка				
		MLP 48-5-1	MLP 48-5-1	MLP 48-5-1
Min-Max	1,0-44,8	0,2-24,0	0,1-24,2	0,8-24,0
Среднее	15,4	9,5	9,5	9,9

Таким образом, составленный прогноз с использованием автоматизированной нейронной сети выявил общую тенденцию затухания процессов эрозии на склонах крутизной 3,5-4°, но с различной степенью интенсивности, как в севооборотах различной конструкции, так и при использовании различных агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур. Использование севооборотов с различной долей от 20 до 40% многолетних трав в структуре посевных площадей сокращает сток талых и ливневых вод на 22,9-24,9%, а в отдельных случаях полностью, при существующих условиях. Применение почвозащитной обработки сокращает сток талых и ливневых вод на 39,2-72,0%.

4. 2 Прогноз смыва почвы

Для составления прогноза смыва почвы с эрозионно-опасных склонов были также использованы автоматизированные нейронные сети. Анализ диаграммы

рассеяния выявил высокую тесноту связи между фактическими и предсказанными значениями смыва почвы в севооборотах различной конструкции. Все точки лежат на линии тренда или близко к ней (Гаевая и Безуглова, 2024).

Анализ статистических показателей построенных нейронных сетей выявил их высокую достоверность. Производительность обучения нейронных сетей была в пределах 0,98-0,99, ошибка составляла 0,001-0,008 и контрольная производительность – 0,70-0,88, а ошибка 0,10-1,72 (Гаевая и Безуглова, 2024) (Приложение А9).

В результате построения автоматизированных нейронных сетей были получены предсказанные значения смыва почвы и построены временные ряды на 100 лет для севооборотов (Гаевая, Безуглова, 2024) (Рисунок 15).

Из рисунков видно, что прогнозные значения смыва почвы временного ряда имеют тенденцию затухания во всех севооборотах, но в разной степени. В севообороте «А», имеющем в структуре посевов поле чистого пара в доле 20 %, остается высокая частота проявления процессов эрозии в проекции на длительный период, хотя количество смытой почвы за продолжительный период уменьшается на 17,6 % (0,01-10,8 т/га), по сравнению с фактическими значениями (2,5-13,1 т/га) (Таблица 14).

Аналогичная тенденция наблюдается и в севооборотах с различной долей многолетних трав. В севообороте «Б» с 20 % многолетних трав предсказанные значения (0,56-7,07 т/га) были меньше на 28,6 %, чем фактические (0,7–9,6 т/га). В севообороте «В» с 40 % многолетних трав смыв почвы сократится с 6,8 т/га до 5,5 т/га или на 26,4 % (Гаевая и Безуглова, 2024).

Все три построенные сети имеют высокую точность и дают прогноз, незначительно отличающийся между собой. В севообороте «А» предсказанные значения смыва почвы составляют 9,8 т/га, 10,8 т/га и 10,6 т/га, при незначительной ошибке. Аналогичная тенденция отмечена при составлении прогноза в севооборотах «Б» и «В» (7,0; 6,9; 7,1 т/га и 5,0; 5,4; 5,5 т/га соответственно). Если тренд в изменении климатических условий в течение длительного периода лет меняться не будет, и технологии возделывания сельскохозяйственных культур останутся

неизменными, то можно предположить, что процессы деградации будут менее интенсивными.

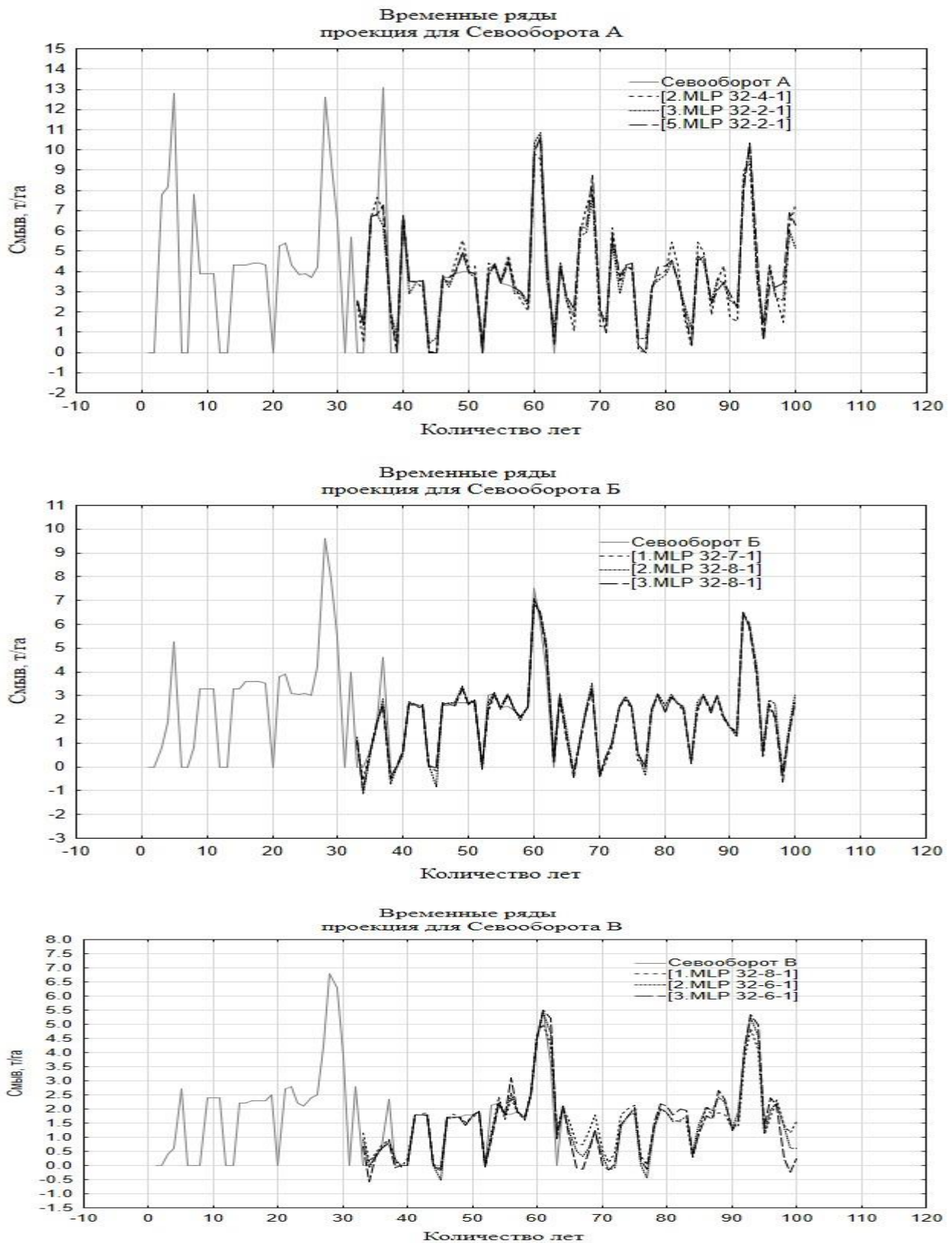


Рисунок 15 – Проекция временного ряда до 2122 года для смыва почвы в севооборотах различных конструкций, т/га

Таблица 14 – Фактические и предсказанные значения смыва почвы в севооборотах различных конструкций, т/га

Показатель	Фактическое значение	Предсказанное значение		
		MLP 32-4-1	MLP 32-2-1	MLP 32-2-1
Севооборот «А»				
Min-Max	2,5-13,1	0,01-9,8	0,45-10,8	0,03-10,6
Среднее	5,4	4,1	4,1	4,1
Севооборот «Б»				
		MLP 32-7-1	MLP 32-8-1	MLP 32-8-1
Min-Max	0,7-9,6	0,57-7,0	1,16-6,9	0,98-7,1
Среднее	3,4	2,5	2,5	2,5
Севооборот «В»				
		MLP 32-8-1	MLP 32-6-1	MLP 32-6-1
Min-Max	0,1-6,8	0,1-5,0	0,5-5,4	0,6-5,5
Среднее	2,4	1,8	1,8	1,8

Сравнительный анализ осредненных показателей аридности территории показал увеличение степени засушливости климата. Количество осадков уменьшилось, одновременно возросла испаряемость, при этом дефицит увлажнения увеличился. Основные параметры, характеризующие процесс аридизации климата, также изменились в сторону увеличения: индекс аридности повысился, а коэффициент увлажнения снизился (Безуглова и др., 2022).

Большое значение для предотвращения смыва имеет прием основной обработки почвы, поэтому нами сделан прогноз, позволяющий оценить развитие процессов эрозии в течение длительного срока при использовании различных агротехнологий. Как и предыдущие нейронные сети, вновь построенные были оценены на основе статистических показателей, диаграммы рассеяния и диаграммы нормального распределения остатков. На диаграммах рассеивания все точки приблизительно расположены на прямой, поэтому можно говорить о достаточно хорошем качестве построенных моделей нейронных сетей.

Статистические параметры построенных нейронных сетей имеют значимые коэффициенты корреляции производительности обучения и контрольной производительности, что подтверждает высокую сходимость фактических и предсказанных результатов. Производительность обучения для полученных нейронных сетей была 0,96, а контрольная производительность, используемая для проверки

полученных результатов – 0,83-0,85, при минимальных ошибках 0,019-0,023 (Рисунок 16, Приложение А10).

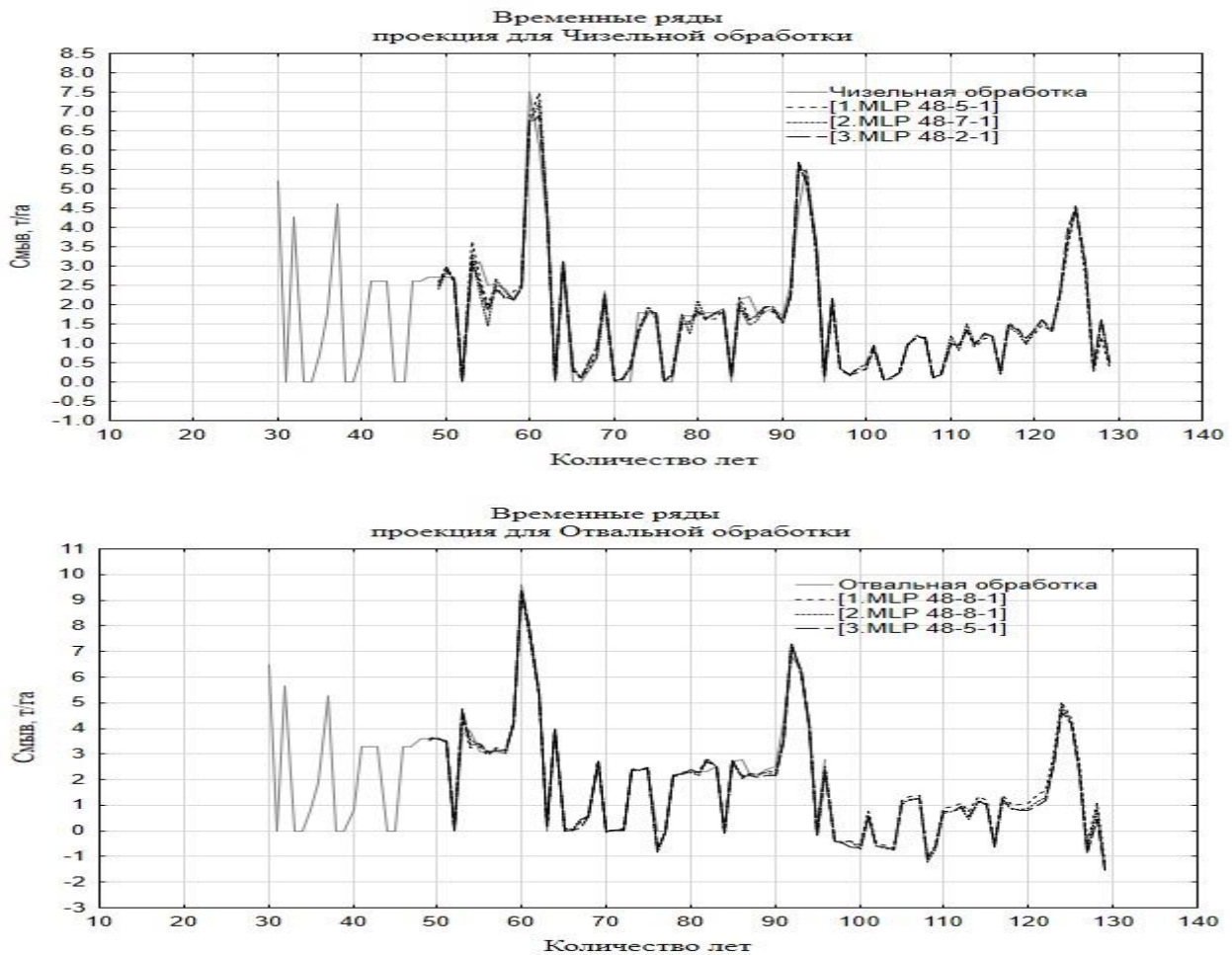


Рисунок 16 – Проекция временного ряда до 2122 года данных смыва почвы при использовании различных агротехнологий, т/га

На основании полученного прогноза смыва при использовании различных систем обработки почвы были построены временные ряды до 2122 года для чизельной и отвальной обработки почвы. На диаграммах видна общая тенденция снижения частоты и интенсивности смыва почвы, но в разной степени (Гаевая и Безуглова, 2024).

Фактический смыв почвы при использовании чизельной обработки почвы достигал 12,8 т/га. Построенные нейронные сети предсказали значения почти в два раза меньше фактических (6,9-7,5 т/га или 41,5%). Фактический смыв почвы по отвальной обработке достигал 13,1 т/га, а предсказанные максимальные значе-

ния – 9,3-9,4 т/га или на 28,2 % смыв уменьшится за длительный срок (Таблица 15) (Гаевая и Безуглова, 2024).

Таблица 15 – Фактические и предсказанные значения смыва почвы при использовании различных агротехнологий, т/га

Показатель	Фактическое значение	Предсказанное значение		
		MLP 48-2-1	MLP 48-7-1	MLP 48-5-1
Чизельная обработка				
Минимальные значения, т/га	0,1-12,8	0,03-6,9	0,01-7,2	0,03-7,5
Максимальные значения, т/га	3,3	2,5	2,5	2,5
Отвальная обработка				
		MLP 48-8-1	MLP 48-8-1	MLP 48-5-1
Минимальные значения, т/га	0,3-13,1	0,74-9,3	0,83-9,4	0,72-9,3
Максимальные значения, т/га	4,0	3,1	3,1	3,1

Таким образом, полученный прогноз с использованием нейронных сетей выявил общую тенденцию сокращения смыва почвы, введение в севообороты от 20 до 40 % многолетних трав позволяет сократить смыв почвы на 26,4-28,6 %, а в отдельные годы полностью, при складывающихся условиях. Применение почво-защитной обработки сократит смыв на 41,5 %.

5 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗВИТИЕ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

5.1 Динамика агрофизических показателей в зависимости от предшественников

Одним из основных показателей агрофизической оценки севооборотного поля является структурное состояние почвы. Определение структурообразующей способности почвы как способности образовать агрегаты из механических элементов изложено в работах А.Н. Качинского (1963). Совокупность этих агрегатов, различных по величине, форме и водоустойчивости, является структурой почвы. Оптимальное соотношение различных по размеру почвенных агрегатов обеспечивает лучшее накопление и сохранение влаги, лучшее прорастание семян полевых культур, растения формируют благоприятную для развития корневую систему (Вошедский и др., 2020). Оптимальная почвенная структура обеспечивает лучшую аэрацию корнеобитаемых слоев почвы, предотвращает излишки физического испарения и создает условия мобилизации элементов питания растений в доступные формы.

Оптимальное соотношение почвенных агрегатов, различных по размеру, массе и водоустойчивости называется оптимальной структурой почвы. Наряду с другими факторами структурное состояние почвы складывается в результате различных технологий ее обработки (Бойцова, 2017)

Известно, что наиболее ценная структурная часть почвы ограничена размерами фракций 0,25-10 мм. Оптимальное структурное состояние складывается при 70-80 % агрономически ценных механически прочных агрегатов. В течение вегетации их количество образуется за счет сокращения пылевидной фракции и в результате разрушения крупных глыб. Любой вид обработки почвы изменяет ее структурное состояние в направлении увеличения пылевидной фракции (Гаевая, 2024; Gaevaya et al., 2022; Gaevaya & Bezuglova, 2025).

Особый интерес представляет оструктуренность пахотного слоя почвы в зависимости от предшественника и способов обработки почвы. Поэтому для сравнения был проведен анализ структурно агрегатного состава почвы под лесной полосой в слое 0-30 см, посаженной в 1976 г., и с этого момента почва под ней не подвергалась обработке сельскохозяйственными орудиями. В результате просеивания почвы на воздухе было выявлено, что количество агрегатов крупно глыбистой фракции размером >10 мм (5,8 %) и пыли $<0,25$ мм (5,2 %) практически одинаково. Наибольшее процентное содержание агрегатов в почве под лесной полосой отмечено во фракциях размером 3-5 мм, 2-3 мм и 1-2 мм (12,3-21,2 %), что является показателем хорошей оструктуренности (Безуглова и др, 2024) (Рисунок 17; Приложение A11).

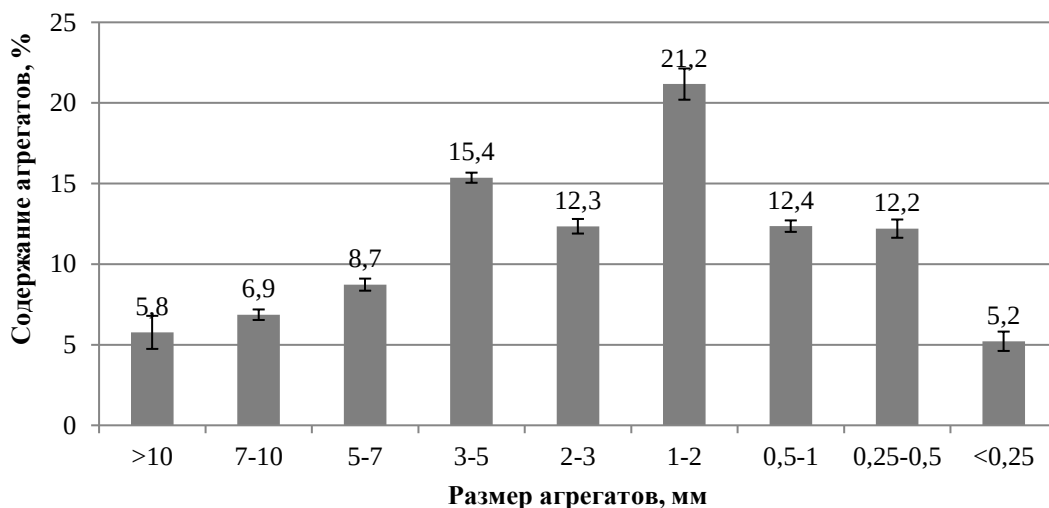


Рисунок 17 – Динамика структурно-агрегатного состава почвы (просеивание на воздухе) в слое почвы 0-30 см под стокорегулирующей лесной полосой, %, среднее 2021, 2023 гг.

В результате длительного сельскохозяйственного использования черноземов обыкновенных изменяется структурное состояние агрочерноземов. Наблюдения проводили в течение пяти ротаций. Первый отбор проб почвы проводили в конце II-й ротации пятипольного севооборота в чистом пару, по озимой пшенице, посеянной по чистому пару, и по озимой пшенице по предшественнику кукуруза, а также под многолетними травами (Гаевая и др., 2022а). По пришествию VII-й ро-

тации также были отобраны пробы по этим же предшественникам. Исследования агрегатного состава в агрочерноземах проводили в варианте опыта внесения доз удобрений, рекомендованных в зональной системе ведения сельского хозяйства (1-й уровень применения удобрений) и на контрольном варианте – отвальной обработки почвы.

Количество почвенных агрегатов фракции >10 мм уменьшилось за 5 ротаций севооборота более чем в два раза. Так, к концу второй ротации севооборотов содержание крупноглыбистых агрегатов колебалось в пределах от 20,9 до 22,7 %, а к концу седьмой ротации их количество уменьшилось до 7,1-8,9 % по чистому пару и озимой пшенице по различным предшественникам ($p < 0,05$) (Гаевая и др., 2022а) (Рисунок 18; Приложение A12-A17).

В посевах многолетних трав по отвальной обработке почвы количество крупноглыбистых фракций за пять ротаций наоборот незначительно увеличилось, с 6,9 до 8,3 %, но эти изменения были в пределах ошибки опыта ($p > 0,05$). Эти изменения произошли за счет увеличения вклада агрономически ценных фракций более мелкого размера 7-10; 5-7 ($p < 0,05$); 3-5 и 2-3 мм ($p > 0,05$) (Приложения A18-A21) (Гаевая и др., 2022а).

Одновременно наблюдается значимое увеличение доли пылеватой фракции ($<0,25$ мм) за пять ротаций севооборотов с 9,1 до 20,0 % ($p < 0,05$). Столь значительные изменения объясняются тем, что на старопахотной почве систематическая механическая обработка отвальным плугом на протяжении длительного времени приводит к разрушению агрегатов до пылевидной фракции. Плуг не только оказывает механическое воздействие на почву, но также переворачивает пласт и заделывает растительные остатки, которые в последующем подвергаются процессам минерализации.

Одновременно с физическими процессами в почве наблюдался вынос органического вещества сельскохозяйственной продукцией, а также отмечены потери с твердым стоком (Гаевая и др., 2022а; Когут и др., 2011; Ларионов и др., 2018).

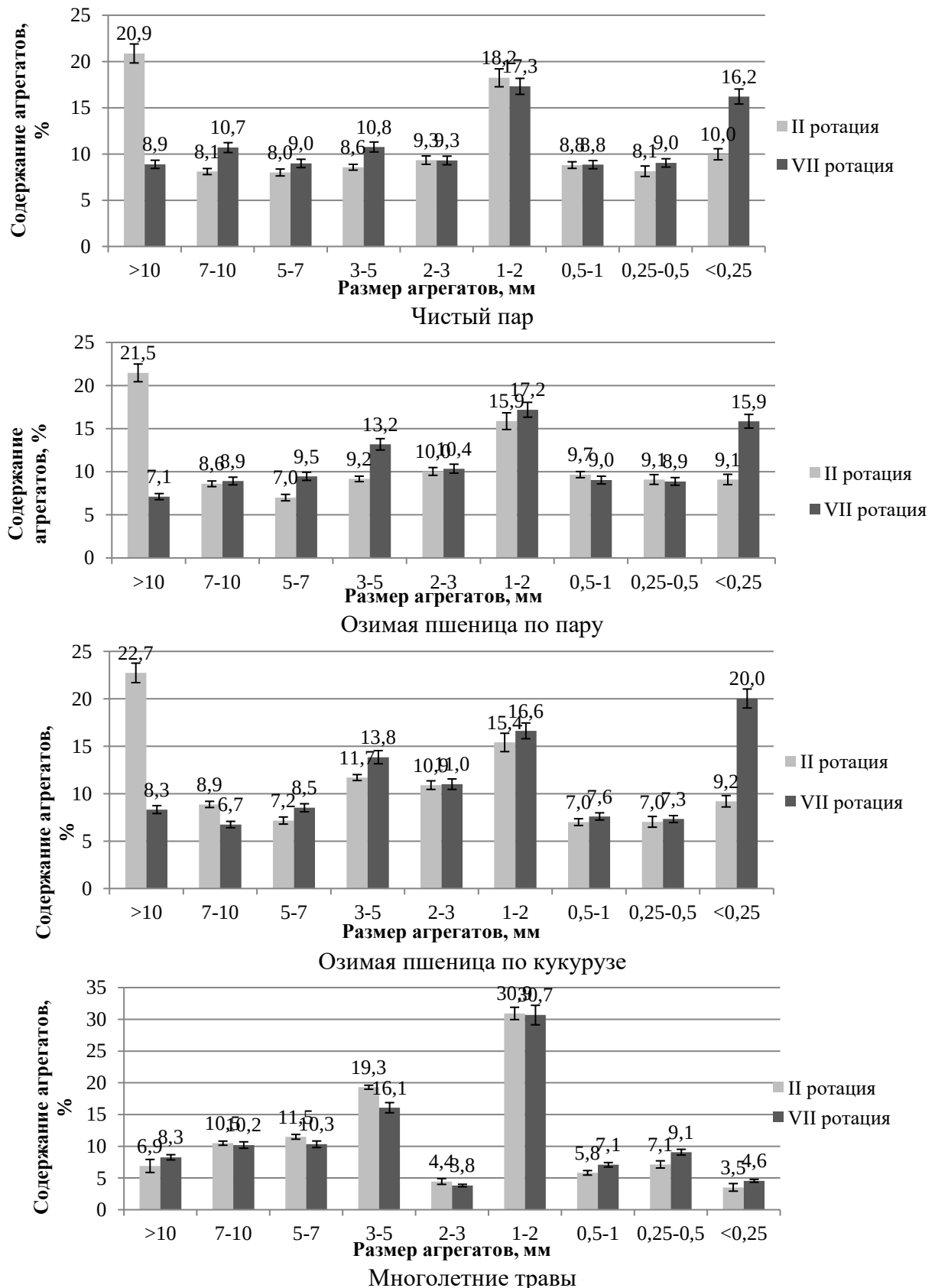


Рисунок 18 – Динамика структурно-агрегатного состава почвы (просеивание на воздухе) в слое почвы 0-30 см в конце второй (II) и в конце седьмой (VII) ротации севооборотов в чистом пару, под озимой пшеницей по предшественнику чистый пар; под озимой пшеницей по предшественнику кукуруза и многолетним травам, %, 1990-2021 гг.

По данным Семенова В.М. с соавт. (2020) органическое вещество почвы участвует в образовании мега-, макро- и микроагрегатов, а уменьшение его приводит к разрушению структуры почвы.

Количество фракции $<0,25$ мм в посевах многолетних трав за длительный срок наблюдений изменяется в пределах ошибки (на 3,5-4,6%) ($p>0,05$) (Приложения А19-А22). Столь устойчивая структура почвенных агрегатов объясняется благоприятным воздействием многолетних трав: длительное размещение на одном месте выводного поля, поступление в почву значительного количества растительных остатков, сокращение стока и смыва за счет наличия растительных остатков в течение всего периода использования сельскохозяйственной культуры – в этом проявляется почвозащитная роль многолетних трав.

Как было отмечено выше, в течение пяти ротаций произошло уменьшение количества фракций диаметром >10 мм, соответственно $K_{стр}$ в чистом пару и под озимой пшеницей по разным предшественникам увеличился с 2,1 до 3,4. При такой тенденции средневзвешенный диаметр агрегатов уменьшился с 4,4-4,7 до 3,2-3,5. В то же время общее количество агрономически ценных агрегатов за 5 ротаций увеличилось с 68,1-69,4 до 71,6-77,0 %. По этому показателю агрономическая оценка структурно-агрегатного состава почвы классифицируется как хорошая (Таблица 16) (Гаевая и др., 2022а).

Таблица 16 – Динамика агрономически ценных агрегатов, коэффициента структурности и средневзвешенных диаметров агрегатов (СВД) в зависимости от предшественника в конце второй (II) и седьмой (VII) ротации севооборотов, 1990-2021 гг.

Агрофон	Количество агрономически ценных агрегатов, %		$K_{стр}$		СВД, мм	
	II	VII	II	VII	II	VII
Чистый пар	69,2	74,9	2,2	2,9	4,4	3,5
Озимая по пару	69,4	77,0	2,3	3,4	4,5	3,3
Озимая по кукурузе	68,1	71,6	2,1	2,5	4,7	3,2
Многолетние травы	89,6	87,2	8,6	6,8	3,8	3,7
Лесная полоса	-	89,0	-	8,1	-	3,1

Обращает на себя внимание хорошая оструктуренность под посевами многолетних трав. Количество агрономически ценных агрегатов за пять ротаций изменилось незначительно 89,6%-87,2%, при этом $K_{стр}$ был в пределах 8,6-6,8, что выше в 2-4 раза, чем в чистом пару и под озимой пшеницей. Средневзвешенный диаметр агрегатов под посевами многолетних трав также практически не изменился за длительный срок (3,8-3,7 мм).

При проведении сравнительного анализа показателей структурно-агрегатного состава агроценозов и почвы под лесной полосой, было выявлено, что почва под многолетними травами по своим физическим свойствам близка к почве под лесной полосой. Количество агрономически ценных агрегатов под посевами озимой пшеницы находится в пределах от 71,6 до 77,0 %, то под многолетними травами 87,2 %, а под лесной полосой 89,0 %. Коэффициент структурности под лесной полосой больше чем под озимой пшеницей в 2,5-3 раза, а по сравнению с многолетними травами он близок по значениям (6,8 и 8,1).

Такая структура почвы позволяет пропускать воду и воздух и обеспечивает корни водой и питательными веществами. Оструктуренная почва в результате более активных биологических процессов обладает большими запасами элементов питания (Ширяева и др., 2018). Поэтому севообороты с различным набором культур намного эффективнее, чем бессменные посевы в восстановлении структуры почвы, в частности крупных макроагрегатов (Гаевая и др., 2022а; Nok et. al., 2021).

Таким образом, по принятой классификации структурное состояние чернозема обыкновенного по всем агрофонам характеризуется как хорошее. Содержание глыбистых агрегатов за пять ротаций в чистом пару и под озимой пшеницей уменьшилось с 20,9-22,7% до 7,1-8,9% преимущественно за счет увеличения доли пылеватой фракции с 9,1 до 20,0 %. Агрочернозем под многолетними травами имеет хорошую оструктуренность, количество агрономически ценных агрегатов за пять ротаций изменилось незначительно (89,6%→87,2%). В чистом пару и под посевами озимой пшеницы количество агрономически ценных агрегатов при просеивании на воздухе и $K_{стр}$ (2,1-3,4) увеличился при одновременном уменьшении

средневзвешенного диаметра агрегатов. Структура почвы под посевами многолетних трав и под лесной полосой была наиболее оструктурена по сравнению с агрочерноземами, а все изучаемые показатели были наиболее высокими, по сравнению с другими агрофонами.

5. 2 Динамика агрофизических показателей в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур

Чизельная обработка почвы воздействуют на почву менее интенсивно, чем отвальная. Однако различия между влиянием различных систем обработки почвы выявлены. Количество агрегатов более 10 мм в чистом пару и под посевами озимой пшеницы в вариантах чизельной обработки почвы в конце 2-й ротации севооборотов было выше на 1,9-11,2 % относительных процента ($p < 0,05$), чем при использовании отвальной. К концу седьмой ротации количество крупно-глыбистых агрегатов сократилось в два и более раза с 23,2 до 10,8 % в чистом пару, и с 23,2 до 7,8 % в посевах озимой пшеницы ($p < 0,05$). В посевах многолетних трав количество крупно-глыбистой фракции в конце второй ротации севооборотов при использовании чизельной обработки почвы составляло 11,0 % или было в два раза больше (на 59,9 %), чем в варианте с отвальной обработкой. Меньшее воздействие почвозащитной обработки почвы обусловило значительно более высокое содержание глыбистых агрегатов в почве по сравнению с вариантом по отвальной обработке. Длительное применение чизельной обработки почвы под многолетние травы не отразилось на содержании количества крупно- глыбистых агрегатов (10,9 %) (Гаевая и др., 2022а) (Таблица 17).

Количество мезоагрегатов при использовании чизельной обработки почвы в чистом пару и под озимой пшеницы было больше, чем при применении отвальной, как в конце второй ротации, так и в конце седьмой ротации севооборотов (Гаевая, 2020; Гаевая и др., 2022а). С уменьшением размеров агрегатов (фракции 0,5-1 мм, 0,25-0,5 мм и $< 0,25$ мм) процентное содержание их в общем объеме почвы

уменьшалось на 5,6-37,8% относительных процента по сравнению с отвальной обработкой почвы.

Таблица 17 – Динамика структурно-агрегатного состава почвы (просеивание на воздухе) в слое почвы 0-30 см в конце второй (II) и в конце седьмой (VII) ротации севооборотов в зависимости от агротехнических приемов, %, 1990–2021 гг.

Агрофон	Ротация севооборота	Размер агрегатов, мм								
		>10	7-10	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	0,25-0,5	<0,25
Чистый пар	II	$\frac{23,2 \pm 1,1}{11,2}$	$\frac{9,4 \pm 0,4}{16,0}$	$\frac{7,9 \pm 0,5}{-1,3}$	$\frac{9,3 \pm 0,8}{8,6}$	$\frac{10,0 \pm 0,5}{7,1}$	$\frac{19,1 \pm 1,5}{4,6}$	$\frac{7,9 \pm 0,2}{-9,8}$	$\frac{7,0 \pm 0,5}{-13,9}$	$\frac{6,2 \pm 0,4}{-37,8}$
	VII	$\frac{10,8 \pm 0,2}{21,7}$	$\frac{11,7 \pm 1,2}{9,8}$	$\frac{9,8 \pm 0,8}{9,7}$	$\frac{11,5 \pm 1,0}{6,8}$	$\frac{9,3 \pm 1,0}{-0,4}$	$\frac{18,9 \pm 1,0}{9,3}$	$\frac{5,7 \pm 0,6}{-35,9}$	$\frac{7,0 \pm 0,8}{-22,8}$	$\frac{15,3 \pm 1,1}{-5,6}$
Оз. по пару	II	$\frac{22,6 \pm 1,3}{5,3}$	$\frac{9,7 \pm 0,5}{12,4}$	$\frac{7,3 \pm 0,5}{4,3}$	$\frac{10,2 \pm 0,5}{10,9}$	$\frac{10,3 \pm 0,4}{3,0}$	$\frac{17,5 \pm 1,3}{10,1}$	$\frac{7,3 \pm 0,3}{-24,1}$	$\frac{7,5 \pm 0,5}{-17,9}$	$\frac{7,7 \pm 0,8}{-15,8}$
	VII	$\frac{7,8 \pm 0,8}{10,0}$	$\frac{9,3 \pm 1,0}{4,6}$	$\frac{10,3 \pm 0,4}{8,5}$	$\frac{12,4 \pm 1,5}{-5,6}$	$\frac{11,4 \pm 0,9}{10,3}$	$\frac{18,8 \pm 0,6}{9,1}$	$\frac{8,1 \pm 1,2}{-10,8}$	$\frac{8,2 \pm 0,9}{-8,0}$	$\frac{13,7 \pm 1,2}{-13,3}$
Оз. по кукурузе	II	$\frac{23,2 \pm 1,2}{1,9}$	$\frac{10,3 \pm 0,6}{16,5}$	$\frac{8,1 \pm 0,4}{14,9}$	$\frac{12,4 \pm 0,9}{5,7}$	$\frac{10,8 \pm 0,5}{-0,9}$	$\frac{15,7 \pm 1,4}{1,7}$	$\frac{6,6 \pm 0,5}{2,9}$	$\frac{5,8 \pm 0,6}{-18,0}$	$\frac{6,9 \pm 0,6}{-25,4}$
	VII	$\frac{9,8 \pm 1,1}{-18,2}$	$\frac{8,2 \pm 0,9}{21,3}$	$\frac{9,4 \pm 1,2}{10,6}$	$\frac{14,8 \pm 1,2}{6,7}$	$\frac{11,8 \pm 1,5}{7,5}$	$\frac{17,7 \pm 1,3}{6,6}$	$\frac{5,5 \pm 0,9}{-28,1}$	$\frac{5,8 \pm 0,9}{-20,5}$	$\frac{17,0 \pm 1,7}{-15,2}$
Многол. травы	II	$\frac{11,0 \pm 1,2}{59,9}$	$\frac{13,8 \pm 1,3}{31,4}$	$\frac{12,6 \pm 1,1}{10,1}$	$\frac{17,8 \pm 0,9}{-7,8}$	$\frac{3,8 \pm 0,6}{-14,1}$	$\frac{27,2 \pm 1,2}{-12,0}$	$\frac{5,7 \pm 0,7}{-2,3}$	$\frac{5,7 \pm 0,4}{-20,5}$	$\frac{2,4 \pm 0,3}{-32,5}$
	VII	$\frac{10,9 \pm 0,9}{32,1}$	$\frac{12,7 \pm 0,7}{24,8}$	$\frac{11,4 \pm 0,5}{10,5}$	$\frac{16,5 \pm 1,2}{2,7}$	$\frac{3,5 \pm 0,2}{-7,1}$	$\frac{27,2 \pm 1,5}{-11,5}$	$\frac{5,7 \pm 0,8}{-19,5}$	$\frac{8,0 \pm 0,4}{-12,3}$	$\frac{4,1 \pm 0,5}{-9,1}$
Примечание: над чертой – абсолютное значение агрегатов в варианте чизельной обработки почвы; под чертой – относительной значение, по сравнению с вариантом отвальной обработки, (%).										

Количество пылевидной фракции (<0,25 мм) увеличилось за пять ротаций севооборота, так же, как и при использовании отвальной обработки почвы – с 6,2 до 15,3 % в чистом пару, и с 6,9-7,7 % до 13,7-17,0 % под озимой пшеницей за ($p < 0,05$). Применение чизельной обработки в течение длительного срока привело к сокращению доли фракции размером <0,25 мм в конце II-й ротации на 15,2-37,8 % и в конце VII-й на – 5,6-25,4 %. Наименьшее количество пылеватой фракции размером <0,25 мм было в посевах многолетних трав (2,4–4,1 %) ($p < 0,05$), по сравнению с чистым паром и озимой пшеницей, где обработка почвы проводится ежегодно и оказывает влияние на структурный состав почвы. Столь незначительное содержание пылеватых частиц подтверждает благотворное влияние на структуру почвы под многолетними травами почвозащитной обработки.

Анализ показателей динамики агрономически ценных агрегатов за длительный срок выявил преимущество чизельной обработки почвы как почвозащитной по сравнению с отвальной. Количественная оценка содержания агрономически ценных агрегатов в чистом пару и под озимой пшеницей показала, что почва при использовании чизельной обработки меньше подвержена разрушению на более мелкие частицы, чем при отвальной. Содержание количества агрономически ценных агрегатов в вариантах с чизельной обработкой больше, чем при использовании отвальной. Также увеличилось количество агрономически ценных агрегатов за пять ротаций севооборотов в чистом пару и под озимой пшеницей с 69,7-70,0 % до 73,2-78,4 % за счет уменьшения содержания крупноглыбистой фракции (Таблица 18.).

Таблица 18 – Динамика агрономически ценных агрегатов, коэффициент водопрочности и средневзвешенные диаметры водоустойчивых агрегатов (СВД) в слое почвы 0-30 см в зависимости от агротехнических приемов в конце первой (II) и седьмой (VII) ротации севооборотов, 1990-2021 гг.

Агрофон	Количество агрономически ценных агрегатов, %		К стр.		СВД, мм	
	II	IV	II	IV	II	IV
Чистый пар	<u>70,6</u> 2,1	<u>73,9</u> -1,3	<u>2,4</u> 7,0	<u>2,8</u> -5,2	<u>4,8</u> 9,1	<u>3,8</u> 10,7
Озимая по пару	<u>69,7</u> 0,4	<u>78,4</u> 1,8	<u>2,3</u> 1,4	<u>3,6</u> 8,4	<u>4,8</u> 6,2	<u>3,4</u> 5,2
Озимая по кукурузе	<u>70,0</u> 2,8	<u>73,2</u> 2,1	<u>2,3</u> 9,3	<u>2,7</u> 8,0	<u>5,0</u> 5,4	<u>3,6</u> 12,4
Многолетние травы	<u>86,6</u> -3,3	<u>85,0</u> -2,6	<u>6,5</u> -24,9	<u>5,6</u> -17,1	<u>4,4</u> 17,7	<u>4,2</u> 14,0
Примечание: над чертой – абсолютное значение агрегатов в варианте чизельной обработки почвы; под чертой – относительное значение, по сравнению с вариантом отвальной обработки, (%).						

Эту закономерность подтверждает и К стр, который в конце второй и седьмой ротации севооборотов в вариантах с чизельной обработкой больше (2,3-2,4 и 2,7-3,6), чем отвальной на 1,4-9,3 % относительных процента. Средневзвешенный диаметр агрегатов в вариантах с чизельной обработкой, после второй и седьмой

ротации севооборотов, также больше по сравнению с отвальной на 5,4-9,1% и 5,2-12,4% относительных процента. Однако за пять ротаций средневзвешенный диаметр агрегатов при использовании чизельной обработки уменьшился в чистом пару с 4,8 до 3,8 мм, под озимой пшеницей с 4,8 до 3,4 мм, под многолетними травами с 4,4 до 4,2 мм.

Наибольшее количество агрономически ценных агрегатов было отмечено в посевах многолетних трав (85,0-86,6 %) по сравнению с озимой пшеницей, эту тенденцию подтверждает и величина $K_{стр}$ (6,5-5,6). Использование почвозащитной чизельной обработки почвы незначительно повлияло на количество агрономически ценных агрегатов, хотя их содержание и снизилось незначительно в сравнении с отвальной обработкой, но эти изменения статистически не достоверны ($p > 0,5$).

Систематическая обработка почвы, а также потеря гумуса со стоком и смывом, приводит к разрушению структуры агрегатов на более мелкие частицы. Все эти процессы приводят к ухудшению свойств почвы, изменяя ее впитывающую способность и водный режим, плотность, порозность и аэрацию.

Таким образом, применение чизельной обработки почвы в чистом пару и под озимую пшеницу приводит к увеличению крупно глыбистых (на 10,2-21,7 %) и мезоагрегатов агрегатов (на 3,0-21,3 %) при одновременном сокращении количества фракции размером $< 0,25$ мм (на 5,6-37,8 %) по сравнению с отвальной обработкой ($p < 0,05$). Количество агрономически ценных агрегатов, $K_{стр}$ и СВД при применении чизельной обработки почвы больше, чем при отвальной.

5.3 Динамика водоустойчивых свойств чернозема обыкновенного в зависимости от предшественников

Одним из основных показателей устойчивости почвенных агрегатов к процессам деградации является их водоустойчивость. Водоустойчивость в значительной мере объясняет их эрозионную устойчивость. Наибольший агрономический интерес представляют водоустойчивые фракции размером $7-0,25$ мм.

Анализ количества водоустойчивых агрегатов под лесной полосой выявил, что при минимальном содержании крупноглыбистых агрегатов размером > 7 мм и 5-7 мм (2,8-3,7 %) увеличивается количество пылевидных частиц $< 0,25$ мм до 33,4 %. Обращает на себя внимание тот факт, что количество агрегатов размером 2-3 мм имеет наибольшую долю среди всех агрономически ценных фракций (Гае-Безуглова и др., 2024) (27,7%) (Рисунок 19, Приложение А22).

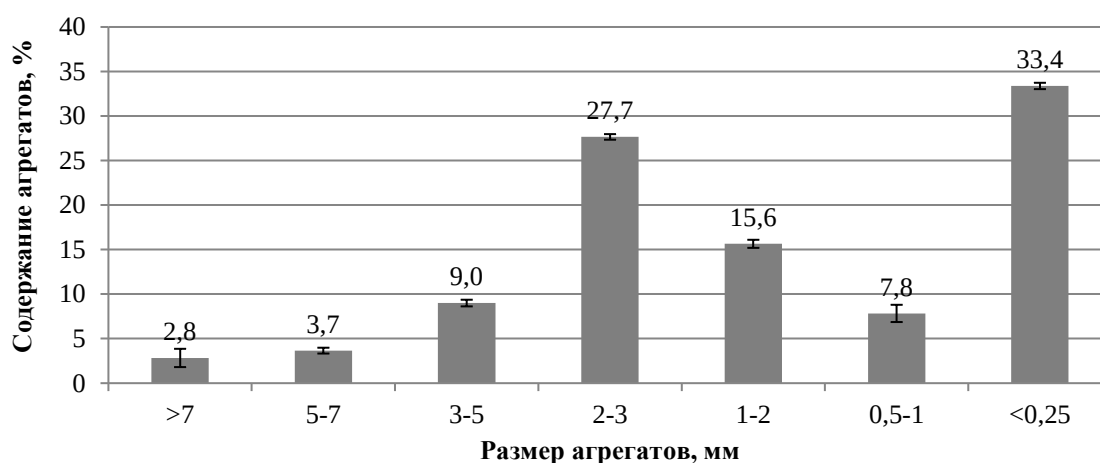


Рисунок 19 – Динамика содержания водоустойчивых агрегатов (просеивание в воде) под стокорегулирующей лесной полосой, в слое почвы 0-30 см, среднее 2021 г., 2023 г., %

Водоустойчивость агрегатов глыбистой фракции в чистом пару и под озимой пшеницей при использовании отвальной обработки почвы невелика, адекватно этому и ее противозерозионная возможность. Однако органическое удобрение, внесенное в пар или под кукурузу, способно «цементировать» почвенные агрегаты лишь через определенное время, когда образуются оструктурирующие вещества, придающие агрегатам водоустойчивые свойства (Крыщенко и др., 2016).

Для черноземов обыкновенных оптимальное структурное состояние складывается при содержании 65-85% водоустойчивых агрегатов $> 0,25$ мм. Исследование водоустойчивой структуры почвы показало, что количество агрегатов, способных противостоять размыву почвы, в большей степени зависит от влажности почвы и предшественника в севообороте.

Наиболее ценные водоустойчивые агрегаты фракции размером 0,5-7,0 мм преобладают под паром и озимой пшеницей, размещенной после кукурузы в период сева озимых. Это отличает их различную эрозионную устойчивость в севооборотах на эрозионно-опасном склоне.

Еще одним показателем деградации черноземов является разрушение мезоагрегатов на более мелкие фракции. Если во вторую ротацию в агрочерноземах преобладала фракция размером 2-3 мм (20,6-32,5%, против 14,9-20,9 % в седьмую ротацию), то к седьмой ротации сдвиг количества агрегатов произошёл в сторону увеличения фракций более мелкого размера 1-2 мм (23,5-32,1%). Не изменилась структура почвы под многолетними травами, количество агрегатов размером 2-3 мм составляло 32,5-33,3 %, а агрегатов размером 1-2 мм – 14,7-15,5 %, как во вторую ротацию, так и в седьмую (Рисунок 20, Приложение А23-А32).

Распределение водоустойчивых фракций агрочерноземов 2-3 мм и 1-2 мм под многолетними травами не многим отличается от распределения агрегатов под лесной полосой (2-3 мм – 27,7 % и 1-2 мм – 15,6 %). Если водоустойчивые агрегаты под действием воды разрушаются частично, то неводоустойчивая структура распадается на микроагрегаты. Как следствие, при высыхании на поверхности почвы образуется корка, затрудняющая воздухообмен и снабжение корневых систем воздухом.

В Аксайском районе Ростовской области возникновение пыльных бурь наблюдается крайне редко, однако при их проявлении пылеватая фракция выдувается с поверхности почвы. Наиболее часто на склоне отмечают процессы эрозии, вызванные стоком поверхностных вод в результате интенсивного снеготаяния или обильных ливней. Органическое вещество почвы в виде коллоидных растворов способно цементировать частицы почвы друг с другом в водоустойчивые агрегаты. Уменьшение содержания органического вещества почвы приводит к снижению противоэрозионной стойкости почв (Гаевая и др., 2022а; Холодов и Ярославцева, 2021).

Наблюдение в течение семи ротаций севооборотов за динамикой водоустойчивых агрегатов выявило аналогичные закономерности, что и при просеивании на

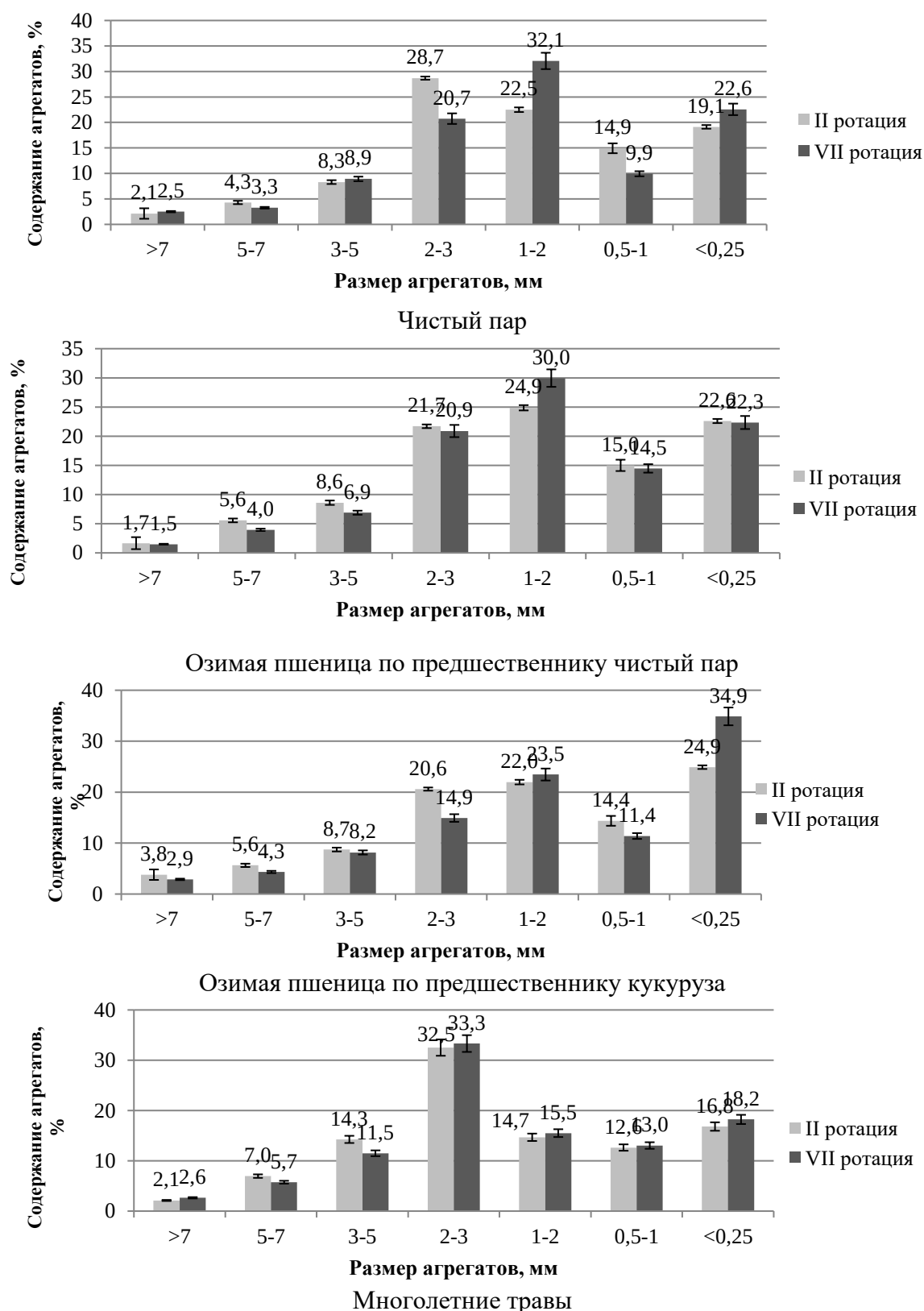


Рисунок 20 – Динамика содержания водоустойчивых агрегатов (просеивание в воде) в слое почвы 0-30 см в конце второй (II) и в конце седьмой (VII) ротаций севооборота в чистом пару, под озимой пшеницей по предшественнику чистый пар; под озимой пшеницей по предшественнику кукуруза и многолетним травам, %, 1990-2021 гг.

воздухе. Отмечена тенденция к уменьшению количества агрономически ценных агрегатов с 71,3-78,7 до 62,3-74,9 % и увеличению доли фракции размером <0,25 мм с 19,1-24,9 до 22,3-34,9 % (Гаевая и др., 2022а). Вместе с уменьшением количества агрономически ценных агрегатов сократилось и количество крупно-глыбистой фракции >7 мм ($p < 0,05$) (Таблица 19; Приложение А29–А32).

Таблица 19 – Динамика агрономически ценных агрегатов, коэффициент водопропрочности и средневзвешенные диаметры водоустойчивых агрегатов в слое почвы 0-30 см в зависимости от предшественника в конце первой (II) и седьмой (VII) ротации севооборота, 1990-2021 гг.

Агрофон	Количество агрономически ценных водоустойчивых агрегатов, %		$K_{\text{вп}}$		СВД, мм	
	II	VII	II	VII	II	VII
Чистый пар	78,7	74,9	3,7	2,9	2,0	1,9
Озимая по пару	75,7	76,2	3,1	3,2	1,9	1,7
Озимая по кукурузе	71,3	62,3	2,5	1,7	2,0	1,7
Многолетние трав	81,1	79,1	4,3	3,8	2,3	2,2
Лесная полоса	-	63,8	-	1,8	-	1,8

При этих изменениях наблюдалось уменьшение $K_{\text{вп}}$ с 2,5-3,7 до 1,7-3,2, а также уменьшение СВД с 1,9-2,0 до 1,7-1,9 мм, что существенно ниже показателей оптимума (3-5 мм) (Гаевая и др., 2022а; Хитров и Чечуева, 1994).

Таким образом, длительное использование земель сельскохозяйственного назначения приводит к уменьшению макро и мезоводоустойчивых агрегатов при одновременном увеличении доли фракции пыли размером <0,25 мм с 19,1-24,9 до 22,3-34,9 %. Отмечена тенденция уменьшения количества агрономически ценных агрегатов с 71,3-78,7 до 62,3-74,9 %, коэффициента водпрочности и СВД за пять ротаций севооборотов. Исключение составляет почва под многолетними травами, где количественные и качественные изменения были не существенные.

5.4 Динамика водоустойчивых свойств чернозема обыкновенного в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур

Использование различных агротехнологий при возделывании культур оказывает непосредственное влияние на водоустойчивые свойства почвы. Применение почвозащитной обработки значительно отразилось на структурно-агрегатном составе чернозема обыкновенного. Содержание крупноглыбистых фракций размером >7 мм при использовании чизельной обработки больше на 7,9-62,0 %, чем при отвальной в чистом пару и под озимой пшеницей. Количество мезоагрегатов размером 5-7 мм, 3-5 мм и 2-3 мм также при применении чизельной обработки больше на 4,4-33,3 % (Таблица 20).

Таблица 20 – Динамика содержания водоустойчивых агрегатов (просеивание в воде) в зависимости от приемов обработки почвы в конце второй (II) и в конце седьмой (VII) ротации севооборота, %, 1990-2021 гг.

Агрофон	Ротация севооборота	Размер агрегатов, мм						
		>7	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	$<0,25$
Чистый пар	II	$\frac{1,8 \pm 0,1}{-14,1}$	$\frac{4,9 \pm 0,2}{14,7}$	$\frac{10,0 \pm 0,4}{20,1}$	$\frac{30,4 \pm 2,2}{5,8}$	$\frac{21,5 \pm 1,4}{-4,4}$	$\frac{14,3 \pm 1,0}{-4,5}$	$\frac{17,1 \pm 1,0}{-10,5}$
	VII	$\frac{3,4 \pm 0,4}{36,4}$	$\frac{4,4 \pm 0,6}{33,3}$	$\frac{8,0 \pm 1,2}{-10,1}$	$\frac{21,7 \pm 0,7}{4,4}$	$\frac{35,5 \pm 2,3}{10,6}$	$\frac{7,9 \pm 0,8}{-20,2}$	$\frac{19,1 \pm 1,6}{-15,2}$
Озимая по пару	II	$\frac{2,7 \pm 0,3}{62,0}$	$\frac{5,8 \pm 0,5}{4,8}$	$\frac{9,5 \pm 0,4}{10,5}$	$\frac{23,8 \pm 1,2}{9,5}$	$\frac{24,8 \pm 1,5}{-0,1}$	$\frac{12,9 \pm 0,9}{-14,2}$	$\frac{20,5 \pm 0,7}{-9,3}$
	VII	$\frac{1,9 \pm 0,2}{24,6}$	$\frac{5,0 \pm 0,9}{25,6}$	$\frac{8,4 \pm 1,4}{22,1}$	$\frac{21,9 \pm 2,2}{5,1}$	$\frac{31,2 \pm 4,1}{4,1}$	$\frac{12,2 \pm 1,5}{15,9}$	$\frac{19,5 \pm 3,0}{-12,9}$
Озимая по кукурузе	II	$\frac{4,1 \pm 0,4}{7,9}$	$\frac{6,0 \pm 0,5}{5,9}$	$\frac{9,3 \pm 0,9}{6,5}$	$\frac{22,1 \pm 1,9}{7,3}$	$\frac{22,3 \pm 1,8}{1,7}$	$\frac{13,2 \pm 1,2}{-8,1}$	$\frac{23,0 \pm 2,0}{-7,6}$
	VII	$\frac{3,7 \pm 0,5}{29,7}$	$\frac{4,7 \pm 0,8}{7,7}$	$\frac{8,8 \pm 0,9}{7,4}$	$\frac{18,5 \pm 1,7}{23,9}$	$\frac{24,0 \pm 1,1}{2,3}$	$\frac{9,4 \pm 1,2}{-17,9}$	$\frac{31,0 \pm 2,3}{-11,1}$
Многолетние травы	II	$\frac{4,4 \pm 0,2}{105,7}$	$\frac{9,2 \pm 0,4}{32,8}$	$\frac{15,6 \pm 0,6}{9,3}$	$\frac{33,0 \pm 0,9}{1,6}$	$\frac{11,5 \pm 0,5}{-21,8}$	$\frac{10,8 \pm 0,3}{-14,7}$	$\frac{15,5 \pm 0,4}{-7,7}$
	VII	$\frac{3,5 \pm 0,2}{33,8}$	$\frac{5,1 \pm 0,3}{-10,4}$	$\frac{13,0 \pm 0,6}{13,0}$	$\frac{32,8 \pm 1,2}{-1,7}$	$\frac{16,7 \pm 1,6}{7,8}$	$\frac{11,6 \pm 1,1}{-10,9}$	$\frac{17,2 \pm 0,9}{-5,6}$

Примечание:

Над чертой – абсолютное значение агрегатов в варианте чизельной обработки почвы;

Под чертой – относительное значение, по сравнению с вариантом отвальной обработки, (%).

Под многолетними травами почва наиболее оструктурена и содержание крупноглыбистой фракции больше в два раза, чем при использовании отвальной обработки. Количество мезоагрегатов размером 5-7 мм, 3-5 мм и 2-3 мм также преобладает на 1,6-32,8 % над вариантами по отвальной обработки.

Длительной использование чизельной обработки почвы привело к уменьшению количества агрегатов более мелких фракций размером от 1-2 мм до <0,25 мм на 4,4-20,2 % относительных процента по сравнению с отвальной обработкой (Гаевая, 2008).

Наиболее объективно оценить процессы, происходящие в почве, возможно с помощью количественного анализа водоустойчивых агрономически ценных агрегатов, и их содержание можно характеризовать как – хорошее (Качинский, 1963).

Однако отмечена тенденция снижения количества мезоагрегатов при просеивании в воде за 5 ротаций севооборотов с 72,9-81,1 % до 65,3-79,3 %, при использовании чизельной обработки почвы. Сравнение количества водоустойчивых агрегатов при использовании двух систем обработки почвы выявило преимущество чизельной обработки (1,4-4,8 %) над отвальной вспашкой в чистом пару и по озимым пшеницам (Таблица 21).

Также отмечено увеличение коэффициента водоустойчивости на 6,1-15,4 % за 5 ротаций севооборотов. Однако об улучшении или ухудшении структуры почвы по одному показателю судить нельзя. Анализ средневзвешенного диаметра агрегатов составлял 1,9-2,1 мм, или был больше на 5,0-10,0 %, чем при использовании отвальной обработки почвы. Более высокие значения показателей количества водоустойчивых агрегатов, коэффициента водоустойчивости и средневзвешенного диаметра водоустойчивых агрегатов при использовании чизельной обработки подтверждают благоприятное воздействие на почву безотвального приема по сравнению с отвальным.

Изучение различных приемов обработки почвы на водоустойчивые свойства чернозема обыкновенного под многолетними травами существенного влияния не выявило. Количество водоустойчивых агрегатов и коэффициент водопрочности при воздействии различных приемов обработки существенно не изменились, од-

нако средневзвешенный диаметр агрегатов увеличился на 4,0-13,8 % при использовании отвальной обработки почвы.

Таблица 21 – Динамика водоустойчивых агрегатов, коэффициента водопрочности и средневзвешенных диаметров водоустойчивых агрегатов (СВД) в слое почвы 0-30 см в зависимости от приемов обработки почвы в конце первой (II) и седьмой (VII) ротации севооборота, 1990-2021 гг.

Агрофон	Количество водоустойчивых ценных агрегатов, %		К ву		СВД, мм	
	II	VII	II	VII	II	VII
Чистый пар	<u>81,0</u> 2,9	<u>77,4</u> 3,3	<u>4,3</u> 15,4	<u>3,4</u> 14,9	<u>2,1</u> 5,1	<u>2,0</u> 8,4
Озимая по пару	<u>76,8</u> 1,4	<u>78,7</u> 3,3	<u>3,3</u> 6,1	<u>3,7</u> 15,5	<u>2,0</u> 8,9	<u>1,9</u> 10,0
Озимая по кукурузе	<u>72,9</u> 2,2	<u>65,3</u> 4,8	<u>2,7</u> 8,3	<u>1,9</u> 14,0	<u>2,1</u> 5,0	<u>1,9</u> 11,3
Многолетние травы	<u>80,1</u> -1,2	<u>79,3</u> 0,2	<u>4,0</u> -5,8	<u>3,8</u> 0,8	<u>2,6</u> 13,8	<u>2,3</u> 4,0
Примечание: <u>над чертой – абсолютное значение агрегатов в варианте чизельной обработки почвы;</u> <u>под чертой – относительное значение, по сравнению с вариантом отвальной обработки, (%).</u>						

Таким образом, использование чизельной обработки почвы привело к увеличению крупноглыбистых фракций размером >7 мм на 7,9-62,0 %, мезоагрегатов размером 5-2 мм, на 4,4-33,3 % в чистом пару, под озимой пшеницей и многолетними травами. Количество фракций размером от 1-2 мм до <0,25 мм уменьшилось на 4,4-20,2 %. Коэффициент водопрочности, количество водоустойчивых и средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов при использовании чизельной обработки был больше, чем при отвальной.

5.5 Изменение агрофизических показателей чернозема обыкновенного в результате проявления процессов деградации

При возникновении стока воды и смыва почвы часть почвы перемещается вниз по склону, образуя кольматационные наносы. Для определения их количественного и качественного состава был проведен структурно-агрегатный анализ, с целью выявления изменений свойств чернозема обыкновенного в результате дей-

ствия стока воды и смыва. Для сравнительного анализа за контроль была взята почва под чистым паром при использовании отвальной обработки, как наиболее подверженная процессам деградации (Безуглова и др., 2024).

В результате просеивания почвы кольматационных наносов на воздухе был выявлен сдвиг доли агрегатов в сторону более мелких фракций. По-видимому, потоки воды частично разрушают макроагрегаты и сносят вниз по склону более мелкие частицы почвы (Безуглова и др., 2024) (Рисунок 21).

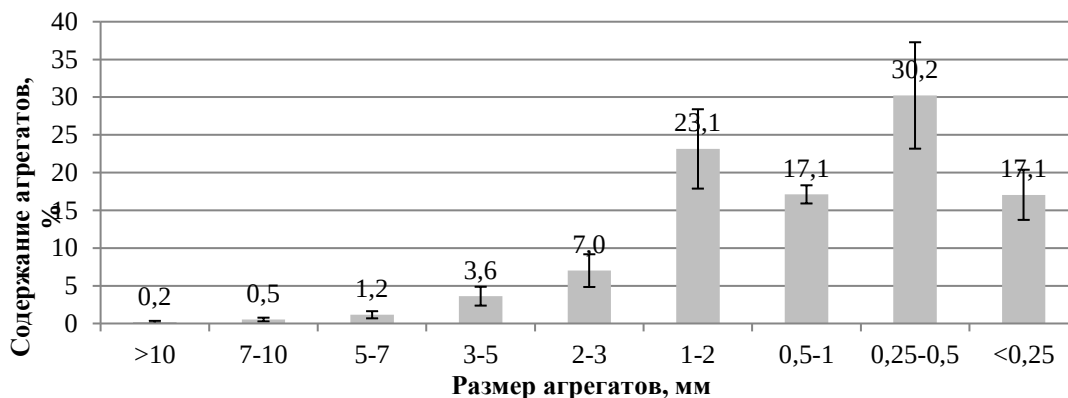


Рисунок 21 – Динамика структурно-агрегатного состава почвы (просеивание на воздухе) в кольматационных наносах, 2008 г., 2021 г., %

В наносах крупноглыбистые агрегаты практически отсутствовали (0,2 %). Мезоагрегаты размером от 7-10 мм до 2-3 мм составляли незначительную долю (0,5-7,0 %) и их количество увеличивалось с уменьшением размера фракций. Фракция размером 1-2 мм составляла 23,1 %, и ее доля была больше, чем в чистом пару на 33,7 % относительных процента. Также отмечен количественный сдвиг в сторону образования агрегатов более мелких фракций размером: 0,5-1 мм – 17,1 %, 0,25-0,5 мм – 30,2 %, <0,25 мм – 17,1 % или увеличение по сравнению с чистым паром составляло 93,5, 234,6 и 5,2 % соответственно (Безуглова и др., 2024).

Просеивание в воде мелкозема наносов выявило аналогичную закономерность, что и при просеивании на воздухе: с уменьшением размера фракций увеличивается их количественное содержание. Доля крупных фракций водоустойчивых агрегатов размером от >7 мм до 5-7 мм была ничтожно мала, и составляла 0,5-

3,0 %. Начиная с фракции размером 2-3 мм, количество водоустойчивых агрегатов увеличилось в несколько раз (16,9 %), 1-2 мм – 31,4 %, 0,5-1 мм – 15,4 %, <0,25 мм – 17,1 %. Сравнение водоустойчивых агрегатов наносов и почвы чистого пара выявило аналогичную зависимость, что и при просеивании на воздухе. Однако доля фракций размером 2-3 мм и 1-2 мм практически не изменилась, а содержание пылеватых фракции (0,5-1 мм и <0,25 мм) в наносах увеличились на 55,0 и 41,1 % соответственно (Безуглова и др., 2024) (Рисунок 22).

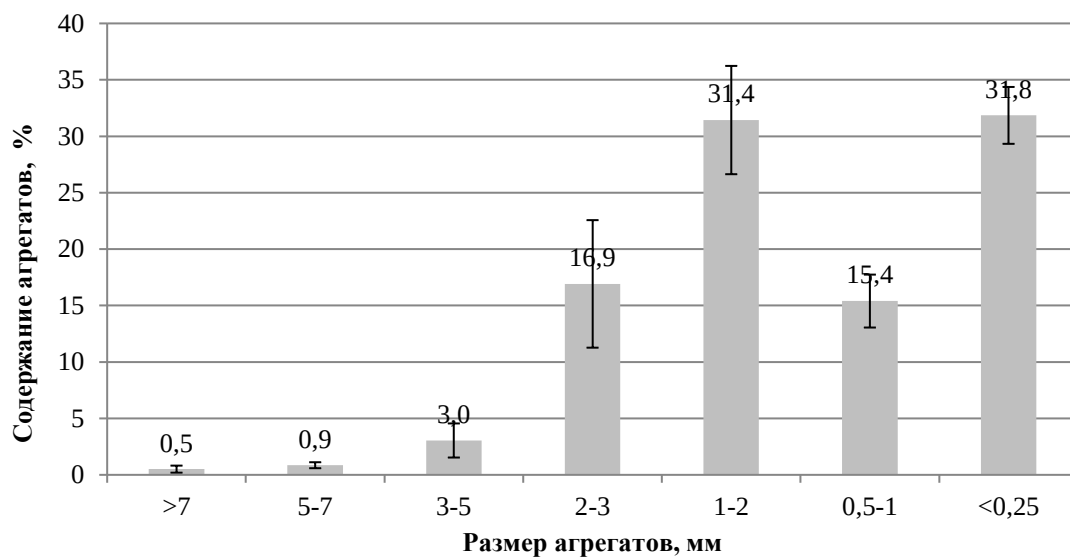


Рисунок 22 – Динамика содержания водоустойчивых агрегатов (просеивание в воде) в кольматационных наносах, 2008 г., 2021 г., %

Содержание агрономически ценных агрегатов при просеивании на воздухе кольматационных наносов составляло 82,8 %, и было больше, чем в пару (на 10,5 %). Эти изменения произошли за счет уменьшения доли крупноглыбистой фракции. Коэффициент структурности также увеличился до 4,8 против 3,0 в чистом пару (таблица 22).

Содержание количества водоустойчивых агрегатов по сравнению с чистым паром, наоборот, уменьшилось до 67,6 %, или на 9,7 относительных процента. Также уменьшился незначительно и $K_{ву}$ до 2,1 против 3,0 по чистому пару.

Таблица 22 – Содержание в кольматационных наносах агрономически ценных агрегатов, коэффициент водопрочности, средневзвешенные диаметры, 2008 г., 2021 г.

Агрегаты	Количество агрономически ценных агрегатов, %	$K_{стр}/K_{ву}$	СВД, мм
Агрономически ценные агрегаты (просеивание на воздухе)	$\frac{82,8}{10,5}$	$\frac{4,8}{60,9}$	$\frac{1,1}{-69,3}$
Водоустойчивые агрегаты (просеивание в воде)	$\frac{67,6}{-9,7}$	$\frac{2,1}{-3,1}$	$\frac{1,3}{-31,9}$
Примечание: над чертой – абсолютное значение в кольматационных наносах; под чертой – относительное значение, в сравнении с чистым паром (отвальная обработка), (%).			

Значительные изменения произошли в показателе средневзвешенного диаметра агрегатов, как при просеивании на воздухе, так и при просеивании в воде. Средневзвешенный диаметр агрегатов при просеивании на воздухе составлял в наносах 1,1 мм или был меньше размера агрегатов в чистом пару в 3,3 раза (Безуглова и др., 2024).

Аналогично уменьшился СВД агрегатов при просеивании в воде до 1,3 мм или на 31,9 % по сравнению с чистым паром. По-видимому, перемещение агрегатов в потоках воды приводит к разрушению их структуры, вымыванию органического вещества и основных макроэлементов (Безуглова и др., 2024).

Таким образом, в кольматационных наносах доля агрегатов увеличивается по мере уменьшения размера фракций. Крупноглыбистые агрегаты практически отсутствовали (0,2 %), а доля мелких фракций размером: $1 < 0,25$ мм увеличилась по сравнению с чистым паром на 93,5, 234,6 и 5,2 % при просеивании на воздухе, а при просеивании в воде (0,5-1 мм и $< 0,25$ мм) – на 55,0 и 41,1 % соответственно. Средневзвешенный диаметр агрегатов при просеивании на воздухе (1,1 мм) уменьшился 3,3 раза, а при просеивании в воде – в 1,5 раза, по сравнению с чистым паром.

5.6 Анализ агрофизических показателей методом главных компонент

Большое количество показателей затрудняет проведение всесторонней оценки результатов исследования, поэтому для понижения размерности данных, поиска неявных взаимосвязей и выявления наблюдений, вносящих наибольший вклад в различия между объектами, а также классификации переменных был использован анализ главных компонент. Этот анализ считается наиболее эффективным способом уменьшения количества данных, полученных методом просеивания на воздухе и в воде почвы, позволяющим описывать объекты с меньшим числом обобщенных показателей – главными компонентами (ГК) (Гаевая и Безуглова, 2024).

В результате проведения анализа были выделены ГК, которые выявляют большую изменчивость, либо компоненты, которые объясняют суммарно наибольший процент общей изменчивости. Согласно правилу Кайзера (Kaiser H.F., 1960), количество ГК для дальнейшего анализа отбираются собственные значения структурных отдельностей, которые больше единицы или кумулятивный процент больше 70,0 %. Для структурных отдельностей по результатам просеивания почвы на воздухе было отобрано количество ГК, равное двум, собственные значения которых равнялись 4,7–2,1 (Таблица 23).

Из таблицы видно, что первые две ГК описывают 74,6 % всех случаев. На первую ГК приходится 51,7 % дисперсии, на вторую – 22,9 %.

Вклад переменных в изменчивость вдоль компоненты тем сильнее, чем больше модуль их факторной нагрузки. Знак факторной нагрузки указывает направление изменения исходной переменной вдоль главной компоненты.

На рисунке представлен круг корреляций для ГК1 и ГК2 с их собственными значениями (Таблица 24, Рисунок 23). Видно, что чем ближе точка, представляющая переменную, к единичной окружности, тем сильнее корреляция переменной с фактором (Гаевая и др., 2022а).

Таблица 23 – Собственные значения главных компонент различных фракций по результатам просеивания почвы на воздухе, в конце второй (1993-1995 гг.) и в конце седьмой (2019-2021 гг.) ротации севооборота

Главные компоненты	Собственные значения	Общая дисперсия, %	Кумулятивные собственные значения	Кумулятивный, %
1	4,7	51,7	4,7	51,7
2	2,1	22,9	6,7	74,6
3	1,4	15,4	8,1	90,0
4	0,5	5,5	8,6	95,5
5	0,2	2,7	8,8	98,2
6	0,1	0,9	8,9	99,2
7	0,1	0,7	9,0	99,8
8	0,0	0,2	9,0	100,0
9	0,0	0,0	9,0	100,0

Таблица 24 – Факторные координаты переменных на основе корреляций для структурных отдельностей по результатам просеивания почвы на воздухе

Переменная	Главные компоненты	
	1	2
>10	0,45	-0,70
7-10	-0,76	-0,39
5-7	-0,92	0,17
3-5	-0,82	0,33
2-3	0,90	0,04
1-2	-0,91	0,27
0,5-1	0,61	0,67
0,25-0,5	0,27	0,87
<0,25	0,53	0,02

На основе факторных нагрузок (координат) был определен максимальный вклад в ГК1 структурных отдельностей при расसेве на воздухе агрегатов различных размеров (Гаевая и др., 2022а). Наибольший вклад в ГК1 вносят фракции размером 7-10 мм (-0,76), 5-7, (-0,92), 3-5 мм (-0,82), 2-3 мм (0,90), и 1-2 мм (-0,91), и все они имеют отрицательную направленность за исключением фракции размером 2-3 мм. По-видимому, с уменьшением фракций размером 10-3 мм и 1-2 мм увеличивается количество крупноглыбистых агрегатов и пылеватых фракций.

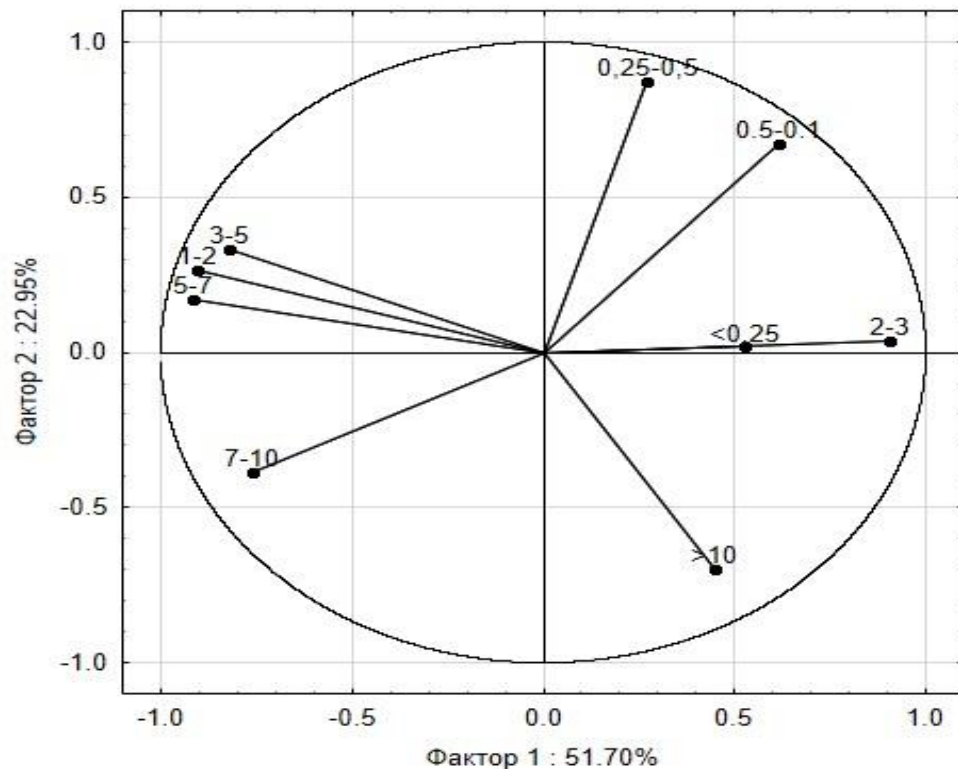


Рисунок 23 – Факторные нагрузки на основе корреляции в пространстве главных компонент структурных отдельностей, по результатам просеивания почвы на воздухе

Во вторую ГК наибольший вклад в дисперсию вносят крупноглыбистая фракция размером (>10 мм), имея факторную нагрузку 0,70 и отрицательный знак направленности, и мелкие фракции размером 0,25-0,5 мм (0,87). По-видимому, при ежегодной обработке почвы отмечается разрушение макроагрегатов до мезоагрегатов, о чем свидетельствует знак направленности фракций размером >10 и 7-10 мм в ГК2. Процессы деградации характеризует ГК2, выражающиеся в разрушении крупноглыбистых агрегатов и увеличении фракций мелкого размера (0,5-1,0 мм и 0,25-0,5 мм). Можно предположить, что многолетнее использование земель сельскохозяйственного назначения приводит к разрушению почвенных отдельностей на более мелкие фракции, что подтверждается литературными данными (Гаевая и др., 2022а; Холодов и др., 2019; Холодов и Ярославцева, 2021).

На Рисунке 24 представлено расположение почвенных отдельностей различных агрофонов в системе координат ГК на основе просеивания на воздухе. По ГК1 были выделены 2 крайних варианта: чистый пар и озимая пшеница по всем

Рисунок 24 – Расположение в пространстве первых двух главных компонент, структурных отдельностей по результатам просеивания на воздухе в различных агрофонах (чистый пар, озимая пшеница по пару, озимая пшеница по кукурузе и лесная полоса), приемы обработки почвы (Ч – чизельная и О – отвальная) в конце второй (II) и седьмой (VII) ротации севооборотов

В зависимости от приемов обработки почвы разброс значений координат факторов для наблюдений в системе координат незначительный. Значения координат факторов как чизельной, так и отвальной обработки почвы размещается или в положительных или отрицательных областях, и расстояние между ними минимальное. Этот факт подтверждает предположение о несущественном влиянии обработки почвы на структуру черноземов обыкновенных в течение пяти ротаций.

Таким образом, с помощью анализа главных компонент выявлены следующие закономерности распределения структурных отдельностей черноземов обыкновенных:

- первые две ГК описывают 74,6 % всех случаев (ГК1 – 51,7 %, ГК2 – 22,9 %, ГК3 – 20,0 %);
- по ГК1 выявлена обратная зависимость – с уменьшением фракций размером 10-3 мм и 1-2 мм увеличивается количество крупноглыбистых агрегатов (>10 мм);
- процессы деградации характеризует ГК2 в которую максимальный вклад вносят макро- и мезоагрегаты;
- на основе расположения почвенных отдельностей в системе координат были выделены по интенсивности воздействия приемов обработки на почву три крайних варианта: агрочерноземы, включающие чистый пар и озимые пшеницы по всем ротациям → многолетние травы → лесная полоса;
- в зависимости от обработки почвы, расстояние между значениями факторов наблюдений минимальное и подтверждает предположение о несущественном влиянии обработки почвы на структуру черноземов обыкновенных в результате длительного воздействия;
- идентификация основных главных компонент помогла выявить наиболее важные структурные отдельности, участвующие в почвообразовательном процессе.

5.7 Анализ водоустойчивых агрегатов методом главных компонент

Собственные значения первых двух ГК водоустойчивых агрегатов по результатам просеивания в воде под посевами озимой пшеницы по различным предшественникам изменялись в диапазоне от 3,5 до 1,7. Остальные значения главных компонент были меньше единицы и в анализе не рассматривались. Суммарный процент для этих ГК равнялся 74,4 %: (ГК1 – 50,2 %, ГК2 – 24,2 %) (Таблица 25).

Таблица 25 – Собственные значения водоустойчивых агрегатов по результатам просеивания в воде, в конце второй (1993-1995 гг.) и в конце седьмой (2019-2021 гг.) ротации севооборота

Главные компоненты	Собственные значения	Общая дисперсия, %	Кумулятивные собственные значения	Кумулятивный, %
1	3,5	50,2	3,5	50,2
2	1,7	24,2	5,2	74,4
3	0,7	10,6	6,0	85,0
4	0,7	10,3	6,7	95,3
5	0,3	3,8	6,9	99,0
6	0,1	1,0	7,0	100,0
7	0,0	0,0	7,0	100,0

При расसेве почвы в воде были выявлены значительные корреляции факторных нагрузок с ГК1 для водоустойчивых агрегатов размером 5-7 мм (-0,85), 3-5 мм (-0,95), 2-3 мм (-0,86) и 1-2 мм (0,81); <0,25 мм (0,62). Приведенные данные подтверждают обратную зависимость, что в результате длительного воздействия сельскохозяйственных орудий на чернозем обыкновенный при уменьшении количества мезоагрегатов увеличивается количество пылевидных частиц, а значит, теряется водоустойчивость почвы (Гаевая и др., 2022а) (Таблица 26).

Для ГК2 наибольшие значения имела фракции размером >7 мм (0,81) и 0,5-0,25 мм (-0,79). Из приведенных данных можно оценить вклад агрегатов в распределение различных агрофонов в пространстве ГК. Здесь также просматривается аналогичная зависимость: при уменьшении доли макроагрегатов увеличивается вклад пылеватой фракции (Гаевая и др., 2022а).

Таблица 26 – Факторные координаты переменных на основе корреляций для водоустойчивых агрегатов по результатам просеивания в воде

Переменная	Главные компоненты	
	1	2
>7	-0,31	0,81
5-7	-0,85	0,07
3-5	-0,95	0,15
2-3	-0,86	-0,20
1-2	0,81	-0,21
0,5-0,25	-0,14	-0,79
<0,25	0,62	0,55

Обращает на себя внимание тот факт, что структурные отдельности диаметр которых >7 мм и <0,25 мм находятся в области положительных значений, а водоустойчивые мезоагрегаты расположены в отрицательной области. Это подтверждает сделанное ранее предположение, что сначала восстанавливается структура водоустойчивых агрегатов, а затем формируются структурные отдельности сухих агрегатов, т.е. почвообразовательные процессы, происходящие в черноземах обыкновенных, динамичны (Гаевая и др., 2022а; Холодов и др., 2019) (Рисунок 25).

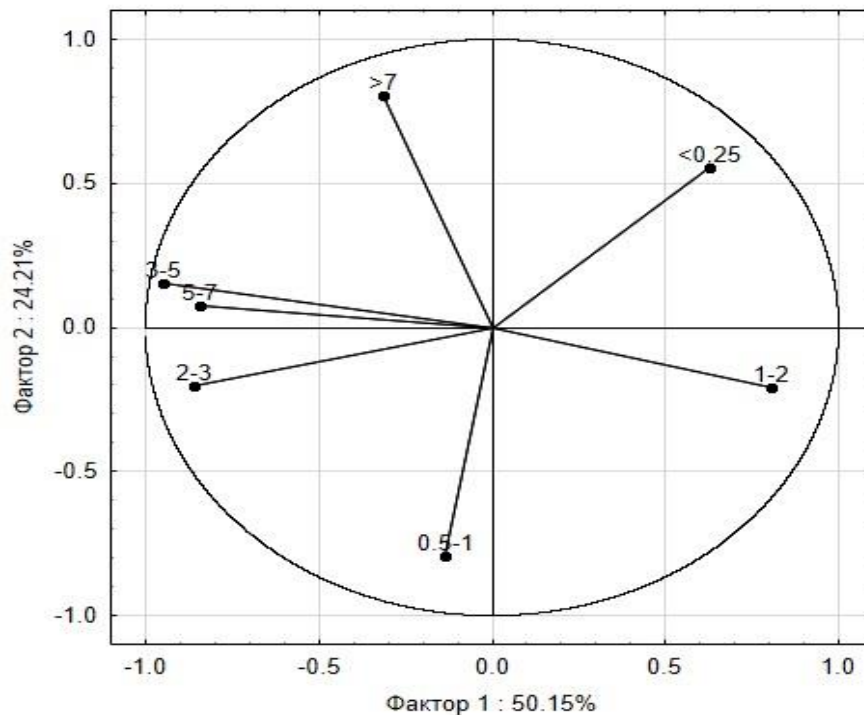


Рисунок 25 – Факторные нагрузки на основе корреляции в пространстве главных компонент водоустойчивых агрегатов, по результатам просеивания в воде

Водоустойчивость почвы характеризует ее эрозионную устойчивость. По первой ГК, имеющей наибольшую дисперсию, все изучаемые агрофоны можно условно разделить на две группы. В первую группу отнесены агрочерноземы с интенсивной обработкой почвы, а во второй группе располагаются многолетние травы. По второй ГК отдельно от всех располагаются структурные отдельности под лесной полосой и озимая пшеница по кукурузе.

Как было ранее отмечено, почва под лесной полосой наиболее оструктурена, что указывает на хорошую водоустойчивость. Водоустойчивые структурные отдельности под озимой пшеницей по кукурузе находятся в этой же области, по-видимому, их структура близка по свойствам агрегатов. Поле озимой пшеницы по кукурузе размещается в севообороте «В», имеющем в своей структуре многолетние травы, которые препятствуют смыву и размыву почвы. Можно предположить, что сокращение смыва почвы, потери органического углерода и основных элементов питания способствует улучшению плодородия почвы и ее водоустойчивости (Гаева и др., 2022а) (Рисунок 26).

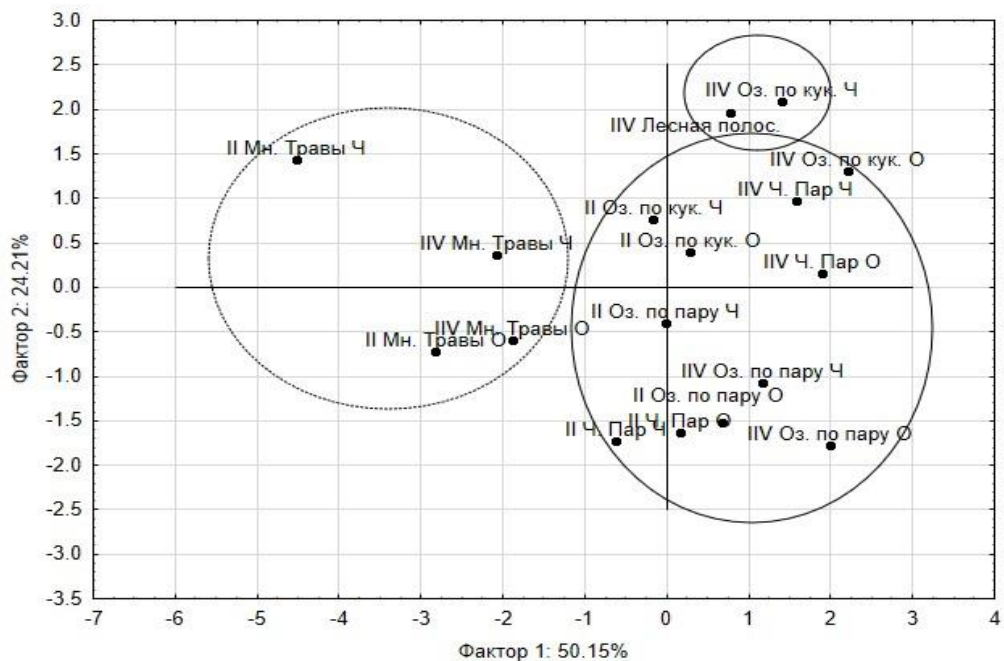


Рисунок 26 – Расположение в пространстве первых двух главных компонент основных показателей чернозема обыкновенного, водоустойчивых агрегатов, по результатам просеивания в воде почвы различных агрофонов (чистый пар, озимая пшеница по паре, озимая пшеница по кукурузе и лесная полоса), приемов обработки почвы (Ч – чизельная и О – отвальная) в конце второй (II) и седьмой (VII) ротации севооборотов

Если рассматривать роль приемов обработки почвы в формировании качественных и количественных показателей водоустойчивых агрегатов в пространстве ГК, то на основании их незначительной удаленности друг от друга можно сделать предположение, что влияние приемов обработки почвы оказывает незначительное влияние (Гаевая и др., 2022а).

Таким образом, с помощью анализа главных компонент были выявлены следующие связи между водоустойчивыми агрегатами различных фракций чернозема обыкновенного:

- наибольшие собственные значения векторов водоустойчивых агрегатов имеют первые три ГК (74,4 %) ГК1 – 50,2 %, ГК2 – 24,2 %;
- выявлена обратная зависимость по ГК1 – с уменьшением количества мезоагрегатов размером 5-7 мм, 3-5 мм, 2-3 мм, одновременно увеличивается количество пылеватых частиц диаметром $<0,25$ мм, ведущих к потере водоустойчивости почвы или процессам деградации;
- вторая ГК подтверждает аналогичную закономерность – при положительных знаках факторных нагрузок макроагрегатов мелкие фракции имеют тенденцию уменьшения;
- на основе расположения в пространстве главных компонент основных показателей чернозема обыкновенного все изучаемые агрофоны можно условно разделить на три группы, в которые входят: в первую группу – агрочерноземы с интенсивной обработкой почвы, во вторую группу – многолетние травы, и в третью группу – структурные отдельности под лесной полосой и озимая пшеница по кукурузе;
- влияние приемов обработки почвы на качественные и количественные показатели водоустойчивых агрегатов было незначительное.

5.8 Изменение плотности чернозема обыкновенного

Будучи одним из показателей плодородия, плотность почвы весьма динамична и зависит от типа почвы, ее гранулометрического состава, влажности, глу-

бины и приемов обработки, а также от возделываемой и предшествующей культуры. Каждая почва имеет свою равновесную плотность, к которой она «стремится», если на нее длительное время оказывает воздействие только естественные (природные) условия. Равновесная плотность почвы, будучи оптимальной для естественного ценоза, в большинстве случаев неблагоприятна для возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте.

В излишне уплотненных почвах часто нарушаются процессы воздухо- и газообмена, повышается доля недоступной растениям влаги. Слишком рыхлая почва быстро теряет влагу, не может быть достаточной для нормального прорастания семян. Для каждой сельскохозяйственной культуры имеются свои параметры наиболее благоприятной плотности почвы, соответствующие лучшему развитию корневой системы и всего растения, а потому обеспечивающие получение более высокого урожая.

Нами плотность почвы была изучена в чистом пару и под контрольной культурой озимой пшеницей – посеянной по различным предшественникам в три срока наблюдения: посев, время возобновления весенней вегетации и полная спелость озимой пшеницы (Гаевая, 2016) (Таблица 27).

Таблица 27 – Плотность почвы, в зависимости от агрофона и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, г/см³, («1» уровень питания), 2019-2022 гг.

Агрофон	Приемы обработки почвы	Время отбора почвы		
		Посев	Время возобновления весенней вегетации	Полная спелость
Чистый пар	Чизельная	1,09	1,12	1,16
	Отвальная	1,04	1,10	1,14
Озимая пшеница по предшественнику чистый пар	Чизельная	1,16	1,17	1,18
	Отвальная	1,15	1,17	1,16
Озимая пшеница по предшественнику озимая пшеница	Чизельная	1,16	1,17	1,19
	Отвальная	1,14	1,16	1,17
Озимая пшеница по предшественнику горох	Чизельная	1,17	1,16	1,18
	Отвальная	1,15	1,14	1,15
Озимая пшеница по предшественнику кукуруза на зерно	Чизельная	1,16	1,18	1,19
	Отвальная	1,15	1,14	1,16
НСР ₀₅		0,04	0,03	0,05

При посеве плотность сложения пахотного слоя почвы на всех изучаемых вариантах обработок увеличивалась с глубиной отбора. Наибольшая плотность сложения почвы была отмечена в варианте с чизельной обработкой, составившая 1,09-1,17 г/см³ с меньшими значениями в варианте чистого пара. В то же время плотность сложения почвы при отвальной обработке в тех же слоях возрастала не столь интенсивно – от 1,04 до 1,15 г/см³ ($p > 0,05$). Плотность сложения пахотного слоя почвы после основной обработки, как при отвальной, так и при чизельной, находится в оптимальных пределах для возделывания сельскохозяйственных культур (менее 1,3 г/см³), однако при использовании той или иной обработки почвы преимуществом считается степень разуплотнения верхних слоёв почвы под её влиянием. Отмечено, что с увеличением глубины плотность сложения почвы возрастает, причём больше в вариантах с чизельной основной обработкой ($p > 0,05$) (Гаевая, 2016).

К началу возобновления весенней вегетации озимой пшеницы плотность почвы была незначительно больше (на 0,01-0,06 г/см³), чем при посеве.

К фазе полной спелости плотность сложения почвы по всем вариантам основной обработки увеличилась, уплотнение почвы составило 0,01-0,02 г/см³. При этом в варианте с отвальной обработкой плотность почвы изменялась в пределах 1,14-1,16 г/см³, а чизельной – 1,16-1,19 г/см³, с меньшими значениями в чистом пару.

За время вегетации чистый пар систематически подвергается культивации и почва, особенно в верхних слоях, остается рыхлой. Это создает предпосылки для проявления дефляции и водной эрозии. В Приазовской зоне возникновение пыльных бурь – редкое явление, они возникают раз в 10-11 лет (Глушко А.Я. и др., 2010; Полуэктов и Цвыле., 2008). Сток и смыв почвы, вызванный ливнями, в нашей зоне возникает редко, и в основном в чистом пару, поэтому поле чистого пара должно быть надежно защищено от процессов эрозии. Размещение чистого пара в системе контурно-полосной организации территории позволяет справиться с этой задачей (Полуэктов и др., 2010).

Предшественники озимой пшеницы также оказывали влияние на плотность

почвы. Наименьшая плотность почвы под озимой пшеницей была по предшественнику чистый пар и колебалась от 1,15 г/см³ до 1,16 г/см³, при посеве и увеличивалась к уборке до 1,16-1,18 г/см³. По непаровым предшественникам плотность почвы увеличивалась до 1,19 г/см³. К фазе полной спелости тенденция уплотнения почвы сохранялась, однако изменения были в пределах ошибки опыта.

Сравнение различных систем обработки почвы между собой выявило, что разница между отвальной и чизельной обработками почвы составляет 0,01-0,03 г/см³ (1,5-4,4 %) и находится в пределах ошибки опыта ($p > 0,05$).

В течение вегетационного периода под озимой пшеницей по всем предшественникам почва «стремится» к показателям равновесной плотности. Но этот процесс подвержен влиянию конкретных условий, прежде всего – влажности, что особенно наглядно в разные по влагообеспеченности годы.

Наибольшие изменения плотности сложения почвы происходят в обрабатываемом слое, которым, исходя из традиционной технологии обработки, считается слой почвы 0-30 см.

Согласно полученным данным, плотность сложения почвы на всех вариантах обработки почвы имела циклические сезонные колебания, связанные с биологическими особенностями возделываемых культур и складывающимися погодными условиями.

Так же от плотности почвы зависят эрозионные процессы. Уплотненная почва способствует развитию стока и смыва при наступлении снеготаяния и ливней высокой интенсивности. Рыхлая почва хорошо впитывает влагу, но до определенного предела, пока влажность не достигнет полной влагоемкости. В этом плане отвальная обработка способна задерживать влагу на начальных этапах снеготаяния и выпадения интенсивных осадков. По мере насыщения почвы влагой, излишки её стекают вниз по склону, способствуя развитию процессов эрозии. После чизельной обработки, наоборот, почва несколько уплотнена, но глубокие щели в лучшей степени впитывают влагу и отсутствие плужной подошвы также способствует хорошей впитывающей способности и водопроницаемости. Поэтому

сток и смыв при использовании чизельной обработки на склонах меньше, чем на отвальной. Для каждой сельскохозяйственной культуры имеются свои параметры наиболее благоприятной плотности почвы, соответствующие лучшему развитию корневой системы и всего растения, а потому обеспечивающие получение более высокого урожая.

Таким образом, плотность сложения пахотного слоя почвы после основной обработки при всех изучаемых системах обработки находится в оптимальных пределах для возделывания сельскохозяйственных культур (менее 1,3 г/см³). Плотность почвы при обработке, выполненной чизельным плугом, в слое почвы 0-30 см, больше, чем при отвальной на 0,01-0,06 г/см³ во все сроки наблюдения ($p > 0,05$).

5.9 Изменение водного режима чернозема обыкновенного

Согласно классификации А.А. Роде (1963), черноземные почвы Юга России формируются при непромывном типе водного режима, в котором наполнение влаги за счет атмосферных осадков происходит без сплошного промачивания. Основной чертой этого типа почв является значительный дефицит влаги. Естественная влагозарядка происходит во второй половине осени и зимой. И одна из задач земледелия состоит в том, чтобы естественные осадки полностью аккумулировались почвой, а не стекали вниз по склону. Осадки весенне-летнего периода составляют значительно меньшую часть суммарного расхода влаги на потребление растениями и физическое испарение. Это в полной мере относится и к черноземам обыкновенным, на которых велись исследования.

При общем систематическом дефиците влаги в почве запасы ее под разными культурами севооборота в различные годы изменяются в широких пределах. Лучшие условия влагообеспеченности складываются в чистом пару и под озимой пшеницей, размещенной по чистому пару. Запасы почвенной влаги в различных полях севооборотов под различными культурами и в разные годы существенно различаются. Осадки, а потому и запасы почвенной влаги, далеко не ежегодно до-

статочны и не всегда благоприятно распределяются в течение вегетационного периода.

Под паровой озимой пшеницей в метровом слое почвы влаги бывает, как правило, достаточно для формирования урожая, тогда как по непаровым предшественникам в наиболее ответственные периоды нередко ощущается острый дефицит влаги.

Оптимальные запасы продуктивной влаги на протяжении всего периода вегетации растений, а особенно в критические фазы, являются определяющим фактором получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур в засушливых условиях степной зоны. Недостаточная влагообеспеченность на любом этапе вегетации растений отрицательно сказывается на формировании корневой системы возделываемых культур, развитии их вегетативных и генеративных органов, и в итоге – на величине и качестве урожая сельскохозяйственных культур.

Исследования в области совершенствования севооборотов и систем обработки почвы на склоновых землях должны быть прежде всего направлены на выявление оптимального сочетания конструкции севооборотов и систем обработки почвы в них, обеспечивающих максимальное накопление и рациональное расходование запасов продуктивной влаги сельскохозяйственными культурами с учётом эрозионной опасности территории (Гаевая, 2018).

Сохранение выпавших осадков в течение всего года на эрозионно-опасных склонах является одной из важнейших задач, решение которой способствует успешному возделыванию сельскохозяйственных культур, в частности озимой пшеницы. Запасы почвенной влаги в течение вегетационного периода озимой пшеницы изменялись в зависимости от характеристики тепловлагообеспеченности года и предшественника (Гаевая, 2016).

Ко времени посева озимой пшеницы запасы почвенной влаги по разным предшественникам были различны. Практически по всем предшественникам озимой пшеницы и приемам основной обработки почвы как в слое 0-30 см, так и в слое 0-100 см накопилось различное количество почвенной влаги. Для наиболее

важного при прорастании семян слоя 0-10 см в сложившихся условиях периода наблюдения запас продуктивной влаги по всем предшественникам был неудовлетворительным и составлял 1,2-3,8 мм с преимуществом под посевами по чистому пару (Гаевая, 2016) (Таблица 28).

Запас продуктивной влаги в чистом пару в осенний период был неудовлетворительным, так как предшествующей культурой был яровой ячмень. Все запасы продуктивной влаги были израсходованы на создание урожая.

В слое 0-30 см при чизельной обработке почвы накоплены наибольшие влагозапасы, как после предшественника озимой пшеницы чистый пар, так и после непаровых предшественников, составившие (9,0-18,2 мм), однако в последнем случае они на 23-70 % были ниже ($p < 0,05$).

Таблица 28 – Запас продуктивной влаги в почве в чистом пару и под посевами озимой пшеницы при различных приемах обработки почвы, в период посева, мм, 2020-2022 гг.

Агрофон	Приемы обработки почвы	Слой почвы, см			
		0–10	0–30	0–50	0–100
Чистый пар	Чизельная	1,5	5,6	21,3	22,4
	Отвальная	1,2	5,5	20,3	23,5
Озимая по предшественнику чистый пар	Чизельная	3,8	18,2	33,3	72,4
	Отвальная	2,5	15,2	27,5	65,6
Озимая по предшественнику озимая пшеница	Чизельная	1,9	5,7	10,5	28,1
	Отвальная	2,1	7,5	11,0	23,3
Озимая по предшественнику горох	Чизельная	1,6	9,0	15,6	23,9
	Отвальная	1,8	8,9	13,9	23,4
Озимая по предшественнику кукуруза	Чизельная	3,3	14,0	21,0	31,2
	Отвальная	2,8	10,7	17,7	30,3

В метровом слое к этому моменту максимальные запасы влаги были накоплены после предшественника озимой пшеницы чистый пар (65,6-72,4 мм), наименьшие – после озимой пшеницы и гороха (23,3-23,9 мм). Однако даже максимальные из накопленных в метровом слое почвы запасов влаги оценены как недостаточные (Вошедский и др., 2022).

Обработка почвы существенного влияния на накопление влагозапасов не

оказывала. Применение чизельной обработки почвы незначительно увеличивало запасы продуктивной влаги на 1-6 мм ($p>0,05$).

Во время возобновления весенней вегетации самые высокие почвенные влагозапасы наблюдались во всех слоях почвы при чизельной основной обработке почвы после пара и озимой пшеницы, составив в метровом слое почвы 118 и 154 мм ($p>0,05$) соответственно, что также является недостаточным для нормального развития культуры (Вошедский и др., 2022) (Таблица 29).

Наибольшему накоплению влаги в почве в метровом слое почвы за осенне-зимний период способствовала чизельная обработка после непаровых предшественников (озимой пшеницы, гороха и кукурузы), а также чистого пара. За этот период в почве было усвоено 27-41 % влаги от осадков, выпавших за осенне-зимний период. По предшественнику озимой пшеницы чистый пар усвоение осадков холодного периода составило 15-16 % с незначительным преимуществом по чизельной обработке ($p>0,05$).

Таблица 29 – Усвоение осадков холодного периода в почве под посевами озимой пшеницы при различных приемах обработки почвы, мм, 2020-2022 гг.

Агрофон	Обработка почвы	Запас продуктивной влаги при посеве, мм	Запас продуктивной влаги в начале возобновления весенней вегетации, мм	Прирост запасов влаги за осенне-зимний период, мм	Усвоение осадков холодного периода, %
Чистый пар	Чизельная	22,4	154,8	132,4	41,4
	Отвальная	23,5	145,6	122,1	38,2
Озимая по предшественнику чистый пар	Чизельная	72,4	125,3	52,9	16,0
	Отвальная	65,6	115,2	49,7	15,0
Озимая по предшественнику озимая пшеница	Чизельная	28,1	134,1	106,1	32,0
	Отвальная	23,3	121,9	98,7	29,8
Озимая по предшественнику горох	Чизельная	23,9	132,2	108,3	32,7
	Отвальная	23,4	122,4	99,0	29,9
Озимая по предшественнику кукуруза	Чизельная	31,2	121,2	90,0	27,2
	Отвальная	30,3	118,5	88,2	26,7

В осенний период при посеве озимых культур количество влаги в метровом

слое почвы значительно варьирует как под различными предшественниками, так и в зависимости от режима тепловлагодобеспеченности года. Предшественником чистого пара являются зерновые колосовые культуры, на формирование урожая расходуется почвенная влага, поэтому её количество к моменту закладки основной обработки минимально и сильно зависит от количества выпавших осадков в послеуборочный период (Гаевая, 2016).

Для Приазовской зоны Ростовской области среднемноголетнее количество осадков за год составляет 500 мм при ГТК = 0,8 (Агроклиматические ресурсы...1972). Для оценки запасов влаги была использована классификация Г.Т. Селянинова (1977). Все изучаемые года с 1991 г. по 2014 г. были ранжированы в убывающем порядке по ГТК и были определены следующие группы: «очень засушливые ГТК 0,4-0,7», «засушливые ГТК 0,7-1,0», «средне засушливые и влажные ГТК – 1,0-1,6».

Запасы влаги в чистом пару в «очень засушливые» и «засушливые» годы можно охарактеризовать как – «плохие» (Вадюнина и Корчагина, 1986). Только в «средне засушливые» и «влажные» годы этот предшественник накапливает более 80 мм доступной влаги в слое почвы 0-100 см, что характеризует их как «недостаточные». Запасы продуктивной влаги под озимой пшеницей, посеянной по предшественнику чистый пар, характеризуются как – «недостаточные», их количество колеблется в пределах от 84 до 98 мм, причем в «очень засушливые» годы их количество максимальное. Этот факт можно объяснить тем, что период парования приходится на влагообеспеченные годы. и почва за время парования накапливает максимальное количество осадков. А следующий год попадает в период с недостаточным увлажнением (ГТК – 0,4-0,7), и развитие озимой пшеницы происходит при неблагоприятных условиях. Непаровые предшественники под озимую пшеницу за все время наблюдения в слое почвы 0-100 см накапливают от 49 до 65 мм доступной влаги, и запасы влаги можно охарактеризовать как – «плохие» (Гаевая, 2016) (Таблица 30).

Как было отмечено выше, за холодный период выпадает от половины до третьей части всех осадков, выпадающих за год. Запасы продуктивной влаги за

этот же период в слое почвы 0-100 см пополняются в чистом пару от 134 мм в «очень засушливые» годы до 168 мм в годы «средне засушливые» и «влажные». Накопившиеся осадки в почве можно оценить как – «удовлетворительные» и «отличные» (Гаевая, 2016).

В «засушливые» годы при ГТК – 0,7-1,0 в почве накапливается в среднем 154 мм доступной влаги, и эти запасы характеризуются как – «хорошие». Даже в самые засушливые годы чистый пар способен накопить достаточное количество влаги для дружных всходов, обеспечивая их хорошее развитие с осени и перезимовку растений, а также формирования урожая. После непаровых предшественников таких результатов можно добиться только при значительном выпадении осадков. Озимая пшеница, посеянная по предшественнику чистый пар и непаровым предшественникам, в холодный период года накапливает от 95 до 129 мм доступной влаги, и эти запасы характеризуются как «удовлетворительные» и «недостаточные». Непаровые предшественники озимой пшеницы накапливают влаги в холодный период года от 13,7 до 27,8 % (Гаевая, 2016).

Таблица 30 – Аккумуляция осадков холодного периода года в чистом пару и под различными предшественниками озимой пшеницы, 1991-2014 гг.

Культура, агрофон	Оса дки за с/х год, мм	Оса дки холод- ного перио- да, мм	Запас влаги, мм в слое 0–100 см			Аккумуляция осадков в зим- ний пе- риод, %
			посев	ВВВВ	полная спе-	
Очень засушливые ГТК – 0,4–0,7						
Чистый пар	480	230	13	134	68	52,6
Озимая по предшественнику чистый пар			98	129	31	13,5
Озимая по непаровым предшественникам			49	113	30	27,8
Засушливые ГТК – 0,7–1,0						
Чистый пар	646	267	46	154	117	40,4
Озимая по предшественнику чистый пар			85	117	59	12,0
Озимая по непаровым предшественникам			65	113	47	18,0
Средне засушливые и влажные ГТК – 1,0–1,6						
Чистый пар	727	234	87	168	143	34,6
Озимая по предшественнику чистый пар			84	108	77	10,3
Озимая по непаровым предшественникам			63	95	64	13,7

Паровое поле не только способно накапливать осадки, но и сохранять их в течение теплого периода года. В период созревания озимой пшеницы поле чистого пара содержит доступной влаги в «очень засушливые» годы 68 мм, «засушливые» – 117 мм, «средне засушливые» и «влажные» – 143 мм. В период парования чистый пар теряет до 50 % влаги – в «очень засушливые» годы, и в два раза меньше в «засушливые», и более чем в три раза меньше в «средне засушливые» и «влажные» годы. Наибольшие потери почвенной влаги происходят во время культиваций, с испарением и если не происходит пополнение содержания влаги за счет выпадения осадков, то к осеннему севу запасы продуктивной влаги в годы «очень засушливые» можно охарактеризовать как плохие, «засушливые» годы – недостаточные, «средне засушливые» и «влажные» годы – удовлетворительные.

Озимые, посеянные по пару, развивают мощную корневую систему и при длительном отсутствии осадков способны использовать влагу глубоких слоев почвы. Содержание доступной влаги в этот период под посевами озимой пшеницы, посеянной по различным предшественникам, колеблется в пределах от 30 до 77 мм, и эти запасы можно оценить как «недостаточные» или «плохие».

Чистый пар является наилучшим предшественником для озимой пшеницы, возделываемой на склонах, подверженных эрозии, с точки зрения влагонакопления. Однако в эрозионном плане чистый пар в большей степени подвержен смыву и размыву. Соблюдение всех агротехнических приемов, направленных на максимальное накопление влаги в почве и бережное ее расходование, а также противоэрозионные мероприятия, способствуют предотвращению процессов деградации. В годы с большим количеством осадков и благоприятным их распределением для возделывания озимой пшеницы, общий расход влаги выше на 29,6 % по озимым, посеянным по чистому пару, и на – 36,2 % по озимым по непаровым предшественникам, а расход влаги, отнесённой к единице продукции, значительно меньший на 11,7–59,1 %, чем в засушливые годы. Сокращение общего расхода влаги из-за недостаточной влагообеспеченности приводит к существенному снижению урожайности культур (Гаевая, 2016).

Таким образом, в метровом слое почвы в период посева максимальные запасы влаги были накоплены после предшественника озимой пшеницы чистый пар (65,6-72,4 мм), наименьшие – после непаровых предшественников озимой пшеницы (23,3-23,9 мм). Применение чизельной обработки почвы незначительно увеличивало запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на 1–6 мм ($p>0,05$). Эрозионная устойчивость озимого поля определяется способностью усваивать осадки холодного периода, которые аккумулируются почвой в зависимости от влагообеспеченности года в порядке убывания: «очень засушливые» → «засушливые» → «средне засушливые и влажные». Наибольшее количество осадков холодного периода аккумулирует чистый пар 34,6-52,6 %, а наименьшее – озимая пшеница по чистому пару 10,3-13,5 %, непаровые предшественники озимой пшеницы занимают промежуточное положение.

5. 10 Изменения водопроницаемости чернозема обыкновенного

Предотвращение стока талой и ливневой воды и связанные с этим эрозионные процессы в значительной мере зависят от водопроницаемости пашни. Водопроницаемость почвы под озимой пшеницей изменялась в зависимости от приемов обработки, предшественника и сроков ее определения. Сократить интенсивность проявления и развития эрозионных процессов можно посредством использования приемов и технологий, направленных на изменение свойств почвы с целью повышения водопроницаемости, применяя различные системы обработки почвы. Степень водопроницаемости почвы в зависимости от приемов и глубины обработки уменьшается в ряду: чизельное рыхление → отвальная обработка → дискование. Последнее проводится для подготовки почвы под посев озимой пшеницы по непаровым предшественникам (горох, озимая пшеница, кукуруза). Чизельная и отвальная обработки почвы под чистый пар проводятся на глубину 25-27 см, дискование – на максимально возможную глубину – до 15 см. Основное влияние на водопоглощение чернозёмов обыкновенных оказывает степень увлажнения, плотность сложения и количество водоустойчивых агрегатов. Регулиро-

вать водный режим и, как следствие, развитие эрозии можно посредством организации территории склоновых земель, используя контурно-полосное размещение культур с использованием чередования эрозионно-устойчивых и эрозионно-опасных (Гаевая и Тарадин, 2014).

Скорость проникновения воды в почву в севооборотах для разных культур и агрофонов неодинакова (Гаевая и Тарадин, 2014). Неодинакова она и в разные по влагообеспеченности годы. В чистом пару влага, как в первый час, так и за три часа наблюдений впитывается значительно слабее, чем под озимой пшеницей (Таблица 31).

За первый час в оба срока наблюдений влаги поглощается почвой больше, чем в среднем за час из трех часов – как в пару, так и под культурами (на 16,3-42,2 %). Значительно большая водопроницаемость отмечена при наблюдении во 2-й срок – как в паровом поле, так и под культурами (в среднем на 17,9-33,7 %), поскольку в это время запасы почвенной влаги были значительно меньшими.

Таблица 31 – Водопроницаемость почвы под различными культурами и в чистом пару, мм/мин., 2003-2013 гг.

Культура, агрофон	По чизельной обработке				По отвальной обработке			
	1 ^й срок		2 ^й срок		1 ^й срок		2 ^й срок	
	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
Пар чистый	2,82	1,66	3,74	2,25	2,71	1,58	3,69	2,34
Озимая пшеница по предшественнику чистый пар	4,01	2,32	4,73	2,99	3,49	2,23	4,52	3,58
Озимая пшеница по непаровым предшественникам	2,78	2,14	3,72	2,29	2,51	1,95	3,38	2,38
Многолетние травы	1,88	1,58	3,67	2,29	1,62	1,81	3,21	2,42
Примечания: 1) 1 ^й срок – время возобновления весенней вегетации; 2 ^й срок – полная спелость озимой пшеницы. 2) А – водопроницаемость в 1-й час, Б – водопроницаемость в среднем за 3 часа.								

Более высокая водопроницаемость наблюдалась в паровом поле и по озимой пшенице, посеянной по чистому пару при чизельной обработке почвы (2,82-4,01 мм/мин), возрастая от времени возобновления весенней вегетации до фазы полной спелости озимой пшеницы на 17,9-32,9 % (Гаевая и Тарадин, 2014).

Водопроницаемость почвы после весеннего возобновления вегетации по непаровым предшественникам озимой пшеницы и многолетним травам была ниже, чем по паровым предшественникам. При этом данный показатель изменялся в среднем по предшественнику-агрофону в следующих пределах: озимая по непаровым предшественникам – 2,51-2,78 мм/мин., многолетние травы – 1,12-1,88 мм/мин.

Из обработок наилучшая водопроницаемость обеспечивалась на фоне чизельной обработки почвы. По сравнению с указанным вариантом, водопроницаемость при отвальной обработке в среднем (в зависимости от предшественника) снижалась: по чистому пару – на 3,8 %, по озимой по пару – 13,0 %, по озимой по непаровым предшественникам – 9,7 %, по многолетним травам – 13,7 %. Характерные отличия в показателях водопроницаемости на изучаемых вариантах отмечены в период уборки озимой пшеницы. Водопроницаемость почвы по всем предшественникам и агрофонам увеличилась за этот период за счет уменьшения влажности почвы, пошедшей на формирование продукции и естественное испарение: по агрофону чистый пар – на 32,6-36,1 %, озимая по пару – от 17,9 до 29,4 %, озимая по непаровым предшественникам – от 33,7 до 34,5 %, многолетним травам – 95,2-98,0 %.

На пахотных землях четко прослеживается снижение водопроницаемости по мере увеличения плотности верхнего слоя и уменьшения количества водостойчивых агрегатов. Приемы основной обработки по-разному влияют на изменение плотности и, следовательно, водопроницаемости почвы. По мере заполнения капилляров и некапиллярных пустот скорость впитывания почвы значительно снижается и становится близкой к постоянной. С этим процессом в значительной мере связана возможность предотвращения стока талой и ливневой воды.

Для разных культур и агрофонов в севооборотах скорость проникновения воды в почву неодинакова. Неодинакова она и в разные по влагообеспеченности годы.

Увеличению водопроницаемости служат приемы обработки почвы, создающие условия для максимального впитывания осадков при их выпадении. Как в

поле чистого пара, так и в поле паровой озимой пшеницы начальная водопроницаемость при использовании глубоких обработок – чизельной и отвальной – была наибольшей и составляла 2,8-3,0 мм/мин. и 3,3-3,9 мм/мин., соответственно (Гаева и Тарадин, 2014) (Рисунок 27).

Установившаяся водопроницаемость к 25 минуте по чистому пару и к 15 минуте по озимой пшенице по непаровым предшественникам также была отмечена на глубоких обработках. Время насыщения влагой почвы зависит от ее свойств. Для лучшего накопления и сохранения влаги необходимо, чтобы почва имела оптимальную плотность. С этой величиной связаны водный, тепловой и воздушный режимы почвы, она также является одним из факторов плодородия.

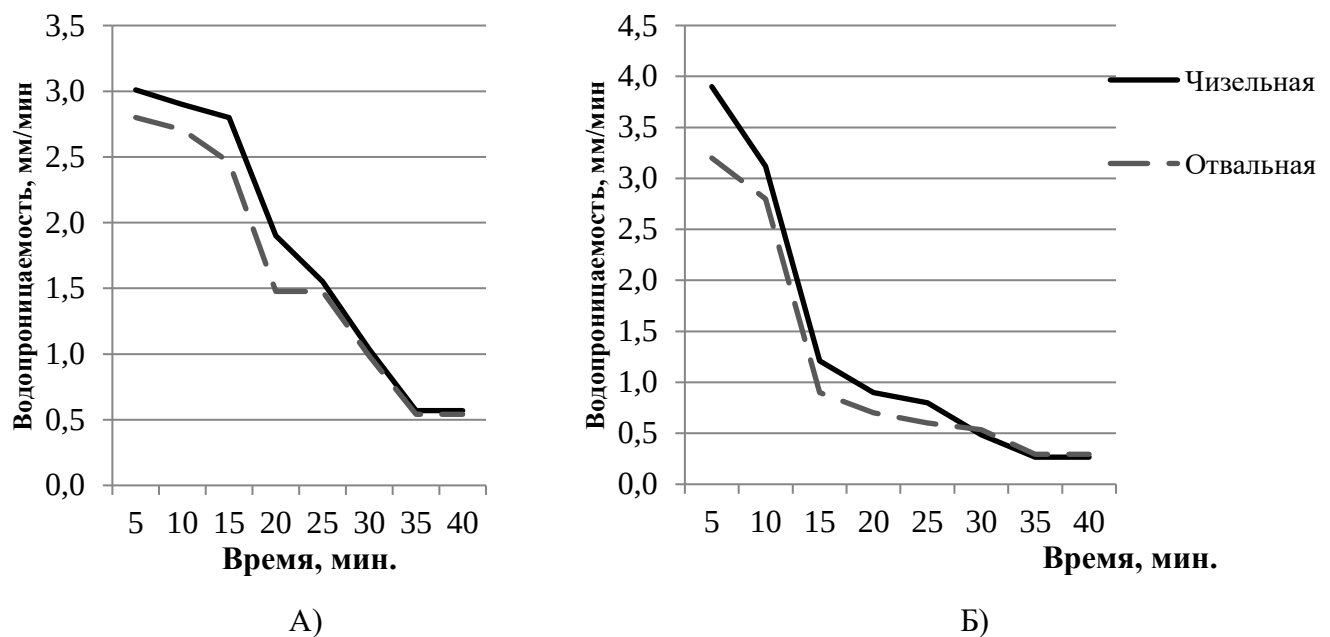


Рисунок 27 – Интенсивность впитывания воды в зависимости от приемов обработки почвы в фазу возобновления весенней вегетации в чистом пару (А) и под озимой пшеницей по предшественнику озимая пшеница (Б), мм/мин., 2013-2015 гг.

Для оценки характера влияния плотности сложения, количества в ней водустойчивых агрегатов и влажности почвы на скорость инфильтрации в различные периоды вегетации озимой пшеницы был проведен корреляционный анализ (Таблица 32).

Таблица 32 – Корреляционные отношения между водопроницаемостью почвы под чистым паром и озимой пшеницей по различным предшественникам и показателями физических свойств почвы, в различные фазы развития, 2003-2013 гг.

Предшественник, агрофон	Показатель		
	Плотность почвы	Влажность почвы	Количество водоустойчивых агрегатов
Возобновление весенней вегетации			
Чистый пар	-0,7	-0,6	0,7
Озимая пшеница по чистому пару	-0,8	-0,8	0,9
Озимая пшеница по озимой пшенице	-0,7	-0,8	0,8
Полная спелость			
Чистый пар	-0,9	-0,8	0,8
Озимая пшеница по чистому пару	-0,7	-0,9	0,8
Озимая пшеница по озимой пшенице	-0,8	-0,9	0,8

Математическая обработка данных по величине плотности сложения и водопроницаемости почвы выявила обратную зависимость: чем больше плотность почвы, тем хуже её впитывающая способность ($r = -0,7-0,9$).

Также выявлена обратная зависимость между водопроницаемостью и содержанием продуктивной влаги в слое почвы 0-30 см ($r = -0,6-0,9$). После весеннего снеготаяния, когда запас продуктивной влаги достаточно высокий, отмечена наихудшая водопроницаемость и в чистом пару, и в полях озимой пшеницы. К уборке, когда запасы продуктивной влаги приближаются к влажности завядания, увеличивается и впитывающая способность почвы. Количество водоустойчивых агрегатов также влияет на водопроницаемость: чем более оструктурена почва, тем она лучше впитывает влагу ($r = 0,7-0,9$) (Гаевая и Тарадин, 2014).

Методами математического анализа многолетних данных были установлены существенные зависимости ($R^2=0,72-0,91$) уровня инфильтрации воды от физических свойств почвы (плотность сложения, влажность почвы и количество водопрочных агрегатов) для чистого пара и озимой пшеницы, посеянной по различным предшественникам в различные фазы вегетации растений (Таблица 33).

Таблица 33 – Зависимости водопроницаемости почвы в чистом пару под посевами озимой пшеницы и ее физическими свойствами, 2003-2013 гг.

Предшественник, агрофон	Уравнение регрессии	R ²
Возобновление весенней вегетации		
Чистый пар	$Y = -6,1 A - 0,004 B + 0,11 C - 0,84$	R ² =0,72
Озимая пшеница по чистому пару	$Y = -4,49 A - 0,06 B + 0,10 C + 1,701$	R ² =0,87
Озимая пшеница по озимой пшенице	$Y = -3,76 A - 0,031 B + 0,092 C + 0,32$	R ² =0,76
Полная спелость		
Чистый пар	$Y = 0,011 A - 0,054 B + 0,050 C - 0,099$	R ² =0,72
Озимая пшеница по чистому пару	$Y = -5,18 A - 0,052 B + 0,077 C + 3,46$	R ² =0,91
Озимая пшеница по озимой пшенице	$Y = -3,113 A - 0,055 B + 0,116 C - 1,65$	R ² =0,85
Примечание: Y – водопроницаемость, мм/мин; A – плотность почвы в слое 0–30 см, г/см ³ ; B – влажность почвы в слое 0–30 см, мм; C – количество водопрочных агрегатов в слое 0–30 см, %.		

Полученные уравнения могут быть использованы для определения водопроницаемости почвы расчетным путем для разработки приемов обработки склоновых земель, позволяющие предотвратить сток воды и смыв почвы; при проектировании систем земледелия на ландшафтной основе и организации мелиоративных мероприятий (Гаевая и Тарадин, 2014).

Таким образом, водопроницаемость черноземов обыкновенных изменялась в зависимости от предшественника, приемов обработки почвы и сроков ее определения. За первый час водопроницаемость была больше на 16,3-42,2 %, чем в последующие часы. Начальная водопроницаемость составляла 2,8-3,9 мм/мин., и устанавливалась к 15-25 минуте. Наибольшая водопроницаемость была в чистом пару и по озимой пшенице по чистому пару при чизельной обработке почвы (2,82-4,01 мм/мин.), возрастая от времени возобновления весенней вегетации к фазе полной спелости озимой пшеницы на 17,9-32,9 %. Водопроницаемость при чизельной обработке в среднем увеличивалась: по чистому пару – на 3,8 %, по озимой по непаровым предшественникам – на 9,7 %, по озимой по пару – на 13,0 %, по многолетним травам – на 13,7 %. Выявлена зависимость инфильтрации от плотности сложения ($r = -0,7-0,9$), количества в ней водоустойчивых агрегатов ($r = 0,7-0,9$) и влажности почвы ($r = -0,6-0,9$). Полученные уравнения для определения водопроницаемости почвы могут быть использованы при проектировании си-

стем земледелия на ландшафтной основе и организации мелиоративных мероприятий.

5. 11 Динамика накопления снега на склонах

Исследования в области совершенствования севооборотов и систем обработки почвы на склоновых землях должны быть направлены на разработку оптимального сочетания конструкции севооборотов и систем обработки почвы, обеспечивающих максимальное накопление и рациональное расходования запасов продуктивной влаги сельскохозяйственными культурами с учётом эрозионной опасности территории.

Необходимо учитывать, что в условиях проведения исследований естественная влагозарядка происходит, в основном, поздней осенью и зимой. Осадки весенне-летнего периода значительно уступают суммарному расходу влаги на потребление растениями, физическому испарению и возможному стоку, если поле расположено на эрозионно-опасном склоне. Максимум влаги накапливается ранней весной, и организационные и агротехнические приемы должны быть направлены на ее сохранение и эффективное использование. Задачей контурно-полосного размещения культур является сохранение и рациональное использование влаги, выпадающей как в виде твердых осадков, так и в виде летних ливней. Для этого необходимо размещение культур в полосах, способных задерживать и накапливать твердые осадки в виде снега. Различные предшественники имеют различную способность к снегозадержанию.

Запасы воды в снеге, которые могут стать причиной стока и возникновения эрозионных процессов, формируются к началу снеготаяния. Кроме количества выпавшего снега, на высоту снегового покрова оказывают влияние приемы и глубина обработки почвы, глыбистость и гребнистость обработанного поля, количество и характер растительных остатков, степень развития озимых культур (Вощедский и др., 2022).

Немаловажное значение при накоплении почвенной влаги в зимний период имеют высота и плотность снегового покрова, а также запасы воды. Наибольшая

высота снегового покрова в зимний период была отмечена на посевах многолетних трав, составив в среднем 12,4-13,3 см, что больше аналогичных показателей на полях озимой пшеницы (9,1-11,0 см) и зяби (10,5-11,0 см) (Таблица 34).

Приведенные данные отражают характерную закономерность: высота снегового покрова по разным предшественникам – агрофонам увеличивалась по мере снижения интенсивности основной обработки, достигая наибольшего значения в варианте чизельной обработки. Здесь сказывается роль стерни, способной удерживать большее количество снега. Использование чизельной обработки почвы в качестве основной больше оставляет на поверхности почвы стерни, тогда как на полях с отвальной обработкой, имеющих гладкие гребни, снег не задерживается на полях зяби. Поэтому использование чизельной обработки на зяби приводит к увеличению высоты снегового покрова на 9,5 % ($p < 0,05$) по сравнению с отвальной обработкой. Такая же ситуация и на полях, занятых различными культурами. Многолетние травы в большей степени покрывают поле, чем озимая пшеница, и поэтому больше задерживают снег. Однако влияние чизельной обработки на высоту снегового покрова на полях, занятых зимующими культурами, незначительно ($p > 0,05$) по озимой пшенице (4,7 %) и многолетним травам (7,3 %).

Таблица 34 – Высота снегового покрова и запас воды в снеге в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы к началу снеготаяния на эрозионно-опасном склоне, 1990-2022 гг.

Показатель	Приемы обработки почвы	Предшественник		
		Озимая пшеница	Зябь	Многолетние травы
Высота снегового покрова, мм	Отвальная	10,5±1,3	9,1±1,2	12,4±1,5
	Чизельная	11,0±1,3	10,0±1,2	13,3±1,6
Плотность снега, г/см ³	Отвальная	0,016–0,024	0,018–0,028	0,012–0,031
	Чизельная	0,017–0,026	0,018–0,028	0,015–0,030
Запас воды в снеге, мм	Отвальная	26,5±4,1	22,5±3,7	31,6±4,8
	Чизельная	28,2±4,2	24,1±3,8	33,9±5,0
Запас воды в снеге, т/га	Отвальная	265,0±40,8	225,4±36,9	316,5±47,9
	Чизельная	281,5±41,9	240,6±38,0	338,7±49,9
Запас воды в снеге, т/га (min)	Отвальная	19,0	18,0	16,0
	Чизельная	16,0	16,0	17,0
Запас воды в снеге, т/га (max)	Отвальная	793,1	721,0	872,4
	Чизельная	779,9	709,0	872,4

Высота снегового покрова зависит от перераспределения снега в результате

действия ветров. Это влияет на плотность снега; в одних местах снег задерживается в других наоборот, его выдувает. Плотность снега на различных полях севооборота неодинаковая, поэтому запасы воды в снеге даже при одной и той же высоте снегового покрова могут быть различными. Плотность снега изменялась от 0,012 до 0,031 г/см³ в зависимости от предшественника и количества стерни, и влияла на запас воды в снеге (Вошедский и др., 2022). При одинаковой плотности снега чизельная обработка способствовала накоплению запасов воды на 15,2-22,2 т/га больше, чем при отвальной вспашке. Запасы воды в снеге находятся в одинаковой тесной зависимости от высоты снегового покрова ($r = 0,85-0,87$).

Наибольшее количество воды в снеге было на полях многолетних трав (316,5-338,7 т/га), по предшественнику озимая пшеница (265,0-281,5 т/га) запас воды в снеге был меньше на 51,5 т/га, чем на многолетних травах. На его формирование влияет состояние посевов, степень кустистости и многие другие факторы. Наименьшее количество воды в снеге накапливалось на зяби (225,4-245,4 т/га). Незащищенная почва не способна удерживать большое количество снега и господствующие северные ветра выдувают снег.

Запасы воды в снеге находятся в прямой тесной зависимости от его плотности снега, коэффициент корреляции колеблется от 0,85 на зяби до 0,90 на посевах многолетних травах.

В течение длительного периода наблюдения, более 30 лет, запас воды в снеге значительно изменялся. Минимальные значения воды в снеге составляли 16,0-19,0 т/га, а максимальные – 721,0-872,4 т/га, при этом коэффициент вариации составлял 86,2-93,0. На этот показатель влияли многие факторы, такие как: количество осадков зимнего периода, температура, скорость ветра и др.

Наибольшее количество снега на полях было отмечено в 2015 г. За холодный период выпало 185,3 мм осадков или 1853 т/га при среднесуточной температуре зимнего периода минус 1,1°C. Поэтому половина осадков оставалась на полях в виде снега (872,4 т/га). Холодные и снежные зимы способствуют накоплению значительного количества твердых осадков в виде снега. Задача контурно-полосной организации территории – максимально сохранить осадки для будущего

урожая. На формирование стока талых вод большое значение оказывают: запасы снега, глубина промерзания почвы, влажность почвы и ее плотность. А.Т. Барабанов и В.И. Панов (2012) сформулировали закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод: «Интенсивность и продолжительность снеготаяния, а также другие факторы на общую величину стока талых вод за период снеготаяния практически не влияют. Суть закона заключается в том, что при некотором лимитирующем значении одного из них сток не формируется независимо от уровня других». Чередование полос, способных накапливать значительное количество снега (озимая пшеница, многолетние травы), и полос, хорошо впитывающих влагу (чистый пар), позволяет предотвращать развитие процессов эрозии (Гаевая, 2019).

Максимум влаги бывает ранней весной, и организационные и агротехнические приемы должны быть направлены на ее сохранение и эффективное использование. Для этого на границах полос необходимо создавать гребни и напашные валы, препятствующие движению воды вниз по склону. Способствует лучшему впитыванию влаги при таянии снега такой прием, как щелевание озимой пшеницы.

Таким образом, наибольшая высота снегового покрова (12,4-13,3 см) и запас воды в снеге (316,5-338 т/га) были отмечены на посевах многолетних трав. Показатель запас воды в снеге находится в тесной зависимости с высотой снегового покрова ($r = 0,85-0,87$), плотностью снега ($r = 0,85-0,90$). Высота снегового покрова увеличивается по мере снижения интенсивности основной обработки, достигая наибольшего значения при использовании чизельной обработки. Накопление снега в зимний период при контурно-полосном размещении чистого пара и многолетних трав или озимой пшеницы, при применении почвозащитной обработки способствовало накоплению снега на 9,5 % больше по сравнению с отвальной обработкой.

5. 12 Влияние ливней на развитие эрозионных процессов черноземов обыкновенных

В течение длительного периода наблюдений с 1990 г. по 2023 г. было сравнительно немного ливней с большим количеством осадков и высокой интенсивностью их выпадения. Осадки, выпадавшие с небольшой интенсивностью, при сильно высушенном верхнем слое почвы, повышенной эрозионной опасности не представляли. Интенсивность ливня явилась основным показателем, определяющим эрозионную значимость (Гаевая, 2019).

Если в последние 3-5 лет эрозионных процессов в период таяния снега либо совсем не отмечено, либо они не носили разрушительный характер, то смывы и размывы ливневой водой имели место. Причем ливневые осадки даже тогда, когда были не слишком велики, отмечались высокой интенсивностью. За последние тридцать лет выявлено снижение суммы атмосферных осадков в ряде зон Ростовской области на 19,8 % и увеличение аридности климата (Безуглова и др., 2022). При этом выпадение осадков носит неравномерный характер. В некоторые месяцы осадки вообще отсутствуют, а в другие месяцы их сумма в два-три раза больше среднемесячной нормы. Ливневый характер выпадения осадков способствует развитию эрозионных процессов на склоновых землях (Таблица 35).

Таблица 35 – Сток ливневой воды и смыв почвы на склоне в чистом пару, 1990-2023 гг. (Листопадов И.Н., 2005; Гаевая Э.А. и др., 2012).

Дата ливня	Количество осадков, мм	Интенсивность ливня мм/мин	Сток, мм	Смыв почвы, т/га
19.06.1990	43,9	1,56	8,6	11,9
26.04.1994	43,1	1,35	7,5	2,9
15.08.1997	53,5	1,66	44,4	53,6
21.09.2000	27,5	1,39	9,6	4,6
21.06.2001	30,8	1,48	18,3	6,1
21.08.2002	28,0	2,33	21,4	9,4
30.06.2003	21,0	1,47	10,1	6,2
18.06.2005	31,0	1,36	12,3	4,7
19.05.2021	28,0	1,40	10,2	4,2
11.08.2021	33,0	1,65	12,4	5,1
24.05.2023	20,2	1,61	13,2	5,2
10.08.2023	25,0	1,25	15,6	5,3

По нашим наблюдениям интенсивность ливней колебалась в пределах от 1,01 до 2,33 мм/мин. Наибольший сток и смыл был отмечен в 1997 г. и составлял 44,4 мм и 53,6 т/га. При этом сток воды и смыл почвы зависел в меньшей степени от интенсивности ливней ($r=0,36$; $r=0,26$), чем от количества выпавших осадков ($r=0,57$; $r=0,67$), имеющих среднюю тесноту связи. Этот факт еще раз подтверждает, что эрозионные процессы начинают проявляться при низкой водопроницаемости и полной влагоемкости почвы, когда избыточное количество воды не успевает впитываться и стекает вниз по склону, унося с собой плодородный слой почвы (рисунки 28-29).

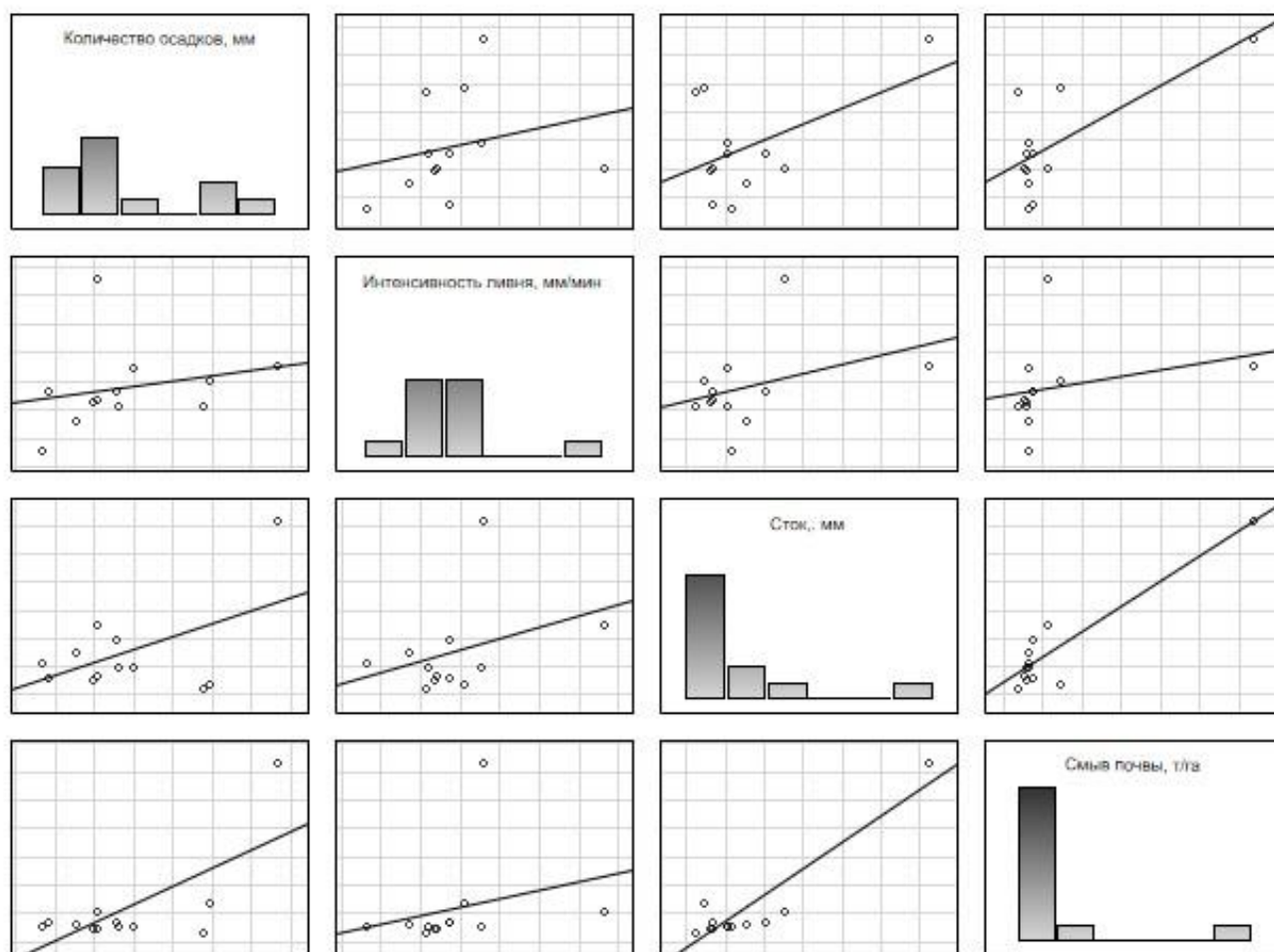
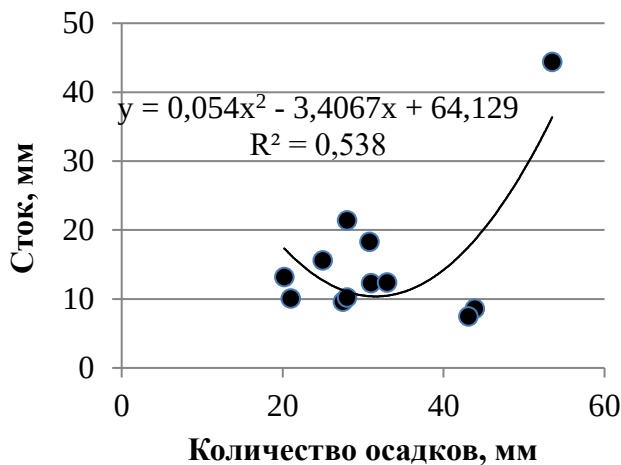


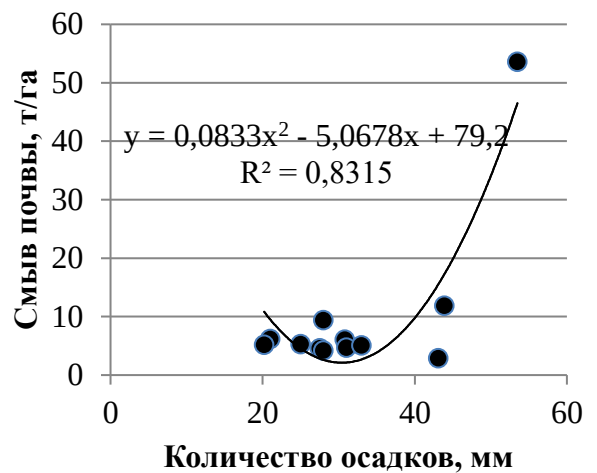
Рисунок 28 – Матричный график зависимости количества осадков выпавших за один ливень, интенсивности ливней, стока, смыва почвы, 1990-2022 гг.

Во все годы исследований контурно-ландшафтная организация территории склона и чередование в полосах устойчивых и неустойчивых к эрозии культур

позволили и территориально, и по интенсивности проявления, сократить эрозионные процессы. Более защищенными полосы чистого пара и озимой пшеницы оказались не только в сравнении со сплошным его размещением, но и в сравнении с полосным размещением озимой пшеницы, поскольку часть воды поглощалась полосами чистого пара, имеющими в летнее время высокую водопроницаемость (Вошедский и др., 2022а).

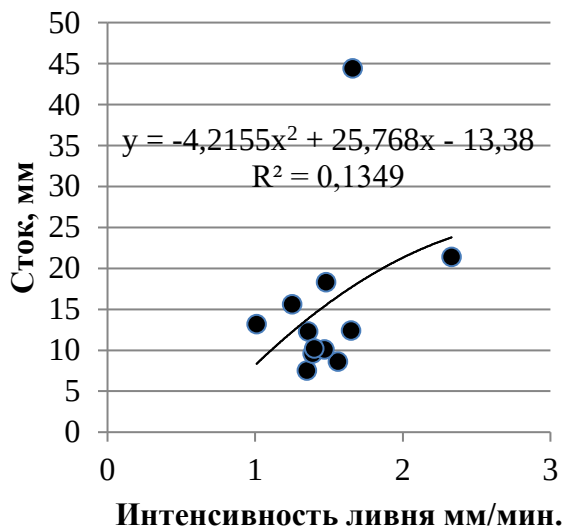


А

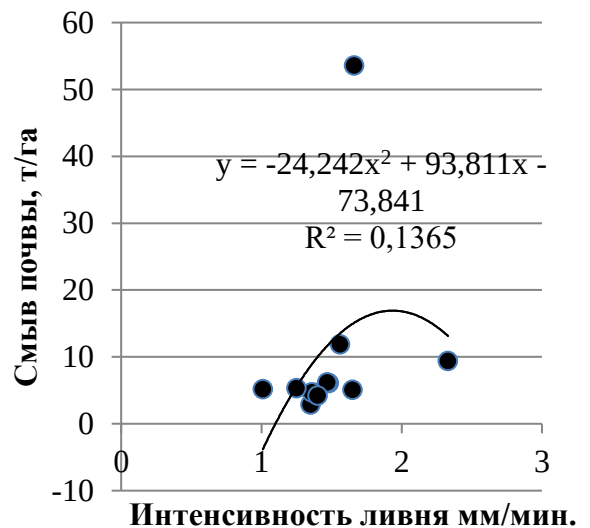


Б

Зависимость стока ливневых вод (А) и смыва почвы (Б) от количества выпавших осадков за один ливень, 1990–2023 гг.



А



Б

Рисунок 29 – Зависимость стока ливневых вод (А) и смыва почвы (Б) от интенсивности ливня, 1990-2023 гг.

Выявлена прямая зависимость летнего стока от интенсивности ливня и количества осадков. При складывающихся условиях (плотность, водопроницаемость, влажность почвы) максимальный сток дождевых вод был отмечен 44,4 мм, интенсивность ливня – 2,3 мм, количество осадков – 53,5 мм (Рисунок 30). Количество смытой почвы напрямую зависит от стока и величины осадков за один ливень. Однако смыв почвы ограничен допустимыми пределами от 2,9-53,6 т/га, при этом сток колеблется в пределах от 7,5 мм до 44,4 мм, а количество за один ливень 20,2-53,5 мм. При увеличении одного из этих показателей смыв почвы может увеличиться до 60 т/га (Гаевая, 2019).

А.Т. Барабанов (2015) разделил «агротехнические противоэрозионные приемы, направленные на задержание осадков и защиту почв от эрозии, на четыре основные группы. В первую группу входят приемы, направленные на улучшение водно-физических свойств почв, повышение водопроницаемости за счет углубления пахотного слоя. Вторая группа – приемы, направленные на поверхностное водозадержание: поперечная и контурная вспашка зяби. Третья группа – приемы, обеспечивающие высокую противоэрозионную устойчивость почвы: поверхностные обработки с оставлением мульчи. Четвертая группа – приемы, направленные на регулирование снегоотложения и снеготаяния».

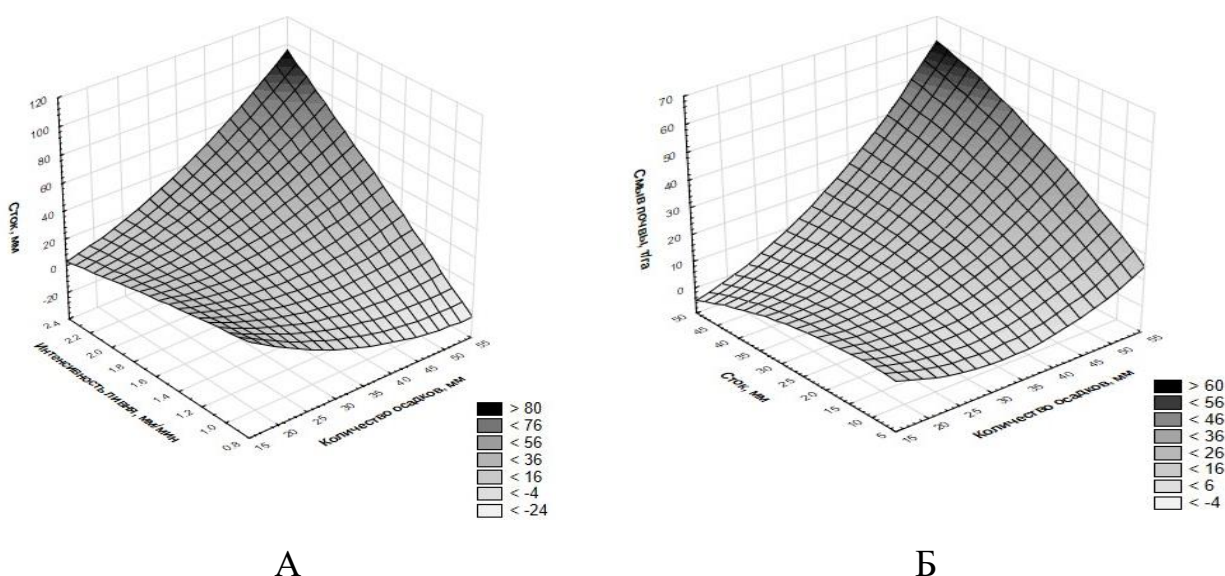


Рисунок 30 – Зависимость стока (А) и смыва почвы (т/га) (Б) от интенсивности ливней и количества осадков, выпавших за один ливень (мм), 1990-2022 гг.

Таким образом, ливни, выпадающие на эрозионном склоне, имеют разливную интенсивность (1,01-2,33 мм/мин.), сток воды и смыв почвы зависит в большей степени от количества выпавших осадков ($r=0,57$; $r=0,67$), чем от интенсивности ливня ($r=0,36$; $r=0,26$). Сток, вызванный летними ливнями, напрямую зависит от интенсивности ливня и количества осадков, а смыв от стока и величины осадков за один ливень.

5. 13 Гребнистость почвы

Большое значение для предотвращения процессов эрозии имеет гребнистость вспашки. Наибольший эффект по предотвращению стока воды и смыва почвы обеспечивается при чередовании полос эрозионно-устойчивых культур, почва под которыми уплотнена, с чистым паром или культурами, с рыхлой пашней и высокой водопоглащающей способностью (Гаевая, 2019). Как было выше сказано, размещение полос озимой пшеницы с полосами обычной зяби при крутизне склона до $3,5-4^\circ$ сокращает сток. Усиление противоэрозионного комплекса поздней гребнистой зябью, щелеванием почвы или образованием на границе полос напашных валиков (18-20 см) позволяет сократить сток до безопасных пределов (Вошедский и др., 2022).

Поскольку все виды обработки почвы в опыте осуществляются поперек склона приближенно к горизонталям, то гребнистость пашни после основной обработки приобретает противоэрозионное значение: до определенного предела предотвращает сток талой воды, а вместе с ним и смыв почвы (Таблица 36).

Таблица 36 – Гребнистость почвы в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, %, 2007-2010 гг.

Предшествующая культура	Приемы основной обработки почвы	Гребнистость, %
Пропашные	Чизельная	$7,0 \pm 0,4$
	Отвальная	$7,7 \pm 0,5$
Зерновые и колосовые	Чизельная	$6,9 \pm 0,4$
	Отвальная	$7,3 \pm 0,6$
Пласт многолетних трав	Чизельная	$6,5 \pm 0,3$
	Отвальная	$7,1 \pm 0,4$

Согласно данным таблицы, при отвальной вспашке гребнистость в среднем больше на 7,7 %, чем при чизельной обработке. Один из способов защиты от эрозионных процессов зяблевого поля в севооборотах на склонах заключается в применении почвозащитной обработки почвы с оставлением на поверхности поля стерни.

Растительные остатки, так же, как и гребни при вспашке, способны задерживать потоки воды при интенсивном снеготаянии и ливнях. Однако гребни более рыхлые и в большей степени подвержены размыву, но их впитывающая способность намного выше уплотненной почвы. Усиление комплекса противоэрозионных мер за счёт поздней гребнистой зяби позволяет сократить эрозионные процессы (Пыхтин, 2017).

Несмотря на то, что показатель гребнистости после плужной вспашки значительно выше, чем после чизельной обработки, чередование в полосах гребнистой вспашки и обработки с оставлением на почве стерни является почвозащитным приемом.

Таким образом, почвозащитная обработка, выполненная чизельным плугом, являясь почвозащитным мероприятием, способна противостоять смыву и размыву почвы, сокращая сток и смыв почвы.

5. 14 Противоэрозионная устойчивость корневых систем

Источником пополнения почвенной органики могут быть пожнивные остатки – стерневые и корневые. Расценивать их при расчете баланса гумуса и основных элементов питания следует как возврат в почву элементов питания, затраченных на их формирование, а также как противоэрозионный аспект.

Масса корневой системы культур в севооборотах формируется в зависимости от влагообеспеченности, а также обеспеченности элементами минерального питания. Причем, речь идет не только о количествах того и другого, но и о размещении в почвенных горизонтах. Более мощная корневая система с размещением ее элементов, как в верхних, так и в более глубоких слоях, формируется в бла-

гоприятные по влагообеспеченности годы. В засушливые годы основная масса корней размещается в поверхностных слоях почвы, что способствует улавливанию влаги даже небольших атмосферных осадков, тогда как отдельные корни (не более 12-15 % всей корневой массы) уходят в результате положительного гидротропизма в более глубокие слои почвы. Это позволяет растению пережить засушливый период и сформировать хотя бы минимальный урожай (Листопадов и др., 2009, 2010).

Масса стерневых остатков, поступающих в почву, зависит от развития растений, высоты среза при уборке урожая и времени скашивания. Количественные показатели корневых и стерневых остатков варьирует в довольно широких пределах, поскольку к указанным выше факторам их формирования следует отнести – место в севообороте или предшественник и уровень применения удобрений (Таблица 37).

Таблица 37 – Пожнивные остатки озимой пшеницы по пару и непаровым предшественникам, т/га («1» уровень применения удобрений), 2005-2012 гг. (Листопадов и др., 2009; Гаевая, 2018)

Растительные остатки	Благоприятные		Неблагоприятные	
	чистый пар	озимая пшеница	чистый пар	озимая пшеница
Корневые остатки	1,84	0,96	1,08	0,84
Стерневые остатки	4,15	2,86	1,52	1,26
Сумма пожнивных остатков	5,99	3,82	2,60	2,10

При проведении исследований основное внимание было уделено корневым системам культур севооборотов как средству, способствующему предотвращению или хотя бы сокращению проявления эрозионных процессов. Наибольшее количество пожнивных остатков оставалось на поле после паровой озимой пшеницы в различные по метеорологическим условиям годы (2,60-5,99 т/га), после озимой пшеницы, посеянной по предшественнику озимая пшеница, растительных остатков было на 19,2-36,2 % меньше. Корневые остатки озимой пшеницы от суммы всех пожнивных остатков составляют: по предшественнику чистый пар 30,7-

41,5 %, по предшественнику озимая пшеница 25,1-40,0 % (Гаевая, 2019).

В дополнение к ранее проведенным исследованиям поставлен вопрос о роли корневых систем в предотвращении процессов эрозии. Во-первых, посредством того, что они являются живым «армирующим» элементом почвенных частиц, во-вторых, зона активного действия усваивающих корней сильнее иссушает почву, что способствует дополнительному поглощению воды и, в-третьих, органические и минеральные выделения корневых систем, а затем частично и продукты их минерализации, способны в определенной степени «склеивать» почвенные частицы (Листопадов и др., 2009).

В противоэрозионном плане в первую очередь представляет интерес масса корней, размещенная в пределах пахотного слоя почвы (Таблица 38).

Таблица 38 – Масса корней различных культур в слое почвы 0-30 см, т/га, 2009-2012 гг.

Культура	Масса корней
Озимая пшеница	1,11
Горох	0,78
Многолетние травы 2-го года жизни	7,24
Многолетние травы 3-го года жизни	6,56

Наиболее развита корневая система у многолетних трав (6,56-7,24 т/га), способных за 2–3 года жизни сформировать мощную массу. Значительно уступает ей корневая система озимой пшеницы (1,11 т/га), срок жизни которой составляет вегетационный период, длящийся 270-310 дней, включая зимние месяцы.

За это время корневая система формирует значительную массу, которая достигает максимума к началу созревания, после этого периода рост ее останавливается. Горох, как культура, имеющая короткий вегетационный период (60-110 дней), не успевает сформировать хорошо развитую корневую систему (0,78 т/га). В противоэрозионном плане горох, как культура, является не устойчивой, во-первых, в течение сельскохозяйственного года поля заняты посевами только в весенне-летний период до 4-х месяцев, во-вторых, масса корневой системы значительно уступает другим культурам.

Строение и размеры корневых систем, наличие так называемой «корневой массы» зависят от ряда факторов – плотности почвы, наличия элементов минерального питания и др., но основным является количество и размещение почвенной влаги в профиле почвы. Корневые системы растений реагируют на сочетание водных и физических свойств почвы изменением габитуса, соотношения отдельных элементов, характером размещения в почвенных горизонтах.

В противоэрозионном плане в первую очередь представляет интерес масса корневой системы, размещенная в пределах пахотного слоя почвы. Для этого нами была разработана полезная модель: «Устройство для отбора и фиксирования почвенных проб и корневой системы растения» (Пат. № RU 119108 U1, 2012) и «Способ определения массы корневой системы пшениц» (Пат. № RU 2716576 C1, 2020). Это устройство позволяет изучать корневые системы растений с учетом их размещения по слоям почвы и оценивать их с точки зрения эрозионной устойчивости.

В наших исследованиях корневая система озимой пшеницы, высеянной по чистому пару и непаровым предшественникам, где условия влагообеспеченности были неодинаковыми, имела различный габитус, а главное, разную глубину размещения корней в почве (Таблица 39, Рисунок 31).

Таблица 39 – Размещение корневой системы озимой пшеницы, высеянной по различным предшественникам в севообороте (фаза выхода в трубку), %, 2007-2009 гг.

Размещение корней в слое почвы	Предшественник и обработка почвы		
	пар чистый, отваль- ная обработка на 25–27 см.	кукуруза на силос, дискование 10–12 см	озимая пшеница, дискование 8–10 см.
0–10 см	28,3	42,4	46,1
10–20 см	29,4	31,8	32,2
20–30 см	22,9	14,2	13,8
30–50 см	9,3	5,4	3,4
Глубже 50 см	10,2	6,2	4,5

При достаточно хорошем увлажнении почвы озимая пшеница уже осенью формирует вторичную корневую систему. Хорошее развитие с осени корневая си-

стема получает, как правило, при размещении посева по чистому пару. Более 70 % массы корневой системы размещается в слое почвы 0-30 см. И только незначительная ее часть залегает глубже 50 см (Листопадов и др., 2009).

По непаровым предшественникам вторичные корни нормально образовались только при достаточной влагообеспеченности, в период осенней вегетации. Основная масса корневой системы (70-75 %) по непаровым предшественникам размещается в поверхностном слое 0-20 см.



Рисунок 31 – Корневая система озимой пшеницы, посеянной по чистому пару по отвальной (а) и дисковой (б) обработке почвы

Установлено, что корневые системы большинства полевых культур при недостаточной влагообеспеченности стремятся использовать больший объем почвы, в результате чего зона деятельности их увеличивается, поскольку по мере иссушения почвы корни в силу положительного гидротропизма продвигаются в сторону более высокого потенциала влажности (Листопадов и др., 2009).

Интенсивное иссушение почвы во время формирования корневой системы озимой пшеницы способствовало прекращению образования вторичных корней, но при наступлении благоприятной влагообеспеченности растения вновь могут образовать корни, способные быстро усваивать появившуюся влагу.

На длительном опыте по изучению севооборотов проводили наблюдения, в результате которых выявлено, что в период, когда вторичная корневая система была почти полностью сформирована, рост корней приостанавливался в результате резкой и продолжительной засухи. После выпадения осадков (свыше 20 мм) у значительного числа растений из верхней части узла кущения образовалось по 3-4 новых корней. Они были толще ранее сформированных, имели более светлую окраску, и находились в состоянии тургора. После повторного иссушения верхнего слоя почвы вновь образовавшиеся корни останавливались в росте, изменяли цвет (темнели), а затем отмирали. Следует полагать, что основная функция этих корней состоит в том, чтобы быстро усвоить влагу выпавших осадков, поскольку новые корни возникали при увлажнении почвы, а затем теряли свое значение и даже отмерли, как только почва вновь иссушалась (Рисунок 32).



Рисунок 32 – Корневая система озимой пшеницы, посеянной по чистому пару. (Из узла кущения образуются новые корни)

Такое проявление пластичности корневых систем является приспособительным свойством в условиях периодического дефицита влаги.

К пластичности корневой системы следует отнести и реакцию на различную глубину взрыхленного слоя почвы. При более глубокой обработке почвы и, тем более, при достаточном увлажнении рыхлого слоя, образуются более мощные корневые системы, размещающиеся не только в приповерхностном, но и по всей толще пахотного и подпахотного слоя (Листопадов и др., 2009).

При уменьшении глубины обработки корни размещаются ближе к поверхности, но при этом «стремятся» сохранить, а зачастую и увеличить используемый объем почвы за счет пространства между соседними растениями. Кроме того, находясь близко к поверхности почвы, усваивающие элементы корневой системы более активно используют выпавшие осадки.

Размещая озимую пшеницу по непаровым предшественникам в силу ряда объективных агрономических требований, необходимо ограничиваться мелкой или поверхностной обработкой почвы. Растение при этом формирует хотя и несколько иную по габитусу массу корней и соотношению элементов, но вполне достаточную для получения урожая по этому предшественнику. Такая пластичность корневой системы озимой пшеницы может служить основанием энергосберегающей технологии ее возделывания с минимальной обработкой почвы, которая и осуществляется повсеместно в южных регионах России (Листопадов и др., 2009).

При этом возникает и другой, весьма важный вопрос: могут ли в результате минимализации обработки почвы наступить условия, при которых корневая система станет не в состоянии обеспечить сохранение уровня получаемого урожая? Очевидно, это может произойти, если минимальная обработка длительное время не будет чередоваться с другими приемами обработки почвы. Однако более обстоятельный ответ могут дать углубленные исследования по обработке почвы, обязательно в системе севооборота.

Роль корневых систем проявляется и в противоэрозионных возможностях культур в севооборотах. Исследования проводили на склоне крутизной 3,5-4° при среднегодовом смыве почвы 18 т с гектара, тогда как при полосном размещении

полей, обладающих различной возможностью противостоять смыву (например, пар и озимая пшеница) – его удалось сократить до 1,8-3,9 т с гектара и ниже (Листопадов и др., 2009).

Эрозионная устойчивость склонов, на которых возделываются сельскохозяйственные культуры, во многом определяется характером формирования корневых систем и их отдельных элементов в разные периоды вегетации растений.

Устойчивость к эрозии проявляется, прежде всего, вследствие того, что в зоне активной деятельности усваивающей части корневой системы происходит более интенсивное водопоглощение, что уменьшает вероятность стока воды и смыва почвы. Кроме того, корневые системы являются биологически «армирующим» фактором для почвенных частиц. И, наконец, органические и минеральные выделения корневых систем, а затем продукты минерализации отмерших корней, способны в определенной степени «склеивать» почвенные отдельности (Листопадов и др., 2009).

Корневые системы в условиях различной влагообеспеченности имеют неодинаковую массу и обладают разной возможностью предотвращать эрозионные процессы. Распределение массы корневой системы в зависимости от обработки почвы было изучено на примере ярового ячменя (Таблица 40).

Таблица 40 – Масса корневой системы ярового ячменя в фазу выхода в трубку в слое почвы 0–40 см в зависимости от приемов обработки почвы, т/га, 2009-2010 гг.

Слой почвы	Обработка почвы			
	чизельная		отвальная	
	т/га	%	т/га	%
0-10	0,73	44,4	0,81	48,2
10-20	0,39	23,9	0,40	23,9
20-30	0,24	14,7	0,26	15,6
30-40	0,33	20,1	0,20	12,0
0-40	1,63	100	1,67	100

Масса корневой системы ярового ячменя по изучаемым обработкам примерно одинаковая (1,63 и 1,67 т/га). Однако по отвальной обработке почвы в слое

0-10 см располагается до 48,2 %, тогда как по чизельной обработке несколько меньше – 44,4 %. К более глубоким слоям количество корней уменьшается от 23,9 до 12,0 % (Листопадов и др., 2009).

Корневая система в условиях различной влагообеспеченности имеет неодинаковую массу и обладает разной возможностью предотвращать эрозионные процессы. С началом весенней вегетации возобновляется формирование и усложнение корневой системы озимой пшеницы. Образуются новые скелетные и усваивающие корни, происходит захват новых объемов почвы. Увеличивается взаимное проникновение корней в сферу расположения соседних растений. Создается действенная армирующая структура, способная не только противостоять смыву почвы, но и защитить расположенные рядом неустойчивые к эрозии полосы.

Контурно-ландшафтная организация эрозионно-опасного склона, чередования неустойчивого к смыву почвы чистого пара с полосами озимой пшеницы позволили существенно сократить, а в отдельных случаях и полностью приостановить эрозионные процессы (Листопадов и др., 2009).

Анализ полученных результатов позволяет предположить, что главная причина резкого сокращения смыва почвы к фазе созревания озимой пшеницы является ее мощно развившаяся корневая система, «армирующая» отдельные почвенные частицы.

Таким образом, масса и армирующие свойства корневой системы люцерны (6,56-7,24 т/га) и озимой пшеницы (1,11 т/га) делает их наиболее устойчивыми культурами к смыву и размыву.

Эрозионная устойчивость склонов, на которых возделываются сельскохозяйственные культуры, во многом определяется характером формирования корневой системы и ее отдельных элементов в разные периоды вегетации растений. Устойчивость к эрозии проявляется, прежде всего, вследствие того, что в зоне активной деятельности усваивающей части корневой системы:

- происходит более интенсивное поглощение влаги, что уменьшает вероятность стока воды и смыва почвы;

- корневая система служит биологически армирующим фактором для почвенных частиц;
- органические и минеральные выделения корней, а затем продукты их минерализации, способны не только пополнять почву органическими остатками, но и в определенной степени склеивать почвенные отдельности.

6 ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО СРЕДНЕЭРОДИРОВАННОГО В СИСТЕМЕ КОНТУРНО-ПОЛОСНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИИ

6.1 Динамика гумуса в длительном опыте в зависимости от конструкции севооборотов и удобрений

Устойчивость почвы к процессам деградации в ландшафтном земледелии можно оценить по нескольким показателям, в числе которых смыв почвы, потеря гумуса и биогенных элементов. Содержание гумуса в почвах является ключевым показателем их потенциального плодородия и агроэкологической устойчивости (Козлов и Уромова, 2018). На пахотных почвах потеря органического вещества происходит из-за минерализации, отчуждения сельскохозяйственными культурами и проявления ветровой и водной эрозии (Баламирзоев и др., 2014; Гаевая Э.А. и др., 2018а; Шеуджен и др., 2017).

Многими исследователями установлено уменьшение содержания гумуса в зависимости от интенсивности технологии возделывания сельскохозяйственных культур, приемов обработки почвы, жидкого и твердого стоков (Терпелец, Плитинь, 2015; Yuan et al. 2023). Баланс гумуса в почве зависит от соотношения количества образованного и расходуемого гумуса и может быть дефицитным, бездефицитным и расширенным (Гаевая и др., 2022а; Романенко и др., 2014; Листопадов, 2005). Нами в течение длительного периода с 1986 по 2022 год осуществляется мониторинг показателей почвенного плодородия в севооборотах с различной долей чистого пара и при различном уровне применения органических и минеральных удобрений. Севообороты изучали при размещении культур в условиях эрозионно-опасного склона с контурно-мелиоративной организацией территории и полосным размещением.

Одним из основных факторов почвенного плодородия является органическое вещество. Интерес представляют изменения запаса гумуса и его состава под

воздействием севооборотов и системы удобрения. Длительное применение органических удобрений, в виде навоза, повышает содержание гумуса в почве, а применение минеральных удобрений поддерживает его на постоянном уровне, тогда как без удобрений интенсивное использование даже богатых чернозёмов приводит к сокращению содержания почвенного органического вещества (Гаевая и др., 2022a; Есипова, Байбеков, 2001).

Однако основным органическим удобрением в севооборотах южных регионов остаётся навоз, несмотря на то, что ежегодный выход его совершенно недостаточен для восстановления почвенной органики, израсходованной на производство земледельческой продукции, а также утраченной в результате нестабильности животноводства и экологических условий. Даже при том, что использование дополнительных источников пополнения органического вещества – корневых и пожнивных остатков, соломы, приобретает всё большее значение – полное и эффективное использование традиционного органического удобрения – навоза – остаётся необходимым и обязательным, несмотря на его недостаточное количество.

Контурно-ландшафтная организация территории склона и полосное размещение полей севооборотов, препятствующие стоку воды и смыву почвы, позволяют не только стабилизировать уровень почвенного плодородия, но при повышенных дозах органических и минеральных удобрений повысить его с соблюдением основных принципов экологического равновесия (Гаевая и др., 2023).

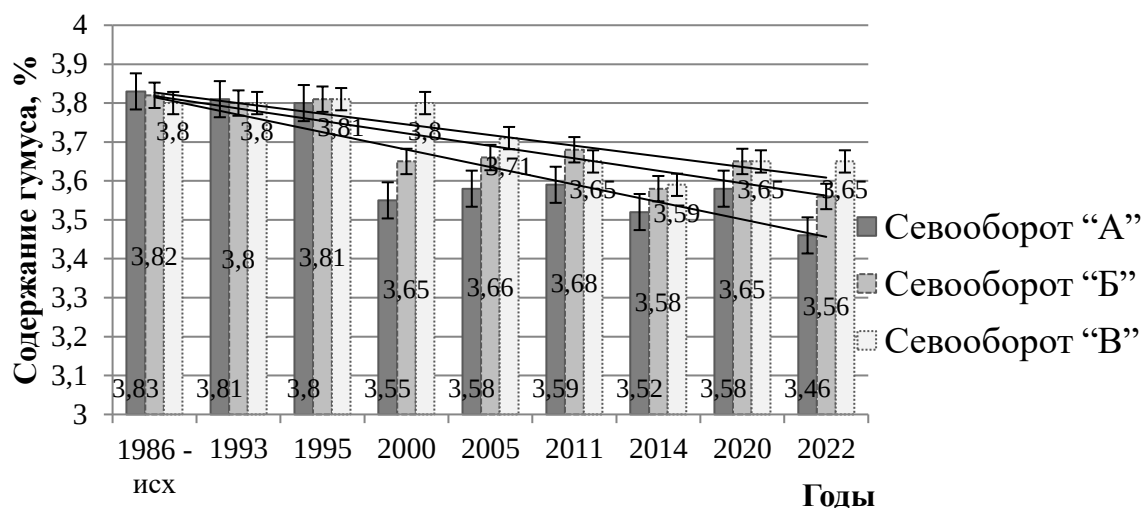
Исходное содержание гумуса в почве при закладке длительного опыта составляло 3,8-3,83 %. Через 10 лет к концу второй ротации в севообороте «А», имеющем в структуре посевных площадей 20 % чистого пара, в варианте опыта без внесения минеральных удобрений и при использовании отвальной обработки почвы среднестатистическая потеря гумуса была незначительной (0,03 %) и оставалась в пределах исходных значений. В пересчете на 1 га севооборотной площади потеря гумуса из пахотного слоя составила 1,1 т/га. Внесение минеральных и органических удобрений ($N_{46}P_{30}K_{30} + 5$ т навоза) незначительно повлияло на содержания гумуса по сравнению с исходным количеством на +0,02 % (+0,7 т/га).

Увеличение дозы внесения удобрений в полтора раза ($N_{84}P_{48}K_{48}+8$ т навоза) позволило повысить прибавку гумуса до 0,08 %; $p>0,05$ (2,9 т/га), но его содержание оставалось в пределах исходных значений (Гаевая и др., 2022а) (Рисунок 33, Таблица 42).

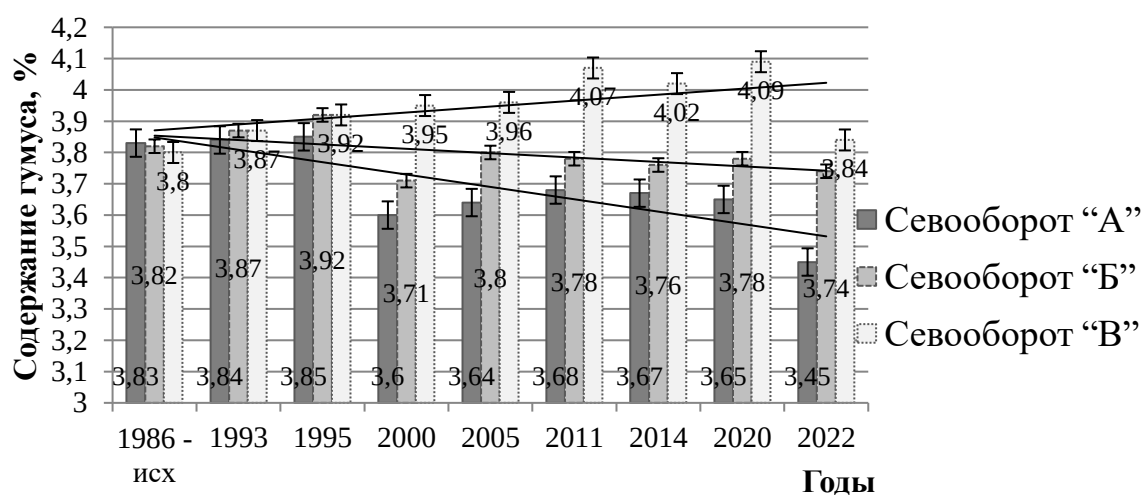
Введение в севооборот «Б» 20 % многолетних трав не повлияло на содержание гумуса в варианте естественного плодородия, потеря составила 0,01 % (-0,4 т/га). На первом уровне питания отмечался прирост в содержании гумуса (0,09 % или 3,2 т/га), но эта разница оставалась в пределах ошибки опыта ($p>0,05$), а на втором – получено достоверное увеличение содержания гумуса по сравнению с исходным (0,13 % или 4,7 т/га) ($p<0,05$) (Гаевая и др., 2022а).

Увеличение доли многолетних трав в два раза в структуре посевных площадей в севообороте «В» на естественном уровне питания растений способствовало сохранению гумуса на исходном уровне (0,01 % или 0,4 т/га), а при внесении удобрений в средних и повышенных дозах привело к увеличению гумусированности на 0,09-0,15 % (3,2-5,4 т/га; $p<0,05$).

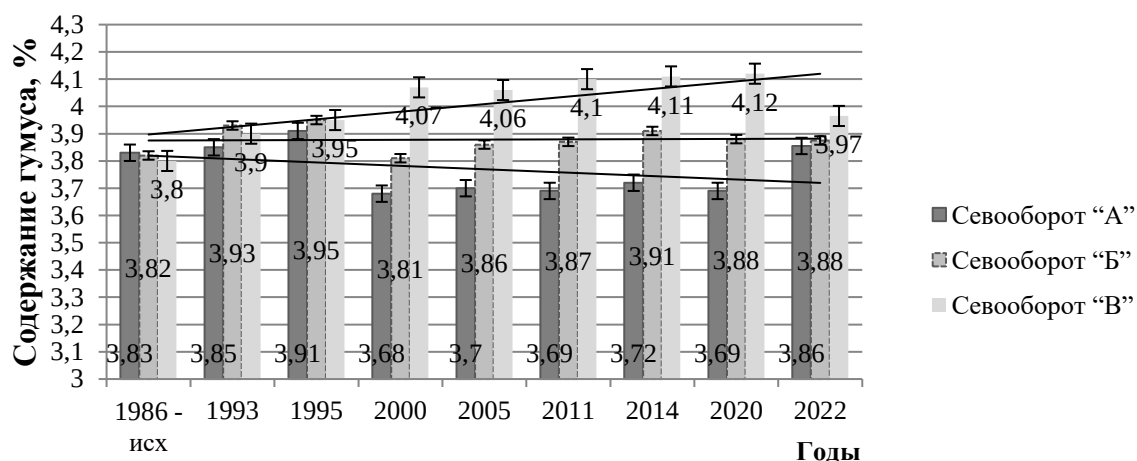
К концу седьмой ротации севооборотов тенденции в изменении гумуса сохранились. В севооборотах различных конструкций на склоне крутизной 3-3,5° возделывание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений привело к потере гумуса в различных количествах. Наибольшие потери гумуса были отмечены в севообороте «А» (-0,37 % или -13,3 т/га) за семь ротаций севооборотов. Наличие в севообороте 20 % чистого пара приводит к наибольшим потерям почвы в результате эрозионных процессов. В чистом пару наиболее интенсивно происходят процессы минерализации, следствием которых также является потеря гумуса. Введение в севооборот 20 % многолетних трав сокращает потери гумуса в вариантах без внесения удобрений, по сравнению с севооборотом «А» до 0,26 % (-9,4 т/га), а увеличение доли многолетних трав до 40 % – до 0,15 % (-4,5 т/га).



«0» - уровень применения удобрений (естественное плодородие)



«1-й» - уровень применения удобрений



«2-й» - уровень применения удобрений

Рисунок 33 – Динамика содержания гумуса в слое почвы 0-30 см в севооборотах различной конструкции в зависимости от уровней применения удобрений, %, 1990–2022 гг.

Таблица 42 – Изменение содержания гумуса в длительном опыте по сравнению с исходным содержанием в зависимости от конструкции севооборотов и доз внесения удобрений с 1986-2022 годы, %

Ротация севооборота	Севооборот								
	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
	0 уровень применения удобрений			1 уровень применения удобрений			2 уровень применения удобрений		
1-я ротация	-0,02	-0,02	0,00	0,01	0,04	0,04	0,02	0,11	0,10
2-я ротация	-0,03	-0,01	0,01	0,02	0,09	0,09	0,08	0,13	0,15
3-я ротация	-0,28	-0,17	0,00	-0,23	-0,12	0,12	-0,15	-0,01	0,27
4-я ротация	-0,25	-0,16	-0,09	-0,19	-0,03	0,13	-0,13	0,04	0,26
5-я ротация	-0,24	-0,14	-0,15	-0,15	-0,05	0,24	-0,14	0,05	0,30
6-я ротация	-0,31	-0,24	-0,21	-0,16	-0,07	0,19	-0,11	0,09	0,31
7-я ротация	-0,37	-0,26	-0,15	-0,38	-0,09	0,01	0,02	0,06	0,17

В севообороте «В» с долей многолетних трав 40 % и внесении удобрений в средних дозах отмечено сохранение гумуса на исходном уровне (+0,01 % или 0,4 т/га). Увеличение дозы внесения навоза до 40 т сохраняет плодородие на исходном уровне в севообороте с 20 % многолетних трав и расширенное воспроизводство гумуса в севообороте с 40 % многолетних трав ($p < 0,05$) (Гаевая и др., 2022а).

С 2014 года из системы внесения удобрений был исключен навоз (6-я ротация севооборотов), и это отразилось на изменении динамики гумуса. За 6-ю ротацию севооборотов была отмечена положительная динамика гумусообразования в севооборотах с различной долей многолетних трав. Однако в конце 7-й ротации севооборотов было отмечено снижение накопления гумуса при внесении различных доз минеральных удобрений. В севообороте «Б» при внесении повышенных доз удобрений содержания гумуса оставалось на исходном уровне. В севообороте «В» при внесении средних доз минеральных удобрений содержание гумуса снизилось до исходного уровня с 4,09 до 3,84 %, а при внесении повышенных доз – с 4,12 до 3,97 %.

Исходное содержание гумуса при закладке опыта было 3,8-3,83 %. За 7 ротаций севооборотов на вариантах без внесения удобрений было отмечено снижение гумуса в разных долях (на 0,15-0,37 %), с большими значениями в севооборо-

те «А». Внесение удобрений в средних дозах привело к снижению гумуса только в севооборотах «А» и «Б» на 0,38-0,09 %. Увеличение дозы удобрений в полтора раза в севооборотах «А» и «Б» не повлияло на изменение динамики гумуса. В севообороте «В» внесение удобрений в средних дозах и удвоенное по площади поле многолетних трав способствовало поддержанию гумуса на исходном уровне (+0,01 %), а увеличение дозы внесения удобрений в полтора раза позволило увеличить содержание гумуса на 0,17-0,31 % (Гаевая и др., 2018).

Таким образом, за 36-летний период наблюдения за динамикой гумуса черноземов обыкновенных в севооборотах различной эрозионной устойчивости с экстенсивной системой возделывания культур отмечено уменьшение этого показателя на 0,11-0,25 %. В результате сокращения процессов деградации за счет введения 20 % многолетних трав и внесения 40 т навоза получено бездефицитное воспроизводство плодородия почвы. Увеличение доли многолетних трав до 40 % при этой же дозе удобрений ($N_{84}P_{48}K_{48}+8$ т навоза) приводит к расширенному воспроизводству гумуса. Исключение навоза из системы удобрений (6-я ротация севооборотов) привело к снижению содержания гумуса до исходных значений, при внесении удобрений в средних дозах ($N_{46}P_{30}K_{30}$) и повышенных доз удобрений $N_{84}P_{48}K_{48}$ отмечена тенденция снижения содержания с 4,12 до 3,97 %.

6. 2 Динамика гумуса в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур

В результате проведения исследований показателей почвенного плодородия в севооборотах при различном уровне применения органических и минеральных удобрений на эрозионно-опасном склоне с контурно-ландшафтной организацией территории и полосным размещением культур в севооборотах при использовании почвозащитной обработки почвы, было выявлено, что со стоком воды и смывом почвы теряется органическое вещество, а также основные элементы питания растений, но в различной степени (Безуглова и др., 2024).

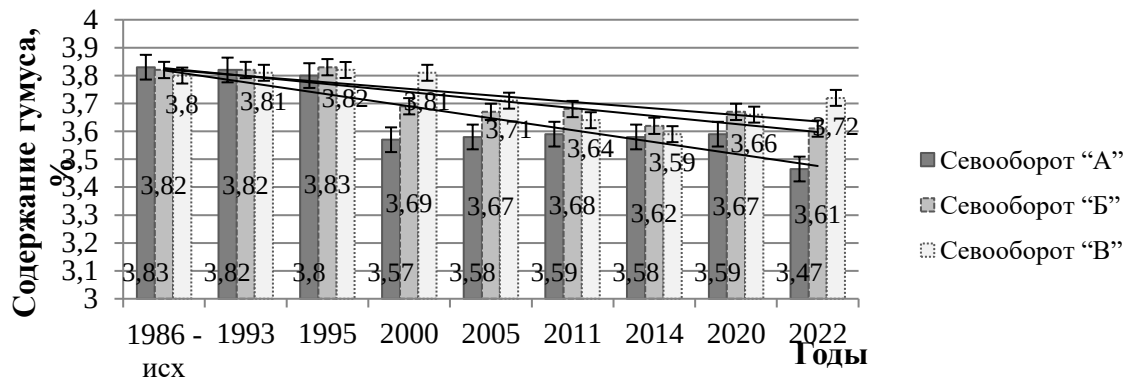
Интерес представляют изменения запаса гумуса и его состава под воздействием севооборотов, приемов обработки почвы. Длительное применение органических удобрений, в виде навоза, повышает содержание гумуса в почве, а применение минеральных удобрений поддерживает его на постоянном уровне, тогда как без удобрений интенсивное использование даже богатых чернозёмов приводит к сокращению содержания почвенной органики (Гаевая и др., 2024) (Рисунок 34).

Динамика содержания гумуса в почве при использовании почвозащитной обработки почвы (чизельной) аналогична динамике при использовании отвальной. В варианте естественного плодородия почвы отмечается снижение содержания гумуса с 3,8-3,83 % до 3,47-3,72 %. За 36 лет землепользования без внесения удобрений потери гумуса составили от 0,08 % до 0,37 % с большими значениями в севообороте с 20 % чистого пара. Незначительные отклонения в содержании гумуса при высокой допустимой ошибке метода определения и достаточно высоком количестве повторений, как полевых, так и лабораторных, подтверждает общую тенденцию снижения запасов органического вещества в почве (Гаевая, 2018).

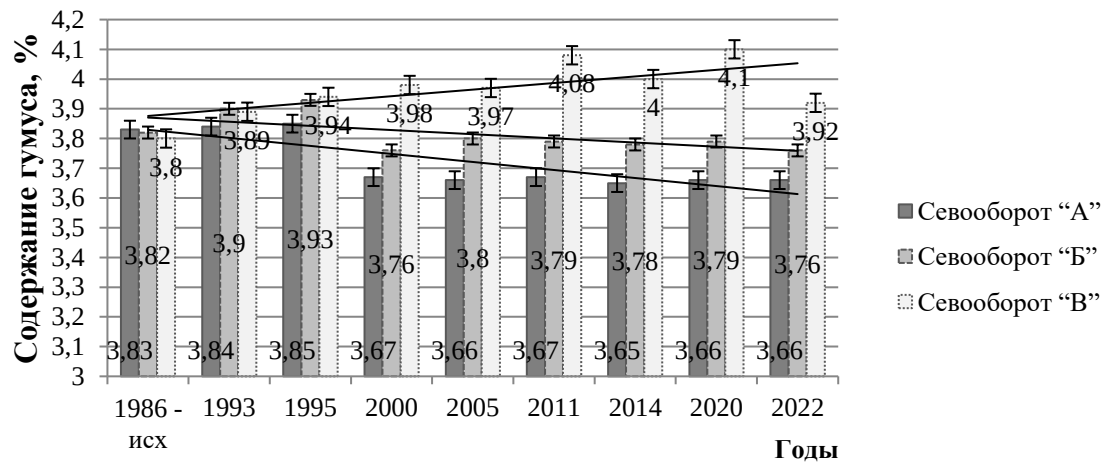
При внесении средних доз удобрений содержание гумуса в севооборотах «А» и «Б» не изменилось, и разница была в пределах ошибки опыта 3,66-3,76 % (на 0,07-0,17 %). В севообороте «В» с долей многолетних трав 40 % внесение этой же дозы удобрений привело к незначительному увеличению содержания гумуса до 3,92 % (на 0,09 %).

Внесение повышенных доз органоминеральных удобрений и применение почвозащитной обработки почвы в севообороте «А» способствовало поддержанию плодородия на исходном уровне (3,86 %).

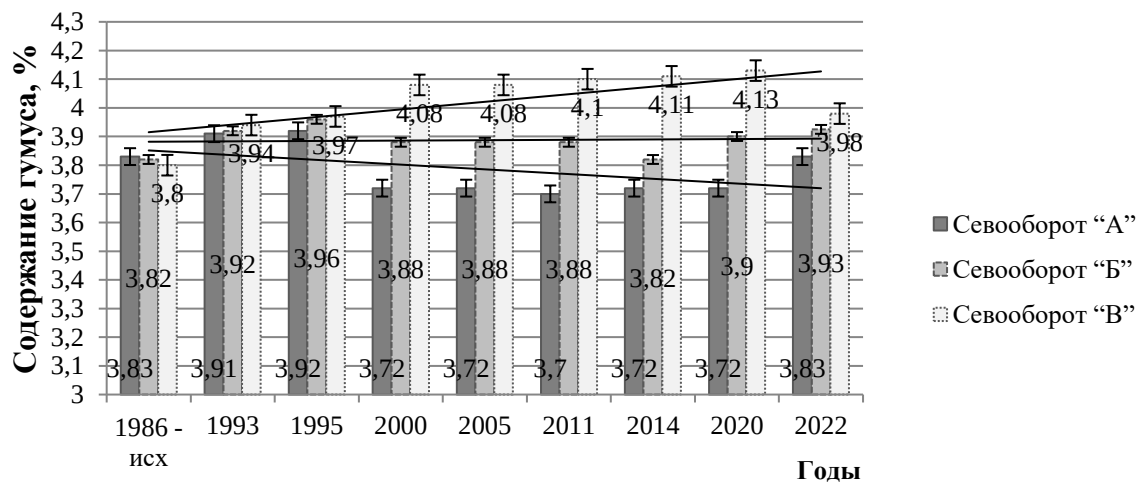
В севооборотах с 20 и 40 % многолетних трав при внесении повышенных доз удобрений отмечена положительная динамика накопления гумуса (3,88-3,97 или на 0,11-0,18 %).



«0» - уровень применения удобрений (естественное плодородие)



«1-й» - уровень применения удобрений



«2-й» - уровень применения удобрений

Рисунок 34 – Динамика содержания гумуса в слое почвы 0-30 см, в севооборотах различной конструкции в зависимости от уровней применения удобрений при использовании почвозащитной обработки, %, 1990-2022 гг.

Исключение навоза из системы удобрений с 2013 г. не повлияло на содержание гумуса и он оставался в тех же пределах 3,76-3,97 % в севооборотах.

Приемы обработки почвы существенного влияния на изменение содержания гумуса не оказывал ($p>0,05$). Разница в содержании гумуса при использовании почвозащитной (чизельной) обработки почвы по сравнению с отвальной колебалась в пределах от 0,01 до 0,08 % и не превышала ошибки опыта (Таблица 43).

Однако приемы обработки почвы оказывали существенное влияние на процессы деградации почвы за счет сокращения стока и смыва. Как было отмечено выше, использование почвозащитной обработки почвы приводит к сокращению жидкого и твердого стока, а вместе с ним – и потерям гумуса.

Таблица 43 – Изменение содержания гумуса в зависимости от использования почвозащитной обработки почвы, в сравнении с отвальной, %, 1986-2022 гг.

Ротация	Севооборот «А»			Севооборот «Б»			Севооборот «В»		
	Уровень применения удобрений								
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
1-я ротация	0,01	-	0,06	0,02	0,03	-	0,01	0,02	0,04
2-я ротация	-	-	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
3-я ротация	0,02	0,07	0,04	0,04	0,05	0,07	0,01	0,03	0,01
4-я ротация	-	0,02	0,02	0,01	-	0,02	-	0,01	0,02
5-я ротация	-	-	0,01	-	0,01	0,01	-	0,01	-
6-я ротация	0,06	-	-	0,04	0,02	-	-	-	-
7-я ротация	-	0,21	-	0,05	0,02	0,05	0,07	0,08	0,02

Общие требования по снижению физической деградации почв: 1) оптимизация их гумусового состояния с целью улучшения структуры и сложения, повышения плодородия; 2) снижение до допустимого уровня уплотняющего воздействия техники.

В системах земледелия следует отдавать предпочтение рациональным разнотрусовым обработкам почвы в соответствии с их физическими свойствами и требованиями возделываемых культур. Основным приемом разуплотнения почвы остается механическая обработка, на долю которой приходится 50 % от суммарного эффекта. На переуплотненных почвах в целях их разуплотнения необходимо

проводить глубокую безотвальную или чизельную обработку. На долю природных факторов разуплотнения (набухание-усадка, замерзание-оттаивание) приходится соответственно 35 и 15 % от суммарного эффекта разуплотнения (Камбулов и др., 2019).

На эродированных склонах крутизной до 3,5-4° земледелие может быть устойчивым и достаточно продуктивным только при условии сохранения и восстановления почвенного плодородия. Применение только приёмов почвозащитного комплекса не позволяет сохранить почвенное плодородие на высоком уровне, потери элементов питания необходимо компенсировать удобрениями.

Таким образом, приемы обработки почвы существенного влияния на изменение содержания гумуса не оказывали, разница составляла 0,01-0,08 %.

6. 3 Динамика гумуса в агрегатах различной размерности

Интенсивное использование земель для получения сельскохозяйственной продукции приводит к деградации черноземов обыкновенных. В последние десятилетия возросла антропогенная нагрузка на почву, что привело к многочисленным негативным явлениям. В результате выноса питательных веществ с возрастающим валовым сбором урожая сельскохозяйственных культур и без должного их возврата, происходит усиление минерализационных процессов, почвоутомление, усугубляемое потерями почвы в результате воздействия эрозии и дефляции (Безуглова и др., 2024). Все это приводит к ухудшению структурного состояния почвы, ее агрофизических свойств, уплотнению подпахотного слоя в связи с увеличением нагрузки техники на почву (Холодов и Ярославцева, 2021; Шапошникова, 2004).

Для изучения содержания гумуса в различных по размеру почвенных агрегатах были выбраны 5 фракций: >10 мм; 3-7 мм; 1-3 мм; 0,25-0,5 мм и < 0,25 мм. Почва была отобрана в чистом пару при внесении средних доз удобрений и применении отвальной обработки (Рисунок 35).

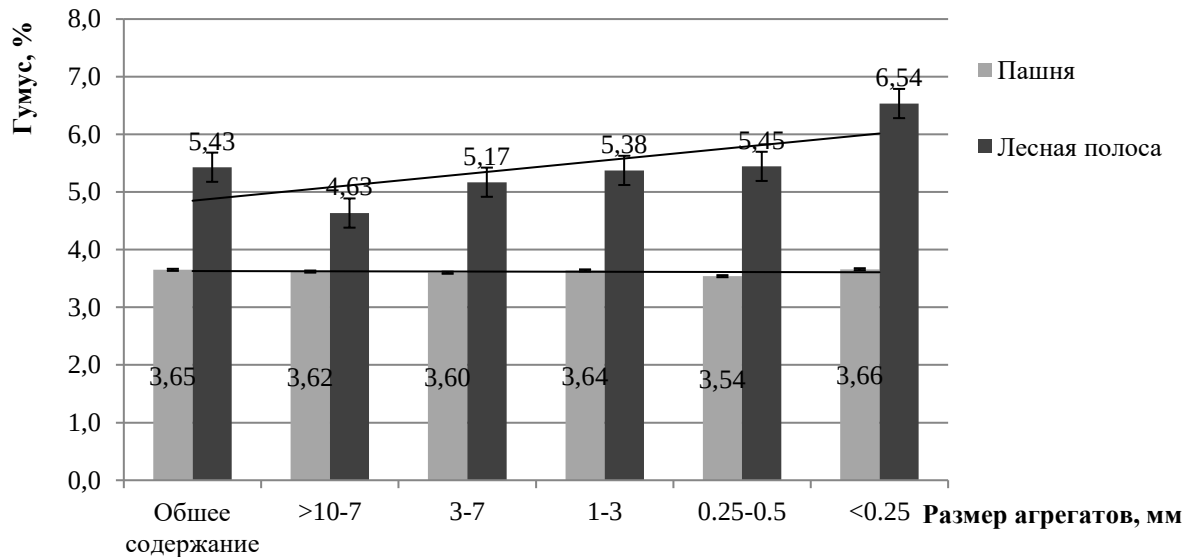


Рисунок 35 – Содержание гумуса в слое 0-30 см в почвах разного землепользования (пашня и лесная полоса), %

За контроль взята почва под стокрегулирующей лесной полосой, в которой структура была не нарушена в течение более 50 лет. Исходное содержание гумуса в образце почвы в слое 0-30 см с ненарушенным сложением под лесной полосой было $5,43 \pm 0,08$ %. В почве, находящейся длительное время в сельскохозяйственном землепользовании, при использовании отвальной обработки содержание гумуса составляло $3,65 \pm 0,06$ %.

После определения гумуса в образцах различных фракций, полученных при просеивании на воздухе, было выявлено две закономерности. В почве на пашне количество гумуса в агрегатах изменялось незначительно от $3,62 \pm 0,02$ % до $3,66 \pm 0,04$ % ($p > 0,05$), а в почве под лесной полосой с уменьшением размера агрегатов – увеличивалось содержание гумуса. В крупноглыбистых агрегатах ($>10-7$ мм) количество гумуса было равно $4,64 \pm 0,11$ %, в мезоагрегатах размером 3-7 мм и 1-3 мм – $5,17 \pm 0,10$ – $5,38 \pm 0,07$ %, а в микроагрегатах размером 0,5– $<0,25$ мм содержание $C_{орг.}$ увеличилось до – $5,45 \pm 0,10$ – $6,54 \pm 0,17$ % (Безуглова и др., 2024).

Общее содержание гумуса в почве в чистом пару при использовании чизельной (почвозащитной) обработки почвы было 3,58 %. Определение гумуса в агрегатах, полученных при просеивании на воздухе, показало, что количество его

также изменялось в пределах ошибки опыта и составляло 3,65-3,63 % ($p<0,05$) (Таблица 44).

Таблица 44 – Содержание гумуса в слое 0-30 см в почве при использовании почвозащитной обработки в агрегатах различного размера, %

Общее содержание	Размер агрегатов, мм				
	>10-7	3-7	1-3	0,25-0,5	<0,25
3,58	3,63	3,56	3,56	3,61	3,54

Столь значительные различия (28,0-78,6 %) в содержании гумуса в почвах различного землепользования, по-видимому, связаны с ее структурным составом. Пахотные почвы плохо оструктурены, имеют большее количество микроагрегатов пылеватой фракции (Гаевая и др., 2022). В результате систематического выноса органического вещества почвы и питательных веществ, воздействия на почву сельскохозяйственных орудий нарушаются межагрегатные связи. Тогда как почва под лесной полосой, имеющей мощную подстилку от 5 до 10 см из листьев и опада, постоянно пополняется свежим органическим веществом, участвующим в образовании гумуса. Поэтому в почве под лесной полосой содержание гумуса больше, чем в пахотных землях (Безуглова и др., 2024).

Таким образом, содержание гумуса в почвенных агрегатах различного размера в агрочерноземах изменяется незначительно в пределах от $3,58\pm 0,04$ % до $3,65\pm 0,06$ %. В почве под лесной полосой процентное содержание гумуса увеличивается от $4,64\pm 0,11$ % в макроагрегатах размером >10-7 мм до $6,54\pm 0,17$ % в микроагрегатах размером 0,5–<0,25 мм.

6. 4 Динамика минерального азота в зависимости от конструкции севооборотов, удобрений и агротехнологии возделывания

В изучаемых севооборотах при отвальной обработке почвы азотный режим питания в сравнении с режимом питания растений другими элементами был наименее стабильным. Для более наглядного сравнения был проведен сравнительный анализ двух крайних вариантов – естественное плодородие и повышенный уровень применения удобрений (Гаевая, 2015). Азотный режим черноземов обыкновенных изучали в чистом пару и под контрольной культурой – озимой пшеницей, посеянной по различным предшественникам.

Контурно-ландшафтная организация территории склона и полосное размещение полей (культур) севооборота способствует стабилизации, а при повышенных дозах органических и минеральных удобрений – росту уровня почвенного плодородия. При этом определенные корректировки вносит фактор обработки почвы.

Азотный режим черноземов обыкновенных складывается из содержания нитратного (NO_3) и аммонийного азота (NH_4). На азотный режим в значительной мере влияют климатические колебания, и как следствие, изменение почвенной биоты. При выпадении достаточного количества осадков и нарастании температур, активность почвенных микроорганизмов усиливается, в результате деятельности которой протекают в почве процессы преобразования азота в доступные формы для растений. Нашими исследованиями было выявлено, что в отдельные фазы развития озимой пшеницы содержание в почве нитратного азота было ничтожно мало или он отсутствовал. Поэтому мы проводили анализ содержания нитратного и аммонийного азота по их сумме. Сумма обеих форм азота более полно отражает динамику минерального азота в различные фазы вегетации озимой пшеницы и под различными предшественниками.

Содержание минерального азота ($\text{N-NO}_3 + \text{N-NH}_4$) в пахотном слое почвы в чистом пару изменялось в течение вегетационного периода. В фазу возобновления весенней вегетации озимой пшеницы содержание минерального азота в чистом

пару составляло $6,6 \pm 1,2$ мг/кг. При применении повышенного уровня минерального питания содержание азота к моменту возобновления весенней вегетации в чистом пару было в пределах $10,6 \pm 1,7$ мг/кг. В чистом пару наблюдалось увеличение этого показателя при использовании чизельной обработки почвы на 11,7-28,8 % в различные сроки отбора и при разных уровнях применения удобрений (Таблица 45, Приложение А33-А35).

Ко времени уборки его содержание возросло в четыре раза за счет процессов минерализации, происходящих в почве, как на повышенном уровне применения удобрений, так и в варианте естественного плодородия. Чистый пар является неустойчивым к процессам деградации, однако, это наилучший предшественник для озимой пшеницы, как по питательному режиму почвы, так и наиболее очищенный от сорной растительности (Гаева и др., 2022а).

Таблица 45 – Динамика минерального азота в слое почвы 0-30 см в зависимости от предшественника, уровня применения удобрений и агротехнологии возделывания, мг/кг, 2012–2014 гг.

Севооборот	Агрофон	Контроль без удобрений «0»		Повышенный фон удоб- рений (N ₈₄ P ₄₈ K ₄₈)	
		отвальная	чизельная	отвальная	чизельная
Время возобновления весенней вегетации					
А	Чистый пар	6,6±1,2	8,5±1,7	10,6±1,7	12,1±0,4
	Озимая по пару	5,3±1,4	4,8±0,7	13,3±2,7	8,5±1,9
	Озимая по озимой	4,3±1,8	3,0±0,7	10,5±4,0	13,7±2,0
Б	Озимая по гороху	5,8±2,7	4,7±0,4	20,7±5,3	11,0±3,7
В	Озимая по кукурузе	5,2±2,2	4,0±1,1	20,4±5,7	16,1±8,5
Полная спелость					
А	Чистый пар	38,2±4,3	44,6±5,0	38,9±4,9	43,4±5,9
	Озимая по пару	22,5±5,2	22,4±9,8	31,6±5,2	25,4±9,5
	Озимая по озимой	30,6±4,3	18,4±6,9	39,1±3,4	21,9±6,9
Б	Озимая по гороху	19,2±7,5	20,8±6,4	36,2±5,8	37,4±4,2
В	Озимая по кукурузе	21,1±7,4	22,9±10,9	36,9±5,2	25,6±5,6

Культура и агрофон оказывают опосредованное влияние на содержание минерального азота в силу различного уровня внесения минеральных удобрений под культуру и биологических особенностей сельскохозяйственных растений. В фазу возобновления весенней вегетации в почве под озимой пшеницей на естественном

уровне питания растений содержалось от 4,3 до 5,8 мг/кг минерального азота. При внесении в почву 84 кг д.в. на гектар севооборотной площади азотных удобрений его содержание увеличилось от 10,5 до 20,7 мг/кг.

Погодные условия в период уборки, повышенная влажность и высокие температуры воздуха способствовали его увеличению в два и более раза (Крыщенко и др., 2008). В контрольном варианте ко времени полной спелости озимой пшеницы содержание минерального азота в пахотном слое было 19,2-30,6 мг/кг. При внесении повышенных доз удобрений его содержание увеличилось до 31,6–39,1 мг/кг (28,0-75,0 %).

В зависимости от приемов обработки почвы под озимой пшеницей закономерностей динамики минерального азота не выявлено, в одном случае имела преимущество отвальная обработка почвы в другом – чизельная. По-видимому, на динамику азота больше влияет температурный режим и режим влажности почвы.

В изучаемых севооборотах при использовании почвозащитной обработки почвы азотный режим питания был наименее стабильным. Динамика минерального азота под озимой пшеницей по различным предшественникам и уровням применения удобрений была аналогична динамики азотного режима при использовании отвальной обработки почв.

Таким образом, содержание минерального азота ($N-NO_3+N-NH_4$) в пахотном слое почвы под озимой пшеницей на естественном фоне было низкое (4,3-5,8 мг/кг), и увеличивалось по мере увеличения дозы внесения удобрений (8,5-20,7 мг/кг). Обработка почвы значимого влияния на азотный режим не оказывала.

6. 5 Динамика подвижного фосфора в зависимости от конструкции севооборотов и удобрений

Содержание подвижного фосфора в почве под озимой пшеницей по отвальной обработке почвы, независимо от предшественника, на естественном фоне применения удобрений при закладке опыта составило в пахотном слое 17,3-18,8 мг/кг. На естественном уровне питания растений содержание подвижного

фосфора в 7-ю ротацию севооборотов снизилось до 14,7-16,0 мг/кг с меньшими значениями в севообороте «А». При этом потери составили 1,5-2,9 мг/кг (10,1-24,1 %) (Гаевая, 2021) (Таблица 46, Рисунок 36).

Таблица 46 – Изменение содержания подвижного фосфора в длительном опыте по сравнению с исходным содержанием, 1986-2022 гг., мг/кг

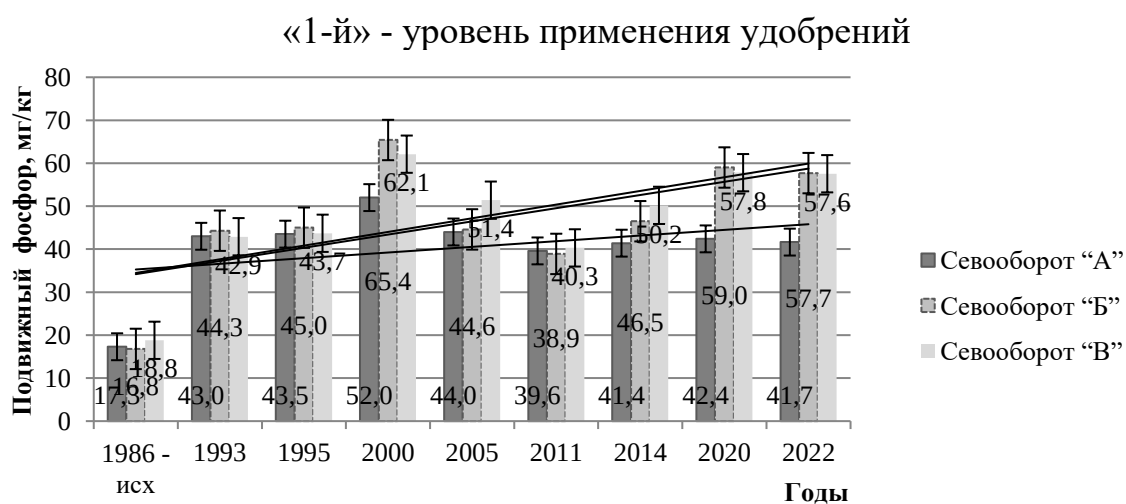
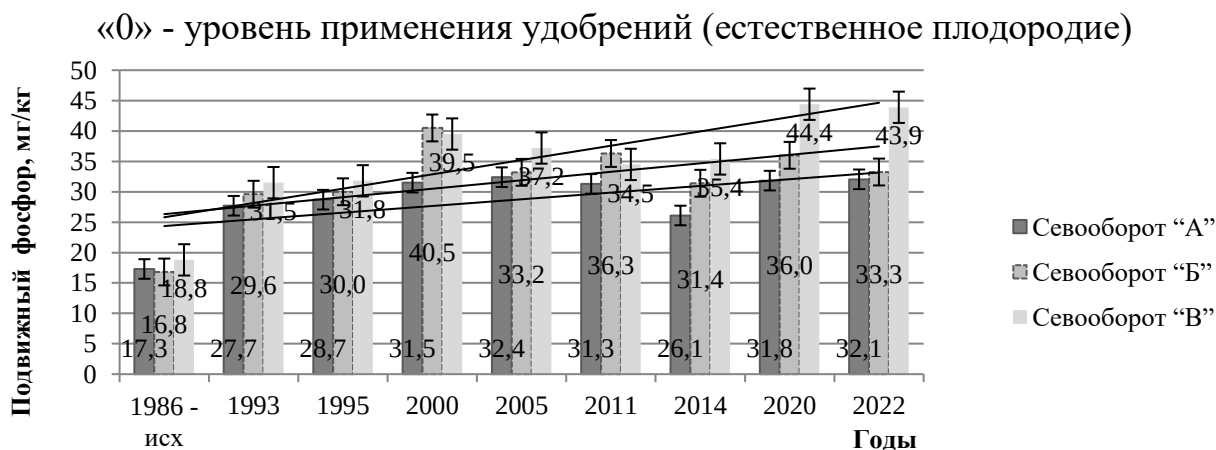
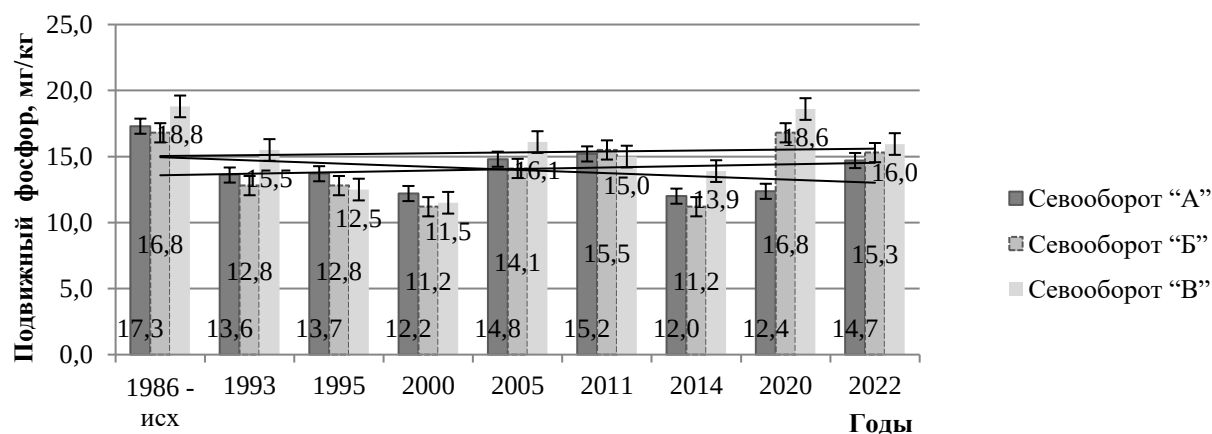
Ротация севооборота	Севооборот «А»			Севооборот «Б»			Севооборот «В»		
	Уровень применения удобрений								
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
1-я ротация	-3,7	10,4	25,7	-4,0	12,8	27,5	-3,3	12,7	24,1
2-я ротация	-3,6	11,4	26,2	-4,0	13,2	28,2	-6,3	13,0	24,9
3-я ротация	-5,1	14,2	34,7	-5,6	23,7	48,6	-7,3	20,7	43,3
4-я ротация	-2,5	15,1	26,7	-2,7	16,4	27,8	-2,7	18,4	32,6
5-я ротация	-2,1	14,0	22,3	-1,3	19,5	22,1	-3,8	15,7	21,5
6-я ротация	-5,3	8,8	24,1	-5,6	14,6	29,7	-4,9	16,6	31,4
7-я ротация	-2,6	14,8	24,4	-1,5	16,5	40,9	-2,9	25,1	38,8

Систематическое внесение удобрений в течение 36-летнего периода в севооборотах изменяет содержание подвижного фосфора в почве. При сопоставлении показателей обеспеченности P_2O_5 установлено, что содержание его в слое почвы 0-30 см увеличилось до 32,1-43,9 мг/кг – при внесении средних доз удобрений, до 41,7-57,7 мг/кг – при внесении повышенных доз удобрений, т.е. обеспеченность фосфором стала в первом случае повышенной, во втором – высокой.

По многолетним наблюдениям содержание фосфора больше на 7,7-38,5 % в севообороте с 20 % многолетних трав, по сравнению с севооборотом, где травы отсутствуют, и на 37,0-38,2 % в севообороте с 40 % многолетних трав, что еще раз подтверждает почвозащитную роль многолетних трав (Гаевая и Безуглова, 2024).

Систематическое внесение фосфорных удобрений в севообороты различных конструкций в средних дозах увеличило содержание P_2O_5 в севообороте «А» на 14,1-19,5 мг/кг (103,7-157,4 %); в севообороте «Б» на 16,8-29,3 мг/кг (131,3-261,5 %); в севообороте «В» на 16,0-28,0 мг/кг (103,2-243,5 %). Внесение удобрений в повышенных дозах привело увеличению содержания P_2O_5 в два и более раза в севообороте «А» на 29,2-39,8 мг/кг (197,7-326,2 %); в севообороте «Б» на 23,4-

54,2 мг/кг (151,0-483,9 %); в севообороте «В» на 25,3-50,6 мг/кг (168,7-440,0 %) (Шеуджен и Галкин, 2007).



«2-й» - уровень применения удобрений

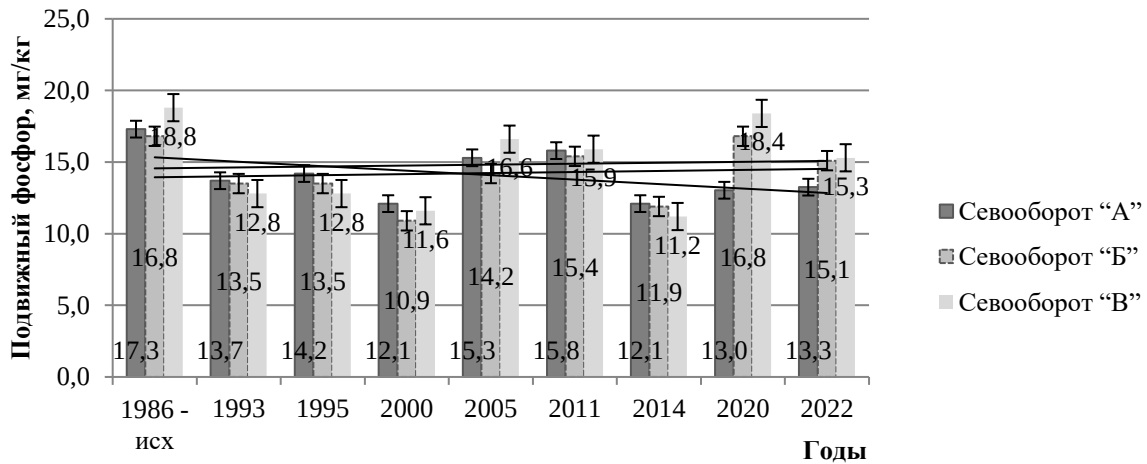
Рисунок 36 – Динамика содержания подвижного фосфора в слое почвы 0-30 см в севооборотах различной конструкции в зависимости от уровней применения удобрений мг/кг, 1986-2022 гг.

Таким образом, содержание подвижного фосфора в почве на естественном уровне питания за семь ротаций севооборотов снизилось на 10,1-24,1 %, обеспеченность фосфором культур упала до низкого уровня. Систематическое внесение фосфорных удобрений в средних дозах увеличило содержание P_2O_5 в пахотном слое в севообороте «А» в 2-2,5 раза, а в севооборотах «Б» и «В» в 2,5-3,5 раза. Увеличение дозы удобрений в полтора раза позволило получить устойчивый рост содержания P_2O_5 в почве севооборота «А» до средней обеспеченности; а в севооборотах «Б» и «В» до высокой обеспеченности.

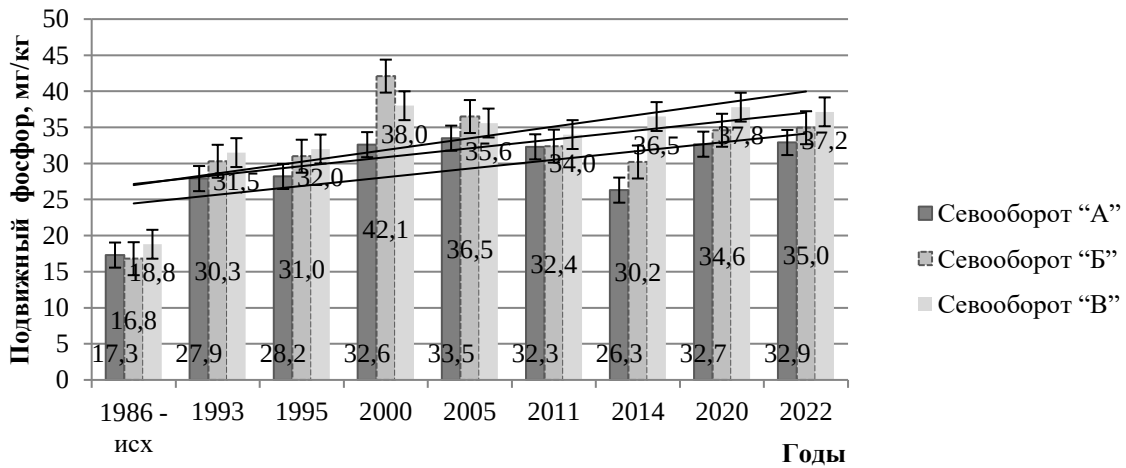
6. 6 Динамика подвижного фосфора в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур

Как было отмечено выше, применение почвозащитной (чизельной) обработки почвы способствовало сокращению потерь почвы, это отразилось на фосфорном режиме почвы. Изменение фосфорного режима при использовании чизельной обработки было аналогично фосфорному режиму при отвальной обработке (Таблица 47, Рисунок 37).

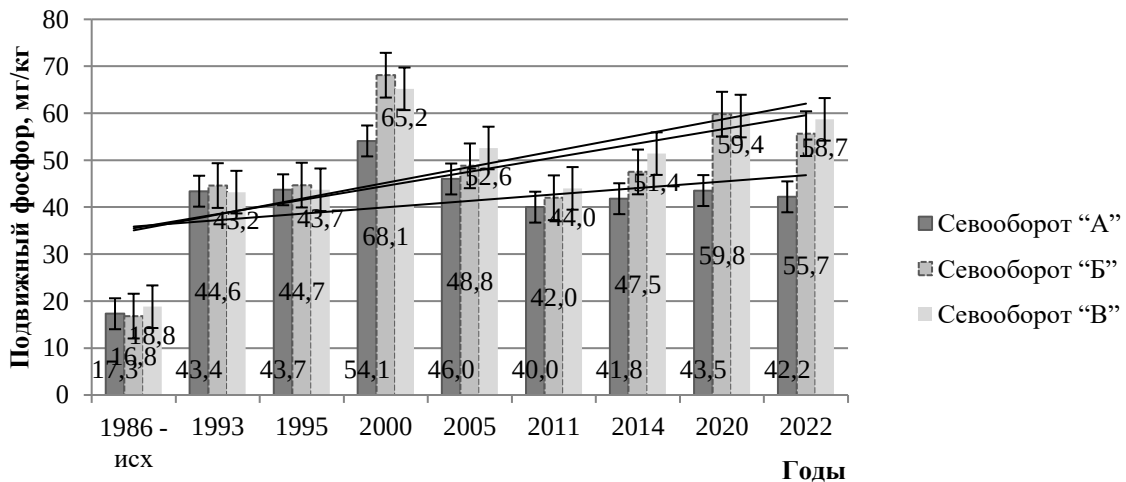
На естественном уровне питания растений было отмечено снижение содержания подвижного фосфора за семь ротаций во всех севооборотах на 1,7-4,1 мг/кг. Внесение удобрений в средних и повышенных дозах увеличило содержание подвижного фосфора в 2-3 раза в севообороте «А» на 15,6-24,9 мг/кг; в севообороте «Б» на 18,3-38,9 мг/кг; в севообороте «В» на 18,4-39,9 мг/кг (Гаевая и Безуглова, 2024).



«0» - уровень применения удобрений (естественное плодородие)



«1-й» - уровень применения удобрений



«2-й» - уровень применения удобрений

Рисунок 37 – Динамика содержания подвижного фосфора в слое почвы 0-30 см, в севооборотах различной конструкции в зависимости от уровней применения удобрений при использовании почвозащитной обработки, мг/кг, 1990-2022 гг.

Использование почвозащитной обработки почвы сократило потери подвижного фосфора в разные годы в севообороте «А» на 0,1-2,1 мг/кг (0,7-4,5 %); в севообороте «Б» на 0,1-4,2 мг/кг (0,7-9,4 %); в севообороте «В» на 0,1-6,8 мг/кг (0,9-9,2 %) по сравнению с отвальной обработкой почвы, но эта разница была статистически незначима ($p>0,05$) (Таблица 48).

Таблица 48 – Изменение содержания подвижного фосфора в длительном опыте в зависимости от приемов обработки почвы, 1986-2022 гг., мг/кг

Ротация	Севооборот «А»			Севооборот «Б»			Севооборот «В»		
	Уровень применения удобрений								
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
1-я ротация	-0,1	-0,2	-0,4	-0,7	-0,7	-0,3	2,7	-	-0,3
2-я ротация	-0,5	0,5	-0,2	-0,7	-1,0	0,3	-0,3	-0,2	-
3-я ротация	0,1	-1,1	-2,1	0,3	-1,6	-2,7	-0,1	-1,5	-3,1
4-я ротация	-0,5	-1,1	-2,0	-0,1	-3,3	-4,2	-0,5	1,6	-1,2
5-я ротация	-0,6	-1,0	-0,4	0,1	3,9	-3,1	-0,9	0,5	-3,7
6-я ротация	-0,1	-0,2	-0,4	-0,7	1,2	-1,0	2,7	-1,1	-1,2
7-я ротация	1,5	-0,9	-0,5	0,2	-1,7	2,1	0,6	6,8	-1,2

Таким образом, применение почвозащитной обработки почвы сокращает потери подвижного фосфора на 0,7-9,4 % по сравнению с отвальной обработкой почвы, но разница статистически незначима.

6. 7 Динамика обменного калия в зависимости от конструкции севооборотов и удобрений

Исходное содержание обменного калия при закладке опыта в слое 0-30 см почвы колебалось в пределах от 347 до 393 мг/кг. При естественном плодородии в варианте отвальной обработки почвы содержание K_2O за семь ротаций севооборота уменьшилось на 61-133 мг/кг (17,5-35,3 %) с преимуществом в севообороте «А», по сравнению с исходными значениями. Систематическое внесение калийных удобрений в средних дозах позволило поддерживать содержание калия на уровне высокой обеспеченности – 337-347 мг/кг, однако оно было меньше исходного содержания на 10-56 мг/кг (2,9 до 14,2 %). Внесение повышенных доз удоб-

рений увеличило содержание K_2O в пахотном слое почвы до 383–416 мг/кг (1,5–19,9 %) (Таблица 49, Рисунок 38).

Таблица 49 – Изменение содержания обменного калия в длительном опыте по сравнению с исходным содержанием, 1986–2022 годы, мг/кг

Ротация севооборота	Севооборот «А»			Севооборот «Б»			Севооборот «В»		
	Уровень применения удобрений								
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
1-я ротация	-105	49	66	-111	33	75	-75	92	119
2-я ротация	-101	49	69	-108	34	75	-75	92	131
3-я ротация	-119	-87	-62	-139	-83	-53	-89	-37	13
4-я ротация	-132	-17	3	-109	-83	-33	-67	13	3
5-я ротация	-142	-27	10	-110	-83	-80	-60	-4	23
6-я ротация	-97	-17	-27	-30	-73	-53	-60	13	3
7-я ротация	-133	-30	6	-118	-56	15	-61	-10	69

За первые три ротации севооборотов динамика обменного калия при внесении различных доз удобрений была положительной. К 7-й ротации в севообороте «А» при внесении средних доз удобрений потери K_2O составили от 17 до 39 мг/кг, а внесение повышенных доз удобрений позволило поддерживать среднеположительный баланс (+6–10 мг/кг). Аналогичная динамика была отмечена и в севообороте «Б», хотя в некоторые годы содержание K_2O снижалось, но общая тенденция имела положительную направленность. Незначительная разница в балансе калия может быть объяснена усилением процессов эрозии в отдельные годы, а также высокой урожайностью культур и, как следствие, повышенным выносом калия (Гаевая и др., 2022а).

В севообороте «В» с наибольшей долей многолетних трав в структуре посевов при внесении средних доз удобрений содержания K_2O меняло знак направленности процессов с положительного на отрицательный. Внесение повышенных доз минеральных удобрений привело к увеличению содержания K_2O на 69 мг/кг.

Чернозёмы обыкновенные относятся к почвам, богатым запасами обменного калия. Уровень внесения минеральных удобрений определяет содержание этого элемента минерального питания растений. Так средний уровень применения удобрений не обеспечивал повышение запасов обменного калия по сравнению с

уровнем естественного плодородия почв. Внесение удобрений в повышенных дозах позволило получить увеличение K_2O на 6-69 мг/кг.

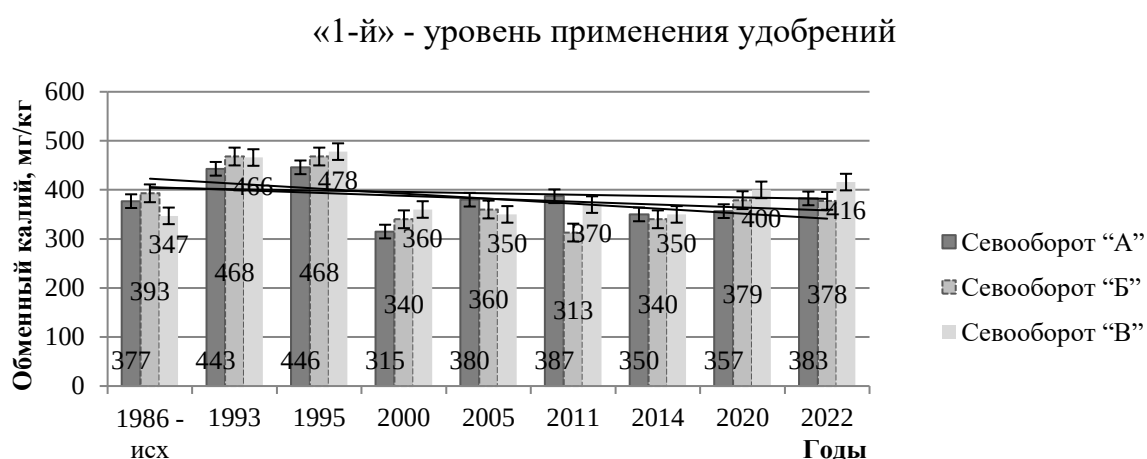
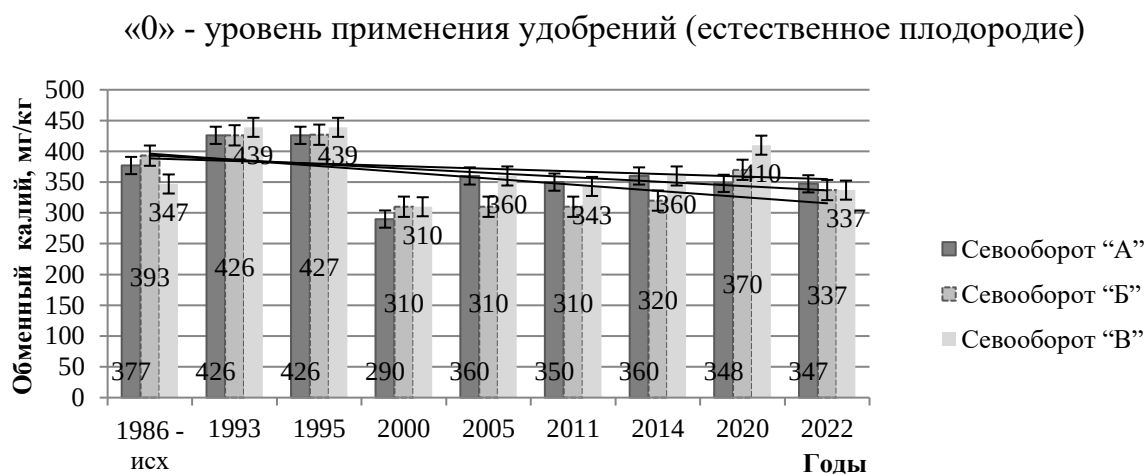
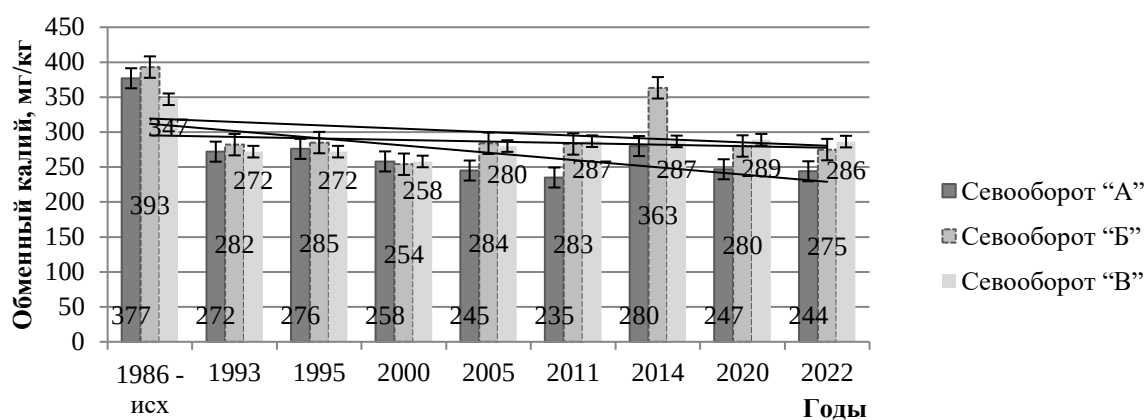


Рисунок 38 – Динамика содержания обменного калия в слое почвы 0–30 см в севооборотах различной конструкции в зависимости от уровней применения удобрений, мг/кг, 1990-2022 гг., (Листопадов, 2005; Гаевая, 2015).

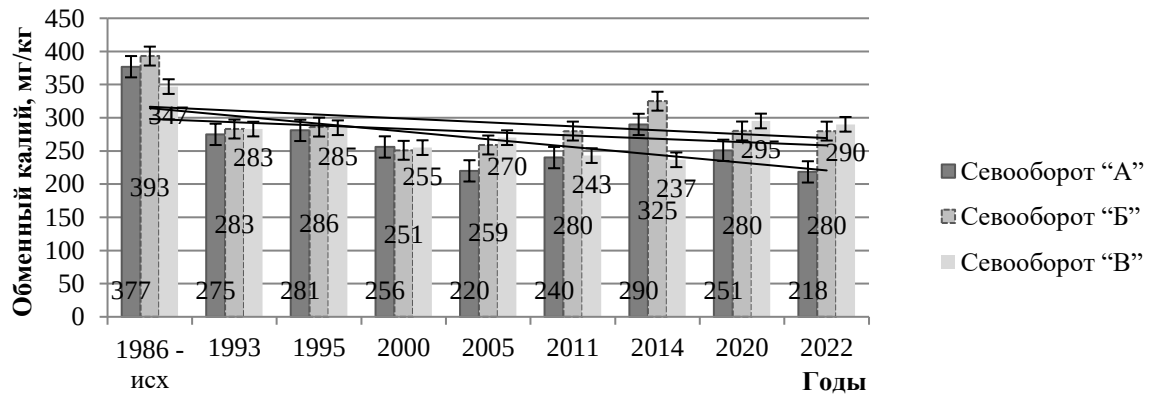
Таким образом, длительное использование эродированных земель без внесения удобрений в течение 7-ми ротаций севооборотов по отвальной обработке почвы привело к уменьшению обменного калия на 61-133 мг/кг (17,5-35,3 %) по сравнению с исходными значениями. Систематическое внесение калийных удобрений в средних дозах приводит к статистически недостоверному ($p < 0,05$) уменьшению содержания калия. Внесение повышенных доз удобрений увеличивает содержание K_2O в пахотном слое до 383-416 мг/кг (1,5-19,9 %).

6. 8 Динамика обменного калия в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур

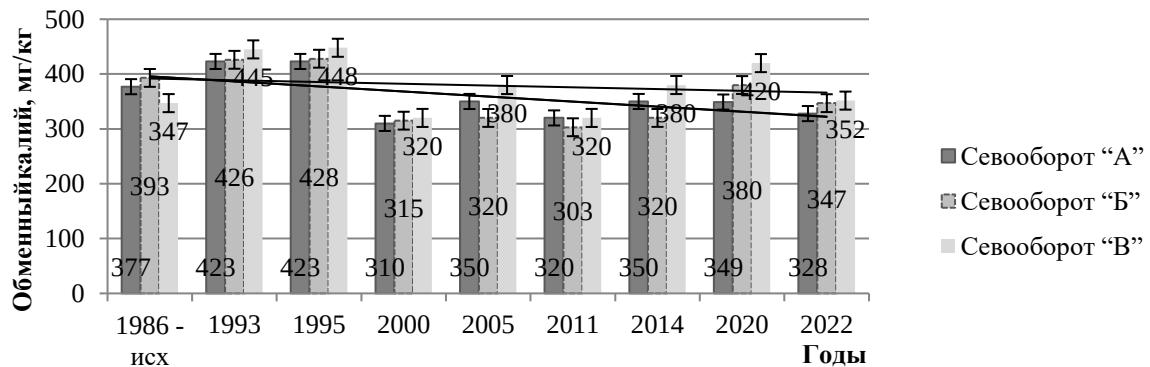
На эродированных склонах земледелие может быть устойчивым только при систематическом применении агроприемов, направленных на восстановление почвенного плодородия. Применение почвозащитной обработки почвы на эродированных землях сокращает потери почвы в результате стока и смыва, а также и потери основных элементов питания, в том числе и калия. Динамика обменного калия при использовании различных обработок почвы изменялась незначительно (Рисунок 39).

За 7 ротаций севооборотов содержание обменного калия в варианте естественного плодородия при использовании почвозащитной обработки снизилось по сравнению с исходными значениями на 57-159 мг/кг (16-42 %) с большими значениями в севообороте «А». Внесение средних доз удобрений сократило потери K_2O до 20–49 мг/кг (12-13 %) в севооборотах «А» и «Б». В севообороте «В» внесение удобрений в этой же дозе позволило получить положительную динамику.

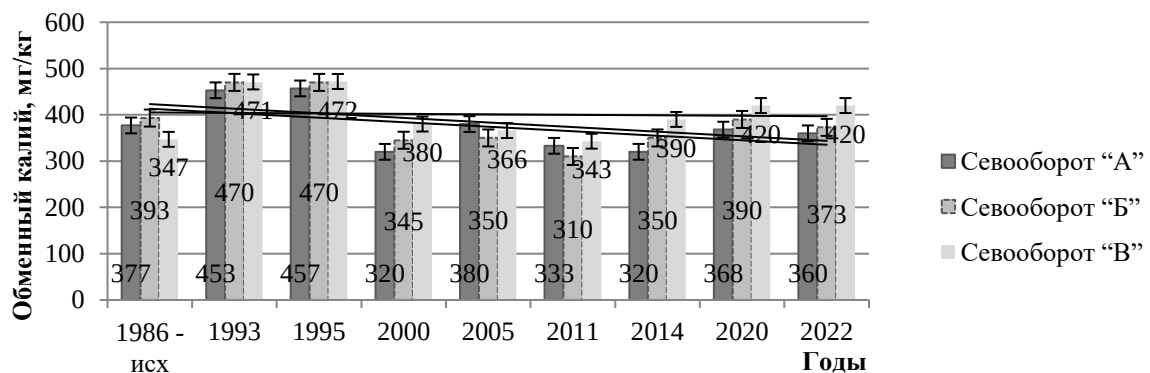
Увеличение дозы внесения удобрений в полтора раза позволило сократить потери обменного калия в севообороте «А» до 17 мг/кг, в севооборотах «Б» – до 20 мг/кг. В севообороте «В» была положительная динамика (+73 мг/кг) (Гаевая и др., 2022а).



«0» - уровень применения удобрений (естественное плодородие)



«1-й» - уровень применения удобрений



«2-й» - уровень применения удобрений

Рисунок 39 – Динамика содержания обменного калия в слое почвы 0-30 см, в севооборотах различной конструкции в зависимости от уровней применения удобрений при использовании почвозащитной обработки, мг/кг, 1990-2022 гг., (Листопадов, 2005; Гаевая, 2015).

Приемы обработки почвы незначительно влияли на содержание обменного калия в почве. В Таблице 50 представлены значения изменения содержания обменного калия в зависимости от приема применяемой обработки. Применение почвозащитной обработки почвы несущественно увеличивало содержание K_2O от

13 до 40 мг/кг или снижало на 30-54 мг/кг ($p>0,05$), по сравнению с отвальной обработкой (Таблица 50).

Таблица 50 – Изменение содержания обменного калия в длительном опыте в зависимости от приемов обработки почвы, 1986-2022 гг., мг/кг

Ротация севооборотов	Севооборот «А»			Севооборот «Б»			Севооборот «В»		
	Уровень применения удобрений								
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
1-я ротация	3	-3	10	3	-3	10	11	6	5
2-я ротация	5	-3	11	5	-3	11	13	9	-6
3-я ротация	-2	20	5	-2	20	5	-3	10	20
4-я ротация	-25	-10	0	-25	-10	0	-10	20	16
5-я ротация	5	-30	-54	5	-30	-54	-44	-23	-27
6-я ротация	10	-10	-30	10	-10	-30	-50	20	40
7-я ротация	4	1	11	4	1	11	6	10	20

Таким образом, применение почвозащитной обработки не оказывало существенного влияния на содержание обменного калия в почве.

6. 9 Динамика водородного показателя в зависимости от конструкции севооборотов, удобрений и агротехнологии возделывания

Антропогенное воздействие на кислотно-основные характеристики черноземов обыкновенных карбонатных, прежде всего, проявляется в повышении, как кислотности, так и щелочности почв. Факторами кислотного воздействия являются выпадающие в последнее время «кислотные дожди», интенсивное использование земель сельскохозяйственного назначения, применение минеральных удобрений и химических средств защиты растений, развитие процессов эрозии.

Буферные свойства черноземов обыкновенных отражают физико-химический аспект плодородия почвы (Гаевая, 2019). С ними связаны азотный, калийный, фосфатный режимы, гумусированность почвы. В условиях эрозионно-опасного склона возникают процессы деградации в пахотном и подпахотном слоях почвы, что приводит к ухудшению буферных свойств. В большинстве публикаций имеются сведения о взаимосвязи показателей буферности с физико-

химическими свойствами черноземов обыкновенных (Гончарова, 2019; Дыдышко и др., 2019).

При закладке опыта был определен рН водной вытяжки в пахотном слое, который был нейтральным – 7,2-7,3. За первые две ротации севооборотов реакция среды практически не изменилась (Таблица 51).

К началу седьмой ротации севооборотов произошли незначительные изменения рН почвенного раствора в сторону подкисления до значений 6,7-7,3 ($p>0,05$), однако значения оставались по прежнему в области нейтральных значений.

Таблица 51 – Изменение водородного показателя (рН) в слое почвы 0-30 см, в севооборотах различной конструкции в зависимости от приемов обработки почвы и уровня применения удобрений 1990-2022 гг.

Севооборот	Обработка почвы	Уровень питания	Годы			Изменение*	
			1986	1995 2-я ротация	2020 7-я ротация	1995 2-я ротация	2020 7-я ротация
А	Чизельная	0	7,2	7,1±0,1	7,2±0,1	-0,1/-1,4	-
		1		7,2±0,2	7,2±0,1	0,1/1,4	-
		2		7,2±0,2	7,2±0,1	-0,1/-1,4	-
	Отвальная	0	7,2	7,1±0,1	7,0±0,2	-0,1/-1,4	-0,2/-3,0
		1		7,3±0,2	7,3±0,2	-	-
		2		7,3±0,2	7,0±0,1	-	-0,2/-3,5
Б	Чизельная	0	7,3	7,2±0,1	6,8±0,1	-0,1/-1,4	-0,5/-6,8
		1		7,3±0,2	6,9±0,2	-	-0,5/-6,8
		2		7,3±0,2	6,9±0,2	-	-0,4/-5,5
	Отвальная	0	7,3	7,2±0,2	6,7±0,1	-0,1/-1,4	-0,6/-5,5
		1		7,3±0,2	6,8±0,1	-	-0,5/-8,2
		2		7,3±0,1	6,9±0,1	-	-0,4/-6,8
В	Чизельная	0	7,2	7,2±0,1	6,7±0,1	-	-0,5/-5,5
		1		7,2±0,1	6,8±0,2	-	-0,4/-6,9
		2		7,2±0,1	7,0±0,1	-	-0,2/-3,5
	Отвальная	0	7,2	7,2±0,1	6,7±0,1	-	-0,2/-2,8
		1		7,2±0,1	6,7±0,2	-	-0,5/-6,9
		2		7,2±0,2	6,9±0,2	-	-0,3/-3,5

Примечание: * изменение рН за две и за семь ротаций, выраженное в абсолютных значениях / значения рН, выраженные в процентах (%)

В севообороте «А» кислотность почвы оставалась практически на исходном уровне (7,0-7,3). В севообороте «Б» и «В» отмечена тенденция изменения рН в

сторону кислой среды (на 0,2-0,6; $p>0,05$), но разница была незначительная и кислотно-основные свойства черноземов обыкновенных по прежнему оставались в области нейтральных значений.

Внесенные удобрений незначительно сдвинули рН в сторону среднекислой среды. Так если в севообороте «Б» и «В» в варианте естественного плодородия рН был 6,7-6,8, то с увеличением дозы внесения удобрений реакция почвенного раствора изменялась в сторону подкисления на 0,1-0,3 ($p>0,05$), однако значения рН оставались в области нейтральности.

Обработки почвы значимого влияния на изменение буферной емкости черноземов обыкновенных не оказывали. Так, если средние значения рН при использовании отвальной обработки почвы составляли 6,8-7,1, то при использовании чизельной обработки интервал чуть расширился, но оставался в той же градации нейтральной среды – 6,7-7,2.

Таким образом, за семь ротаций севооборотов кислотно-основные свойства черноземов обыкновенных были в области нейтральных значений 6,7-7,3 ($p>0,05$). Обработки почвы значимого влияния на изменения рН черноземов обыкновенных не оказывали.

7 ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА И ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ НА ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ СКЛОНАХ ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ

7. 1 Прогноз динамики содержания гумуса

В последние десятилетия в результате деградации черноземов обыкновенных ухудшилась ситуация с содержанием гумуса в агрочерноземах как в Ростовской области, так и в целом по России. Поэтому нами сделан прогноз динамики содержания гумуса в черноземах среднеэродированных с использованием автоматизированных нейронных сетей (АНС) до 2122 года. Для составления прогноза были отобраны по три АНС с наилучшими статистическими параметрами (Приложения А36-А38). Для составления прогноза был использован временной ряд содержания гумуса в слое почвы 0-30 см с 1986 по 2022 г (Гаевая и Безуглова, 2025b).

Исходное содержание гумуса при закладке опыта составляло 3,80-3,83 %, в течение семи ротаций севооборотов его содержание изменилось в результате действия органоминеральных удобрений и процессов деградации в различной степени. Систематическое возделывание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений привело к снижению содержания гумуса на 2,1-9,4 отн. % с большими значениями в севообороте с 20 % чистого пара. Внесение удобрений в средних дозах незначительно снизило содержание гумуса в севообороте с чистым паром на 4,4-7,3 %, в севообороте с 20 % многолетних трав – на 1,6-2,1 %, а в севообороте с 40 % многолетних трав содержание гумуса практически не изменилось. Внесение удобрений в повышенных дозах в севообороте с чистым паром и 20 % многолетних трав поддерживало содержание гумуса на исходном уровне, а в севообороте с 40 % многолетних трав отмечена положительная динамика в его накопления (+4,5-4,7 %) (Гаевая и Безуглова, 2024) (Таблица 52, Рисунок 40).

Таблица 52 – Фактические и предсказанные значения содержания гумуса в черноземах обыкновенных в севооборотах различных конструкций, %

Севооборот	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Фактические значения		Предсказанные значения (min/max) / (номер нейронной сети)			М
			1986 г.	2022 г.	1	2	3	
А	0	Чиз.	3,83	3,47	3,57-3,58	3,57-3,58	3,57-3,57	3,65
		Отв.	3,83	3,46	3,60-3,70	3,60-3,71	3,60-3,71	3,64
	1	Чиз.	3,83	3,66	3,65-3,67	3,65-3,67	3,65-3,67	3,72
		Отв.	3,83	3,55	3,62-3,64	3,62-3,66	3,63-3,64	3,70
	2	Чиз.	3,83	3,83	3,72-3,73	3,72-3,73	3,72-3,73	3,77
		Отв.	3,83	3,86	3,69-3,72	3,71-3,72	3,69-3,71	3,75
Б	0	Чиз.	3,82	3,61	3,56-3,58	3,56-3,58	3,56-3,58	3,71
		Отв.	3,82	3,56	3,56-3,67	3,58-3,67	3,58-3,68	3,69
	1	Чиз.	3,82	3,76	3,77-3,79	3,77-3,79	3,77-3,79	3,81
		Отв.	3,82	3,74	3,75-3,80	3,75-3,79	3,75-3,80	3,80
	2	Чиз.	3,82	3,93	3,83-3,90	3,83-3,90	3,83-3,90	3,88
		Отв.	3,82	3,88	3,83-3,91	3,83-3,91	3,83-3,91	3,87
В	0	Чиз.	3,80	3,72	3,61-3,70	3,60-3,71	3,60-3,72	3,72
		Отв.	3,80	3,65	3,60-3,79	3,61-3,79	3,60-3,80	3,70
	1	Чиз.	3,80	3,92	3,97-4,07	3,97-4,09	3,97-4,07	3,97
		Отв.	3,80	3,84	3,84-4,07	3,85-4,07	3,84-4,07	3,95
	2	Чиз.	3,80	3,98	4,08-4,10	4,08-4,10	4,08-4,12	4,02
		Отв.	3,80	3,97	4,07-4,10	4,06-4,10	4,07-4,10	4,01

Составленный нейросетевой прогноз динамики гумуса подтверждает вышеописанную тенденцию накопления или потери гумуса в последующие сто лет. В севообороте с 20 % чистого пара и без внесения удобрений фактическое содержание гумуса в 2022 г. снизилось до 3,46-3,47 %, а предсказанные значения были несколько выше фактических и изменялись в пределах от 3,57 до 3,71 %. По-видимому, в содержании гумуса устанавливается некоторое равновесие, ниже которого его содержание снизиться не может. Пашня производит ровно столько продукции, сколько в ней содержится питательных веществ, в частности гумуса. Количество поступающих в почву растительных остатков эквивалентно количеству произведенной продукции, и в определенный момент времени наступает равновесие между выносом и поступлением питательных элементов. В этой ситуации без дополнительного поступления элементов питания (с удобрениями) получить большую урожайность сельскохозяйственной продукции невозможно.

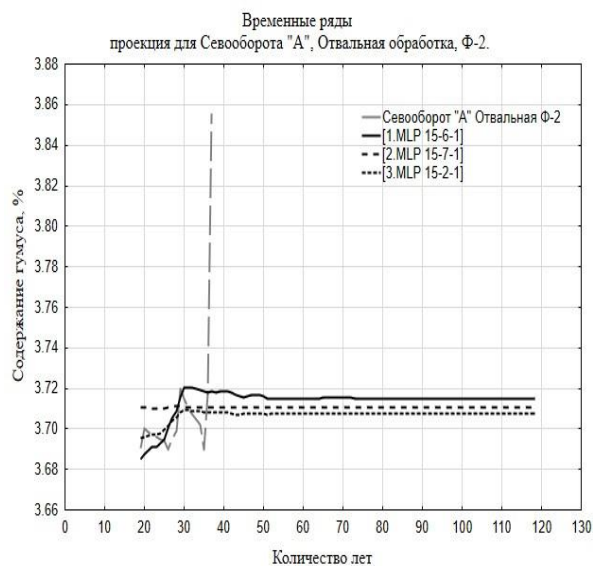
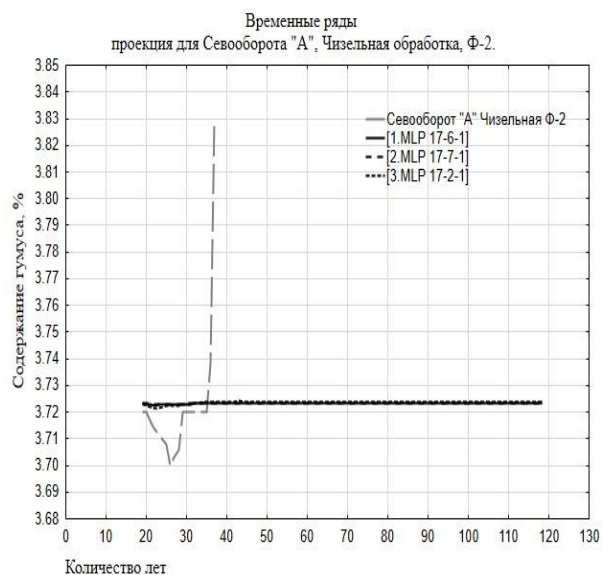
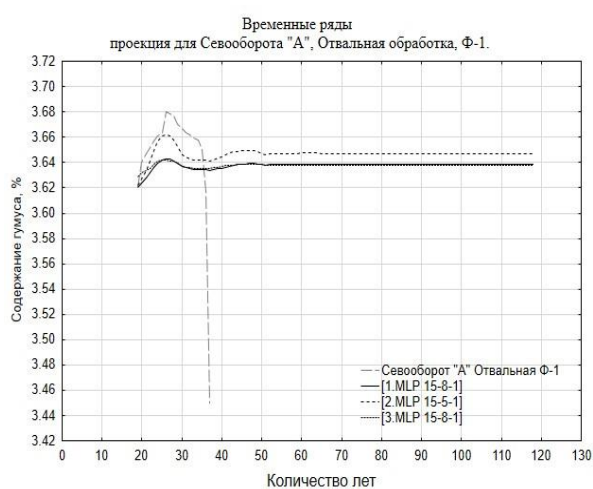
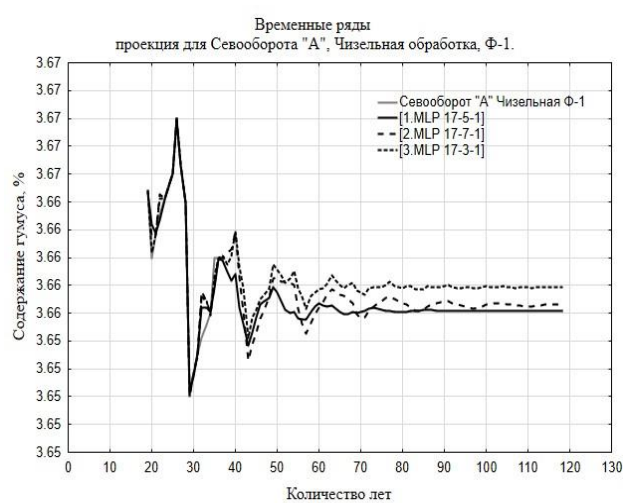
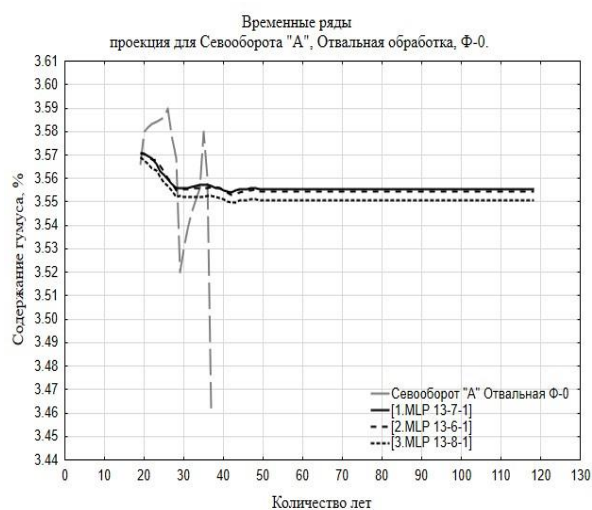
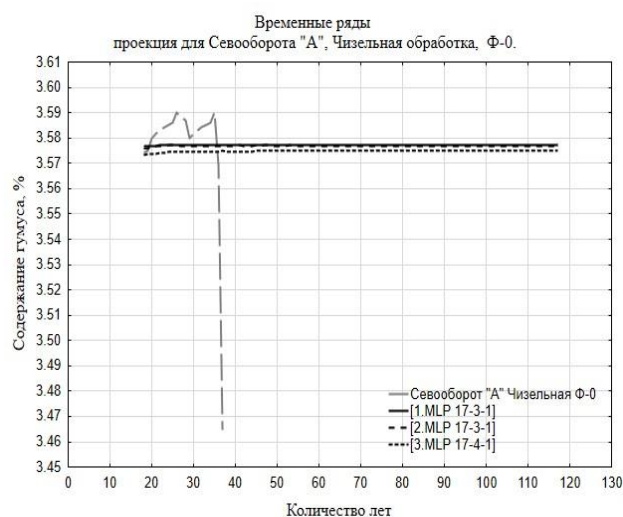


Рисунок 40 – Проекция временного ряда до 2122 года содержания гумуса в черноземах обыкновенных в севообороте «А», %.

Аналогичная закономерность отмечена при внесении средних и повышенных доз удобрений в этом же севообороте, содержание гумуса снизилось до 3,62-3,67 % и до 3,69 %.

На рисунке 41 представлен временной ряд сценария развития динамики гумуса до 2122 года, из которого видно, что при сохраняющихся условиях (климатических, агротехнологических и др.) в начале периода отмечаются незначительные колебания его содержания, а затем устанавливается равновесие (3,72 %). Аналогичная закономерность отмечена при внесении повышенных доз удобрений в севообороте «А», содержание гумуса снизилось до 3,77 %. Севооборот «А» в состав которого, входит 20 % чистого пара, наиболее подвержен эрозионным процессам, а потери почвы и питательных веществ наибольшие.

Колебания в содержании гумуса также могут быть связаны и с изменением в схеме внесения удобрений. Как было отмечено ранее, органические удобрения в виде полуперепревшего навоза были исключены из системы удобрений с 2013 г. В течение ряда лет наблюдалось последствие от внесения навоза, но в последние годы отмечается тенденция снижения гумусированности при внесении средних и повышенных доз удобрений. Поэтому устанавливается равновесие, при котором количество получаемой продукции с единицы площади пропорционально плодородию, и без дополнительного количества вносимых удобрений, увеличить продуктивность пашни невозможно.

В зависимости от приемов обработки почвы разница в содержании гумуса ничтожно мала и не превышает ошибки опыта.

В севообороте «Б» с 20 % многолетних трав в варианте естественного плодородия предсказанные значения содержания гумуса в почве с помощью АНС были практически одинаковыми (3,56-3,68 %) с фактическими значениями (3,56-3,61 %) (Рисунок 41-42). При внесении средних и повышенных доз удобрений в этом же севообороте отмечена тенденция сохранения содержания гумуса на исходном уровне.

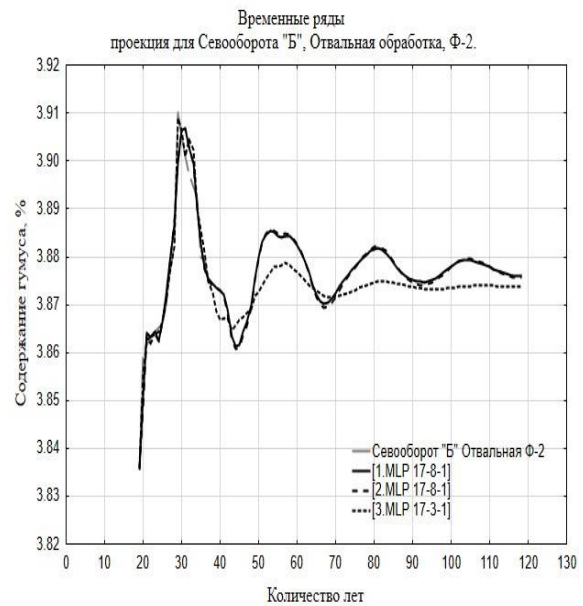
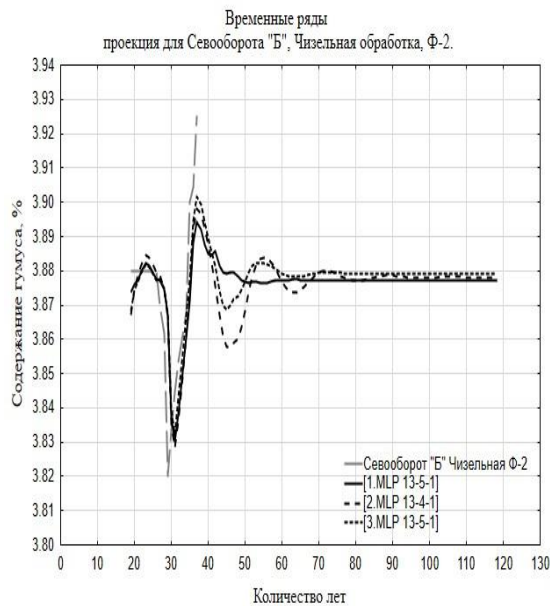
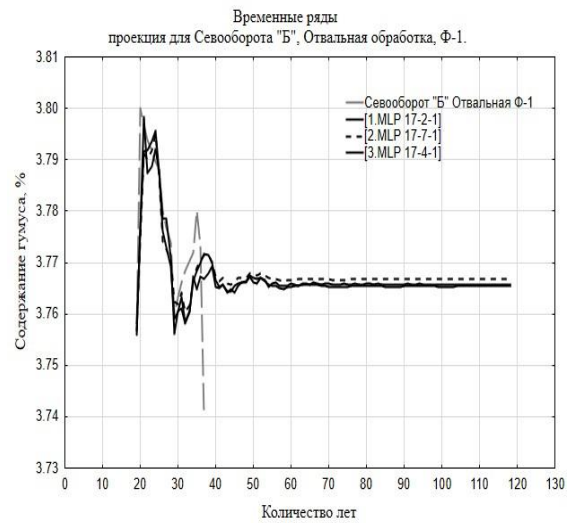
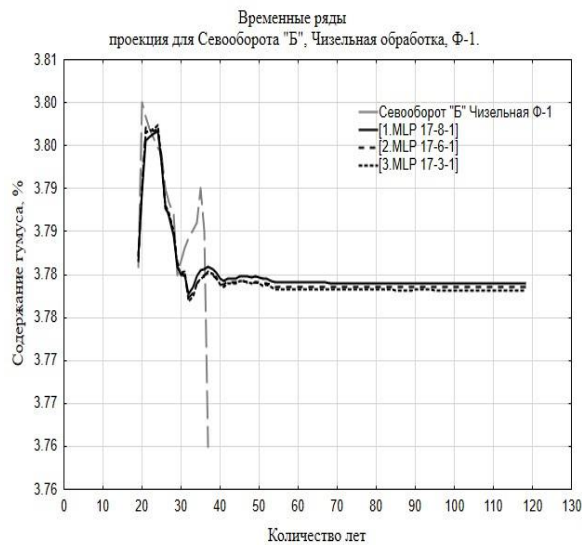
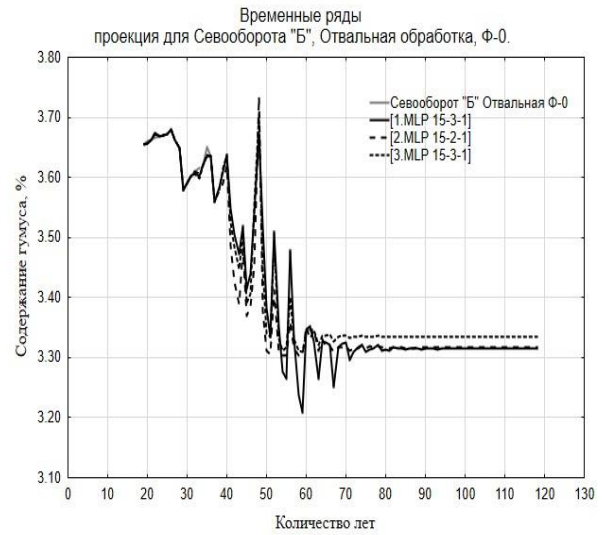
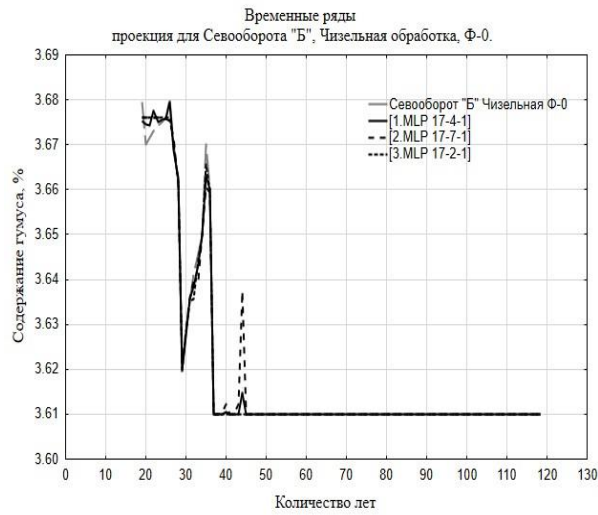


Рисунок 41 – Проекция временного ряда до 2122 года содержания гумуса в черноземах обыкновенных в севообороте «Б», %

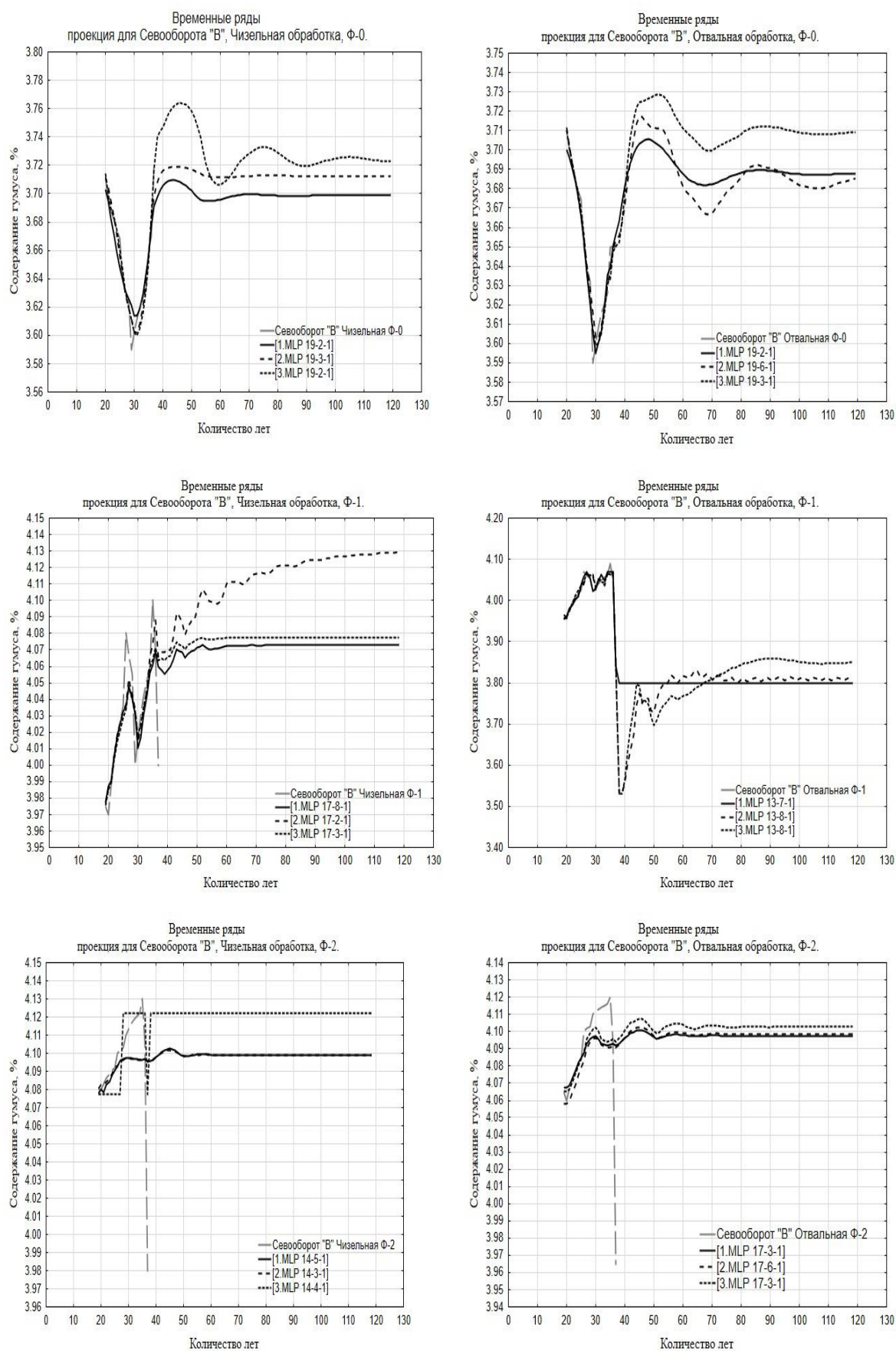


Рисунок 42 – Проекция временного ряда до 2122 года содержания гумуса в черноземах обыкновенных в севообороте «В», %

Фактические значения при внесении средних и повышенных доз удобрений составляли 3,74-3,76 % и 3,88-3,93 %, а полученные – 3,75-3,80 % и 3,83-3,91 %, что подтверждает тенденцию к поддержанию плодородия на исходном уровне.

С увеличением доли многолетних трав до 40 % в севообороте «В» было отмечено незначительное снижение содержания гумуса, а в отдельные годы позволяло поддерживать содержание гумуса на исходном уровне. Так если фактические значения были равны 3,84-3,97 %, то предсказанные были в пределах 3,95-3,97 %.

Внесение средних и повышенных доз удобрений позволило поддерживать расширенное воспроизводство плодородия севообороте «В». В результате длительного внесения удобрений в повышенных и средних дозах фактическое содержание гумуса увеличилось с 3,80 % до 3,97-3,98 %. Предсказанные значения оказались несколько более высокими, чем фактические, и колебания гумуса между минимальными и максимальными значениями были равны 4,07-4,12 % на «2» уровне применения удобрений. Севооборот «В» с удвоенным по площади полем многолетних трав является почвозащитным и процессы деградации в нем наименьшие. Многолетние травы, в состав которых входит бобовый компонент (эспарцет, люцерна), являются хорошими азотфиксаторами и вместе с листовым опадом обогащают почву азотом. Предотвращение стока и смыва за счет наличия в структуре севооборота 40 % многолетних трав, являющихся хорошими азотфиксаторами, придают этому севообороту почвозащитные свойства.

Таким образом, нейросетевой прогноз динамики гумуса в черноземах обыкновенных среднеэродированных подтверждает тенденцию потери гумуса в последующие сто лет во всех севооборотах без внесения удобрений. Внесение средних доз удобрений позволяет поддерживать содержание гумуса в севооборотах с долей многолетних трав 20-40 %. При систематическом внесении повышенных доз удобрений в севообороте с долей многолетних трав 40 % прогноз содержания гумуса подтверждает расширенное воспроизводство плодородия почвы.

7.2 Прогноз динамики содержания подвижного фосфора

Содержание подвижного фосфора в почве играет большую роль в питании растений. Как было отмечено выше, часть его теряется со стоком и смывом, поэтому оценить его содержание в почве и на основании этих данных составить долгосрочный прогноз, было одной из приоритетных задач. Прогноз динамики содержания подвижного фосфора был сделан с помощью АНС – построенных до 2122 года. Прогноз был составлен с использованием фактических временных рядов с 1986 по 2022 гг. Были отобраны по три наилучшие АНС по статистическим параметрам, приведенным в Приложениях А39-А41.

В результате анализа были получены предсказанные значения, а затем сопоставлены с фактическим содержанием фосфора в почве в 2022 году. На основании прогноза можно заключить, что на вариантах без внесения удобрений во всех севооборотах отмечена общая тенденция снижения содержания подвижного фосфора до 11,5-18,6 мг/кг (или в среднем на 12,5-15,4 %). Длительный вынос P_2O_5 и потери со стоком и смывом привели к снижению этого элемента: в севообороте «А» до 11,2–16,8 мг/кг (на 24,1–25,3 %); в севообороте «Б» – до 11,3–17,5 мг/кг (на 8,9–24,6 %); в севообороте «В» – до 11,3–17,5 мг/кг (на 6,9–39,9 %) (Таблица 53, Рисунки 43-45) (Безуглова и Гаевая, 2025).

На рисунке 43 отмечены колебания в содержании фосфора в первые годы составления прогноза между максимальными и минимальными значениями, а с течением времени разница уменьшается, и содержание P_2O_5 приходит к средним величинам.

В севообороте «А», в структуре посевных площадей с долей чистого пара 20 %, отмечаются наибольшие эрозионные процессы, а смыв почвы в среднем за период исследования составляет 5,8 т/га. Вместе с потерей почвы происходит потеря элементов питания, в том числе и подвижного фосфора.

Систематическое внесение удобрений в средних дозах поддерживает фактическое содержание подвижного фосфора на уровне 32,1–32,9 мг/кг. В результате составленного прогноза полученные значения колеблются в широких пределах

от 25,7 до 33,3 мг/кг, в среднем прогнозные значения составляют 29,8 мг/кг, что незначительно меньше фактических.

Таблица 53 – Фактические и предсказанные значения содержания подвижного фосфора в черноземах обыкновенных в севооборотах различных конструкций, мг/кг

Севооборот	Уровень при- менения удоб- рений	Приемы обра- ботки почвы	Фактические значения		Предсказанные значения (min/max) / (номер нейронной сети)			Среднее, (M)
			1986 г.	2022 г.				
					1	2	3	
А	0	Ч	17,3	13,3	11,9-17,6	11,5-18,6	11,5-17,6	14,1
		О	17,3	14,7	13,1-13,4	12,0-13,1	12,2-13,2	13,9
	1	Ч	17,3	32,9	25,7-33,2	26,7-33,3	25,9-33,1	29,4
		О	17,3	32,1	28,4-32,9	27,3-32,1	27,2-32,9	29,8
	2	Ч	17,3	42,2	40,3-47,5	40,6-47,3	40,1-47,6	41,8
		О	17,3	41,7	40,0-46,6	40,7-46,3	40,0-46,7	40,9
Б	0	Ч	16,8	15,1	11,6-16,3	11,2-16,0	11,6-16,4	14,0
		О	16,8	15,3	11,3-16,8	11,4-16,4	11,6-16,4	13,9
	1	Ч	16,8	35,0	30,6-38,3	30,6-38,2	30,7-38,2	32,4
		О	16,8	33,3	32,9-35,8	32,3-35,7	32,0-35,7	32,2
	2	Ч	16,8	55,7	41,9-58,1	42,1-57,6	42,1-57,7	47,7
		О	16,8	57,7	39,9-57,1	40,3-58,0	40,6-58,1	46,1
В	0	Ч	18,8	15,3	11,5-17,2	11,8-17,3	11,3-17,5	14,8
		О	18,8	16,0	14,4-17,4	14,7-17,5	14,6-17,4	15,3
	1	Ч	18,8	37,2	34,0-37,6	34,0-37,6	34,2-37,6	33,6
		О	18,8	33,9	34,5-44,3	34,5-44,3	34,7-44,3	34,9
	2	Ч	18,8	58,9	44,3-59,1	44,5-58,8	44,5-59,0	53,6
		О	18,8	57,6	38,8-58,4	38,8-58,0	39,6-58,4	57,2

Увеличение дозы внесения удобрений в полтора раза позволяет сохранять содержание подвижного фосфора по сравнению с исходными значениями (1986 г.) на более высоком уровне (в 2–3 раза). В севообороте «А» фактические значения подвижного фосфора были равны 41,2–41,7 мг/кг, а значения, полученные в результате нейросетевого прогноза, колебались в пределах от 40,3 до 47,6 мг/кг. Эти незначительные колебания показаны на рисунке 43 в виде прямых линий на уровне значений 42–43 мг/кг (Безуглова и Гаевая, 2025).

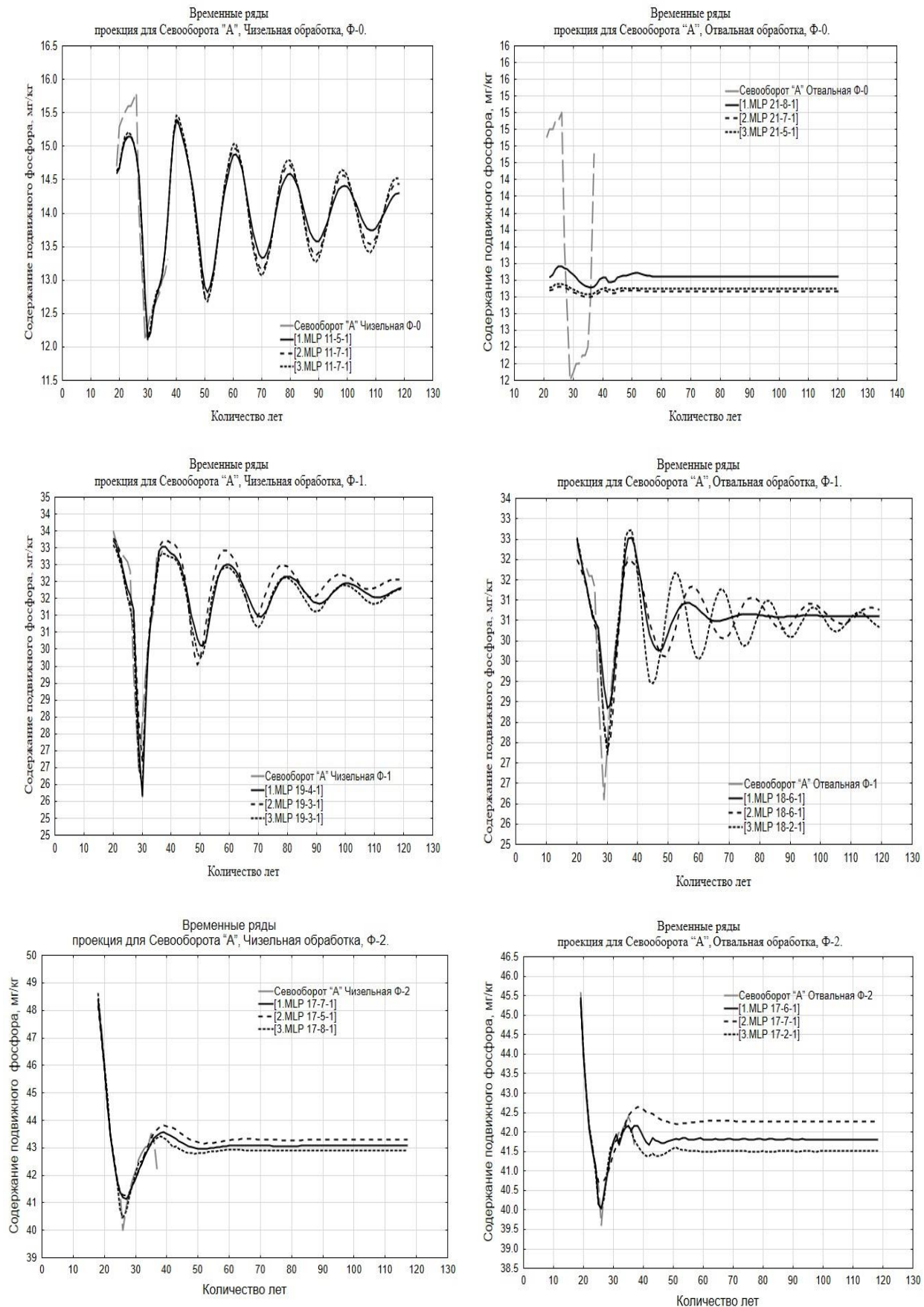


Рисунок 43 – Проекция временного ряда до 2122 года содержания подвижного фосфора в черноземах обыкновенных в севообороте «А», мг/кг

В севообороте «Б», имеющем в структуре посевов 20 % поле многолетних трав, фактические значения подвижного фосфора в варианте содержание P_2O_5 были в пределах 15,3 мг/кг, а при внесении средних доз удобрений его фактическое содержание увеличилось до 33,3–35,0 мг/кг. Составленный прогноз с использованием АНС выявил незначительное снижение содержания подвижного фосфора в среднем до 13,9–14,0 в вариантах естественного плодородия и до 32,2–32,4 мг/кг при внесении средних доз удобрений. Двадцати процентное поле многолетних трав способно до определенного предела защитить почву от процессов эрозии и предотвратить потери фосфора со стоком и смывом (рисунок 44).

Наличие в севооборотах многолетних трав и увеличение дозы внесения удобрений в полтора раза позволило сохранить содержание подвижного фосфора на уровне фактических значений. В севообороте «Б» фактические значения были равны 55,7–57,7 мг/кг, а предсказанные колебались в широких пределах 39,9–58,1 мг/кг. Как было отмечено выше, значительные колебания в содержании фосфора отмечены в первые годы прогноза, а затем наступает равновесие и его содержание колеблется в пределах 46,1–47,7 мг/кг или в два-три раза больше, чем исходное содержание.

Многолетние травы способны предотвратить в севооборотах потери почвы и вместе с ней потери основных элементов питания в частности подвижного фосфора. Увеличение доли многолетних трав до 40 % в почвозащитном севообороте «В» сократило разрыв между фактическими и предсказанными значениями (15,3–16,0 и 14,8–15,3 мг/кг) в варианте естественного плодородия не только за счет снижения процессов деградации, но и за счет поступления в почву большого количества растительных остатков. Внесение средних доз удобрений также незначительно повлияло на средние значения содержания P_2O_5 в почве (33,9–37,2 и 33,6–34,0 мг/кг), что подтверждает сохранение плодородия на исходном уровне. При отсутствии стока и смыва, и внесении средних доз удобрений, возможно, сохранить плодородие почвы в этом севообороте на исходном уровне (рисунок 45).

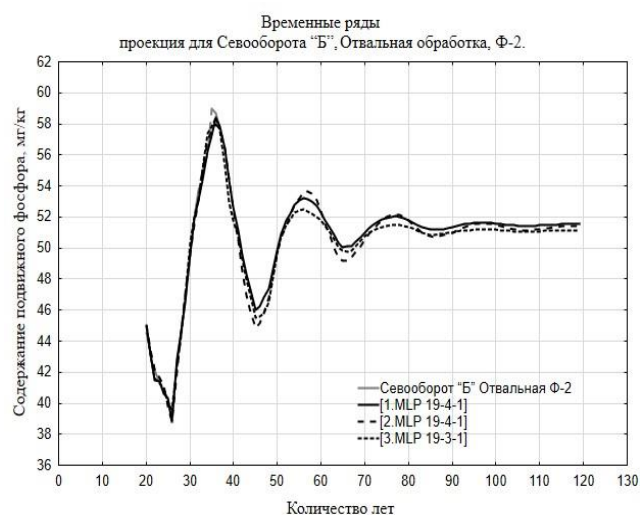
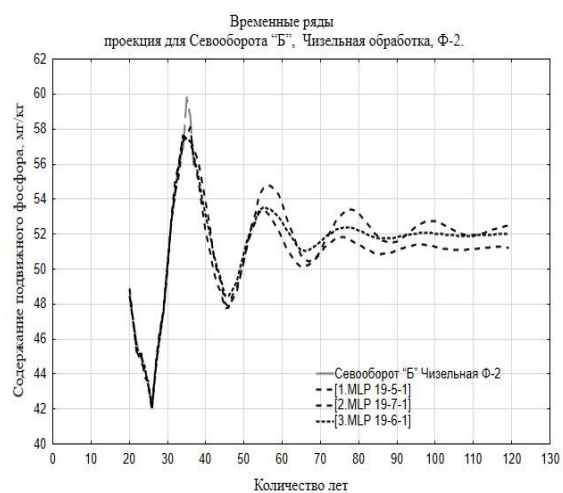
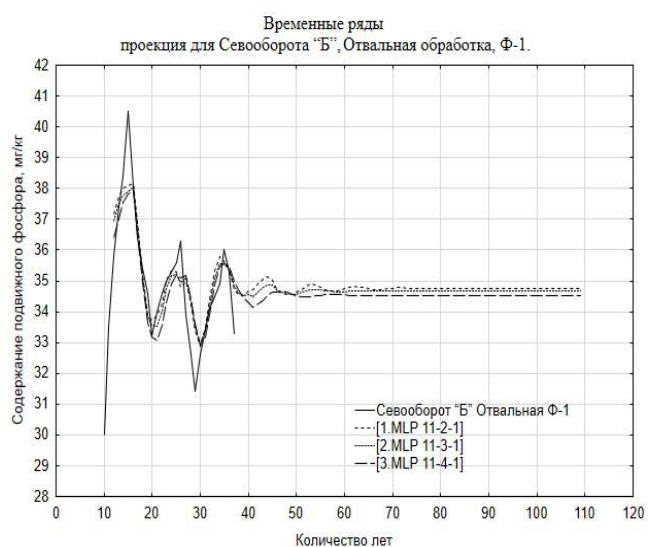
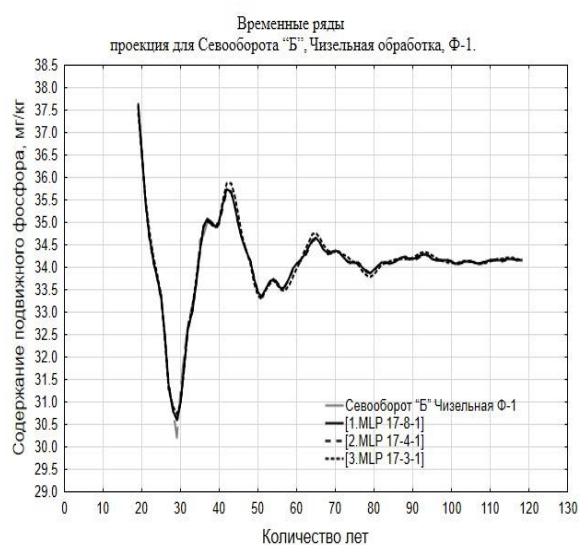
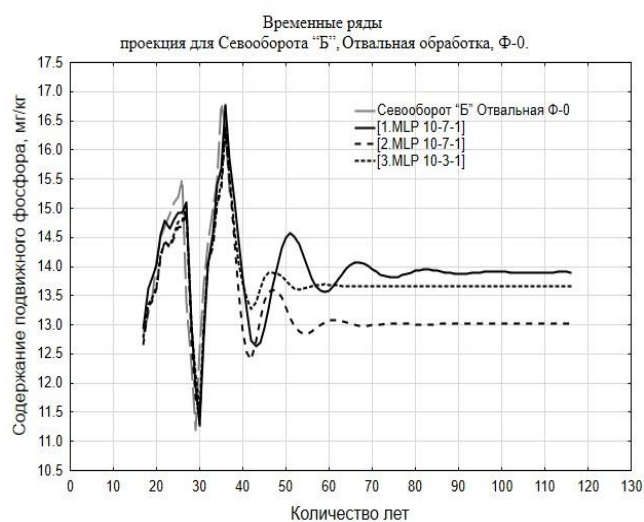
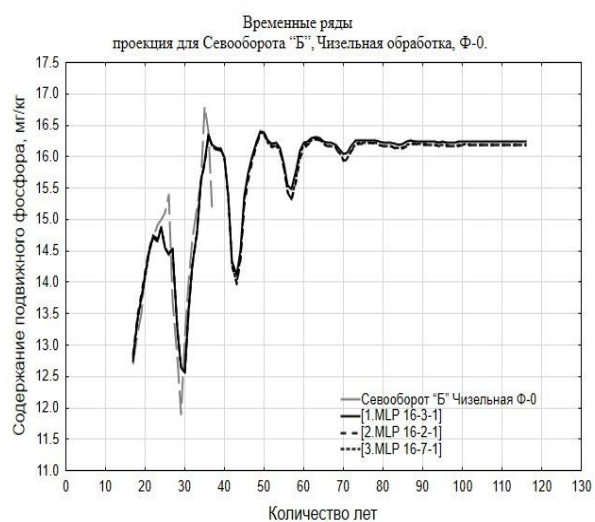


Рисунок 44 – Проекция временного ряда до 2122 года содержания подвижного фосфора в черноземах обыкновенных в севообороте «Б», мг/кг

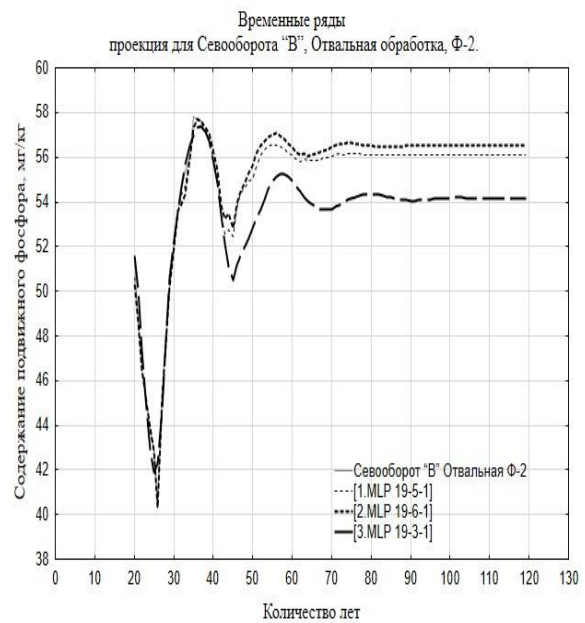
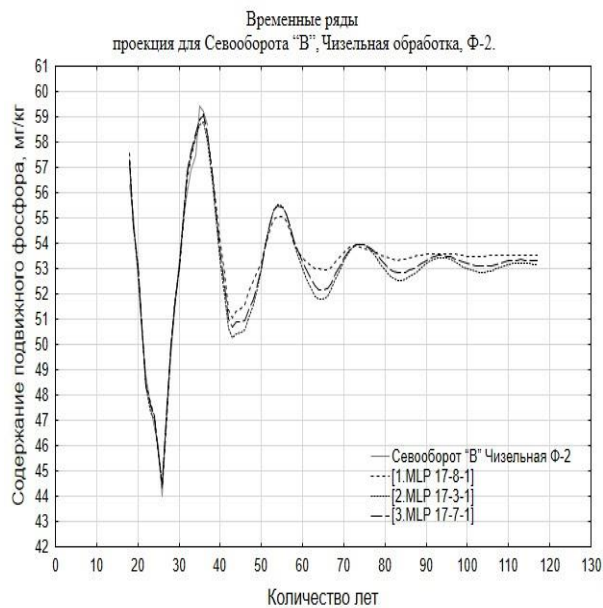
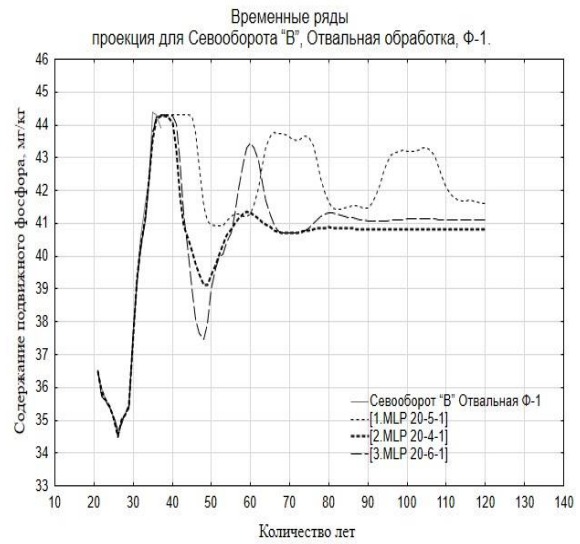
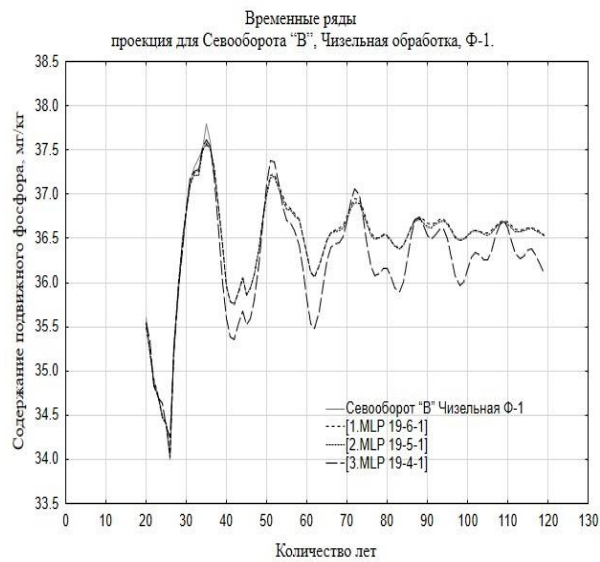
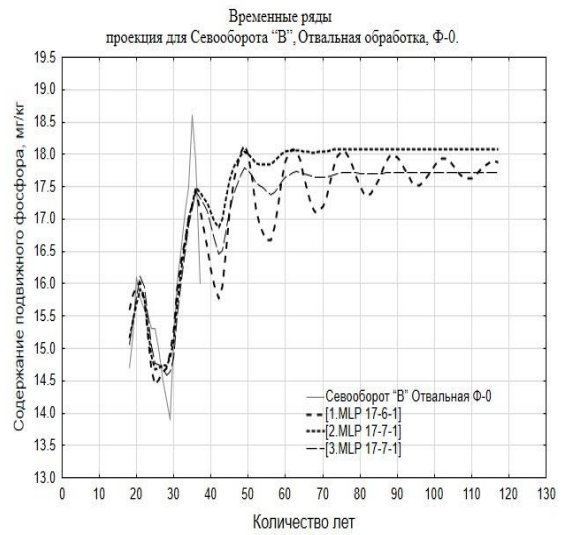
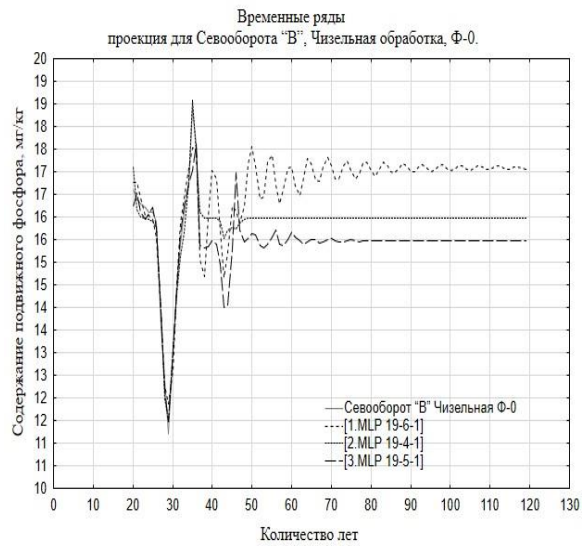


Рисунок 45 – Проекция временного ряда до 2122 года содержания подвижного фосфора в черноземах обыкновенных в севообороте «В», мг/кг

Аналогичная тенденция отмечена и при внесении повышенных доз удобрений разница между фактическими и предсказанными значениями не существенна (57,6-58,9 и 38,8-59,1 мг/кг). Средние значения содержания подвижного фосфора, полученные в результате составления длительного прогноза были в пределах 53,6-57,2 мг/кг, увеличение значений более чем в три раза подтверждает предположение о накоплении этого элемента в пахотном слое и может быть расценено как расширенное воспроизводство плодородия (Безуглова и Гаевая, 2025).

Использование почвозащитной обработки в сравнении с контрольным вариантом не повлияло на изменение фосфорного режима и содержание P_2O_5 не превышало 5 %.

Полученный прогноз содержания подвижного фосфора в пахотном слое подтверждает эффективность применяемых противоэрозионных мероприятий: контурно-полосное размещение сельскохозяйственных культур, наличие в севообороте многолетних трав от 20 до 40 % и внесение повышенных доз удобрений.

Таким образом, составлен прогноз на основе нейронных сетей содержания подвижного фосфора в черноземах обыкновенных среднеэродированных. В варианте естественного плодородия во всех севооборотах отмечена общая тенденция снижения подвижного фосфора на 11,5-25,3 %. Внесение удобрений в средних дозах не позволяет поддерживать содержание подвижного фосфора в почве в севообороте «А» с 20 % чистого пара на исходном уровне и оно снижается на 20,7 %. Средний фон минерального питания в севооборотах «Б» и «В» позволяет поддерживать содержание подвижного фосфора на исходном уровне. В севообороте с долей многолетних трав 40 % в структуре посевных площадей и увеличении дозы внесения удобрений в повышенных дозах отмечается расширенное воспроизводство плодородия почвы.

7.3 Прогноз динамики содержания обменного калия

Со стоком и смывом теряются биогенные элементы, необходимые для питания растений. Одним из таких элементов является подвижный калий. Для оценки

развития ситуации с содержанием обменного калия в черноземах обыкновенных была также предпринята попытка составления прогноза до 2122 года с помощью АНС. В результате составления прогноза с использованием фактических временных рядов с 1986 по 2022 г. были отобраны по статистическим параметрам три наилучшие АНС для каждого варианта (Рисунки 46-48, Приложения А42–А44).

При закладке опыта исходное содержание обменного калия колебалось в пределах от 347 до 393 мг/кг. В результате выноса с урожаем содержание калия изменялось от минимальных значений 218-290 мг/кг в вариантах естественного плодородия до максимальных 449-458 мг/кг в вариантах с повышенными дозами внесения удобрений.

В севообороте «А» с долей чистого пара 20 % в вариантах без внесения удобрений фактическое содержание обменного калия в 2022 г. было 218-244 мг/кг, а предсказанные значения несколько выше 219-276 мг/кг (или на 12,1-26,6 %). В севооборотах с долей многолетних трав 20-40 % фактические значения содержания обменного калия (275-286 мг/кг; 12,7-33,1 %) были выше, чем в севообороте «А», за счет снижения интенсивности смыва почвы. Полученные предсказанные значения (237-341 мг/кг) отражают отклонение данных от 11,8 до 24,0 %. Хотя и отмечены некоторые колебания в содержании обменного калия, средние прогнозные значения (260-290 мг/кг) незначительно отличались и были на уровне фактических значений. Внесение удобрений в средних дозах сократило разрыв между фактическими и предсказанными значениями, и в большинстве случаев содержание обменного калия изменилось незначительно по сравнению с 2022 годом (Таблица 54).

В севообороте «А» минимальные предсказанные значения снизились до 316-317 мг/кг или на 8,9 % меньше, а максимальные увеличились до 365-366 мг/кг (11,6 %). В севообороте «Б» эта тенденция сохранилась, колебания составили – 306-307 мг/кг (-11,6 %) и 370–380 мг/кг (12,5 %). В севообороте «В» минимальные предсказанные значения оставались на прежнем уровне, что и в других севооборотах (308–319 мг/кг (-12,5 %)), а максимальные предсказанные значения возросли на 24,7 % (430-439 мг/кг). По-видимому, в этом севообороте проявляется поч-

возащитная роль многолетних трав, и потери калия со стоком и смывом сокращены до безопасных пределов.

Таблица 54 – Фактические и предсказанные значения содержания обменного калия в черноземах обыкновенных в севооборотах различных конструкций, мг/кг

Севооборот	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Фактические значения		Предсказанные значения (min/max) / (номер нейронной сети)			Среднее, (M)
			1986 г.	2022 г.				
					1	2	3	
А	0	Ч	377	218	219-266	219-265	222-276	264
		О	377	244	240-275	240-271	240-274	266
	1	Ч	377	347	316-354	317-353	317-354	352
		О	377	328	347-365	349-366	349-365	377
	2	Ч	377	449	395-455	393-458	397-457	385
		О	377	383	388-436	389-419	376-453	406
Б	0	Ч	393	280	249-311	247-313	248-313	288
		О	393	275	283-309	277-341	283-307	299
	1	Ч	393	347	307-369	315-380	313-370	362
		О	393	337	311-372	306-370	309-372	377
	2	Ч	393	373	315-510	313-512	317-508	388
		О	393	378	354-521	338-523	338-524	415
В	0	Ч	347	290	240-296	237-293	240-296	273
		О	347	286	278-288	278-288	278-288	278
	1	Ч	347	352	319-420	319-439	308-430	383
		О	347	337	331-362	333-359	330-358	396
	2	Ч	347	458	403-488	405-488	444-486	402
		О	347	416	442-503	441-503	443-507	421

В севообороте «А» при внесении повышенных доз калийных удобрений предсказанные значения колебались пределах от 376-393 мг/кг до 453-458 мг/кг, или были меньше на 12,5 %, а при развитии благоприятной ситуации со стоком и смывом, увеличивались на 18,3 %. Аналогичная закономерность отмечена и в севообороте «Б» максимальное снижение предсказанных значений содержания обменного калия было на уровне 313-308 мг/кг (16,1 %), максимальные значения возросли до 512-523 (38,6 %).

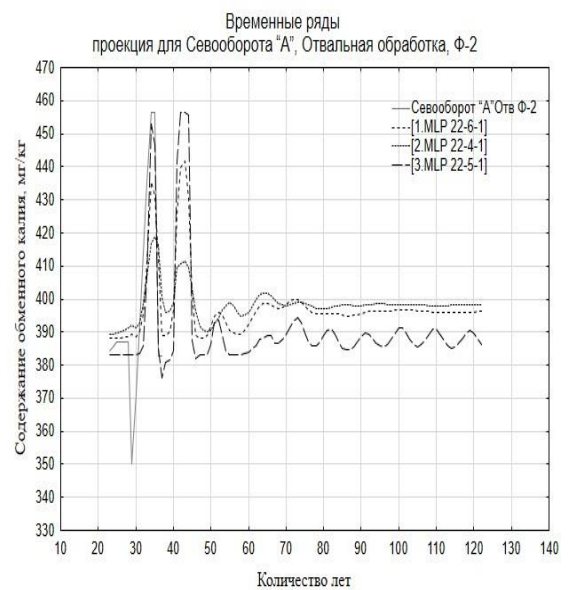
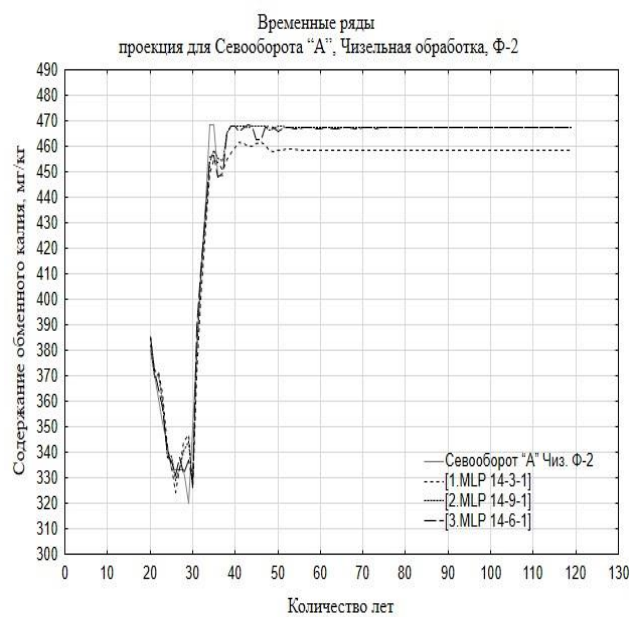
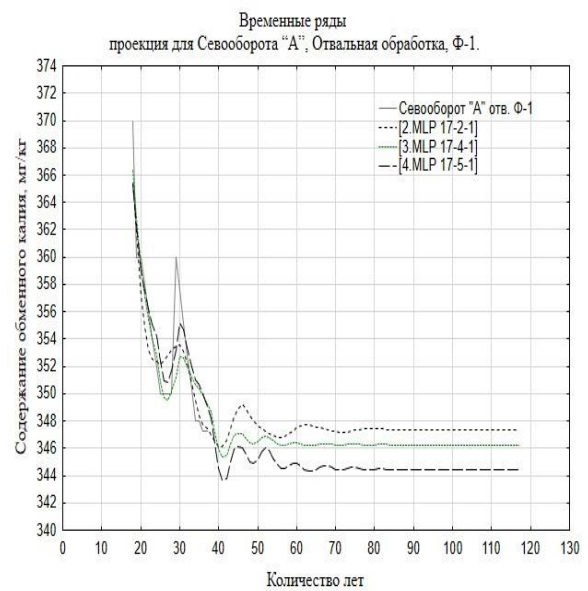
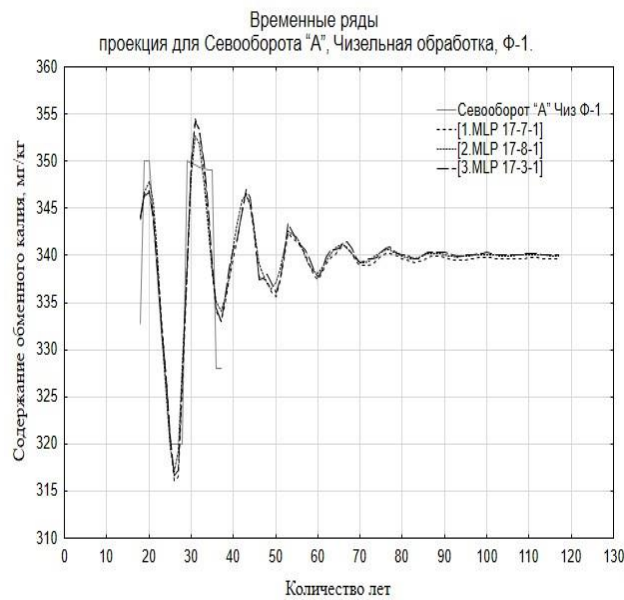
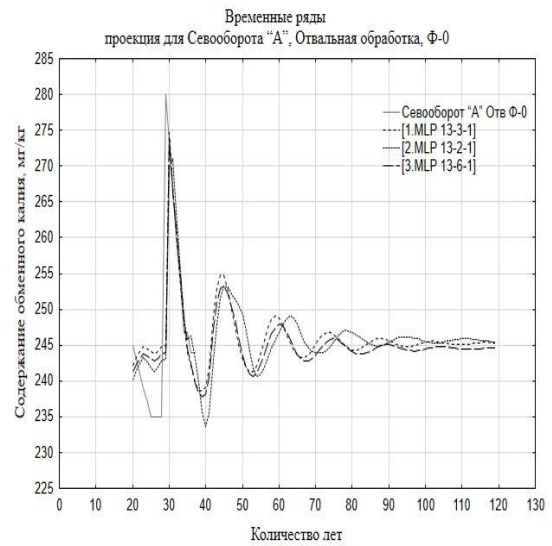
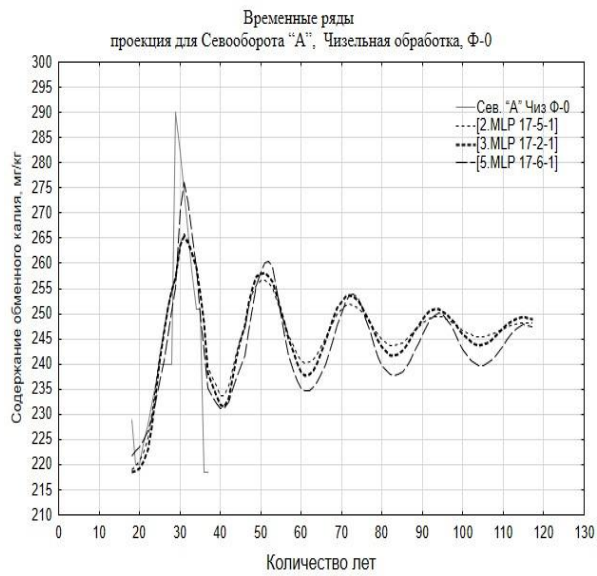


Рисунок 46 – Проекция временного ряда до 2122 года содержания обменного калия в черноземах обыкновенных в севообороте «А», мг/кг

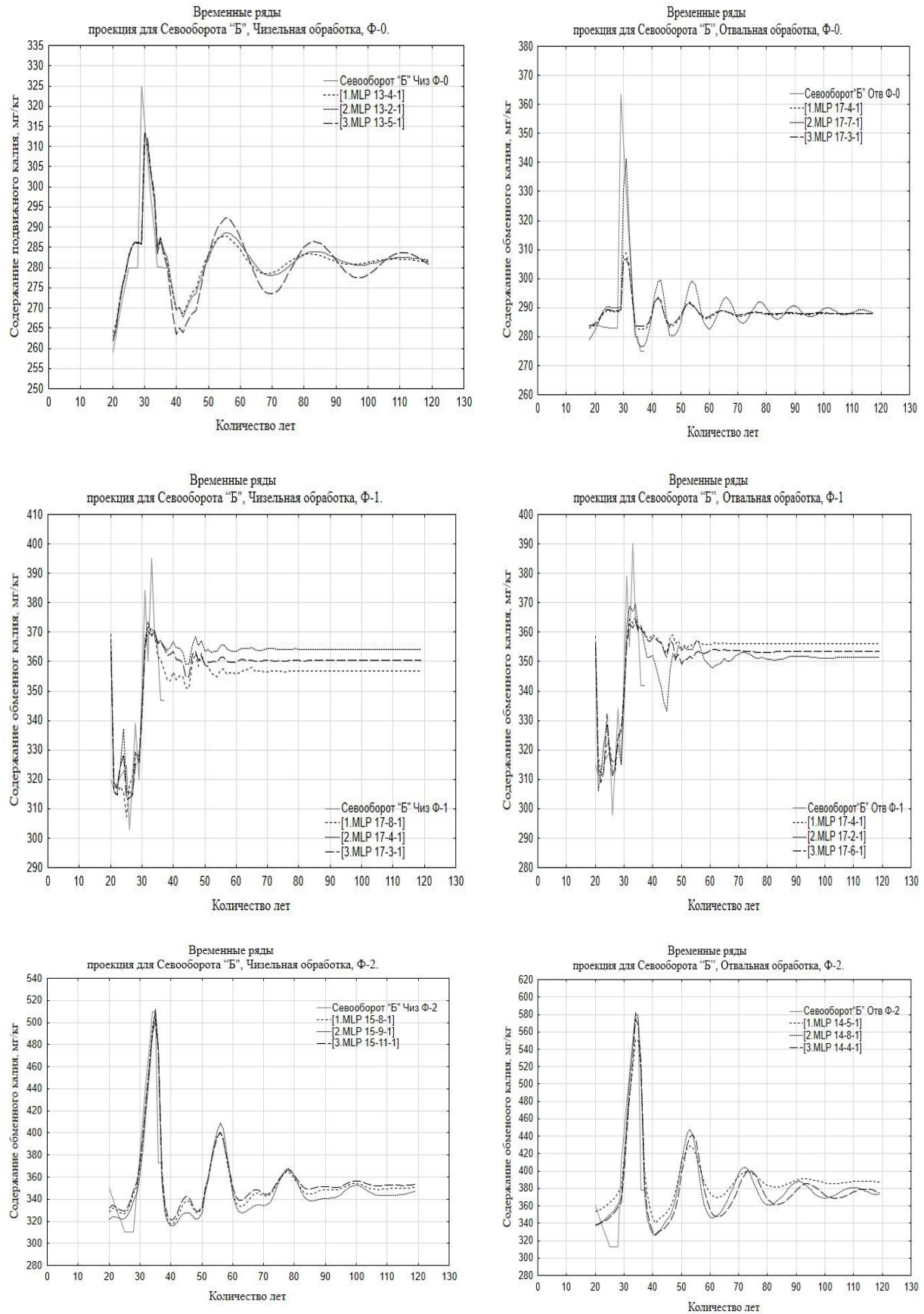


Рисунок 47 – Проекция временного ряда до 2122 года содержания обменного калия в черноземах обыкновенных в севообороте «Б», мг/кг

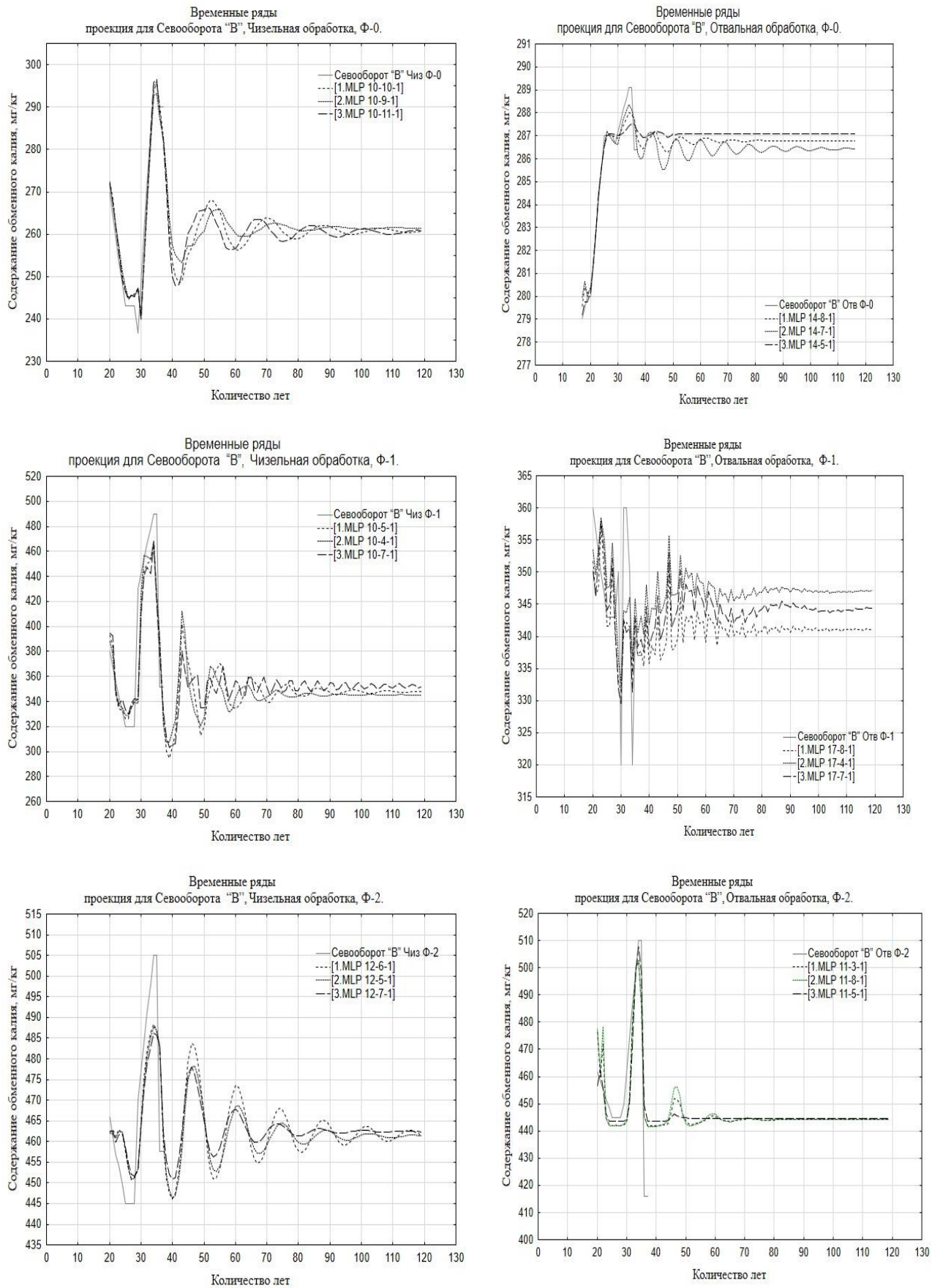


Рисунок 48 – Проекция временного ряда до 2122 года содержания обменного калия в черноземах обыкновенных в севообороте «В», мг/кг

По-иному складывался прогноз в севообороте «В», разница между прогнозными и фактическими значениями была несущественной. Внесение повышенных доз калийных удобрений привело к увеличению фактического содержания обменного калия в почве до 416-458 мг/кг, предсказанные значения были практически на этом же уровне 431-443 мг/кг, или возросли на 21,6 % (488-507 мг/кг).

Обработки почвы незначительно влияли на предсказанные значения обменного калия, в одних случаях преимущество имела отвальная обработка, в других – чизельная, но в обоих случаях разница не превышала 5,0 %.

Таким образом, составленный нейросетевой прогноз содержания обменного калия в черноземах обыкновенных выявляет некоторые колебания значений, однако средние прогнозные значения (260-290 мг/кг) незначительно отличались от фактических. При внесении удобрений в средних дозах во все севообороты, отмечены колебания в содержании обменного калия в первые годы составления прогноза, а в последующем содержание остается неизменным на уровне 340-350 мг/кг. Внесение повышенных доз удобрений в севооборот с 20 % чистого пара и с 20 % многолетних трав поддерживало содержание обменного калия на исходном уровне, а в севообороте с 40 % многолетних трав отмечено увеличение на 21,6 %. Обработки почвы существенного влияния на содержание обменного калия влияния не оказывали.

8 БАЛАНС ГУМУСА И ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ НА ЧЕРНОЗЕМАХ ОБЫКНОВЕННЫХ СРЕДНЕЭРОДИРОВАННЫХ

8.1 Баланс гумуса в зависимости от конструкции севооборотов и удобрений

Одним из основных факторов почвенного плодородия является органическое вещество, длительное применение органических удобрений повышает содержание гумуса в почве и поддерживается использованием минеральных удобрений, тогда как в интенсивном земледелии, даже на богатых черноземах, без удобрений запасы органического вещества в почве сокращаются (Гаевая, 2018; Гаевая и др., 2022а; Кузьменко, 2017). Ранее проведенными исследованиями установлено, что при систематическом применении органических и минеральных удобрений увеличивается содержание гуминовых кислот, отношение углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот возрастает (Новиков, 2023; Серая, 2022).

Расчет баланса гумуса с 1990 по 2013 гг. в севооборотах различной конструкции, по отвальной обработке почвы и внесении различных доз органоминеральных удобрений, показал, что накопление и расход гумуса в почве зависит от ряда факторов (Гаевая, 2019) (Рисунок 49, Приложения А45-А49).

Расчет баланса гумуса был проведен по азоту с последующим пересчетом на гумус (Лыков, 1979). Вынос азота с урожаем в среднем за годы исследований больше зависит от уровня питания, чем от конструкции севооборотов. Во всех севооборотах вынос азота культурами в среднем за ротацию севооборота изменялся в пределах от 107 до 150 кг/га, с большими значениями при внесении повышенных доз органоминеральных удобрений (навоз КРС 8 т/га + $N_{84}P_{48}K_{48}$) (Гаевая, 2018). При увеличении дозы внесения удобрений увеличивается урожайность, а значит, и увеличивался вынос азота с урожаем. Увеличение дозы внесения удобрений позволяет увеличить урожайность, а вместе с этим, и количество поступа-

ющих в почву растительных остатков. Содержание азота в растительных остатках различных культур также различно (Гаевая, 2019).

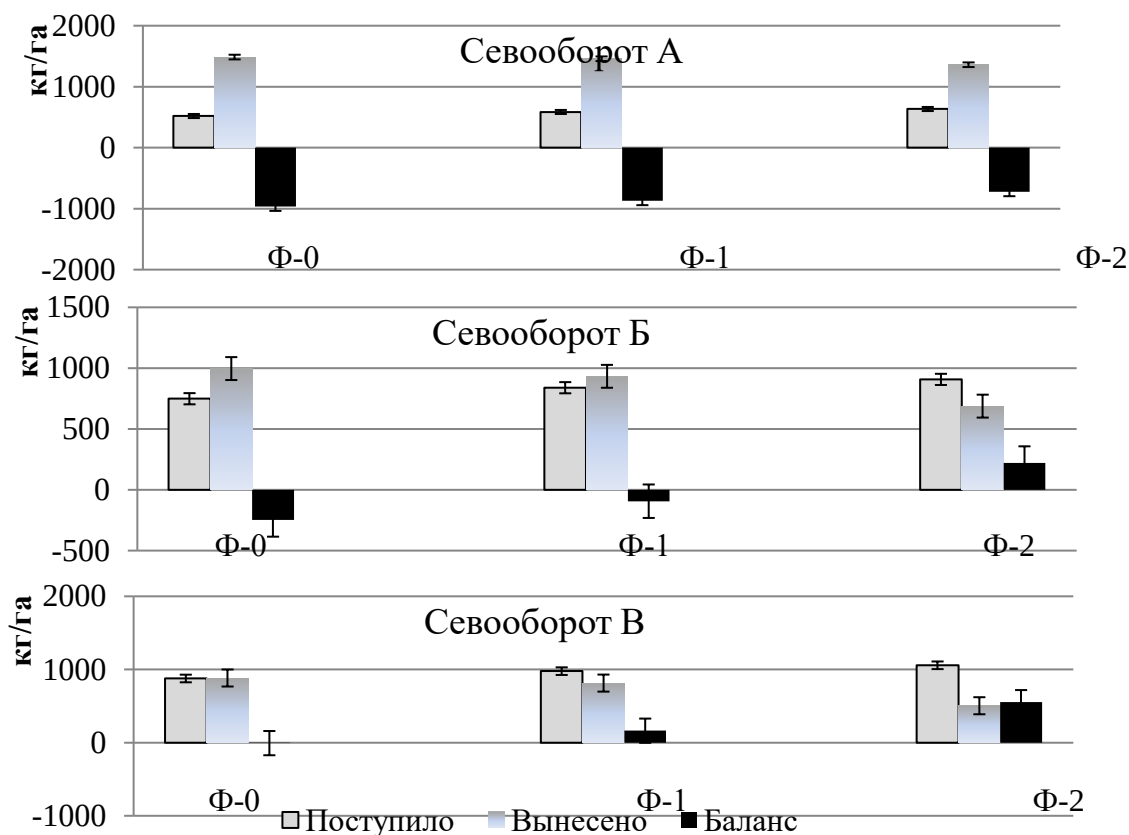


Рисунок 49 – Баланс гумуса в севооборотах различной конструкции и различных уровнях применения удобрений («0» – естественное плодородие; «1» – навоз КРС 5 т/га + $N_{46}P_{30}K_{30}$; «2» – навоз КРС 8 т/га + $N_{84}P_{48}K_{48}$) при использовании отвальной обработки почвы, кг/га, среднее за 1990-2013 гг.

В севообороте «А» азота поступало с семенами, удобрениями и растительными остатками 35-92 кг/га, а в севообороте «Б» – 56-117 кг/га. В севообороте «В» – 40 %, площади которого занято бобовыми культурами (многокомпонентная травосмесь, в состав которой входит эспарцет и люцерна), способными фиксировать атмосферный азот, поэтому и поступление здесь наибольшее – 63-123 кг/га. Поступление азота значительно различалось в зависимости от уровня питания (41,1-96,0 %) и от конструкции севооборотов (20,1-79,7 %) с большими значениями в вариантах с внесением повышенных доз удобрений (Гаевая, 2019).

Наиболее сильно процессы минерализации проходили в вариантах опыта с естественным плодородием, убыль гумуса составляла 466-748 кг/га, по мере уве-

личения доз внесения органоминеральных удобрений разница сократилась до 423-730 кг/га (2,4-9,3 %) на «1-ом» уровне питания, и до 242-671 кг/га – «2-ом» (10,3-48,1 %).

В поле чистого пара процессы гумификации и минерализации проходят наиболее интенсивно. В вариантах опыта с естественным плодородием азот поступает только из растительных остатков, и поэтому процессы минерализации преобладают над процессами гумификации. Регулировать и направлять этот процесс возможно путем внесения органоминеральных удобрений. Поступление азота из удобрений и навоза позволяет сбалансировать этот процесс. Под разными культурами севооборота минерализация происходит с различной интенсивностью (Гаевая, 2018). Наиболее интенсивна она в поле чистого пара и под пропашными культурами, поэтому сократить процесс минерализации возможно за счет внесения навоза в дозе 5 т на гектар севооборотной площади, а компенсировать непродуктивную потерю азота – внесением повышенных доз, до 8 т/га. Поэтому в севообороте «А» она составляет 671 кг/га, в севообороте «Б» при отсутствии чистого пара и внесении 8 т навоза и минеральных удобрений в дозе $N_{84}P_{48}K_{48}$ минерализация гумуса сокращается до 329 кг/га, существенно ниже эта величина (242 кг/га) в севообороте «В».

Количество новообразованного гумуса в севооборотах накапливается по мере увеличения доз внесения удобрений. В севообороте «А» без применения удобрений гумус образуется в количестве 301 кг/га, на первом уровне питания – 339 кг/га, на втором – 368 кг/га; а в севообороте «Б» количество новообразованного гумуса выше на 12,8; 12,1 и 11,4 % соответственно. В севообороте «В» новообразованного гумуса накапливается на 20,6-22,2 % больше, чем в севообороте «А» за счет 40 % многолетних трав, способных фиксировать азот (22,8 кг/га), а поступление с растительными остатками составляет 29,9 кг/га (Гаевая, 2019).

Наиболее значительный фактор при расчете баланса гумуса – это внесение различных доз удобрений. На вариантах, где удобрения не вносили (контроль) во всех изучаемых севооборотах процессы минерализации преобладали над процессами новообразования гумуса (гумификации), и баланс был резко отрицательный.

В севообороте «А» баланс гумуса на контроле был отрицательным и составлял - 771 кг/га, а в севообороте «Б» с долей 20 % многолетних трав убыль была несколько меньше, но баланс был отрицательным (-133 кг/га). Увеличение доли многолетних трав в структуре посевных площадей до 40 % привело к положительному балансу гумуса (73 кг/га) (Гаевая, 2019).

Внесение минеральных удобрений в дозе 106 кг на 1 гектар севооборотной площади и 5 т полуперепревшего навоза сократили отрицательный баланс гумуса в севообороте «А» до (-673 кг/га). В севообороте «Б» внесение этой же дозы органо-минеральных удобрений позволило получить положительный баланс (+26 кг/га). В севообороте «В» баланс гумуса был также положительный, а само накопление существенно выше (+249 кг/га). Увеличение количества новообразованного гумуса происходило не только за счет внесения удобрений, но и за счет большего количества поступившего азота с растительными остатками, особенно бобовых культур, а также многолетних трав. В результате увеличения дозы внесения минеральных удобрений до 180 кг д.в. и навоза до 8 т в севообороте с 20 % чистого пара баланс гумуса оставался отрицательным (-523 кг/га), а в севооборотах с разной долей многолетних трав был получен положительный баланс гумуса (+341 и +641 кг/га) (Гаевая, 2019).

Как видно и представленных данных, увеличение дозы внесения удобрений приводит к накоплению гумуса в почве, однако со стоком и смывом его теряется от 80 до 230 кг/га. Для сохранения баланса гумуса на исходном уровне необходимо: приостановить развитие эрозионных процессов, вносить в почву органические удобрения в чистый пар и под пропашные культуры, и вводить в севооборот бобовые культуры. В среднем 1 тонна полуперепревшего навоза крупного рогатого скота содержит 4,5-6 кг азота, 2-3 кг фосфора, 5-7 кг калия (Янюк и д.р., 2014). Большое влияние на параметры почвенного плодородия оказывает качественный состав органических остатков, прежде всего, содержание в них азота, фосфора и калия. Наибольшее количество азота накапливалось в растительных остатках многокомпонентных травосмесей, содержащих бобовые культуры (люцерну и эспарцет) до 63 кг/га (Гаевая, 2019).

Во всех севооборотах на вариантах естественного плодородия баланс гумуса с учетом смыва почвы был отрицательный (-967; -873 и -726 кг/га).

В севообороте с 20 % чистого пара при величине смыва 5,5 т/га в результате внесения средних доз удобрений (106 д.в. и 5 т навоза) отмечено сокращение потери гумуса до (-248 кг/га или на 74,3 %). В севообороте с 20 % многолетних трав и баланс гумуса также был среднеположительный (26 кг/га), однако за счет смытой почвы в количестве 3,1 т/га баланс стал отрицательным (-94 кг/га). В севообороте «В» с 40 % многолетних трав смыв почвы был минимальный (2, 2 т/га), а баланс гумуса оставался положительным (220 кг/га).

Внесение повышенных доз удобрений (180 д.в. и 8 т навоза) в севообороте «А» под отвальную обработку почвы сократило потери гумуса, однако баланс оставался отрицательный (-523 кг/га). В севооборотах «Б» и «В» с различной долей многолетних трав баланс гумуса оставался положительным (220 и 553 кг/га).

Внесение только минеральных удобрений с 2014 г. в дозах $N_{46}P_{24}K_{30}$ и $N_{84}P_{30}K_{48}$ привело к отрицательному балансу гумуса во всех севооборотах (Рисунок 50, Приложение А49).

Наибольшее количество гумуса было потеряно в севообороте с 20 % чистого пара (-1159 кг/га). По мере увеличения доли многолетних трав эти потери снизились (-1007 и -815 кг/га), но баланс гумуса оставался отрицательным. Внесение удобрений в различных дозах сократило потери гумуса в два раза в севообороте «А» (-464 и -489 кг/га) и «Б» (-475 и -446 кг/га) (Гаевая, 2019).

Увеличение доли многолетних трав в севообороте «В» до 40 % сократило потери гумуса до -245 и -42 кг/га.

Получение сельскохозяйственной продукции на плакорных землях в количестве 2-3 т/га зерновых единиц возможно при внесении навоза КРС в дозе 19,3-33,8 т/га. Побочная продукция в зависимости от приемов обработки почвы и степени её эродированности при возделывании озимых культур в дозе 0,2-1,5 т/га и яровых культур в дозе 0,6-3,9 т/га компенсирует потерю органического вещества в паровом поле (Гаевая, 2018; Лабынцев и Целуйко, 2012).

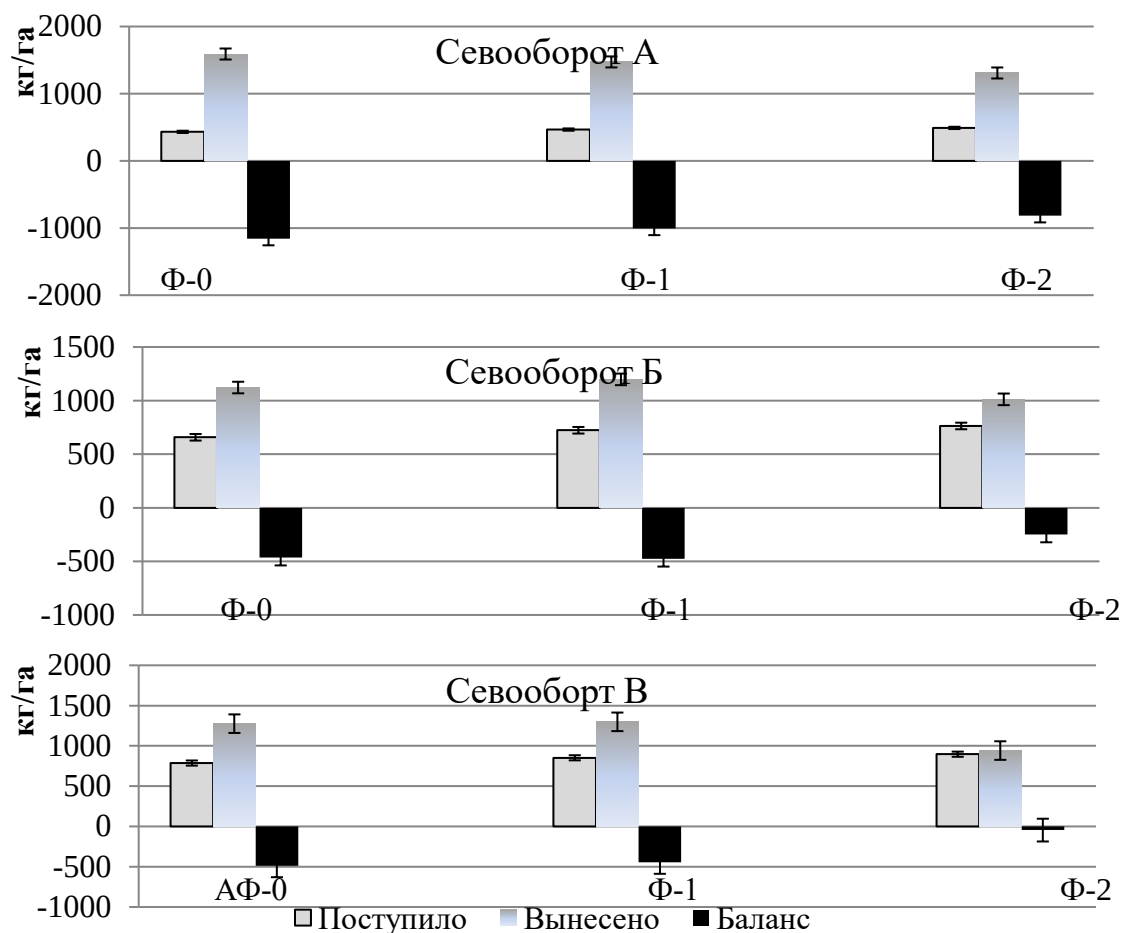


Рисунок 50 – Баланс гумуса в севооборотах различной конструкции и различных уровнях применения удобрений («0» – естественное плодородие; «1» – $N_{46}P_{24}K_{30}$; «2» – $N_{84}P_{30}K_{48}$) при использовании отвальной обработки почвы, кг/га, средние 2014-2022 гг.

Для восстановления плодородия, потерянного в результате стока талых и ливневых вод, необходимо вносить дополнительные дозы навоза. За ротацию севооборота в поле чистого пара или под пропашные культуры под основную обработку почвы вносится навоз в дозе 25 т на «1-м» фоне и 40 т на «2-м». Помимо этих доз необходимо вносить дополнительные количества органических удобрений в дозе 72,6-87,3 т в севообороте «А» и 9,4 т в севообороте «Б» на «1» уровне применения удобрений. В севообороте «В», имеющим наименьшие потери со стоком и смывом почвы, за счет наличия 40 % многолетних трав баланс гумуса имеет положительную направленность, и для сохранения плодородия внесение дополнительных доз навоза не требуется (Таблица 55).

Таблица 55 – Компенсационные дозы навоза, необходимые для восстановления бездефицитного баланса гумуса в севообороте по отвальной обработке почвы, т/га

Год	Уровень применения удобрений	Севооборот		
		А	Б	В
1990-2013 гг.	«0» – естественное плодородие	96,7	24,8	0,7
	«1» – $N_{46}P_{30}K_{30}$ + 5 т навоза	87,3	9,4	-
	«2» – $N_{84}P_{48}K_{48}$ + 8 т навоза	72,6	-	-
2014-2022 гг.	«0» – естественное плодородие	115,9	46,4	48,9
	«1» – $N_{46}P_{24}K_{30}$	100,7	47,5	44,6
	«2» – $N_{84}P_{30}K_{48}$	81,5	24,5	4,2

Многолетними исследованиями учеными нашего института установлено, что из 1 т навоза при заделке его образуется 65-69 кг/га гумуса, а из 1 т соломы – 185-222 кг/га. Внесение навоза КРС в дозе 19,3-32,4 т/га компенсирует потерю органического вещества в паровом поле в зависимости от приемов обработки почвы и степени эродированности в приазовской зоне Ростовской области (Лабынцев и Целуйко, 2012).

С 2014 года из системы удобрений были исключены органические удобрения (навоз КРС), что привело к отрицательному балансу гумуса во всех севооборотах. Для восстановления плодородия необходимо вносить дополнительно навоз за ротацию в количестве 81,5-100,7 т в севообороте «А», 24,5-47,5 т – в севообороте «Б» и 4,2-44,6 т – в севообороте «В».

Таким образом, интенсивное использование земель сельскохозяйственного назначения в Ростовской области без внесения удобрений приводит к сокращению содержания гумуса в почве. Основными способами сохранения плодородия почвы на черноземах обыкновенных являются:

- введение в структуру севооборота 20-40 % многолетних трав, что способствует поступлению азота до 81-123 кг/га;
- севообороты, имеющие в своей структуре 20 % чистого пара при использовании отвальной обработки почвы и органоминеральных удобрений в дозе: навоз КРС 5 т и $N_{46}P_{30}K_{30}$ и 8 т навоза КРС и $N_{84}P_{48}K_{48}$, имеют отрицательный баланс гумуса (-726; -873; - 967 кг/га);

- длительное применение органоминеральных удобрений в севооборотах в дозе: навоз КРС 5 т и $N_{46}P_{30}K_{30}$, а также введение в севооборот 20 % многолетних трав, позволяет поддерживать среднеотрицательный баланс гумуса при использовании отвальной обработки почвы на уровне (-94 кг/га), а увеличение дозы внесения удобрений до 8 т навоза КРС и $N_{84}P_{48}K_{48}$ – положительный баланс (+220 кг/га);

- увеличение доли многолетних трав до 40 % и внесению органоминеральных удобрений в дозе навоз КРС 5 т+ $N_{46}P_{30}K_{30}$ и 8 т навоза КРС+ $N_{84}P_{48}K_{48}$ способствует положительному балансу гумуса (249 и 553 кг/га);

- исключение из системы удобрений навоза приводит к отрицательному балансу гумуса во всех севооборотах, при использовании как средних ($N_{46}P_{30}K_{30}$) так и повышенных ($N_{84}P_{48}K_{48}$) доз минеральных удобрений.

8.2 Баланс гумуса в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур

Азот, участвуя в образовании гумуса, является наиболее важным элементом, поэтому по нему рассчитывают баланс. В балансе гумуса наиболее важными статьями являются вынос азота с урожаем, поступление его с удобрениями, семенами, осадками и с растительными остатками (Гаевая, 2018; Янюк и др., 2014; Куликова и др., 2022; Серая и др., 2022). Пожнивные и корневые остатки культурных растений пополняют запасы азота в почве, что обосновывает необходимость правильного подбора культур в севообороте с учетом различной степени обогащения и выноса ими элементов питания. Среднее количество азота, поступающее в среднем за ротацию севооборота на различных уровнях применения удобрений и использования чизельной обработки почвы в севообороте «А», составляет от 34 кг/га до 92 кг/га, в севообороте «Б» – 55-116 кг/га, в севообороте «В» – 60-122 кг/га (Гаевая, 2018) (Рисунок 51).

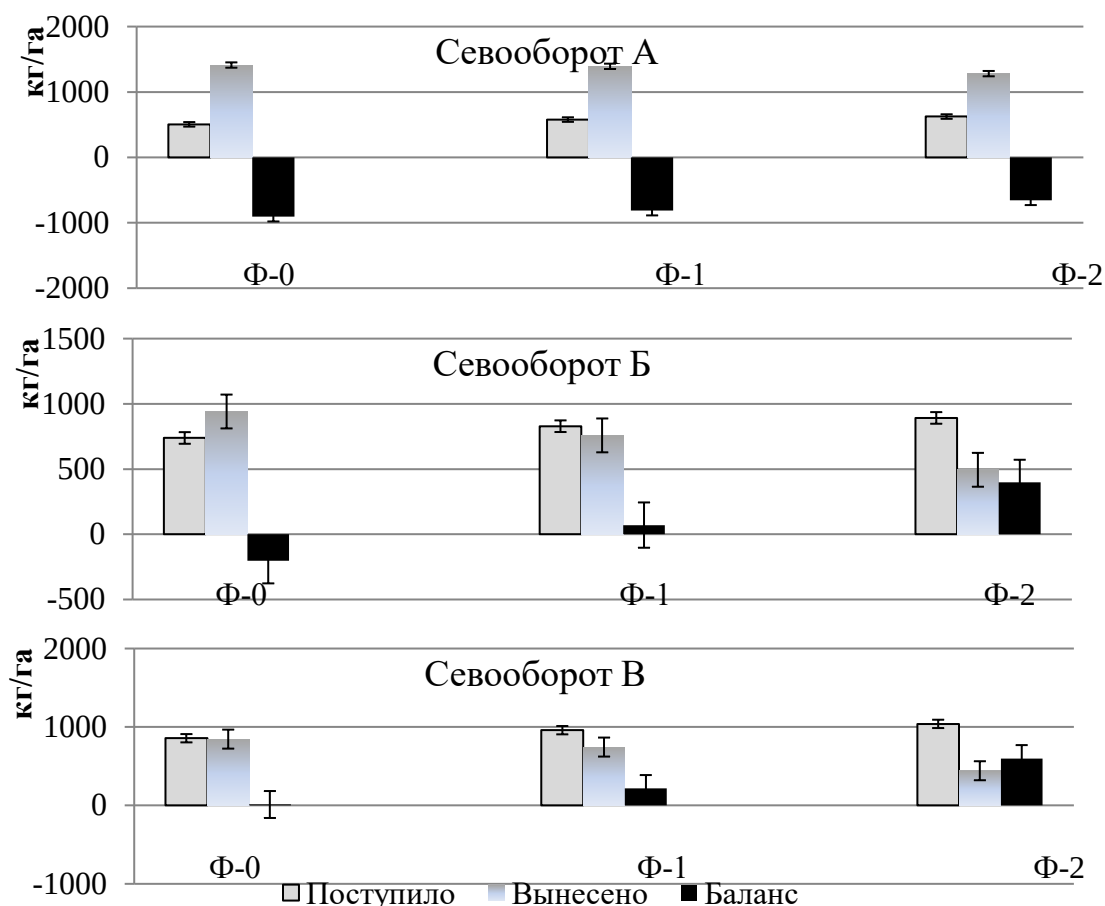


Рисунок 51 – Баланс гумуса в севооборотах различной конструкции и различных уровнях применения удобрений («0» – естественное плодородие; «1» – навоз КРС 5 т + $N_{46}P_{30}K_{30}$; «2» – навоз КРС 8 т + $N_{84}P_{48}K_{48}$) при использовании чизельной обработки почвы, кг/га, среднее 1990-2013 гг.

Разница между средним количеством поступающего азота в вариантах без удобрений и вариантами, где вносили органические и минеральные удобрения в различных дозах, составляла в севообороте «А» 18,1-28,1 %, в севообороте «Б» 19,9-33,4 %, в севообороте «В» 20,8-36,9 %.

Так как урожайность при использовании отвальной обработки почвы в большинстве лет наблюдения больше, то и количество поступающего азота больше на 1-5 %, чем по чизельной обработке почвы (Гаевая, 2018).

Наибольшее количество азота выносится с урожаем в севообороте «В», в котором отмечается самая высокая продуктивность. Количество азота отчуждаемого с продукцией, в севообороте «В» колеблется в пределах от 105 до 144 кг/га или на 28,5-36,9 % больше, чем в севообороте «А». В севообороте «Б» вынос азота с урожаем меньше на 18,1-20,8 %, чем в севообороте «А».

Главными статьями расхода гумуса являются его минерализация и потери при эрозии. Почвенный азот, представленный сложными органическими веществами гумуса, становится доступным для растений только после его минерализации, то есть превращения под влиянием микроорганизмов в минеральные усвояемые растениями формы – в аммонийные и нитратные соли. Интенсивность минерализации азота гумуса зависит от физико-химических свойств почвы, климатических и агротехнических условий (Марданлы, Шакури, 2007; Кузьменко, 2017).

В наших исследованиях процессы минерализации наиболее активно проходили в севообороте «А» и составляли 638-719 кг/га, в севообороте «Б» – 230-492 кг/га. С увеличением дозы внесения органоминеральных удобрений в этих же севооборотах уменьшались процессы минерализации на 1,9-11,1 % и на 22,0-53,3 %, а гумификация увеличивалась ($r=-0,93-0,98$). В севообороте с 40 % многолетних трав и отсутствием поля чистого пара минерализация растительных остатков была самая низкая и составляла 216-454 кг/га, с увеличением дозы удобрений процессы минерализации уменьшались на 13,5-52,6 %, а накопление гумуса увеличивается ($r=-0,94$) (Гаевая, 2018).

Баланс гумуса в почве может быть бездефицитным, когда его приход в результате гумификации свежих растительных остатков и органических удобрений полностью уравнивает расход за счет минерализации и потери почвы с учетом стока и смыва. Баланс считается положительным, когда приход вновь образованного гумуса превышает его расход, и отрицательным, когда приход гумуса не компенсирует его потери (Гаевая, 2013). Поле чистого пара в течение всего года наиболее сильно подвержено процессам эрозии. В севообороте «А» при использовании чизельной обработки почвы баланс гумуса с учетом процессов минерализации и эрозии в чистом пару при внесении различных доз удобрений остается отрицательным (-907 и -656 кг/га) (Гаевая, 2018).

Увеличение в структуре посевных площадей многолетних трав до 40 % и внесение в почву средних и повышенных доз органоминеральных удобрений обеспечивает поддержание баланса гумуса положительным (166-667 кг/га). В севообороте «В» в вариантах опыта без внесения удобрений баланс отмечается

среднеположительный, за счет более интенсивных процессов гумификации. Поступающие в почву корневые и пожнивные остатки позволяют поддерживать баланс гумуса – положительным.

С 2014 года из системы удобрений был исключен навоз, что привело к отрицательному балансу гумуса во всех севооборотах и при применении различных доз удобрений и использовании чизельной обработки почвы. Исключение составлял севооборот с 40 % многолетних трав, в котором баланс гумуса был слабоположительный (+6 кг/га). Как отмечалось ранее, потери почвы при использовании почвозащитной обработки меньше, чем при отвальной, поэтому и потери гумуса меньше в севообороте «А» на 6,2-9,6 %, в севообороте «Б» – 18,2-28,0 %, севообороте «В» – 8,0-32,0 % (Рисунок 52, Приложение А49).

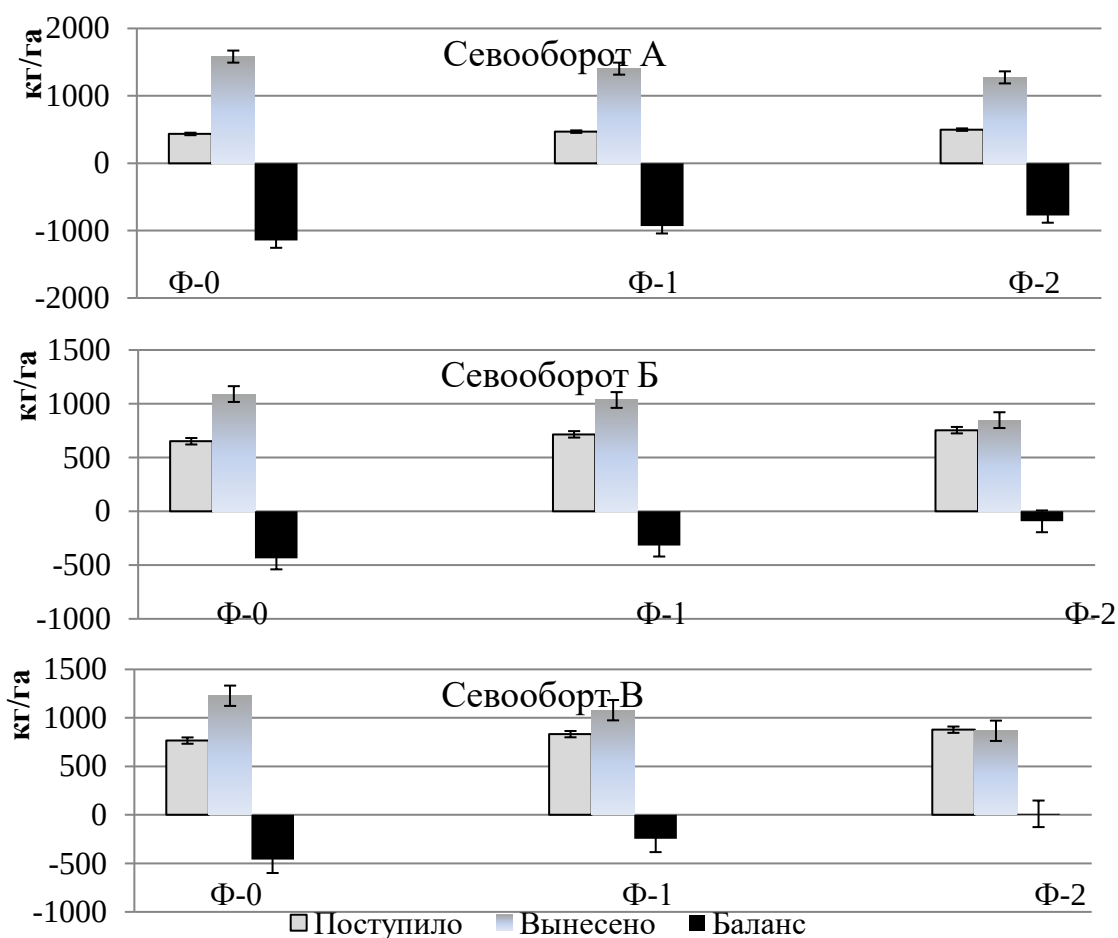


Рисунок 52 – Баланс гумуса в севооборотах различной конструкции и различных уровнях применения удобрений («0» – естественное плодородие; «1» – $N_{46}P_{24}K_{30}$; «2» – $N_{84}P_{30}K_{48}$) при использовании чизельной обработки почвы, кг/га, среднее за 2014-2022 гг.

Дефицит гумуса, обусловленный ежегодной минерализацией органического вещества, потерей гумуса с поверхностным стоком и его вымыванием из пахотного слоя, в настоящее время может быть компенсирован путем внесения значительных количеств органических и минеральных удобрений (Глазунов и др., 2021). В севообороте «А» с 20 % чистого пара положительный баланс гумуса отмечается только на вариантах опыта с внесением почву повышенных доз органо-минеральных удобрений. С уменьшением доли чистого пара и увеличением многолетних трав, внесение удобрений в средних и повышенных дозах позволяют поддерживать бездефицитный баланс гумуса.

Для бездефицитного баланса гумуса необходимо внесение компенсационных доз органических удобрений. Внесение навоза в дозе 25-40 т в поле чистого пара не позволяет получить бездефицитный баланс гумуса, поэтому нужно дополнительно вносить 65-80 т. Введение в структуру посевных площадей 20 % многолетних трав и внесение навоза в дозе 25-40 т под кукурузу позволяет поддерживать бездефицитный баланс гумуса. Увеличение доли многолетних трав до 40 % позволяет поддерживать положительный баланс гумуса и без внесения органических удобрений (Таблица 56).

Таблица 56 – Компенсационные дозы навоза, необходимые для восстановления бездефицитного баланса гумуса в севообороте по чизельной обработки почвы, т/га

Год	Уровень применения удобрений	Севооборот		
		А	Б	В
1990-2013 гг.	«0» – естественное плодородие	90,7	20,3	-
	«1» – N ₄₆ P ₃₀ K ₃₀ + 5 т навоза	81,4	-	-
	«2» – N ₈₄ P ₄₈ K ₄₈ + 8 т навоза	65,6	-	-
2014-2022 гг.	«0» – естественное плодородие	114,8	43,9	46,2
	«1» – N ₄₆ P ₂₄ K ₃₀	93,5	31,9	24,7
	«2» – N ₈₄ P ₃₀ K ₄₈	77,9	9,8	-

По данным И.М. Шапошниковой и И.Н. Листопадова (1984), «положительным был баланс гумуса только в полях кукурузы на силос, где в среднем на 1 га вносилось 15 т навоза, и под многолетними травами, с небольшим превышени-

ем. Все остальные культуры формировали урожай в основном за счет минерализации органического вещества почвы. Особенно высока потеря гумуса под озимой пшеницей, площадь посева которой весьма значительна (учитывая и то, что она сеялась и по пару), и под важнейшей масличной культурой – подсолнечником».

Исключение из системы удобрений навоза, и замена кукурузы на силос подсолнечником и кукурузой на зерно с 2014 года, привело к потере гумуса как со стоком и смывом, так и его минерализации. Для бездефицитного баланса гумуса необходимо вносить в севооборот с 20 % чистого пара от 80 до 90 т навоза, в севооборот с 20 % многолетних трав 10-30 т навоза, а в севооборот с 40 % многолетних трав и минеральных удобрений в дозе $N_{46}P_{24}K_{30}$ – 25 т навоза. Увеличение дозы внесения минеральных удобрений до 162 д.в. на 1 га севооборотной площади позволяет получить бездефицитный баланс гумуса (Гаевая, 2018).

Для достижения на плакоре урожайности зерновых культур 4,0 т/га, силосной массы кукурузы – 25,0-30,0 т/га и бездефицитного баланса гумуса необходимо с азотными удобрениями в дозе 60-70 кг/га д.в. вносить не менее 6-7 т/га навоза (Шапошникова и Листопадов, 1984).

Таким образом, для достижения бездефицитного баланса гумуса на черноземах обыкновенных в севооборотах, расположенных на эрозионно-опасных склонах, с учетом смыва почвы и использованием почвозащитной обработки почвы, в севообороте с 20 % чистого пара баланс гумуса при внесении различных доз органоминеральных удобрений остается отрицательным. В севообороте с 20 % многолетних трав и внесении удобрений в средних и повышенных дозах ($N_{46}P_{24}K_{30}$ + 5 т навоза и $N_{84}P_{30}K_{48}$ + 8 т навоза) баланс гумуса положительный (70-398 кг/га). Увеличение в структуре посевных площадей многолетних трав до 40 % без внесения удобрений поддерживает слабоположительный баланс гумуса (11 кг/га), а внесение в почву средних и повышенных доз органоминеральных удобрений обеспечивает положительный баланс гумуса (166-667 кг/га).

Исключение навоза из системы удобрений приводит к отрицательному балансу гумуса в севообороте с 20 % чистого пара и в севообороте с 20 % многолетних трав. Введение в структуру посевных площадей 40 % многолетних трав спо-

способствует получению слабоположительного баланса гумуса (11 кг/га) при внесении повышенных доз удобрений ($N_{84}P_{30}K_{48}$).

Использование почвозащитной обработки, по сравнению с отвальной, сокращает потери гумуса в севообороте «А» на 6,2-9,6 %, в севообороте «Б» – на 18,2-28,0 %, севообороте «В» – на 8,0-32,0 %.

Для бездефицитного баланса гумуса необходимо вносить от 25 до 90 т навоза совместно с минеральными удобрениями в дозах $N_{46}P_{24}K_{30}$ – $N_{84}P_{30}K_{48}$.

8.3 Оценка состояния баланса гумуса в зависимости от конструкции севооборота, удобрений и агротехнологии возделывания

Состояние баланса гумуса было оценено с использованием показателей «интенсивность баланса» и «емкость баланса» в севооборотах различной конструкции и различных уровнях питания при использовании обработок почвы. Интенсивность баланса гумуса рассчитывается, как отношение приходной части к расходной, выраженной в процентах, и показывает, на сколько расходная часть превышает поступление. Интенсивность баланса считается удовлетворительной – от 100 до 120 %, и хорошей – свыше 120 % (Корчагин и др., 2018).

Интенсивность баланса гумуса увеличивается в зависимости от дозы внесения удобрений (1990-2013 гг.). Самая маленькая интенсивность баланса гумуса отмечена на вариантах без внесения удобрений в севооборотах (31,9-96,1 %). С увеличением дозы внесения органоминеральных удобрений увеличивается и интенсивность баланса гумуса на 14,6-119,6 % с меньшими значениями в севообороте с 20 % чистого пара (Таблица 57).

В севооборотах различной конструкции интенсивность баланса гумуса увеличивается по мере увеличения доли многолетних трав от 0 до 40 %. При увеличении в севообороте доли многолетних трав до 20 % и внесении повышенных доз удобрений интенсивность баланса увеличивается в 1,5-2,5 раза, однако интенсивность баланса гумуса считается хорошей при значениях свыше 120 % и все значения ниже могут считаться удовлетворительными. При высокой интенсивности

Таблица 57 – Интенсивность и емкость баланса гумуса в севооборотах при использовании различных уровней применения удобрений, 1990-2022 гг.

Показатель	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Севооборот					
			А	Б	В	А	Б	В
			1990-2013 гг.			2014-2022 гг.		
Интенсивность баланса, %	0	Отвальная	31,9	69,3	93,1	24,5	50,8	54,2
		Чизельная	32,9	73,2	96,1	25,2	52,7	55,6
	1	Отвальная	36,5	82,3	111,6	28,9	53,8	58,9
		Чизельная	38,0	100,1	121,0	31,1	62,5	69,9
	2	Отвальная	42,1	117,0	186,2	34,6	67,6	84,4
		Чизельная	44,2	157,9	211,1	36,7	80,5	91,6
Емкость баланса, кг	0	Отвальная	1245	1061	1055	1272	1133	1299
		Чизельная	1184	1013	1013	1252	1095	1243
	1	Отвальная	1269	1078	1075	1206	1199	1334
		Чизельная	1217	960	1016	1147	1079	1173
	2	Отвальная	1242	976	943	1107	1098	1137
		Чизельная	1180	895	888	1076	981	1065

смыва почвы и повышении продуктивности культур интенсивность баланса гумуса снижается. В севообороте с долей многолетних трав 40 % и внесением удобрений в средних дозах интенсивность баланса гумуса также может считаться удовлетворительной (111,6-121,0 %). Внесение удобрений в повышенных дозах приводит к увеличению интенсивность баланса гумуса до 186,2-211,1 %, что можно рассматривать как – хорошая (Гаевая, 2018).

Исключение из системы внесения органических удобрений в последние две ротации (2014-2022 гг.) приводит к снижению интенсивности баланса гумуса во всех севооборотах, и его уровень можно оценить как неудовлетворительный. В севообороте «А» исключение навоза из системы удобрений привело к снижению интенсивности баланса на 23,1-17,8 %, в севообороте «Б» на – 26,7-42,5 %, в севообороте «В» на – 41,8-54,7 %. Эта тенденция подтверждает ранее сделанные выводы об отрицательном балансе гумуса во всех севооборотах.

Ёмкость баланса гумуса складывается из суммы всех статей, как выноса, так и возмещения питательных элементов в почву, характеризует мощность круговорота органического углерода в севооборотах. Интенсивность систем земледелия оценивается по емкости баланса, и чем она больше, тем интенсивность систем

земледелия выше.

Ёмкость баланса гумуса изменяется в пределах от 888 до 1269 кг с большими значениями в севообороте «А» (1990-2013 гг.). В севообороте «Б» емкость баланса гумуса меньше по сравнению с севооборотом «А» на 14,8-21,4 %, а в севообороте «В» – на 15,3-24,1 %. В севообороте «А» самые большие потери гумуса, соответственно и ёмкость баланса, рассчитываемая по сумме приходных и расходных статей, также больше.

С 2014 г. по 2022 г. ёмкость баланса гумуса увеличивается во всех севооборотах с 1107 до 1334 кг (на 2,2-24,1 %). Столь значительные изменения произошли в результате увеличения в эти годы выноса органического вещества со стоком и смывом, а исключение навоза из системы удобрений привело к уменьшению новообразованного гумуса (Гаевая, 2018).

Интенсивность баланса гумуса была больше по чизельной обработке почвы, чем по отвальной на 1,5-40,9 %. Тогда как, емкость баланса гумуса при использовании отвальной обработки почвы была больше, чем при использовании чизельной на 4,1-13,3 кг (51,7-131,3 %).

Исключение из системы удобрений органических (навоза) привело к увеличению интенсивности баланса на 17,0-56,6 % и уменьшению ёмкости баланса гумуса на 5,4-18,5% при использовании почвозащитной обработки почвы.

Таким образом, интенсивность баланса гумуса в севооборотах различной конструкции увеличивается по мере увеличения доли многолетних трав и доз внесения удобрений до 186,2-211,1 % в севообороте с 40 % многолетних трав, и оценивается как «хорошая». Исключение из системы удобрений органических приводит к снижению интенсивности баланса гумуса на 6,5-50,0 % во всех севооборотах, и оценивается как «неудовлетворительная».

Наименьшая ёмкость баланса гумуса отмечена в севообороте «В» (888-943 кг) или на 15,3-24,1 % меньше, чем в севообороте «А». Исключение из системы удобрений – органических, приводит к увеличению ёмкости баланса гумуса с 1107 до 1334 кг (или на 2,1-18,8 %) за счет выноса органического вещества со стоком и смывом и уменьшения новообразованного гумуса.

Интенсивность и ёмкость баланса гумуса при использовании почвозащитной (чизельной) обработки почвы имеет аналогичную тенденцию, что и по отвальной. Исключение из системы удобрений органических (навоза) увеличивает интенсивности баланса на 17,0-56,6 % и уменьшает ёмкость баланса гумуса на 5,4-18,5 % по сравнению с отвальной обработкой.

8. 4 Баланс основных элементов питания в зависимости от конструкции севооборотов и удобрений

Контурно-ландшафтная организация территории склона и полосное размещение полей севооборотов, препятствующие стоку воды и смыву почвы, позволяют не только стабилизировать уровень почвенного плодородия, но при повышенных дозах органических и минеральных удобрений повысить его с соблюдением основных принципов экологического равновесия (Гаевая и Мищенко, 2015; Мищенко и др., 2015).

С 1990 по 2005 г. в севооборотах применяли органо-минеральную систему удобрений: на «1-м» уровне вносили органические удобрения в дозе – полуперепревший навоз КРС 5 т/га и минеральные удобрения в дозе $N_{46}P_{30}K_{30}$ (средний уровень питания – 106 д.в. на 1 га севооборотной площади), и на «2-м» – навоз КРС 8 т/га и минеральные удобрения в дозе $N_{84}P_{48}K_{48}$ (повышенный уровень питания – 180 д.в. на 1 га севооборотной площади) (Гаевая, 2020). Анализ баланса основных элементов питания в севооборотах с применением отвальной обработки почвы представлен в Таблице 58.

Наиболее неустойчивым является азотный режим почвы, который определяется не только культурами севооборота и внесенными удобрениями, но и предшественниками в севообороте, погодными условиями (в большей степени – запасом почвенной влаги), фазой вегетации растений.

Таблица 58 – Баланс элементов питания в севооборотах различной конструкции и уровнях минерального питания по отвальной обработки почвы, кг/га, 1990-2005 гг.

[illegible]

В расходной части баланса учитывали вынос элементов питания с урожаем и газообразные потери азота из удобрений за счет денитрификации в среднем за три ротации севооборота. Наименьшее количество азота было вынесено урожаем всеми культурами в севообороте «А» в варианте естественного плодородия 78 кг/га в среднем за три ротации. В севообороте «Б» в сумме азота вынесено урожаем 97 кг/га или на 24,2 % больше, чем в севообороте «А» в этом же варианте и в севообороте «В» – 86 кг/га (7,8 %).

На «1-м» уровне применения удобрений в севообороте «А» вынос азота с урожаем был больше на 20,6 %, чем в варианте естественного плодородия, на «2-м» – на 35,8 %. В севооборотах «Б» и «В» тенденция увеличения выноса азота урожаем с увеличением дозы внесения удобрений сохраняется и составляет 21,3-35,3 % и 20,8-35,5 % соответственно, с большими значениями в вариантах с повышенными дозами внесения удобрений.

Суммарные потери азота от денитрификации во всех севооборотах одинаковые – 7 и 13 кг/га с большими значениями на повышенном уровне применения удобрений, и нарастают с увеличением дозы внесения удобрений (Гаевая, 2018).

Суммарный расход азота, вынесенного урожаем, и газообразные потери азота из удобрений за три ротации, были наибольшие в севообороте «Б», имеющим большую продуктивность (97-144 кг/га). С увеличением дозы внесения удобрений – увеличились и потери азота в севообороте «А» на 29,5 и 52,1 %; в севообороте «Б» на 28,5 и 48,4 %; в севообороте «В» на 29,1 и 50,6 %, соответственно на «1-м» и «2-м» уровне применения удобрений.

В приходной части баланса принимали во внимание поступление азота с минеральными удобрениями, также учитывали количество, поступившее с осадками, растительными остатками, семенным материалом, за счет симбиотической и не симбиотической азотфиксации.

Суммарное количество азота, поступившего с органическими и минеральными удобрениями в среднем за три ротации во всех севооборотах, составило 32 и 59 кг/га. Приход азота с растительными остатками, осадками и семенами увели-

чивался в ряду от севооборота «А» к севообороту «В» (10-11 кг/га → 14-15 кг/га → 14-16 кг/га) (Гаевая, 2019).

Количество азота, полученного от не симбиотической азотфиксации, было наименьшим в севообороте «А», так как он не имел в структуре посевных площадей бобовых культур. Поступление азота за счёт не симбиотической азотфиксации в этом севообороте составило 24-32 кг/га с большими значениями при внесении повышенных доз удобрений. Введение в севообороты «Б» и «В» 40 % бобовых культур (многолетние травы и горох) привело к увеличению количества поступившего биологического азота на 23,0-26,0 % и 38,8-40,2 % соответственно, по сравнению с севооборотом «А» (Гаевая, 2018). Всего поступило биологического азота в севообороты на естественном уровне питания 34, 43 и 47 кг/га. Внесение органоминеральных удобрений в дозе 5 т/га навоза и азотных удобрений (N_{46}) на 1 га севооборотной площади увеличило поступление азота более чем в два раза (91-106 кг/га), а увеличение дозы внесения удобрений в два раза (8 т/га навоза и N_{84}) привело к увеличению поступающего азота в три и более раза (133-150 кг/га).

Расчеты баланса азота показали, что вынос его в вариантах естественного плодородия во всех севооборотах не компенсировался приходной частью и был отрицательный (-45; -54; и -37 кг/га). Внесение удобрений в средних дозах сократило потери азота на 75,9; 57,9 и 93,4 %, однако баланс азота оставался отрицательным. Внесение удобрений в повышенных дозах уравнило баланс азота во всех севооборотах (+14, +2 и +24 кг/га), однако в севообороте «Б» он был слабоположительный (+2 кг/га). Столь незначительное увеличение баланса азота в севообороте «Б» было нивелировано потерями азота со стоком и смывом. Потеря этого элемента питания в результате эрозии в среднем за ротацию в севообороте «А» составляет 12 кг/га, в севообороте «Б» – 6 кг/га, а в севообороте «В» – 4 кг/га при смыве почвы от 1,5 до 5,5 т/га с большими значениями в севообороте «А» (Гаевая, 2019) (Приложение А45).

Баланс азота с учетом потерь от смыва почвы в севооборотах «А» и «В» был слабоположительным и положительным, только при внесении повышенных доз удобрений (8 т/га навоза и N_{84}) и составлял 1 и 19 кг/га в сумме за три ротации се-

вооборота. В севообороте «Б» он был отрицательным на всех вариантах. В этом севообороте вынос азота преобладал над его поступлением, так как продуктивность культур в этом севообороте была выше, чем в других севооборотах (Гаевая, 2018).

Расчет баланса элементов питания показал, что вынос фосфора не компенсировался приходной частью, но существенно снижал их дефицит при внесении фосфорных удобрений. Потеря фосфора колеблется от 27 кг/га в севообороте «А» в варианте без внесения удобрений и до 43 кг/га в севообороте «Б» при внесении повышенных доз удобрений. Однако поступление фосфора со всеми статьями баланса было ниже, чем его вынос, и составлял в севообороте «А» – 7-48 кг/га, в севообороте «Б» и «В» – 8-49 кг/га. Потери фосфора со смывом почвы составляли 3-10 кг/га с большими значениями в севообороте «А», в варианте внесения повышенных доз удобрений (Гаевая и др., 2022а).

Баланс фосфора был слабоположительный только при внесении повышенных доз удобрений: навоз 8 т/га и P_{48} в севообороте «А» и «Б» (+1 кг/га), и в севообороте «В» (+4 кг/га). Внесение удобрений в средних дозах не покрывало расход фосфора, и суммарный баланс был отрицательный.

Аналогичную динамику подтверждают данные полученные И.М. Шапошниковой и И.Н. Листопадковым (1978), на плакорных землях чернозема обыкновенного в десятипольном севообороте при внесении удобрений в дозе $N_{280}P_{300}K_{400}$ за ротацию севооборота баланс по азоту и калию имеет отрицательную направленность, а по фосфору среднеположительную.

Баланс калия в севооборотах складывался отрицательным, так как расходная статья баланса выноса с урожаем преобладала (56-104 кг/га) над приходной частью (19-110 кг/га). Потери калия со смывом составляли (43-166 кг/га). Таким образом, баланс калия был отрицательным во всех севооборотах при использовании различных доз удобрений и применении отвальной обработки почвы (-48- (-171) кг/га), с большими значениями в севообороте «А».

С 2006 года были уменьшены на третью часть дозы фосфорных удобрений: на «1-м» уровне применения удобрений вносили навоз 5 т и $N_{46}P_{24}K_{30}$ (100 д.в. на

1 га севооборотной площади) и на «2-м» – навоз 8 т и $N_{84}P_{30}K_{48}$ (162 д.в. на 1 га севооборотной площади). Это значительно отразилось на балансе фосфора (Таблица 59).

Баланс азота по прежнему оставался отрицательным на «0» и «1» уровне применения удобрений во всех севооборотах (от -9 и до -241 кг/га). При внесении повышенных доз внесения удобрений баланс по азоту был положительный и составлял в севообороте «А» – +18 кг/га, в севообороте «Б» – +14 кг/га, в севообороте «В» – +32 кг/га.

Уменьшение дозы внесения фосфорных удобрений существенно отразилось на балансе фосфора в севооборотах, он стал отрицательным при внесении как средней, так и повышенной дозы удобрений (от -2 и до - 25 кг/га) с большими значениями в севообороте «Б», имеющим более высокую продуктивность культур.

Баланс калия оставался отрицательным, и был равен в севообороте «А» (-90-(-129 кг/га)), с большими значениями в варианте естественного плодородия. Наличие в этом севообороте 20 % чистого пара способствует усилению процессов эрозии. В период с 2006 по 2013 гг. использование отвальной обработки привело к потерям почвы в среднем в севообороте «А» – 4,6 т/га, в севообороте «Б» – 3,5 т/га, в севообороте «В» – 2,4 т/га.

В севообороте, имеющем в структуре посевных площадей 20-ти % поле многолетних трав, потери калия были меньше на 10,8-20,1 %, по сравнению с севооборотом «А», не имеющим почвозащитного компонента – многолетних трав. Увеличение доли многолетних трав до 40 % привело к сокращению потерь калия на 27,9-46,1 %, по сравнению с севооборотом «А» (Гаевая, 2020).

Сравнение баланса азота и калия за период с 1990-2005 гг. и с 2006-2013 гг. показало, что тенденции остались аналогичные, с той лишь разницей, что вынос основных элементов питания зависел в большей степени от урожайности культур. Баланс азота имел положительные значения при внесении повышенных доз органических удобрений, а в некоторые годы, и средних доз удобрений в севообороте «В» с 40 % многолетних трав. Баланс калия имел отрицательную направленность, величина значений которой в большей степени зависела от суммарной

[illegible]

внесения удобрений до P_{24} - P_{30} из положительной направленности стал иметь отрицательную направленность не только при внесении средних доз внесения удобрений, но и повышенных.

С 2014 года из системы удобрений были исключены органические удобрения (навоз), и это отразилось на балансе всех элементов. Помимо этого, были заменены пропашные культуры: в севооборотах «А» и «Б»: вместо кукурузы на силос введен в структуру посевов подсолнечник, а в севообороте «В» – кукуруза на зерно (Рисунок 53, Приложения А50-53).

С навозом поступает от 100 до 160 кг/га азота, в сумме за ротацию севооборота. Недостаток поступления азота с навозом бобовые культуры не могут компенсировать в полной мере, поэтому в севообороте «А», не имеющем в структуре посевов бобового компонента, баланс азота был отрицательный (-46-(-66) кг/га) с большими значениями в варианте без внесения удобрений. Введение в севооборот «Б» и «В» 40 % бобовых культур сократило недостаток азота на 12,1-36,6 %, но баланс азота оставался отрицательный (-49-(-64) кг/га и -30-(-58) кг/га).

Потери фосфора так же преобладали над его поступлением, и баланс складывался отрицательный. С навозом фосфора поступало от 8,8 до 14 кг/га, в среднем за ротацию пятипольного севооборота. Исключение навоза из системы внесения удобрений привело к недостатку фосфора, что отразилось на его балансе. Баланс фосфора незначительно отличался между различными уровнями питания (16,1-24,2 %) и севооборотами (2,7-9,5 %), и изменялся в пределах от -23 кг/га до -30 кг/га.

Баланс калия так же имел отрицательные значения. Наибольшие его потери были в севообороте «А», имеющем в структуре пятипольного севооборота поле чистого пара, наиболее подверженное процессам деградации, и подсолнечник – культуру, выносящую калий в 2-3 раза больше, чем остальные изучаемые культуры. С навозом в среднем калия поступало от 22,6 до 36 кг/га за ротацию севооборота.

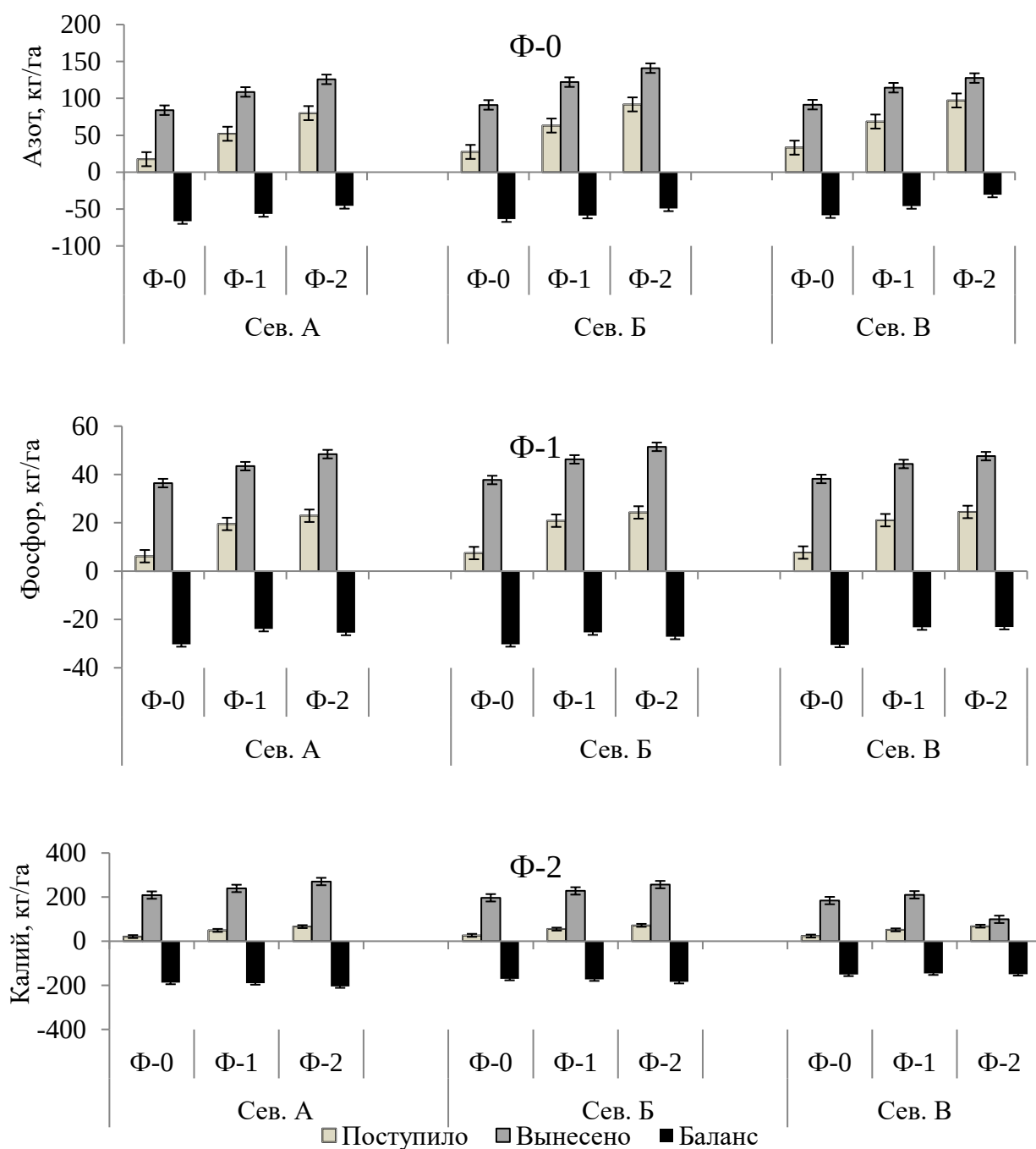


Рисунок 53 – Баланс элементов питания в севооборотах различной конструкции и уровнях минерального питания по отвальной обработке почвы, кг/га, 2014-2019 гг. Примечание: Φ-0 – естественное плодородие; Φ-1 – $N_{46}P_{24}K_{30}$; Φ-2 – $N_{84}P_{30}K_{48}$

Исключение навоза из системы удобрений отрицательно сказалось на его балансе. В севообороте «А» баланс калия изменялся от -188 кг/га до -205 кг/га, в севообороте «Б» потери калия со стоком и смывом и в результате выноса культурами были несколько меньше (-170-(-185)) кг/га, чем в севообороте «А» на 7,9-9,7 %. В севообороте «В», в структуре посевов которого пропашная культура была

кукуруза, потери калия были на 19,6-27,3 % меньше, чем в севообороте «А». Разница в выносе калия в зависимости от уровней применения удобрений колебалась в пределах от 2,0 до 10,2 %.

Балансовый расчет элементов питания показывает, что при использовании отвальной обработки почвы на всех уровнях применения удобрений и во всех севооборотах баланс складывался отрицательный, но ежегодные показатели его различны в зависимости от условий года и урожайности культур в севооборотах.

С 2020 года были восстановлены до исходных значений дозы внесения фосфорных удобрений – на «1-м» уровне питания они составили $N_{46}P_{30}K_{30}$, и на «2-м» – $N_{84}P_{48}K_{48}$. Эти изменения существенно не отразились на балансе азота и калия, и он в большей степени зависел от потерь этих элементов со стоком и смывом и от продуктивности культур (Рисунок 54, Приложение А53).

Однако увеличение дозы внесения фосфорных удобрений незначительно изменило баланс фосфора, хотя знак остался прежним, потери его сократилась. Если в севообороте «А» потери фосфора при расчете баланса с 2014 по 2019 гг. составили -26-(-30) кг/га, то с 2020 по 2022 гг. они сократились до -15-(-33) кг/га (9,0-42,3 %). В севообороте «Б» с 20 % полем многолетних трав потери уменьшились до 13,3-40,7 %. В севообороте «В» с 40 % многолетних трав – до 3,3-27,8 %.

В зависимости от уровня урожайности сельскохозяйственных культур бездефицитный баланс азота, фосфора и калия для черноземов обыкновенных на плакорных землях можно получить при внесении с минеральными удобрениями: азота – 80-100 кг/га; фосфора- 30-60 кг/га; калия 60-70 кг/га (Шапошникова и Листопадов, 1984).

Для восстановления плодородия на исходном уровне необходимо внесение дополнительных доз удобрений, покрывающих отрицательный баланс, а для расширенного воспроизводства плодородия еще дополнительное их количество. Для этого были сделаны расчеты количества удобрений, необходимых для восстановления бездефицитного баланса основных элементов питания сельскохозяйственных культур с учетом коэффициентов их использования (Гаевая, 2018) (Таблица 60).

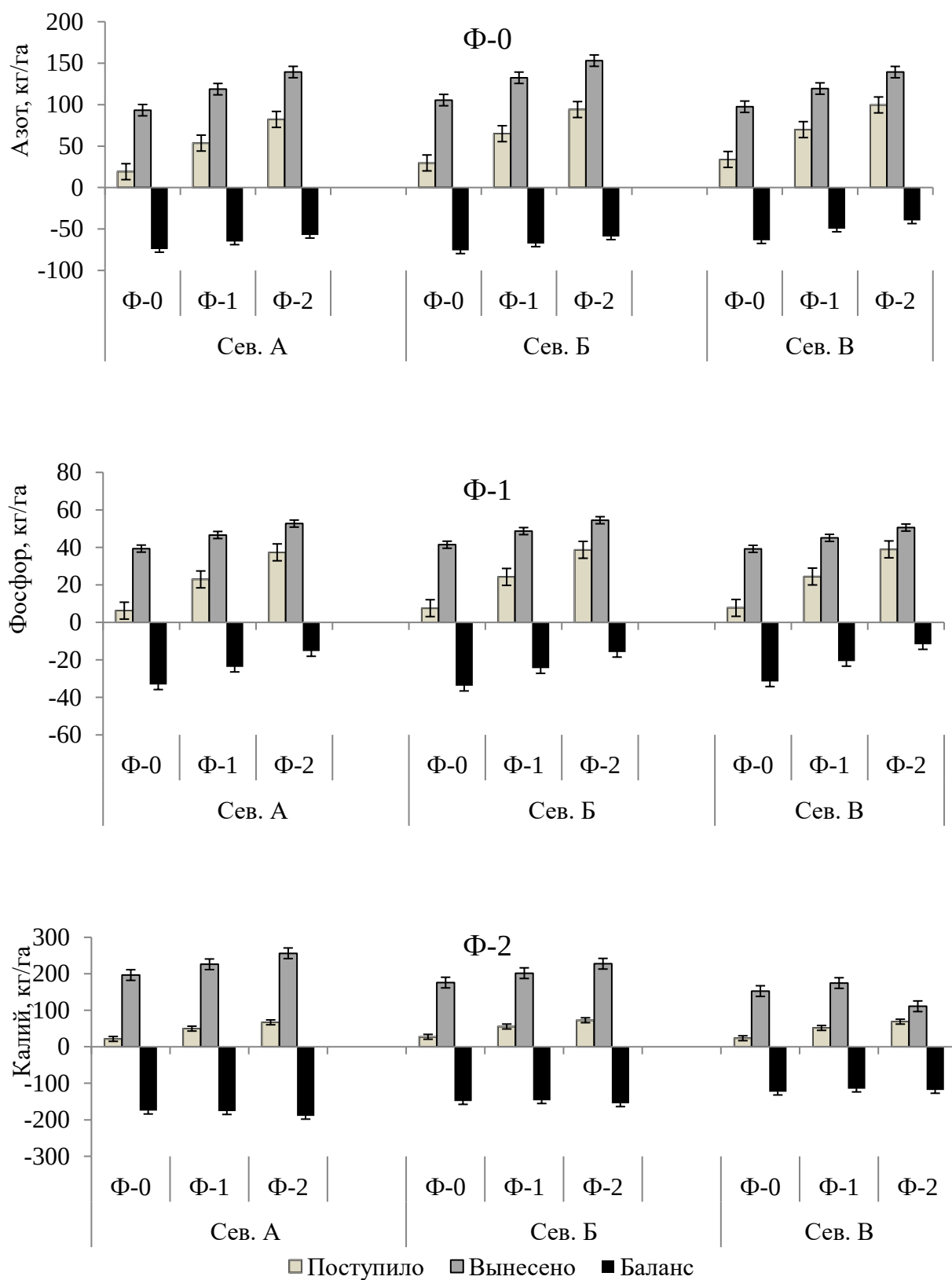


Рисунок 54 – Баланс элементов питания в севооборотах различной конструкции и уровнях минерального питания по отвальной обработке почвы, кг/га, 2020-2022 гг. Примечание: Φ-0 – естественное плодородие; Φ-1 – $N_{46}P_{30}K_{30}$; Φ-2 – $N_{84}P_{48}K_{48}$

Таблица 60 – Дозы удобрений, необходимые для восстановления бездефицитного баланса основных элементов питания сельскохозяйственных культур при использовании отвальной обработки почвы, кг д.в./га

Удобрения	Севооборот								
	А			Б			В		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Азотные	19	8	0	20	10	2	14	2	-
Фосфорные	29	9	-	28	9	-	25	6	-
Калийные	38	32	31	24	17	15	21	14	11
Примечание: «0» – естественное плодородие; «1» – 5 т навоз+N ₄₆ P ₃₀ K ₃₀ ; «2» – 8 т навоза+N ₈₄ P ₄₈ K ₄₈ .									
Азотные	25	22	19	26	23	20	22	17	13
Фосфорные	33	24	15	34	24	16	31	21	12
Калийные	39	39	42	33	32	34	27	25	26
Примечание: «0» – естественное плодородие; «1» – N ₄₆ P ₃₀ K ₃₀ ; «2» – N ₈₄ P ₄₈ K ₄₈ .									

Для восстановления плодородия на исходном уровне при использовании отвальной обработки почвы, необходимо вносить дополнительно при использовании органоминеральных удобрений в дозе 5 т навоз+N₄₆P₃₀K₃₀ – азотных удобрений 2-10 кг д.в., фосфорных – 6-9 кг д.в., калийных – 14-32 кг д.в. Увеличение дозы внесения удобрений до 180 кг д.в. позволяет поддерживать положительный баланс элементов питания, за исключением калия.

По данным И.М. Шапошниковой и И.Н. Листопадова (1978), при внесении удобрений в дозах N₂₈P₄₀K₃₀ для получения высоких урожаев культур на черноземах обыкновенных, расположенных на плакорных землях, количество азотных и калийных удобрений должно быть увеличено на 60-90 кг/га. На эрозионно-опасных склонах для покрытия потерь от эрозии почвы требуется вносить еще большие количества удобрений. Поэтому для бездефицитного баланса всех элементов питания необходимо увеличить дозу внесения азотных удобрений на 20-40 %, фосфорных – на 50-60 %, калийных на – 80-90 %.

Система удобрений, используемая в настоящее время, была разработана в середине 80-х годов прошлого века для сортов озимой пшеницы полуинтенсивного типа с продуктивностью 4 т. В последние годы с развитием селекционных достижений для возделывания в севооборотах используются сорта озимой пшеницы интенсивного типа с потенциальной продуктивностью 10 т. С ростом продуктив-

ности увеличивается и вынос основных элементов питания, поэтому для восстановления почвенного плодородия необходимо увеличивать дозы внесения удобрений.

Исключение навоза из системы удобрений привело к увеличению компенсационных доз удобрений. В севообороте «Б», имеющем несколько большую продуктивность культур, затраты компенсационных доз удобрений практически одинаковые с севооборотом «А», в котором значительное количество удобрений затрачено на потери от стока и смыва. Севооборот «В» за счет почвозащитного компонента – многолетних трав, является наиболее устойчивым к процессам деградации. Процессы эрозии в этом севообороте меньше на 63,1 %, по сравнению с наиболее эрозионно-опасным севооборотом «А», в структуру которого входит 20 % поле чистого пара (Гаевая, 2019). Поэтому количество удобрений, требуемое для компенсации потерь, меньше: азотных – на 24-31 %; фосфорных – на 13-24 %; калийных – на 35-38 %, чем в севооборотах «А» и «Б». Для бездефицитного баланса всех элементов питания необходимо увеличить дозы внесения азотных удобрений на 27-33 %, фосфорных – на 41-45 %, калийных – на 46-56 %.

Таким образом, на естественном уровне питания применения удобрений при использовании отвальной обработки почвы во всех севооборотах баланс элементов питания имел отрицательную направленность. При внесении органоминеральных удобрений в дозе: навоз КРС 5 т и $N_{46}P_{30}K_{30}$ баланс азота, фосфора и калия во всех севооборотах был отрицательный. В результате внесения повышенных доз удобрений: навоз КРС 8 т и $N_{84}P_{48}K_{48}$ баланс азота с учетом потерь от смыва почвы был положительный в севооборотах «А» и «В» (1 и 19 кг/га), фосфора в севооборотах «А» и «Б» (1 кг/га), «В» (4 кг/га), при отрицательном балансе калия.

Уменьшение дозы внесения фосфорных удобрений на 30 % (навоз 8 т и $N_{84}P_{30}K_{48}$) поддерживало положительный баланс по азоту: в севообороте «А» – 8 кг/га, в севообороте «Б» – 6 кг/га в севообороте «В» – 27 кг/га, при отрицательном балансе фосфора и калия.

Внесение только минеральных удобрений в дозе $N_{46}P_{24}K_{30}$ и $N_{84}P_{30}K_{48}$ привело к отрицательному балансу азота, фосфора и калия.

Восстановление дозы внесения фосфорных удобрений до первоначального уровня ($N_{46}P_{30}K_{30}$ и $N_{84}P_{48}K_{48}$) существенно не отразилось на балансе азота, фосфора и калия, но потери фосфора сократились в севообороте «А» на 9,0-42,3 %, в севообороте «Б» с 20 % многолетних трав на 13,3-40,7 %, в севообороте «В» с 40 % многолетних трав на 3,3-27,8 %.

Для сохранения плодородия и восстановления баланса необходимо внести дополнительно азотных удобрений в дозе 13-26 кг д.в., фосфорных – 12-34 кг д.в., калийных – 25-42 кг д.в. Для бездефицитного баланса всех элементов питания необходимо увеличить дозу внесения азотных удобрений на 27-33 %, фосфорных – на 41-45 %, калийных – на 46-56 %.

8.5 Баланс основных элементов питания в зависимости от агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур

Эффективность различных систем обработки почвы при длительном систематическом внесении удобрений по-другому складывался при использовании почвозащитной (чизельной обработки почвы), если оценивать ее по возврату элементов питания в почву. Вынос NPK зависел от величины урожайности культур севооборотов. В приходной части баланса оценивали поступление азота, фосфора, калия с минеральными и органическими удобрениями, осадками и семенами, за счет симбиотической и несимбиотической фиксации азота. Знак направленности баланса был аналогичен балансу по отвальной обработке, однако величина баланса изменялась (Гаевая, 2013; Листопадов и др. 2010).

Приходные и расходные статьи баланса по азоту при внесении удобрений в дозах КРС 5 т и $N_{46}P_{30}K_{30}$ и КРС 8 т и $N_{84}P_{48}K_{48}$ при использовании чизельной обработки на 1,0-6,5 % были меньше, чем по отвальной обработке почвы. Потери азота со стоком и смывом также были меньше на 10,0-21,9 % в сравнении с отвальной обработкой (Таблица 61). Баланс азота на естественном и на «1-м»

Таблица 61 – Баланс элементов питания в севооборотах различной конструкции и различных уровнях минерального питания при использовании почвозащитной обработки почвы, кг/га, 1990-2005 гг.

[illegible]

уровне применения удобрений, также как и по отвальной обработке, был отрицательный. Однако повышенные дозы внесения удобрений в полтора раза позволяли поддерживать положительный баланс во всех севооборотах, больше на 4,3-135,5 %.

Баланс азота и фосфора на естественном и на «1-м» уровне применения удобрений, также как и по отвальной обработке, был отрицательный, а применение повышенных доз удобрений изменило знак баланса с отрицательного на положительный (на 34,4 – более 100 %). Баланс калия, так же как и при применении отвальной обработки почвы, оставался отрицательным во всех севооборотах и уровнях питания. Однако снижение дозы внесения фосфорных удобрений с 2006-2013 гг. незначительно сказалось на балансе азота.

В севооборотах «А», «Б» и «В» при внесении повышенных доз удобрений по чизельной обработке почвы он оставался положительным (5, 1 и 21 кг/га). Применение чизельной обработки почвы сократило разрыв в балансе азота на 10,0-39,3 %, в сравнении с отвальной обработкой (Гаевая, 2020) (Таблица 62).

Снижение дозы фосфорных удобрений привело к снижению абсолютных значений баланса фосфора. На «2-м» уровне применения удобрений баланс был слабоположительный только в севообороте «В» (2 кг/га). Использование чизельной обработки почвы сократило разрыв в балансе фосфора в севообороте «А» на 5,3-53,0 %; в севообороте «Б» на 5,6-51,3 %; и в севообороте «В» на 7,8-34,9 %, по сравнению с отвальной обработкой.

Баланс калия оставался отрицательным, однако при применении чизельной обработки почвы были сокращены потери калия в севообороте «А» на 11,2-19,3 %; в севообороте «Б» на 14,5-28,3 %; и в севообороте «В» на 13,9- 31,2 %, по сравнению с отвальной обработкой.

Исключение из системы удобрений с 2014 г. органических в виде навоза КРС привело к отрицательному балансу по азоту, фосфору и калию (Рисунок 55, Приложение А53).

Применение чизельной обработки почвы сократило потери в севообороте «А» азота на 1,1-2,0%; фосфора на 2,4-3,8 % и калия на 11,1-10,7%, в севообороте «Б»

на 4,6-6,5 %; 8,1-10,7 % и 17,9-20,3 %, а в севообороте «В» на 7,6-16,0 %; 10,5-15,9 % и 18,3-22,8 %, соответственно.

Таблица 62 – Баланс элементов питания в севооборотах различной конструкции и уровнях минерального питания по чизельной обработки почвы, кг/га, 2006-2013 гг.

[illegible]

С 2020 г. были восстановлены дозы внесения фосфорных удобрений («1» – $N_{46}P_{30}K_{30}$; «2» – $N_{84}P_{48}K_{48}$), однако баланс всех элементов оставался отрицательным. Преимущество чизельной обработки почвы сказывалось не ежегодно и не во всех севооборотах и зависело от условий года и урожайности культур в севооборотах (Рисунок 56).

Влияние чизельной обработки почвы, как почвозащитной, сказывалось на сокращении стока талых и ливневых вод и смыва почвы. По этой обработке был отмечен наименьший сток и смыв, соответственно и потери элементов питания были меньше. Это отразилось на балансовых расчетах.

Если приход азота, фосфора и калия был приблизительно одинаковый и зависел от дозы внесения удобрений, то расход зависел от выноса с урожая и потерь элементов питания со стоком и смывом.

При использовании чизельной обработки почвы по сравнению с отвальной потери фосфора сократились в севообороте «А» на 3,7-8,3 %, в севообороте «Б» с 20 % многолетних трав на 1,4-4,4 %, в севообороте «В» с 40 % многолетних трав на 2,4-4,7 % (Гаевая и Безуглова, 2024).

Восстановление плодородия на исходном уровне требует внесения удобрений, которые могут компенсировать отрицательный баланс, а для расширенного воспроизводства плодородия необходимо внести дополнительное количество. Ниже приведены расчеты количества удобрений с учетом коэффициентов их использования, для восстановления бездефицитного баланса азота, фосфора и калия при применении чизельной обработки почвы (Таблица 63).

Для восстановления плодородия на исходном уровне при использовании чизельной обработки почвы, необходимо вносить дополнительно совместно с органо-минеральными удобрениями в дозе 5 т навоза + $N_{46}P_{30}K_{30}$ – азотных удобрений 1-9 кг д.в., фосфорных – 4-8 кг д.в., калийных – 11-28 кг д.в (Гаевая, 2019). Увеличение дозы внесения удобрений до 180 кг д.в. позволяет поддерживать положительный баланс элементов питания, за исключением калия (Гаевая, 2010). Поэтому для бездефицитного баланса всех элементов питания необходимо увеличить

дозу внесения азотных удобрений на 2-16 %, фосфорных – на 13-20 %, калийных на 26-49 %.

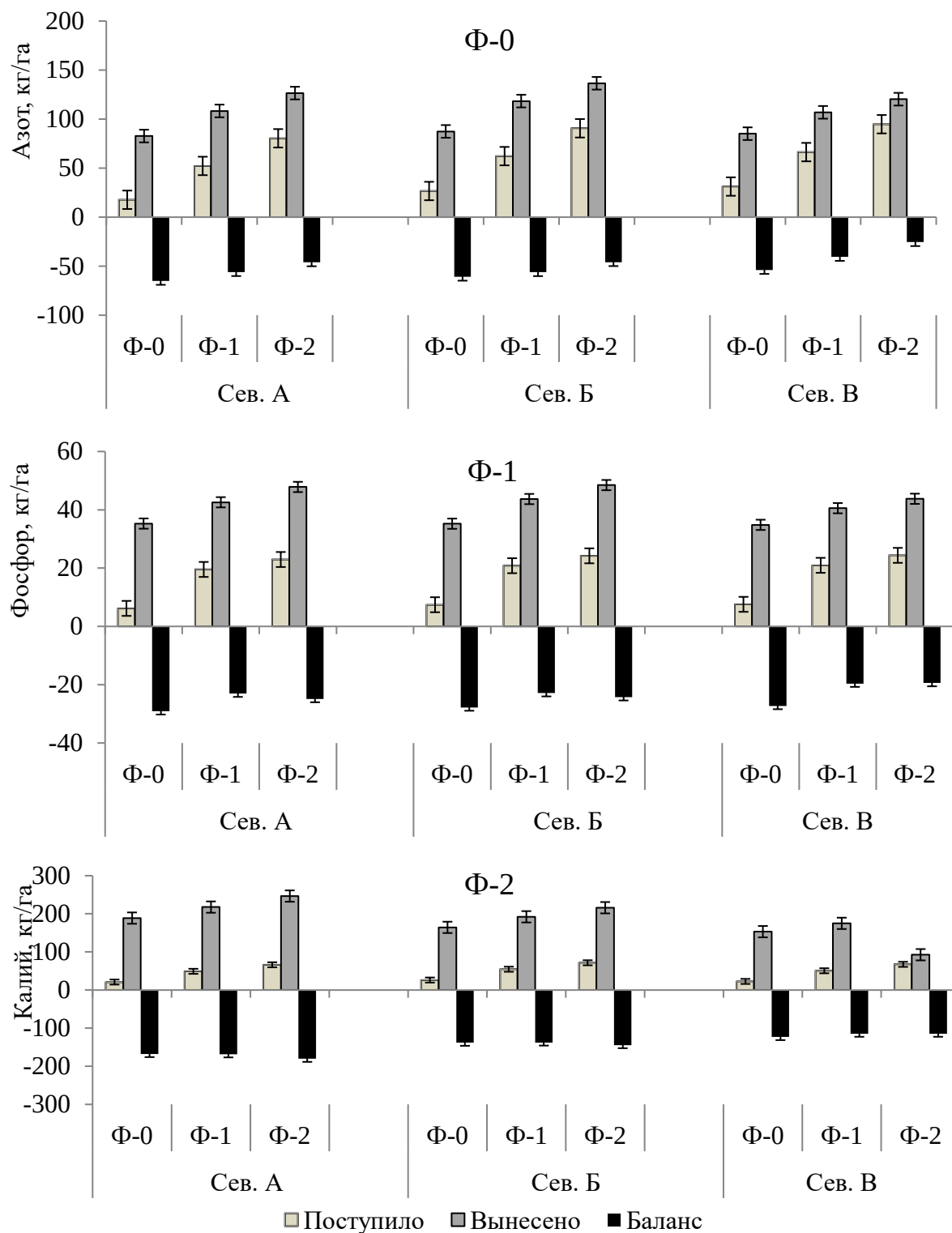


Рисунок 55 – Баланс элементов питания в севооборотах различной конструкции и уровнях минерального питания по чизельной обработке почвы, кг/га, 2014-2019 гг. Примечание: «Φ-0» – естественное плодородие; «Φ-1» – $N_{46}P_{24}K_{30}$; «Φ-2» – $N_{84}P_{30}K_{48}$

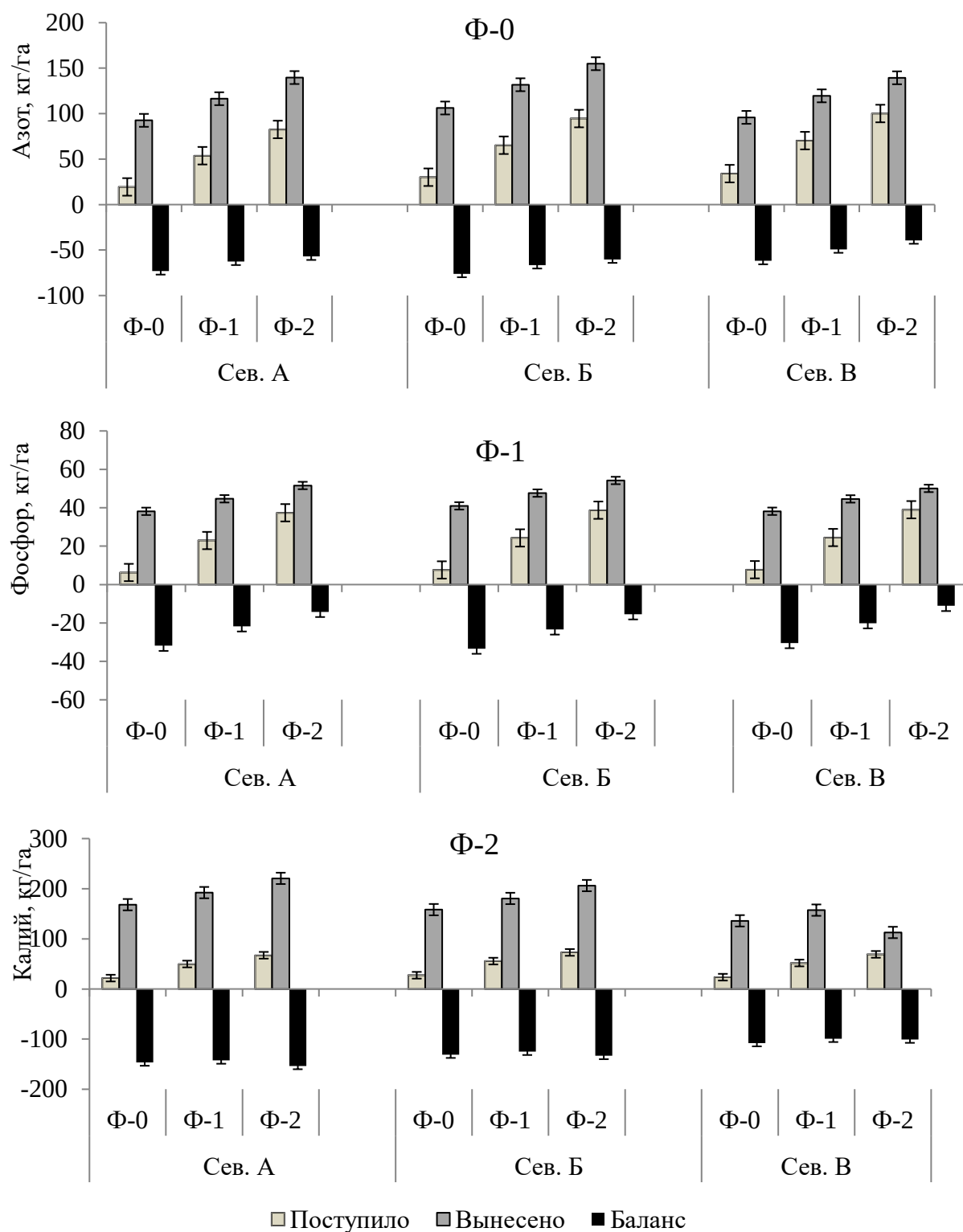


Рисунок 56 – Баланс элементов питания в севооборотах различной конструкции и уровнях минерального питания по чизельной обработке почвы, кг/га, 2020-2022 гг. Примечание: Ф-«0» – естественное плодородие; Ф-«1» – $N_{46}P_{30}K_{30}$; Ф-«2» – $N_{84}P_{48}K_{48}$

Таблица 63 – Дозы удобрений, необходимые для восстановления бездефицитного баланса основных элементов питания сельскохозяйственных культур при использовании почвозащитной обработки почвы, кг д.в./га

Удобрения	Севооборот								
	А			Б			В		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Азотные	18	7	-	19	9	-	13	1	-
Фосфорные	27	8	-	27	7	-	24	4	-
Калийные	34	28	27	21	14	11	18	11	8
Примечание: «0» – естественное плодородие; «1» – 5 т навоз+ $N_{46}P_{30}K_{30}$; «2» – 8 т навоза+ $N_{84}P_{48}K_{48}$.									
Азотные	25	21	19	26	23	21	21	17	13
Фосфорные	32	22	14	33	23	15	30	20	11
Калийные	32	31	34	29	27	29	24	22	22
Примечание: «0» – естественное плодородие; «1» – $N_{46}P_{30}K_{30}$; «2» – $N_{84}P_{48}K_{48}$.									

Исключение навоза из системы удобрений привело к большим потерям всех элементов питания и увеличению компенсационных доз удобрений. В севооборотах количество компенсационных доз удобрений для восстановления плодородия на исходном уровне уменьшается по мере увеличения дозы внесения удобрений. В севообороте «В» они самые наименьшие, так как он является наиболее устойчивым к процессам деградации. Поэтому количество удобрений требуемое для компенсации потерь в этом севообороте меньше: азотных – на 21-31 %; фосфорных – на 7-22 %; калийных – на 30-34 %, чем в севооборотах «А» и «Б».

Для бездефицитного баланса всех элементов питания, при использовании чизельной обработки почвы необходимо увеличить дозу внесения азотных удобрений на 27-33 %, фосфорных – на 40-44 %, калийных – на 42-51 %.

Использование чизельной обработки почвы позволяет снизить затраты на внесение компенсационных доз удобрений в сравнении с отвальной обработкой почвы: азотных – на 1,0-3,8 %, фосфорных – на 1,4-9,0 %, калийных – на 12,8-22,2 % (Гаевая, 2020).

Таким образом, балансовый расчет элементов питания при использовании чизельной обработки почвы показывает, что не только в вариантах без применения удобрений, но и при использовании органоминеральной системы удобрений ($N_{46}P_{30}K_{30}$ + 5 т навоза) получен баланс с дефицитом азота, фосфора, калия. При-

менение удобрений в повышенных дозах ($N_{84}P_{48}K_{48} + 8$ т навоза) привело к положительному балансу только по азоту и фосфору, но ежегодные показатели его различны в зависимости от условий года и урожайности культур в севооборотах.

Снижение дозы внесения фосфорных удобрений до P_{24} и P_{30} привело к отрицательному балансу фосфора во всех севооборотах, тогда как баланс по азоту оставался положительным.

Исключение из системы удобрений навоза привело к отрицательному балансу всех элементов питания.

Восстановление дозы внесения фосфорных удобрений до первоначального уровня ($N_{46}P_{30}K_{30}$ и $N_{84}P_{48}K_{48}$) существенно не отразилось на балансе азота, фосфора и калия, но потери фосфора сократились по сравнению с отвальной: в севообороте «А» на 3,7-8,3 %, в севообороте «Б» с 20 % многолетних трав на 1,4-4,4 %, в севообороте «В» с 40 % многолетних трав на 2,4-4,7 %.

Для восстановления почвенного плодородия необходимо дополнительно вносить в почву азотных удобрений 13-26 кг д.в./га, фосфорных 11-33 кг д.в./га, калийных 22-34 кг д.в./га с меньшими значениями в севообороте с 40 % многолетних трав.

Для бездефицитного баланса всех элементов питания, при использовании чизельной обработки почвы, необходимо увеличить дозу внесения азотных удобрений на 27-33 %, фосфорных – на 40-44 %, калийных – на 42-51 %

8. 6 Состояние баланса основных элементов питания в зависимости от конструкции севооборота, удобрений и агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур

Оценить интенсивность круговорота элементов питания можно, используя показатели «интенсивность» и «ёмкость баланса». Интенсивность баланса рассчитывается как отношение его приходной и расходной части, выраженной в процентах. Показатель интенсивность баланса меньше 100 % характеризует дефицитный баланс, от 100 % до 120 % – удовлетворительный, а больше 120 % – хороший или

расширенное воспроизводство плодородия (Корчагин и др., 2018). Ёмкость баланса рассчитывается как сумма приходной и расходной части. Чем больше ёмкость баланса, тем интенсивнее происходят процессы в севообороте (Шапошникова, Листопадов, 1984).

Данные по интенсивности баланса показывают, что в контрольном варианте, а также при внесении средних доз удобрений во всех севооборотах восполнение элементов питания не происходило. Внесение повышенных доз органоминеральных удобрений (навоз КРС 8 т/га + $N_{84}P_{48}K_{48}$) позволило получить положительную интенсивность баланса по азоту (101-117 %) и фосфору (102-114 %) (Таблица 64).

Таблица 64 – Интенсивность баланса основных элементов питания в севооборотах различной конструкции, %, 1990-2022 гг.

Годы исследования	Элементы питания	Приемы обработки почвы	Севооборот/ Уровень применения удобрений								
			А			Б			В		
			0	1	2	0	1	2	0	1	2
1990-2005 гг.	N	О	37	79	101	42	78	97	53	94	115
		Ч	37	81	104	43	80	99	55	97	117
	P_2O_5	О	19	77	102	22	78	102	24	84	110
		Ч	20	81	107	23	82	107	25	89	114
	K_2O	О	10	32	42	18	49	61	22	56	70
		Ч	11	35	45	20	54	68	25	61	76
2006-2013 гг.	N	О	34	82	107	40	83	105	53	101	124
		Ч	36	84	108	41	84	107	54	103	127
	P_2O_5	О	22	79	94	24	79	92	27	87	99
		Ч	23	82	97	25	82	96	28	91	104
	K_2O	О	12	41	52	17	47	60	22	56	70
		Ч	13	45	58	19	54	68	24	63	78
2014-2019 гг.	N	О	21	48	64	30	52	65	36	60	76
		Ч	21	48	64	30	53	66	37	62	79
	P_2O_5	О	17	45	47	20	45	47	20	48	51
		Ч	18	46	48	21	48	50	22	52	56
	K_2O	О	10	20	24	13	24	28	13	26	31
		Ч	11	23	27	16	28	33	16	31	37
2020-2022 гг.	N	О	21	45	59	28	49	61	35	59	72
		Ч	21	46	59	28	50	61	35	59	72
	P_2O_5	О	16	49	71	18	50	71	20	54	77
		Ч	16	51	72	19	51	71	20	55	78
	K_2O	О	11	22	26	16	28	32	16	31	37
		Ч	13	26	30	17	31	35	18	34	41

В севооборотах при внесении средних доз органоминеральных удобрений

интенсивность баланса была меньше 100 % по азоту, фосфору и калию и её можно оценить как неудовлетворительную. Однако, как ранее было отмечено, в расчете этого показателя участвуют потери со стоком и смывом, и их увеличение приводит к снижению интенсивности баланса. Интенсивность баланса калия во всех севооборотах и при внесении различных доз удобрений оценивается как неудовлетворительная.

Уменьшение на третью часть доз фосфорных удобрений с 2014 года существенно не отразилось на интенсивности баланса фосфора и калия. Исключение навоза из системы удобрений незначительно отразилось на интенсивности баланса, и было ниже 100 %, что подтверждает дефицит всех элементов питания во всех севооборотах.

С 2020 года были восстановлены дозы фосфорных удобрений до первоначальных, однако интенсивность баланса по фосфору оставалась неудовлетворительной, хотя было отмечено её увеличение на 21-88 %.

Ёмкость баланса, характеризующая объем вовлеченных в оборот элементов питания, выявила закономерность – с увеличением дозы внесения удобрений увеличивается ёмкость баланса (Таблица 65).

Наибольшая ёмкость баланса по азоту была в севооборотах с многолетними травами (129-296 кг), а наименьшая – в севообороте с 20 % чистого пара (124-265 кг). По фосфору ёмкость баланса увеличивалась в ряду: севооборот «А» (40-94 кг) → севооборот «В» (41-93 кг) → севооборот «Б» (43-97 кг). По калию ёмкость баланса увеличивалась в ряду: севооборот «В» (135-267 кг) → севооборот «Б» (159-280 кг) → севооборот «А» (191-343 кг) (Гаевая, 2018).

Снижение доз внесения фосфорных удобрений незначительно снизило ёмкость баланса по фосфору (1,0-22,1 %). Исключение навоза из системы удобрений не оказало существенного влияния на ёмкость баланса, она больше изменялась от продуктивности культур.

Если ёмкость баланса характеризует вовлечение элементов питания в круговорот веществ, то приход НРК приблизительно одинаковый на одних и тех же вариантах, а вот вынос зависит от урожайности и в большинстве лет урожайность

культур при использовании чизельной обработки почвы меньше, а также смыв почвы, поэтому и вынос будет меньше.

Таблица 65 – Ёмкость баланса основных элементов питания в севооборотах различной конструкции, кг 1990-2022 гг.

Годы исследования	Элементы питания	Приемы обработки почвы	Севооборот/ Уровень применения удобрений								
			А			Б			В		
			0	1	2	0	1	2	0	1	2
1990-2005 гг.	N	О	124	205	265	146	233	296	135	219	282
		Ч	116	200	259	142	228	290	129	213	277
	P ₂ O ₅	О	43	74	94	44	77	97	41	74	93
		Ч	40	73	92	43	75	95	39	72	92
	K ₂ O	О	209	285	343	159	231	280	148	219	267
		Ч	191	268	323	145	215	263	135	205	253
2006-2013 гг.	N	О	102	184	240	125	205	264	112	193	253
		Ч	101	182	238	122	201	260	107	188	248
	P ₂ O ₅	О	36	65	77	40	68	81	36	64	78
		Ч	35	64	76	39	66	79	35	63	76
	K ₂ O	О	164	238	288	161	230	280	143	212	261
		Ч	149	221	270	143	211	258	129	197	244
2014-2019 гг.	N	О	102	161	206	119	185	233	125	183	225
		Ч	100	161	207	114	181	227	116	173	215
	P ₂ O ₅	О	43	63	71	45	67	76	46	65	72
		Ч	41	62	71	43	65	73	42	62	68
	K ₂ O	О	230	288	337	223	283	329	198	249	285
		Ч	210	267	313	191	247	288	168	216	249
2020-2022 гг.	N	О	112	172	221	135	197	247	131	189	239
		Ч	112	170	222	136	197	250	130	190	240
	P ₂ O ₅	О	46	70	90	49	73	93	47	70	90
		Ч	44	68	89	49	72	93	46	69	89
	K ₂ O	О	218	276	323	203	257	300	170	218	256
		Ч	190	242	288	186	236	279	155	203	239

Интенсивность баланса основных элементов питания растений была больше по чизельной обработке почвы, чем по отвальной, в разной степени, и была не существенно выше (2-4 %), чем по отвальной.

Закономерность распределения ёмкости баланса основных элементов питания, в севооборотах при использовании чизельной обработки почвы отражала общую тенденцию, что и по отвальной, но в пределах ошибки.

Таким образом, интенсивность баланса показывает возможность устранения дефицита элементов питания за счет внесения органоминеральных удобрений, сохранения и повышения плодородия в севооборотах при внесении повышенных доз удобрений (навоз КРС 8 т/га + N₈₄P₄₈K₄₈). Ёмкость баланса или наибольший объем вовлеченных в оборот элементов питания был отмечен в севооборотах с 20 и 40 % многолетних трав.

9 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ НА ЧЕРНОЗЕМАХ ОБЫКНОВЕННЫХ СРЕДНЕЭРОДИРОВАННЫХ С ПОМОЩЬЮ СЕВООБОРОТОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИИ, ДОЗ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И АГРОТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

9.1 Урожайность сельскохозяйственных культур

Озимая пшеница являлась контрольной культурой длительного опыта, в котором изучались: различные конструкции севооборотов, приемы обработки почвы и уровни применения удобрений, урожайность ее была основой продуктивности севооборотов, но и сама урожайность зависит от комплекса условий. Главные из них – наличие продуктивной влаги в почве в необходимом количестве для каждой фенологической фазы, обеспеченность элементами питания в доступной для растений форме и оптимальный температурный режим, как в период перезимовки посевов, так и во все фенологические фазы (Гаевая, 2017 б; Гаевая, 2019 а; Ильинская и др., 2020; Ионова, 2013).

В изучаемых севооборотах посевы озимой пшеницы размещены по предшественникам различного агрономического достоинства и различной эрозионной устойчивости. В одних случаях – в чистом пару – эти качества имеют противоположную направленность, в других – по непаровым предшественникам – они в значительной степени совпадают. Сочетанием и совместимостью этих качеств в значительной степени определяется продуктивность озимого поля в эрозионно-опасных условиях. Озимую пшеницу в опыте возделывали после чистого пара, озимой пшеницы, зернобобовых культур (горох, соя), кукурузы на силос и зерно, а также в годы разделки выводного поля – по пласту многолетних трав.

Чистый пар, как предшественник озимой пшеницы, в севообороте обеспечивает не только более высокую, но и более стабильную урожайность. В неблагоприятные годы по влагообеспеченности урожайность по чистому пару и непаро-

вым предшественникам различалась в 3,5-4 раза, тогда как в достаточно благоприятные годы она составила в среднем более 50 % (Гаевая, 2016). Так же на урожайность озимой пшеницы, посеянной по чистому пару, сказывался питательный режим. Как было отмечено раньше, процессы нитрификации и аммонификации, происходящие в чистом пару, создают благоприятный питательный режим и достаточное количество азота для начального роста растений. Поэтому всходы, полученные по этому предшественнику, более «дружные», а растения наиболее развитые и более готовы к перезимовке.

Урожайность озимой пшеницы изучали в зависимости от различных приемов обработки почвы. Все изучаемые приемы обработки почвы проводили под предшествующую культуру или чистый пар, непосредственно под культуру проводили поверхностную обработку дисковыми боронами.

Урожайность озимой пшеницы на естественном уровне плодородия почвы изменялась от 2,51 т/га по предшественнику озимая пшеница до 4,48 т/га после чистого пара (Вошедский и др., 2022) (Таблица 66, Приложение А54).

Применение удобрений в средних дозах повышало урожайность озимой пшеницы по пару в среднем на 12,9-15,0 %, в повышенных – на 22,3-25,3 %, столь незначительная прибавка урожая (до 10 %) указывает на достаточно высокий уровень плодородия парового поля и возможность формирования относительно высокого урожая без внесения удобрений.

Зернобобовые предшественники были лучшими предшественниками после чистого пара. Урожайность озимой пшеницы по зернобобовым культурам была меньше на 12,3-19,0 % по сравнению с чистым паром. Внесение удобрений в средних и повышенных дозах увеличивало урожайность этой культуры на 19,9-21,8 % и 33,5-35,3 % соответственно. Кукуруза и озимая пшеница как предшественники снижали урожайность на 19,2-31,1 % и 24,0-42,4 % соответственно, с большими значениями в неудобренном варианте. Внесение удобрений по этим же предшественникам в различных дозах увеличивало урожайность на 26,3-40,1 и 41,9-63,8 % соответственно.

Таблица 66 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от предшественника, уровня применяя удобрений и приемов обработки почвы, т/га, 1990-2022 гг., (Листопадов, 2005; Гаевая и др., 2012)

Севооборот	Предшественник	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений		
			0	1	2
А	Пар чистый	Отвальная	4,48±0,19	5,05±0,20	5,52±0,20
		Чизельная	4,37±0,18	5,02±0,19	5,47±0,20
	Озимая пшеница	Отвальная	2,65±0,15	3,63±0,16	4,19±0,17
		Чизельная	2,51±0,14	3,52±0,16	4,12±0,19
Б	Зернобобовые	Отвальная	3,63±0,26	4,35±0,26	4,84±0,29
		Чизельная	3,70±0,17	4,50±0,21	5,00±0,21
В	Кукуруза	Отвальная	3,14±0,18	3,97±0,19	4,46±0,21
		Чизельная	3,01±0,17	3,82±0,18	4,46±0,20
НСР ₀₅ 0,49–0,65; В зависимости от предшественника – 0,14-0,37, уровня применения удобрений –; 0,11-0,25, приемы обработки почвы 0,13-0,33; т/га.					

Использование различных приемов обработки почвы по-разному сказывалось на урожайности озимой пшеницы, в одних случаях преимущество было по чизельной обработке почвы, в других – по отвальной. Прибавка урожая при использовании различных систем обработки почвы составляла 0,03-0,16 т/га или 0,6-3,6 % ($p>0,05$) (Таблица 67).

Можно предположить, что приемы обработки почвы предшественников озимой пшеницы (пар, кукуруза, озимая пшеница или зернобобовые) непостоянно влияют на её продуктивность (Кривошеев, 2020). Роль почвозащитной обработки почвы (чизельной) в большей степени проявлялась в почвозащитных ее свойствах, а также во влагосберегающих, которые были описаны в предыдущих главах.

Внесение удобрений в повышенных дозах под предшествующую культуру озимая пшеница и кукуруза снизили эффективность удобрений до 9,53-9,89 и 8,13-8,98 – кг/кг д.в. (на 2,9-1,5 %). Эффективность удобрений по предшественникам чистый пар и зернобобовые культуры, наоборот незначительно возросла (6,44-8,06 кг/кг д.в. или на 11,7-3,9 %) (Гаевая и Безуглова, 2025а).

Таблица 67 – Изменение урожайности озимой пшеницы в зависимости от приемов обработки почвы, 1990-2022 гг.

Севооборот	Предшественник	Уровень применения удобрений		
		0	1	2
А	Пар чистый	<u>0,11</u> 2,4	<u>0,03</u> 0,6	<u>0,05</u> 0,9
	Озимая пшеница	<u>0,13</u> 5,0	<u>0,11</u> 2,9	<u>0,07</u> 1,8
Б	Зернобобовые	<u>-0,07</u> -2,0	<u>-0,16</u> -3,6	<u>-0,16</u> -3,4
В	Кукуруза	<u>0,13</u> 4,2	<u>0,14</u> 3,6	-

Примечание:
над чертой – абсолютное значение прибавки урожайности в варианте чизельной обработки почвы, т/га;
 под чертой – относительной значение, по сравнению с вариантом отвальной обработки, (%).

Из этого следует, что при увеличении дозы внесения удобрений их эффективность увеличивается незначительно, но валовый сбор зерна увеличился существенно.

Эффективность применения удобрений под озимую пшеницу оценивали прибавкой урожая зерна, полученную от внесения 1 килограмма удобрений в действующем веществе. При внесении различных доз удобрений была получена и различная прибавка урожая (Гаевая и др., 2019; Гаевая и Безуглова, 2025а). Наибольшая отдача от внесения удобрений под озимую пшеницу была получена на среднем уровне применения удобрений по предшественнику озимая пшеница и составляла 9,82-10,08 кг зерна на внесенный килограмм удобрений. Наименьшая отдача от внесенных удобрений была по предшественнику чистый пар (5,76-6,54 кг/кг д.в.) (Гаевая, 2019). Питательный режим почвы в чистом пару достаточно высокий, поэтому при внесении дополнительного количества элементов питания в виде удобрений их эффективность низкая. То же самое можно сказать и о предшественнике озимой пшенице – зернобобовых культурах, являющимися наилучшим предшественником среди непаровых. Эффективность удобрений в зависимости от предшественника располагалась в убывающем порядке в следующем ряду предшественников: озимая пшеница → кукуруза → зернобобовые →

чистый пар (Таблица 68).

Таблица 68 – Эффективность применения удобрений под озимую пшеницу в зависимости от предшественника, уровня применения удобрений и приемов обработки почвы, 1990-2022 гг.

Севооборот	Предшественник	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений	Прибавка урожая		Эффективность применения удобрений, кг/кг д.в.
				т/га	%	
А	Пар чистый	Отвальная	1	0,58	12,9	5,76
			2	1,04	23,3	6,44
		Чизельная	1	0,65	15,0	6,54
			2	1,10	25,3	6,81
	Озимая пшеница	Отвальная	1	0,98	37,1	9,82
			2	1,54	58,4	9,53
		Чизельная	1	1,01	40,1	10,08
			2	1,60	63,8	9,89
Б	Зернобобовые	Отвальная	1	0,72	19,9	7,22
			2	1,22	33,5	7,50
		Чизельная	1	0,81	21,8	8,05
			2	1,31	35,3	8,06
В	Кукуруза	Отвальная	1	0,83	26,3	8,25
			2	1,32	41,9	8,13
		Чизельная	1	0,82	27,2	8,17
			2	1,45	48,3	8,98

Увеличение дозы удобрений в полтора раза позволило получить дополнительную продукцию по сравнению со средним уровнем применения удобрений 2,88-3,47 кг/кг д.в. с большими значениями по предшественнику озимая пшеница.

Качества зерна озимой пшеницы. Обязательным условием выращивания высоких урожаев и получения зерна, обладающего высокими хлебопекарными качествами, является размещение озимой пшеницы в севообороте по лучшим предшественникам и применение агрокомплекса, предусматривающего необходимую для этого систему удобрений. Исследованиями выявлено, что в севооборотах с насыщением зерновыми и зернобобовыми культурами в пределах 70 % качество зерна озимой пшеницы резко реагирует на предшественника, вид севооборота и уровень применения удобрений. Лучшее качество имело зерно озимой пшеницы, размещённой по чистому пару. Оно по всем показателям соответствовало требованиям, предъявляемым к «сильным» пшеницам I-го и II-го класса.

Преимущество чистого пара, как лучшего предшественника, обеспечивающего благоприятный питательный и водный режимы даже при высоком насыщении севооборотов зерновыми культурами, было очевидно. Хорошими предшественниками, обеспечивающими не только повышенную урожайность, но и качество зерна, являются зернобобовые, в частности горох, в котором содержание сырой клейковины и сырого протеина незначительно отличалось от их содержания в зерне паровой озимой пшеницы (Гаевая и др., 2012).

Наиболее низким качеством характеризуется зерно озимой пшеницы, выращенной повторно после озимых, а также после кукурузы, в котором содержание сырого протеина ниже, чем паровой пшенице на 2,5-22,4 %, клейковины на 3,5-13,4 %. После всех предшественников в севообороте лучшее качество зерна формируется на повышенном агрохимическом фоне, где питательный режим почвы наиболее высокий. Внесение повышенных доз удобрений обеспечивает увеличение содержания сырого протеина в зерне озимой пшеницы по чистому пару на 6,8-14,0 %, после гороха на 20,2-29,6 %, после озимой пшеницы на 17,2-19,7 %. Аналогичная закономерность наблюдается и в содержании клейковины (20,2-36,3 %; 12,2-35,7 %; 24,2-40,5 %) (Таблица 69).

Выявлена зависимость между содержанием сырого протеина (Y) и количеством сырой клейковины в зерне (x), которая описывается уравнениями:

$$Y = -0,037x^2 + 0,43x + 6,35 \text{ при } R^2 = 0,96 \text{ – для озимой пшеницы по пару;}$$

$$Y = -0,028x^2 + 1,72x - 11,6 \text{ при } R^2 = 0,98 \text{ – для озимой пшеницы по озимой;}$$

$$Y = -0,077x^2 + 4,52x - 49,9 \text{ при } R^2 = 0,96 \text{ – для озимой пшеницы по гороху;}$$

$$Y = -0,04x^2 + 2,39x - 21,09 \text{ при } R^2 = 0,87 \text{ – для озимой пшеницы по кукурузе.}$$

Оценка полученного зерна по индексу деформации клейковины (ИДК) показала, что зерно соответствует требованиям, предъявляемым к зерну I-го и II-го класса. Количественные и качественные показатели зерна озимой пшеницы зависят не только от предшественника и применения удобрений, но и от севооборота в целом. По качеству зерно, собираемое с чистого пара, обладает наивысшим содержанием белка, однако паровое поле наиболее подвержено процессам эрозии, и оно должно быть надежно защищено (Гаевая, 2010).

Таблица 69 – Качество зерна озимой пшеницы в зависимости от предшественника, уровня применения удобрений и приемы основной обработки почвы, 2007-2011 гг., (Гаевая и др., 2012).

Севооборот	Предшественник	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений	Клейковина, %	ИДК	Сырой протеин, %
А	Пар	Чизельная	0	22,3	87	14,3
			1	27,0	80	15,7
			2	30,4	77	16,3
		Отвальная	0	23,8	81	14,6
			1	28,6	77	15,6
			2	30,6	78	16,3
	Озимая	Чизельная	0	21,5	71	12,2
			1	26,7	77	14,3
			2	29,3	75	14,6
		Отвальная	0	21,0	82	12,3
			1	26,6	76	14,3
			2	29,5	77	14,7
Б	Зернобобовые	Чизельная	0	22,9	74	12,9
			1	25,7	77	15,5
			2	30,3	77	15,7
		Отвальная	0	22,4	64	12,5
			1	27,3	77	15,4
			2	30,4	77	16,2
В	Кукуруза на силос	Чизельная	0	21,2	84	11,1
			1	25,4	84	13,2
			2	29,0	83	13,9
		Отвальная	0	20,6	77	11,4
			1	25,1	79	14,1
			2	29,0	77	14,8

Качество зерна озимой пшеницы существенно изменилось при повышенном уровне применения удобрений, и прежде всего – после непаровых предшественников: в зерне озимой пшеницы, размещенной после кукурузы, содержание клейковины при повышенном уровне применения удобрений возрастает на 36,8-40,8 %, после озимых на 36,3-40,5 %, после гороха на 32,3-35,7 %, и после чистого пара на 28,6-36,3 %. Наиболее высокое содержание клейковины имело место в зерне озимой пшеницы, посеянной по чистому пару – 30,4-30,6 %.

При формировании качества зерна озимой пшеницы во всех севооборотах значительно проявлялся фактор удобрения, несколько слабее фактор предше-

ственника в севообороте. Исключение среди непаровых предшественников степени нивелировалось.

Невысоким качеством характеризуется озимая пшеница, размещенная после кукурузы и колосовым предшественникам (по озимым). Однако в годы с достаточно высокой влагообеспеченностью или, наоборот, в годы засушливые эта закономерность не всегда может быть выдержана, так как резко изменяется и сама урожайность культуры.

С увеличением доз внесения удобрений наблюдается увеличение содержания клейковины в зерне. На естественном уровне питания по всем предшественникам и обработкам почвы среднее содержание клейковины составляет 22,0 %, на «1» уровне питания – 26,6 %, что на 20,9 % больше, чем на уровне питания без внесения удобрений. Внесение высоких доз удобрений позволяет увеличить содержание клейковины на 35,7 %, в среднем по всем вариантам опыта ее содержание составляет 29,8 %.

Коэффициент вариации уменьшается от «0» фона ($V_{\sigma} = 4,9$) до «2» уровня применения удобрений ($V_{\sigma} = 2,3$). Это говорит о влиянии предшественника на содержание клейковины. Так, если минимальное значение на естественном уровне питания отмечено 20,6 %, а максимальное на этом же уровне – 23,8 % (разница между максимальным и минимальным составляет 15,5 %), то на повышенном уровне питания как максимальное, так и минимальное значение увеличиваются (29,0-30,6 %), а разница сокращается (5,5 %).

Приемы обработки почвы существенного влияния на содержание клейковины, сырого протеина и ИДК не оказывали, по одним предшественникам преимущество имела чизельная обработка, по другим отвальная обработка, но разница не превышала 5 % ($p > 0,05$).

Яровой ячмень. Ежегодно получение всходов и первые фазы формирования растений яровых культур проходят вполне нормально, поскольку в это время осенне-зимние запасы влаги и запас питательных веществ, в том числе и в посевном слое почвы, не израсходованы. По этой же причине предшественники в севообороте на яровых культурах сказываются значительно слабее, чем на озимых.

Ориентировочно в тех же пределах проявился на яровых культурах фактор обработки почвы (Вошедский, 2015; Гаевая 2017а; Гаевая и др., 2018). Наиболее действенным на урожайность ярового ячменя был фактор удобрения.

Яровой ячмень возделывали в двух севооборотах «А» и «Б» после кукурузы на силос или подсолнечника, в севообороте «В» после озимой пшеницы. Урожайность ярового ячменя в варианте по отвальной обработке почвы без использования удобрений составила 2,54-2,73 т/га, при использовании чизельной обработки почвы колебалась в пределах от 2,51-2,73 т/га. На среднем уровне питания урожайность составляла 3,22-3,42 т/га. При внесении средних доз удобрений урожайность увеличивалась на 23,0-29,9 % ($p < 0,05$), повышенные дозы увеличивали урожайность до 3,57-3,82 т/га или на 38,1-44,0 % ($p < 0,05$) (Гаевая, 2019) (Таблица 70, Приложение А55).

Таблица 70 – Урожайность ярового ячменя в зависимости от конструкции севооборота, уровня применений удобрений и приемов обработки почвы, т/га, 1990–2022 гг., (Листопадов, 2005; Гаевая, 2018)

Севооборот	Уровень применений удобрений					
	0		1		2	
	Отвальная	Чизельная	Отвальная	Чизельная	Отвальная	Чизельная
А	2,60±0,19	2,57±0,18	3,34±0,21	3,33±0,22	3,71±0,22	3,69±0,23
Б	2,73±0,19	2,73±0,19	3,42±0,21	3,36±0,22	3,82±0,21	3,78±0,22
В	2,54±0,19	2,51±0,17	3,24±0,21	3,22±0,21	3,58±0,21	3,57±0,20
НСР ₀₅ 0,39–0,55; В зависимости от предшественника в севообороте – 0,14–0,43, уровня применения удобрений – 0,12–0,28, приемы обработки почвы – 0,15–0,17 т/га.						

Применение чизельной обработки почвы незначительно снижало урожайность на 0,01-0,05 т/га (НСР₀₅ – 0,15-0,17 т/га).

Разница в конструкции севооборотов также незначительно сказывалась на урожайности ячменя. Более высокую урожайность ярового ячменя в севообороте «Б» следует объяснять конструктивными особенностями и сбалансированностью структуры посевов в этом севообороте. Урожайность в севообороте «Б» выше на 5,0-7,1 % ($p > 0,05$), чем в остальных севооборотах, потому что сток и смыл почвы меньше по сравнению с севооборотом «А», а также более высокий уровень пло-

дородия почвы позволяет получать высокие урожаи. Так же немаловажную роль в урожайности имеет запас продуктивной влаги.

Внесение удобрений в средних дозах способствовало получению дополнительной продукции ячменя по сравнению с естественным плодородием 0,63-0,77 т/га, или больше на 23,0-29,9 %. Эффективность внесенных удобрений, под яровой ячмень в дозе 100 кг д.в. колебалась в пределах 6,29-7,66 кг/кг д.в. с большими значениями в севообороте «А». В этом севообороте со стоком и смывом выносятся наибольшее количество элементов питания, а плодородие почвы наиболее низкое, при компенсации их удобрениями отдача более высокая (Таблица 71, Рисунок 57).

Таблица 71 – Прибавка урожая ярового ячменя в зависимости от конструкции севооборота, уровня применения удобрений и приемов обработки почвы, 1990-2022 гг.

Севооборот	Уровень применения удобрений	Прибавка урожая			
		т/га		%	
		Отвальная	Чизельная	Отвальная	Чизельная
А	1	0,74	0,77	28,6	29,9
	2	1,12	1,13	43,1	44,0
Б	1	0,68	0,63	25,0	23,0
	2	1,09	1,04	39,8	38,1
В	1	0,70	0,70	27,6	28,0
	2	1,04	1,06	41,1	42,1

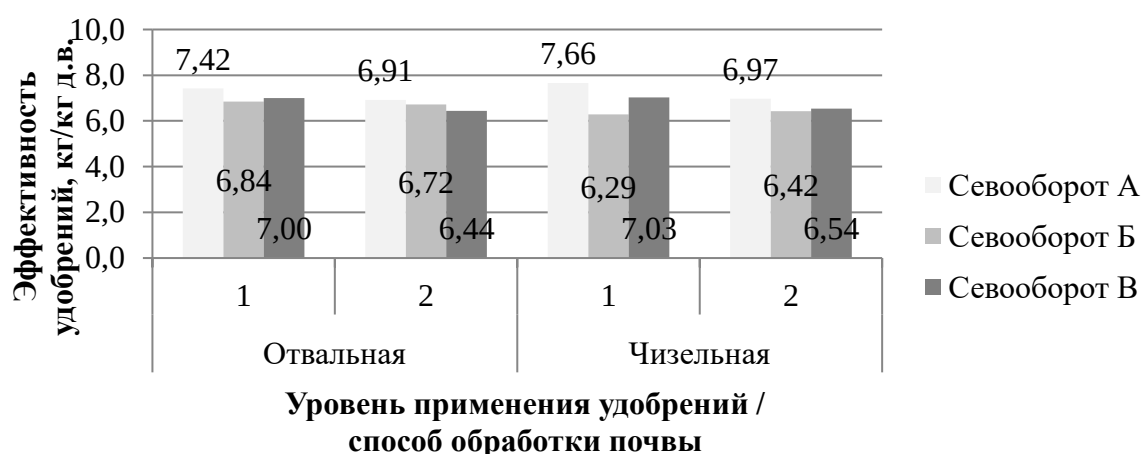


Рисунок 57 – Эффективность удобрений под яровой ячмень в зависимости от конструкции севооборота, уровня применения удобрений и приемов обработки почвы, кг/кг д.в., 1990-2022 гг.

Увеличение дозы внесения удобрений в полтора раза позволило получить дополнительную продукцию 1,04-1,13 т/га, или больше на 38,1-44,0 %, при этом эффективность внесённых удобрений снизилась до 6,42-6,97 кг/кг д.в., или на 1,8-10,0 %.

Горох. Поскольку посев гороха осуществлялся только в севообороте «Б» и только по одному предшественнику (ячменю), увеличение его урожайности обуславливалось только системой удобрений (Вошедский и др., 2021; Гаевая, 2015; Кисс и др., 2016).

Урожайность гороха за годы исследований больше зависела от уровня плодородия почвы, чем от приема ее обработки. В варианте естественного плодородия почвы урожайность составляла 1,72-1,72 т/га, применение удобрений («1-й» уровень) повысило урожайность гороха на 26,1-26,4 %, а «2-м» уровне – на 38,3-38,4 % (Гаевая, 2016; 2019) (Таблица 72, Приложение А56).

Таблица 72 – Урожайность гороха в зависимости от уровня применения удобрений и приемов обработки почвы, 1990-2022 гг., (Листопадов, 2005; Гаевая и др., 2016)

Показатель	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений		
		0	1	2
Урожайность, т/га	Отвальная	1,76±0,55	2,22±0,63	2,43±0,67
	Чизельная	1,72±0,53	2,17±0,62	2,37±0,66
Прибавка урожая, т/га	Отвальная	-	0,45	0,66
	Чизельная	-	0,46	0,67
Прибавка урожая, %	Отвальная	-	26,1	38,4
	Чизельная	-	26,4	38,3
НСР ₀₅ 0,14–0,31; В зависимости от уровня применения удобрений – 0,11-0,23, приемов обработки почвы – 0,16-0,25 т/га.				

Применение чизельной обработки почвы в среднем за годы исследования незначительно снижало урожайность гороха (на 0,04-0,06 т/га) по сравнению с отвальной обработкой почвы. Это связано с большей засоренностью посевов, а также с различной влагообеспеченностью лет исследований. Горох является влаголюбивой культурой, и при возникновении почвенной засухи горох сильно реагирует (Гаевая и Васильченко, 2016). В Ростовской области каждые три года из че-

тырех являются засушливыми, и в эти годы горох дает более низкие урожаи зерна (Листопадов, 2005).

Ранее в проведенных нами исследованиях было выявлено, что использование чизельной обработки почвы в качестве основной в «засушливые» годы позволяет увеличить урожайность гороха при внесении различных доз удобрений на 15,9-22,2 %, по сравнению с вариантами, где удобрения не вносились, и на 12,9-20,8 % с этими же вариантами опыта, но при использовании отвальной обработке. Эффективность использования удобрений под культуру определяется соотношением прибавки урожая к дозе внесенных удобрений в действующем веществе на гектар севооборотной площади. Расчётные данные показали, что максимальная эффективность от использования минеральных удобрений была отмечена во «влажные» годы и составляла от 4,02 до 4,85 кг/кг. В «засушливые» годы прибавка урожая гороха на 1 кг. д.в. внесенных минеральных удобрений составляла 1,92-2,32 кг. зерна. Применение удобрений в средних дозах во «влажные» годы позволяет получать большую эффективность до 8 % по сравнению с повышенными дозами. В «засушливые» годы, наоборот, общая урожайность и эффективность ниже, чем в среднем за период и во «влажные» годы, но внесение удобрений в повышенных дозах позволяет снизить неблагоприятное воздействие климатических условий и увеличить эффективность удобрений на 12 % (Гаевая и др., 2016) (Рисунок 58).

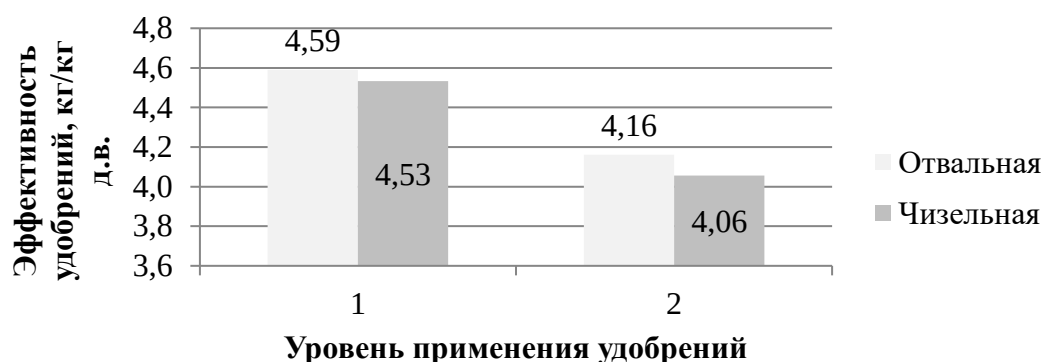


Рисунок 58 – Эффективность удобрений под горох в зависимости от уровня применения удобрений и приемов обработки почвы, кг/кг д.в., 1990-2022 гг.

Различие между севооборотами в урожайности кукурузы на силос невелико и составляло 1,8–3,3 % ($p>0,05$). Прием обработки почвы незначительно снижал урожайность кукурузы на силос на 0,16–1,4 т/га, или на 0,8–3,95 % ($p>0,05$).

Кукуруза, возделываемая на силос, хорошо отзывается на внесения удобрений. Эффективность удобрений при внесении средних доз составляла 37,6–46,8 кг/кг д.в. При внесении повышенных доз эффективность удобрений в севообороте «А» увеличилась до 49,4 кг/кг д.в., или на 3,8 %, в севообороте «Б» – до 54,4 кг/кг д.в., или на 16,2 %; в севообороте «В» – до 49,1 кг/кг д.в., или на 6,7 %. Увеличение дозы внесения удобрений положительно сказывается на плодородии почвы, и как следствие, увеличивая урожайность культур и эффективности удобрений (Гаевая, 2018; 2019) (Таблица 74).

Таблица 74 – Эффективность удобрений под кукурузу на силос в зависимости от предшественника, уровня применения удобрений и приемов обработки почвы, кг/кг д.в., 1990-2010 гг., (Листопадов, 2005; Гаевая и др., 2022в).

Севооборот	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Прибавка урожая		Эффективность применения удобрений, кг/кг, д.в.
			т/га	%	
А	1	Отвальная	3,76	17,5	37,6
	2		7,52	35,0	46,5
	1	Чизельная	4,75	23,6	47,5
	2		8,00	39,7	49,4
Б	1	Отвальная	4,68	22,5	46,8
	2		8,81	42,3	54,4
	1	Чизельная	3,98	19,2	39,8
	2		7,84	38,0	48,4
В	1	Отвальная	4,52	21,4	45,2
	2		7,89	37,3	48,7
	1	Чизельная	4,60	22,6	45,9
	2		7,94	39,1	49,0

Применение чизельной обработки почвы увеличило эффективность удобрений на 2,9–9,9 кг/кг д.в. (6,3–26,4 %) только в севообороте «А». В этом севообороте наиболее низкое плодородие почвы и внесение удобрений в различных дозах позволило получить дополнительную прибавку при использовании чизельной обработки почвы (Gaevaya et al., 2023). В остальных севооборотах применение чи-

зельной обработки почвы снизило урожайность (на 0,8-6,3 %) и эффективность удобрений (на 4,3-11,0 %) (Гаевая и др., 2018).

За период исследований некоторое преимущество по урожайности имел севооборот «Б», но в отдельные годы это преимущество не выходило за пределы ошибки опыта.

С 2011 года в севообороте «В» высевали пропашную культуру – кукурузу на зерно. Урожайность кукурузы на зерно составляла в варианте без внесения удобрений 2,25–2,38 т/га. Внесение удобрений в средних и повышенных дозах увеличило урожайность на 13,4–18,7 % и 36,2–44,3 % соответственно (Таблица 75, Приложение А58).

Таблица 75 – Урожайность и эффективность применения удобрений под кукурузу на зерно в зависимости от уровня применения удобрений, 2011-2022 гг.

Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений	Урожайность, т/га	Прибавка урожая		Эффективность удобрений, кг/кг, д.в.
			т/га	%	
Отвальная	0	2,38±0,19	-	-	-
	1	2,69±0,24	0,32	13,4	3,18
	2	3,24±0,32	0,86	36,2	5,32
Чизельная	0	2,25±0,2	-	-	-
	1	2,67±0,23	0,42	18,7	4,22
	2	3,25±0,31	1,00	44,3	6,16
НСР ₀₅ в зависимости от уровня применения удобрений 0,24–0,44, приемов обработки почвы – 0,28–0,49 т/га.					

Кукуруза на зерно хорошо отзывается на внесение удобрений. При внесении удобрений в средних дозах была получена прибавка урожая 0,32-0,42 т/га зерна. Увеличение дозы внесения удобрений в полтора раза позволило получить прибавку урожая 0,86-1,0 т/га (67,3 %). При этом наибольшая эффективность удобрений была отмечена при внесении повышенных доз удобрений 5,32-6,16 кг/га на 1 кг внесенных удобрений, что больше на 46,0-67,3 %, чем при внесении средних доз удобрений.

В севооборотах «А» и «Б» с 2011 г. высевали подсолнечник. Урожайность маслосемян подсолнечника на естественном уровне питания составляла 1,40-1,48 т/га с преимуществом в севообороте «Б» (2,6-3,8 %; $p>0,05$). Прибавка уро-

жая составила 0,02–0,06 т/га и является статистически незначимой ($НСР_{05}$ 0,08–0,10). Внесение удобрений позволило повысить урожайность подсолнечника на первом уровне питания на 24,2–25,5 %, а на втором – на 45,2–46,4 % (Таблица 76, Приложение А59).

Влияние приема обработки почвы на урожайность подсолнечника сказывалось незначительно, преимущество имела чизельная обработка почвы, но разница была статистически незначима (0,02–0,04 т/га; $p > 0,05$).

Таблица 76 – Урожайность подсолнечника в зависимости от конструкции севооборота, от уровня применения удобрений и приемов обработки почвы, т/га

Севооборот	Уровень применения удобрений					
	0		1		2	
	Отвальная	Чизельная	Отвальная	Чизельная	Отвальная	Чизельная
А	1,40±0,10	1,44±0,11	1,76±0,12	1,79±0,13	2,05±0,14	2,09±0,15
Б	1,46±0,12	1,48±0,12	1,82±0,13	1,81±0,14	2,12±0,15	2,16±0,17
$НСР_{05}$ 0,08–0,10; В зависимости от предшественника, уровня применения удобрений и приемов обработки почвы 0,04–0,06; 0,03–0,04; 0,13–0,39 т/га.						

Эффективность удобрений, внесенных под подсолнечник, составляла 3,36–3,60 кг/кг д.в. на «1-м» уровне применения удобрений, и 4,01–4,21 кг/кг д.в. – на втором уровне питания. Повышенный питательный режим почвы позволил увеличить эффективность внесенных удобрений в севообороте «А» на 12,3–15,3 %, в севообороте «Б» на 13,0–25,4 %, (Таблица 77).

Таблица 77 – Эффективность применения удобрений под подсолнечник в зависимости от конструкции севооборота, уровня применения удобрений и приемов обработки почвы, 2011–2022 гг.

Севооборот	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений	Прибавка урожая		Эффективность удобрений, кг/кг, д.в.
			т/га	%	
А	Отвальная	1	0,36	25,5	3,57
		2	0,65	46,4	4,01
	Чизельная	1	0,35	24,2	3,48
		2	0,65	45,2	4,01
Б	Отвальная	1	0,36	24,7	3,60
		2	0,66	45,3	4,07
	Чизельная	1	0,34	22,8	3,36
		2	0,68	46,2	4,21

Многолетние травы. В изучаемых севооборотах многолетние травы возделывали в выводных полях севооборотов «Б» и «В» под покров ячменя. Урожайность многолетних трав на естественном уровне питания в севообороте «Б» в среднем составляла 4,82-5,07 т/га, а в севообороте «В» – 4,54-4,83 т/га. Уровень применения удобрений влиял на урожайность этой культуры: на 1-м уровне она повысилась на 12,0-15,2 %, на 2-м – на 23,5-27,0 % (Таблица 78, Приложение А60).

За годы исследований некоторое преимущество по урожайности имел севооборот «Б», в вариантах, где применяли удобрений (3,1-6,1 %; $p < 0,05$).

Применение чизельной обработки почвы незначительно снижало урожайность сена многолетних трав на 0,17-0,29 т/га (3,2-5,6 %) ($НСР_{05} = 0,33-0,75$ т/га).

Таблица 78 – Урожайность многолетних трав в зависимости от конструкции севооборота, уровня применения удобрений и приемов обработки почвы, т/га, 1990-2022 гг.

Севооборот	Приемы обработки почвы	Урожайность, т/га		
		0	1	2
Б	Отвальная	5,07±0,24	5,68±0,24	6,26±0,26
	Чизельная	4,82±0,22	5,46±0,22	5,97±0,25
В (1-й год пользования)	Отвальная	4,83±0,24	5,50±0,24	6,07±0,24
	Чизельная	4,60±0,21	5,25±0,22	5,77±0,23
В(2-й год пользования)	Отвальная	4,81±0,22	5,41±0,22	6,02±0,23
	Чизельная	4,54±0,19	5,23±0,21	5,77±0,22
НСР ₀₅ 0,37–0,73 т/га, в зависимости от предшественника, уровня применения удобрений и приемы обработки почвы 0,33–0,72; 0,37–0,73 и 0,33–0,75 т/га.				

Внесение удобрений в средних и повышенных дозах позволяло получить прибавку урожая 0,60-0,69 т/га и 1,15-1,23 т/га соответственно. Наибольшая эффективность удобрений была в севообороте «В» при внесении повышенных доз удобрений (7,26-7,62 кг/кг д.в.), что выше на 11,3-14,6 %, чем при внесении средних доз удобрений (Ilyinskaya, Gaevaya, 2021) (Таблица 79).

Таблица 79 – Эффективность внесения удобрений под многолетние травы в зависимости от конструкции севооборота, уровня применения удобрений и приемов обработки почвы, 1990-2022 гг.

Севооборот	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений	Прибавка урожая		Эффективность применения удобрений, кг/кг, д.в.
			т/га	%	
Б	Отвальная	1	0,61	12,0	6,06
		2	1,19	23,5	7,35
	Чизельная	1	0,64	13,3	6,41
		2	1,15	38,7	7,11
В (1-й год пользования)	Отвальная	1	0,66	13,8	6,65
		2	1,23	25,5	7,62
	Чизельная	1	0,65	14,2	6,52
		2	1,18	41,4	7,26
В (2-й год пользования)	Отвальная	1	0,60	12,4	5,95
		2	1,21	25,2	7,49
	Чизельная	1	0,69	15,2	6,90
		2	1,23	43,8	7,57

Таким образом, урожайность озимой пшеницы по предшественнику чистый пар изменялась от 4,37 до 5,52 т/га. По непаровым предшественникам она составляла от 2,51 до 4,84 т/га. В среднем, за годы исследований урожайность озимой пшеницы по всем предшественникам при внесении средних доз удобрений была выше на 12,9-40,1 %, чем в вариантах без удобрений, а при внесении повышенных доз удобрений – на 25,3-63,8 %. Наилучшим предшественником для озимой пшеницы являлся чистый пар, урожайность была выше на 24,0-40,9 %, чем по предшественнику озимая пшеница, на 18,4-31,1 % – по предшественнику кукуруза, и на 10,3-19,0 % – по предшественнику горох. Более высокая эффективность удобрений была получена на среднем уровне применения удобрений по предшественнику озимая пшеница (9,82 кг/кг д.в.), а наименьшая – по предшественнику чистый пар (5,76 кг/кг д.в.). Эффективность удобрений в зависимости от предшественника располагалась в следующем ряду предшественников: озимая пшеница → кукуруза → зернобобовые → чистый пар. Прием обработки существенного влияния на урожайность озимой пшеницы не оказывал, прибавка урожая при использовании чизельной обработки почвы была выше на 0,03-0,16 т/га, или на 0,6-3,6 %, чем по отвальной ($p > 0,05$).

Для получения в Приазовской зоне Ростовской области высококачественного зерна, соответствующего требованиям, предъявляемым к «сильным» пшеницам, необходимо размещать озимую пшеницу в севооборотах по чистому пару даже при сравнительно невысоких дозах удобрений, а после непаровых предшественников – только при применении повышенных доз удобрений. Наилучшими предшественниками для получения зерна с высоким содержанием клейковины является чистый пар (30,4-30,6 %) и горох – (30,3-30,4 %). По непаровым предшественникам содержание клейковины снижается до 29,0-29,5 %. Внесение удобрений в средних дозах увеличивает содержание клейковины в среднем на 20,9 %, а в повышенных – на 35,7 %. Прием обработки почвы существенного влияния на содержание клейковины, сырого протеина и ИДК не оказывал.

Урожайность ярового ячменя изменялась в пределах от 2,51 до 3,82 т/га, с большими значениями при внесении повышенных доз удобрений. Внесение удобрений в средних дозах повысило урожайность в среднем на 23,0–29,9 %, в повышенных – на 38,1-44,0 %. Наибольшая эффективность удобрений, была получена при внесении удобрений в дозе 100 кг д.в. (7,42-7,66 кг/кг д.в.). Прием обработки почвы и конструкция севооборота существенного влияния на урожайность и эффективность удобрений не оказывал.

Урожайность гороха изменялась в пределах от 1,72 т/га до 2,43 т/га, внесение средних и повышенных доз удобрений увеличивало урожайность в среднем на 26,1 и 38,4 %. Применение чизельной обработки почвы незначительно снижало урожайность гороха по сравнению с отвальной обработкой. Наибольшая эффективность удобрений была получена при внесении средних доз удобрений и составляла 4,53-4,59 кг/кг д.в.

Урожайность кукурузы на силос, колебалась в пределах 20,8-29,6 т/га, кукурузы на зерно – 2,25-3,25 т/га; подсолнечника – 1,40-2,16 т/га с большими значениями при внесении повышенных доз удобрений. Внесение удобрений в средних дозах увеличивало урожайность соответственно на 17,5-22,5, 13,4-18,7 и 24,2-25,5 %. Применение повышенных доз удобрений под кукурузу на силос и зерно, и подсолнечник повысило урожайность соответственно на 35,0-42,3, 45,2-46,4 и

36,2-44,3 %. Влияние предшественника на урожайность кукурузы на силос и подсолнечника было не существенным и не превышало 3,8 %. Способ обработки почвы на урожайность пропашных культур существенного влияния не оказывал, разница в урожайности не превышала 3-4 %. Наибольшая эффективность удобрений под кукурузу на силос и на зерно, и подсолнечник была отмечена при внесении повышенных доз удобрений и была выше на 3,8-16,2, 46,0-67,3 и 12,3-25,4 %, чем при внесении средних доз удобрений.

Урожайность многолетних трав без внесения удобрений составляла 4,57-5,07 т/га, внесение средних и повышенных доз удобрений соответственно увеличивало урожайность на 12,0-15,2 и 23,5-27,0 %. Использование различных агротехнологий возделывания (включая чизельную обработку) существенного влияния на урожайность многолетних трав не оказывало. Использование удобрений в повышенных дозах давало наибольшую эффективность удобрений 7,26-7,62 кг/кг д.в, что в сравнении со средними дозами удобрений выше на 11,3-14,6 %.

9.2 Сравнительная продуктивность севооборотов

Продуктивность севооборотов является интегральным показателем их оценки и зависит от конструкции севооборота, структуры посевов, природных (почвенных и климатических) условий и техногенных факторов. Конструкция севооборотов, их различная степень защищенности от эрозионных процессов, биологические возможности культур в сочетании со складывающимися условиями влагообеспеченности, температурным режимом и технологией возделывания культур определяли уровень их продуктивности. В неблагоприятные условия и, прежде всего, по влагообеспеченности и температурному режиму попадала обычно одна какая-либо группа культур (озимые или ранние яровые, или поздние культуры) – и это позволяло в определенной степени взаимно компенсировать показатели продуктивности севооборотов (Ильинская и Гаевая, 2012).

Так же на продуктивность севооборотов в отдельные годы оказывали влияние процессы деградации, эрозионно-опасные условия склона усиливали это яв-

ление как за счет поверхностного, так и подпочвенного стока. Смыв почвы приводит к вымыванию основных элементов питания, особенно подвижных форм, когда вынос подвижного азота ($N-NO_3 - N-NH_4$) в весенний период в более глубокие слои парового поля негативно влияет на формирование урожая озимых культур, размещенных по чистому пару (Гаевая, 2017б; Ильинская и Гаевая, 2012).

Наиболее высокой продуктивностью в течение всего периода исследований отличался севооборот «Б» с наиболее сбалансированной структурой посевов. Продуктивность его выше, чем этот показатель севооборота «А» на 8,5-11,9 %, и выше, чем продуктивность севооборота «В» на 4,1-6,7 %. (Гаевая, 2018). Севооборот «А» уступает по продуктивности в связи с тем, что структура посевов его недостаточно адаптирована к конкретным почвенно-климатическим условиям (в т.ч. и к эрозионным), а двадцатипроцентное по площади паровое поле значительно снижает его возможности в благоприятные по влагообеспеченности годы (Таблица 80).

Таблица 80 – Продуктивность севооборотов в зависимости от их конструкции, применения удобрений и агротехнологии возделывания, т/га зерн. ед., 1990-2022 гг.

Севооборот	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений		
		0	1	2
А	Чзельная	2,75	3,44	3,87
	Отвальная	2,83	3,48	3,91
Б	Чзельная	3,12	3,78	4,23
	Отвальная	3,16	3,84	4,29
В	Чзельная	2,91	3,54	4,00
	Отвальная	3,03	3,64	4,08
НСР ₀₅ – предшественника в севообороте – 0,11–0,34 т/га; уровня применения удобрений – 0,14–0,33 т/га; прием обработки почвы – 0,15–0,24 т/га.				

Внесение удобрений в дозе 100 кг д.в. на 1 га севооборотной площади повысило продуктивность севооборотов в среднем на 22,0 %, повышенные в полтора раза дозы удобрений – на 37,0 %. Применение чизельной обработки почвы существенно снижало продуктивность севооборотов (1,0-4,0 %) по сравнению с отвальной.

Математическая обработка результатов урожайности культур в трехфактор-

ном дисперсионном анализе показала, что влияние предшественника в севообороте оказывало незначительное влияние на урожайность культур (1,4-10,1 %). Исключением была озимая пшеница, посеянная по непаровым предшественникам (озимая пшеница и кукуруза): прибавка урожая составила в среднем 34,6 % (Таблица 81).

Наибольшее влияние в изменчивости урожая было отмечено в результате применения удобрений (42,9-78,1 %) по различным культурам севооборотов. Больше всего влияние удобрений сказывалось на урожайности ячменя в основном посеве (78,1 %) и ячменя как покровной культуры (62,4 %). Влияние удобрений на урожайность озимой пшеницы было в равной степени по паровым и непаровым предшественникам (51,1 %).

Таблица 81 – Доля участия предшественника, основной обработки почвы и уровня применения удобрений в общей изменчивости урожайности культур севооборота, %

Фактор	Культура					
	Озимая пшеница по предшественникам		Кукуруза	Ячмень	Покровная культура (ячмень)	Многолетние травы
	по паровым	по непаровым				
А) Предшественник	5,8	34,6	10,1	3,6	6,47	1,14
В) Уровень применения удобрений	51,2	51,1	43,5	78,1	62,4	42,9
С) Приемы обработки почвы	9,4	2,6	0,6	3,8	1,2	4,7
Взаимодействия: факторов АВ	1,7	3,26	1,4	0,8	0,6	0,7
- факторов АС	3,5	1,5	4,4	1,5	0,8	1,5
- факторов ВС	0,9	1,1	1,3	1,9	4,4	1,7
- факторов АВС	2,0	1,6	4,5	1,3	3,0	2,8

Обработка, как фактор в общей изменчивости, оказывала незначительное влияние на урожайность культур и не превышала ошибки опыта (0,6-9,4 %).

Вклад взаимодействия факторов (предшественник, уровень, питания и прием обработки почвы) в общую долю изменчивости урожайности культур был минимальным и изменялся в пределах от 0,6 до 4,4 %. По-видимому, взаимодействие факторов в меньшей степени сказывалось на урожайности, чем влияние самих факторов.

Одним из важнейших принципов формирования структуры посевных площадей является создание севооборотов, совмещающих почвозащитные свойства и высокую продуктивность. Для этого необходимо сохранить долю чистого пара, обеспечивающего получение экономически значимого количества растениеводческой продукции при соблюдении экологического равновесия, а также обеспечить сохранение почвенного плодородия за счет расширения доли в севообороте бобовых культур и многолетних трав.

Таким образом, наиболее высокая продуктивность была отмечена в севообороте «Б» с 20 % многолетних трав. Он зарекомендовал себя как севооборот, имеющий сбалансированную структуру посевов (3,12-4,29 т/га зерн. ед.). Продуктивность его выше, чем севооборота «А» на 8,5-11,9 % и выше, чем севооборота «В» на 4,1-6,7 %. Внесение удобрений в средних и повышенных дозах увеличивало продуктивность севооборотов в среднем на 22,0 и 37,0 %. Применение различных обработок существенного влияния не оказывало. Доля участия факторов в общей изменчивости урожайности культур увеличивалась в ряду: способ обработки почвы (0,6-9,4 %) → предшественник в севообороте (1,14-34,6 %) → уровень применения удобрений (42,9-78,1 %).

9.3 Выявление взаимосвязей между параметрами почвенного плодородия чернозёмов обыкновенных и продуктивностью озимой пшеницы на основе метода главных компонент

Получение большого количества данных затрудняет их интерпретацию и осложняет выявление зависимостей между ними при наименьшей потере сведений об исходных данных. При построении факторной модели агрофизических и агрохимических параметров почвенного плодородия предполагается, что каждый из тридцати двух перечисленных параметров, представляет собой конечный результат совместного влияния некоторых непосредственно не наблюдаемых факторов: общих – связанных значимыми коэффициентами корреляции более чем с

одним параметром, и индивидуальных, отражающих специфичность одного исходного параметра (Гаевая и Безуглова, 2024; Гаевая, 2025).

Поэтому для сокращения числа переменных и наблюдений, а также определения структуры взаимосвязей между ними, при помощи создания нового факторного пространства был использован метод многомерной статистики – анализ главных компонент (РСА). Выявление связей при большом наборе данных в корреляционно-регрессионном анализе является труднодостижимой целью, поэтому ставится задача сжатия изучаемых показателей в укрупненные категории или показатели, которые называются «главными компонентами» (ГК).

При выяснении главных компонент вычисляются собственные векторы и собственные значения на основе ковариационной или корреляционной матрицы с использованием исходных данных. Мы проводили расчеты, используя корреляционную матрицу, причем первичные данные имели разную размерность, а в результате преобразований были получены третьи значения. Анализ параметров почвенного плодородия проводили на основании результатов обследования почвы на агрохимические, агрофизические и водно-физические свойства на среднем уровне применения удобрений в чистом пару и под посевами озимой пшеницы по различным предшественникам. Анализ этих значений приведен на Рисунке 59.

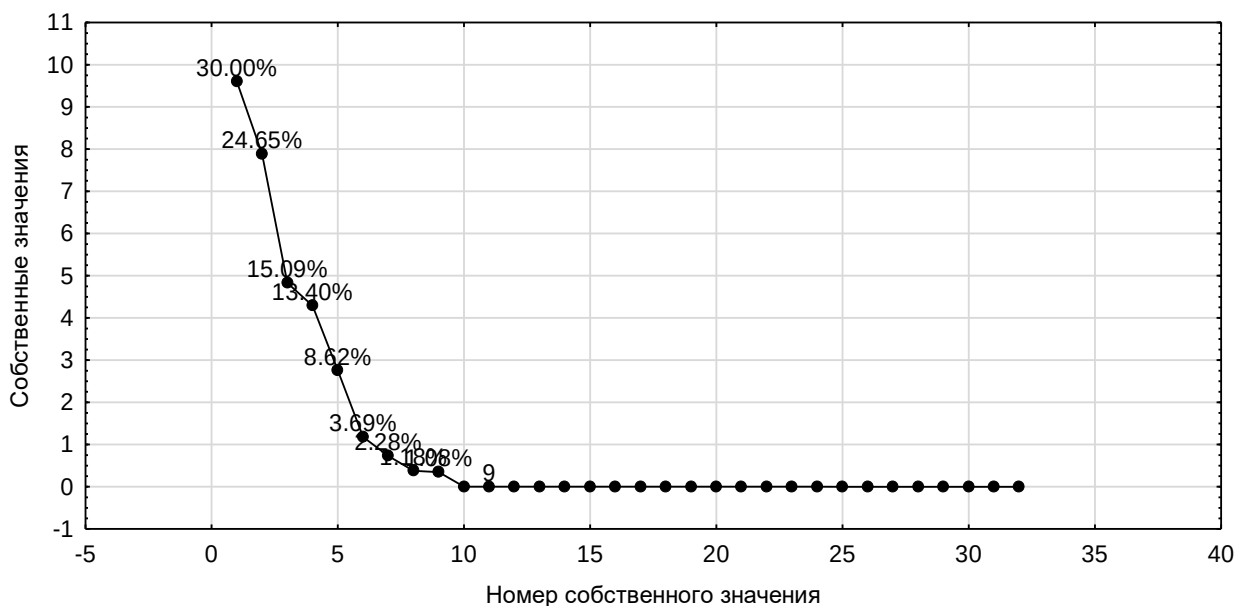


Рисунок 59 – Кривая «каменистой осыпи»: зависимость критерия информативности от числа собственных чисел

На первом этапе анализа главных компонент определили минимальное число факторов, которые вносят максимальный вклад в дисперсию переменных. Простота фактора определяется дисперсией квадратов, его нагрузки близки к нулю или единице, то есть он описывается наиболее просто и поэтому его можно наилучшим образом интерпретировать (Курякова, 2009).

Из представленного графика, называемого «сломанная трость» или «каменистая осыпь», следует, что первые четыре ГК описывают 83,1 % в общей дисперсии всех изучаемых случаев. На основании критерия Кайзера мы можем отбирать для анализа только факторы с собственными значениями, большими «1» (Kaiser, 1960). Этим требованиям отвечают первые четыре ГК. Остальные главные компоненты вносят несущественный вклад в общую дисперсию и их можно не рассматривать (Таблица 82).

Количество общих факторов или главных компонент заранее не известно. Общие и индивидуальные главные компоненты являются латентными, их значение невозможно измерить непосредственно. Задачами анализа главных компонент являются: сокращения числа переменных и определение структуры взаимосвязей между переменными, т.е. классификация переменных.

Зависимость между переменными можно определить на графике. Полученная линия регрессии дает графическое представление зависимости. Если определить новую переменную на основе линии регрессии, то такая переменная будет включать в себя наиболее существенные черты всех переменных, используемых для анализа. Отметим, что новый фактор в действительности является линейной комбинацией нескольких исходных переменных. Можно определить статистическую значимость собственных значений и выделить статистически значимые факторы с использованием этого критерия, впервые предложенного Кайзером. На рисунке 69 видна точка, с которой начинается убывание собственных значений, это и есть действительное количество факторов. Графическое изображение критерия представляет собой график зависимости собственных значений факторов от их номеров в порядке выделения (Гаевая и Безуглова, 2024; Гаевая, 2025).

Таблица 82 – Собственные значения главных компонент

Главные компоненты	Собственные значения	Общая дисперсия, %	Кумулятивные собственные значения	Кумулятивный, %
1	9,6	30,0	9,6	30,0
2	7,9	24,7	17,5	54,7
3	4,8	15,1	22,3	69,8
4	4,3	13,4	26,6	83,1
5	2,8	8,6	29,4	91,8
6	1,2	3,7	30,6	95,5
7	0,7	2,3	31,3	97,7
8	0,4	1,2	31,7	98,9
9	0,3	1,1	32,0	100,0

В таблице 83 представлены собственные значения нового, выделенного фактора, на основании которого были вычленены четыре главных компоненты. Общая дисперсия равна числу переменных, в нашем случае их девять. Основным условием для выделения главных компонент являются первичные собственные значения больше единицы. Остальные компоненты, имеющие бесконечно малые значения, при анализе не учитывали. Как можно видеть из таблицы, первый фактор (ГК-1) объясняет третью часть (30,0 %) общей дисперсии, второй фактор – 24,7 %, третий и четвертый – 15,1 и 13,4 %, а все четыре фактора объясняют 83,1 % всех взаимодействий (Гаевая и Безуглова, 2024).

Факторные координаты или факторные нагрузки переменных показывают силу связи с фактором. Для этого рассматривали корреляцию между переменными и факторами, эти корреляции называются факторными нагрузками. Коэффициент с высокими абсолютными значениями показывает, что фактор и переменная тесно взаимосвязаны между собой. Для интерпретации факторов были определены переменные, которые имеют высокие значения нагрузок по одному и тому же фактору.

Первый фактор или ГК1 условно можно назвать – агрофизические показатели. По первой ГК были отобраны факторные нагрузки или весовые коэффициенты, значение которых были больше 0,6-0,7. Сюда было отнесено большинство агрегатов различных размеров при просеивании на воздухе и в воде, а также влажность почвы в слое 0-30 см. Здесь наблюдается общая закономерность: при

увеличении количества мезоагрегатов (2-7 мм) уменьшается вклад крупноглыбистой и пылевой фракций (Таблица 83).

Таблица 83 – Матрица факторных координат переменных на основе корреляций

Переменная	Главные компоненты			
	1	2	3	4
Количество агрегатов (просеивание на воздухе), %				
>10 мм	-0,71	-0,28	-0,29	0,22
7–10 мм	0,42	0,45	-0,32	0,61
5–7 мм	0,66	0,42	0,41	0,34
3–5 мм	0,87	0,41	0,11	-0,03
2–3 мм	0,87	0,24	0,32	-0,19
1–2 мм	-0,28	0,28	0,07	0,12
0,5–1 мм	-0,33	-0,24	0,15	-0,83
0,25–0,5 мм	-0,44	-0,55	0,20	-0,63
<0,25 мм	-0,76	-0,44	-0,35	0,18
Количество водопрочных агрегатов (просеивание в воде), %				
>7 мм	0,39	0,53	-0,46	-0,08
5–7 мм	0,69	0,53	-0,22	0,03
3–5 мм	0,50	0,78	-0,25	0,06
2–3 мм	0,48	0,63	0,52	0,14
1–2 мм	-0,85	-0,02	-0,03	0,48
0,5–1 мм	-0,54	0,55	0,40	-0,39
<0,25 мм	0,07	-0,89	-0,16	-0,35
N _{общ.} , %	0,71	-0,20	0,18	0,18
Влажность почвы в слое 0–30 см, мм	-0,80	0,17	0,21	0,41
N-NH ₄ , мг/кг	-0,82	0,13	-0,25	0,45
N-NO ₃ , мг/кг	-0,59	-0,01	0,50	0,47
Ca, мг-экв./100 г почвы	-0,31	0,59	-0,06	-0,05
Mg, мг-экв./100 г почвы	0,41	-0,73	-0,51	0,06
P ₂ O ₅ , мг/кг	0,43	-0,74	0,00	0,23
K ₂ O, мг/кг	0,47	-0,52	-0,27	-0,25
C _{орг.} , %	0,48	-0,61	-0,21	0,46
Сток, мм	-0,42	0,71	0,10	-0,33
Запас воды в снеге, мм	0,13	-0,54	0,77	0,03
Водопроницаемость, мм	-0,33	-0,19	0,72	0,48
Гребнистость, %	-0,36	0,48	-0,70	0,08
Смыв, т/га	-0,23	0,34	-0,83	0,18
Плотность, г/см ³	0,24	-0,36	0,37	0,81
pH _{вод.}	-0,54	0,68	0,40	-0,23

Так, первый фактор условно можно охарактеризовать, как отвечающий за жизнедеятельность растений и создающий оптимальные условия в первые фазы

развития. Он объединяет в себе наиболее значимые параметры для формирования урожая, которые создаются при обработке почвы: сохранение почвенной влаги при посеве (-0,80), создание оптимальной почвенной структуры (7-2 мм – 0,66-0,87; >10 мм – (-0,71); <0,25, мм – (-0,76)) и наличие в почве питательных веществ ($N_{\text{общ.}}$ (0,71); $N\text{-NO}_3$ (-0,59) и $N\text{-NH}_4$ (-0,82)), необходимых для стартового роста растений.

На вторую главную компоненту (ГК2) приходится 24,7 % от общей дисперсии, и она отражает связь между агрофизическими и агрохимическими свойствами почвы. Они характеризуют почвенную структуру и содержание в почве основных элементов питания: подвижных фосфора (-0,74) и калия (-0,52), органического вещества (-0,61), участвующего в образовании почвенных агрегатов, Ca^{+2} (0,59); Mg^{+2} (-0,73) и $\text{pH}_{\text{сол}}$ (0,68), поддерживающих водно-солевой баланс почвенного раствора.

Так же в ГК2 наибольшие факторные нагрузки по модулю имеют такие показатели, как сток (0,71) и количество водопрочных агрегатов размеров > 7 мм (0,53), 3-5 мм (0,78), 2-3 мм (0,63) и >0,25 мм (-0,89). По-видимому, эти агрегаты, имея связь с показателем стока, подвержены в большей степени разрушению и переносу в потоках воды.

В.А. Холодов, Н.В. Ярославцева (2021) в своей работе выявили общие взаимосвязи между содержанием органического вещества и структурой почвы. Потеря органического углерода почвой обычно связана с процессами деградации структуры при ее интенсивной обработке, также с уменьшением количества агрономически ценных агрегатов снижается их водостойчивость. Отсюда можно сделать вывод, что разрушенные агрегаты, высыхая после увлажнения, образуют глыбистые частицы, которые отличаются от них по свойствам. В связи с тем, что образующиеся после распашки глыбы в основном не водостойчивы, а восстановление структуры связано с накоплением крупных агрегатов, можно предположить, что приобретение глыбами водостойчивости и снижение их размеров является ключевым механизмом восстановления структуры черноземов. Собственно, сна-

чала должна полностью восстановиться водоустойчивость, чтобы после этого восстановилась структура агрегатов (Гаевая и др., 2024; Холодов и др., 2019).

На третью ГК 3 приходится только 15,1 % от общей дисперсии, и она показывает связь между смывом почвы (-0,83) и запасом воды в снеге (0,77), водопроницаемостью (0,72) и гребнистостью почвы (-0,70). Все эти показатели характеризуют процессы, происходящие при смыве почвы. Третья главная компонента объединяет показатели, влияющие на смыв почвы.

И последний фактор ГК4 (13,4 %), включающий показатель плотности почвы (0,81) и содержание мезоагрегатов, выделенных при просеивании на воздухе, размером 7–10 мм (0,61), 0,5–1 мм (-0,83) и 0,25–0,5 мм (-0,63). Плотность почвы имеет оптимальные значения непосредственно после обработки, а мезоагрегаты участвуют в образовании структуры почвы, капиллярного пространства и пористости почвы. Последнюю ГК4 условно можно назвать как характеризующую физические свойства почвы.

Эти данные отображены на «круге корреляций» факторных координат переменных и наблюдений (Рисунки 60 и 61).

Близкое расположение переменной к единичной окружности показывает ее лучшее отображение в новой системе координат для первых четырех главных компонент. Из графика видно, что наибольшие факторные нагрузки приходятся на первые две главные компоненты – ГК 1 и ГК 2. Большинство факторных нагрузок имеет значения, близкие к 1, и расположены близко к окружности. Напротив, ГК 3 и ГК 4 находятся на значительном расстоянии от окружности, что говорит о меньшей общности или доли объясненной дисперсии, характеризующей степень общности переменной с другими переменными по заданному числу факторов.

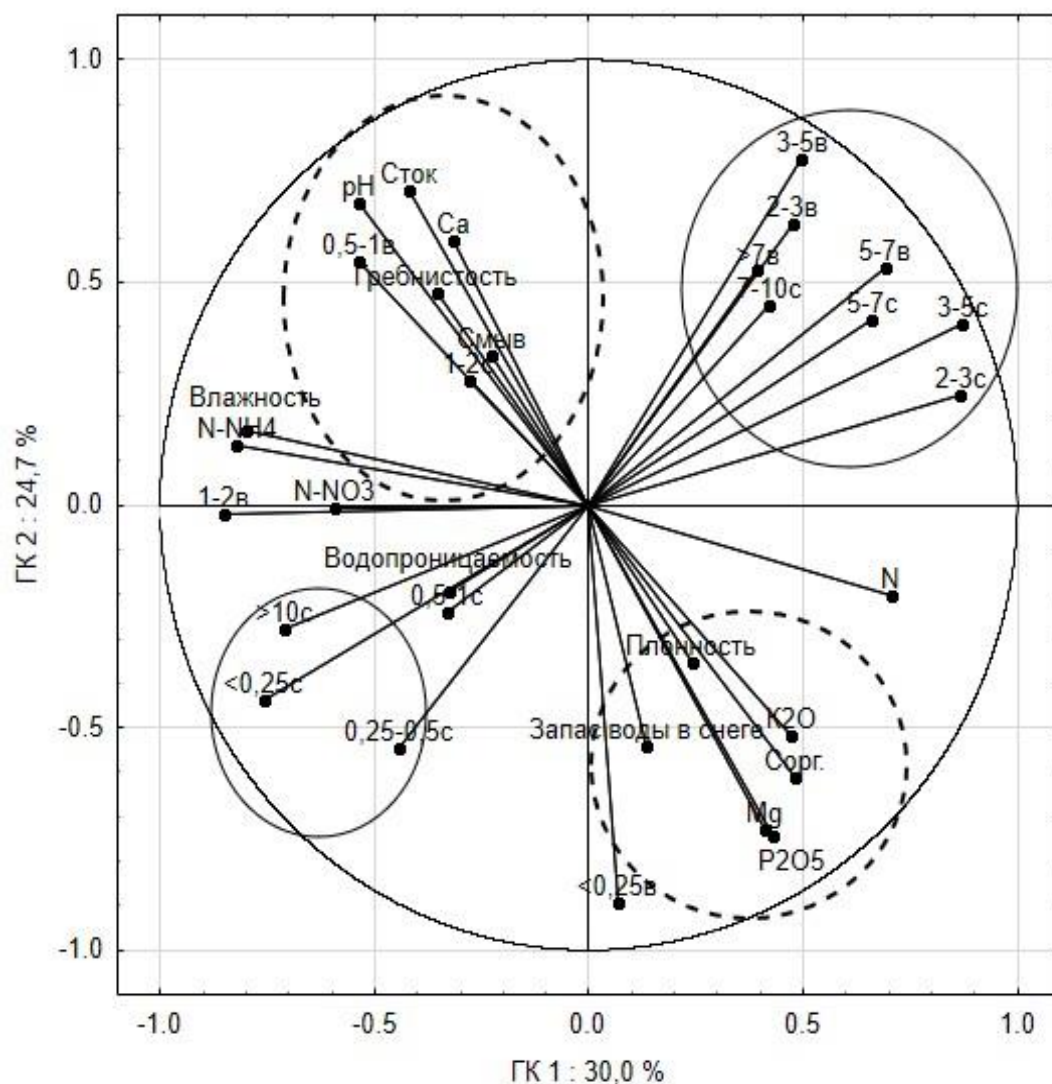


Рисунок 60 – Факторные нагрузки главных компонент ГК 1x2 основных агрохимических и агрофизических показателей чернозема обыкновенного в чистом пару и под озимой пшеницей

Как было ранее отмечено, ГК1, условно названная «агрофизические свойства почвы и мезоагрегаты, ее составляющие расположены в положительной области координат, а крупноглыбистые и пылеватые микроагрегаты находятся в отрицательной области координат, что показывает обратную направленность процесса. Вторая ГК выявляет связь между агрофизическими и агрохимическими свойствами почвы. Здесь были выделены показатели стока, водопропрочные агрегаты и фосфор, калий, гумус, общий азот.

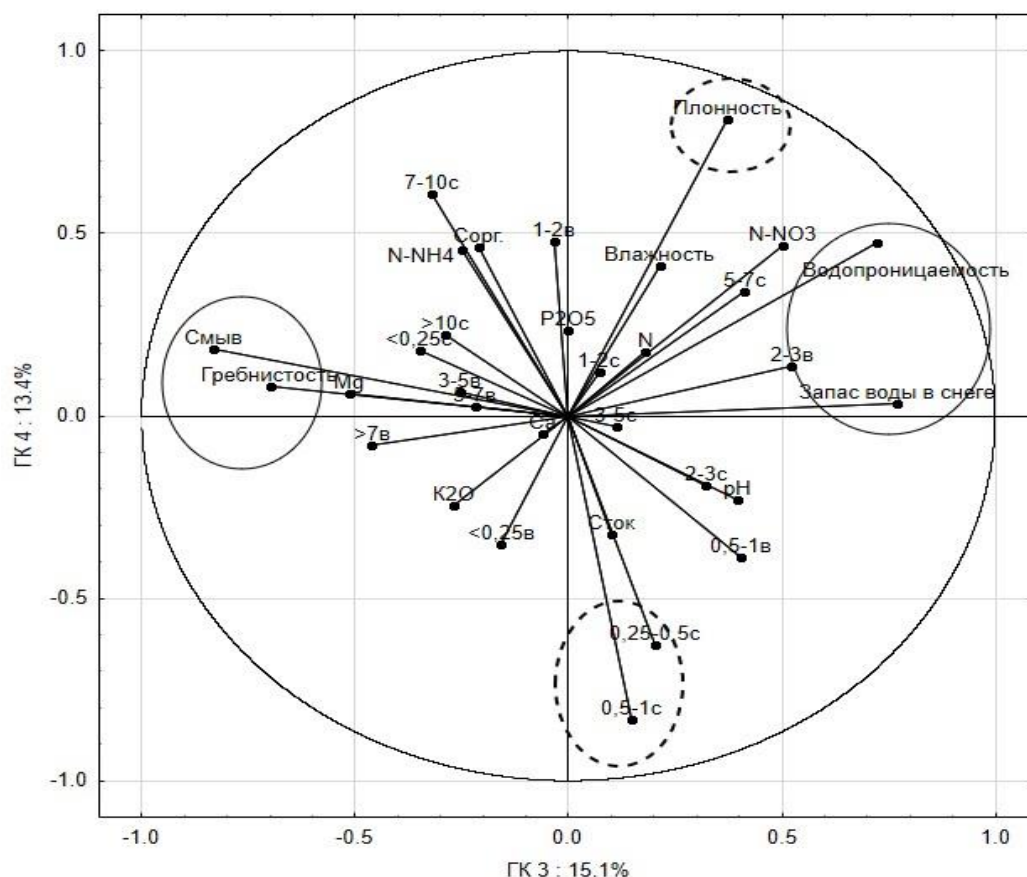


Рисунок 61 – Факторные нагрузки главных компонент ГК 3х4 основных агрохимических и агрофизических показателей чернозема обыкновенного в чистом пару и под озимой пшеницей

Третья ГК отражает процессы, происходящие при смыве почвы → водопроницаемости и запасе воды в снеге → гребнистости. С ухудшением водопроницаемости усиливается смыв почвы, и наоборот: хорошая водопроницаемость почвы связана со способностью почвы до определенного предела впитывать воду, что способствует сокращению смыва. Ранее было отмечено, что высота снега, его плотность и запас воды в снеге – взаимосвязанные величины. Гребнистая вспашка способна задерживать снег, однако не покрытые стерней и растительными остатками гребни теряют снег при сильных ветрах, тогда как стерня и растительные остатки задерживают снег при выдувании его ветром. Особенно это заметно на посевах многолетних трав, где отмечается высокий срез стерни, и травы после второго укоса частично отрастают.

Четвертая ГК описывает связь между плотностью почвы и агрегатами структуры почвы. По-видимому, мелкие фракции размером 0,5-1 мм и 0,25-0,5 мм

оказывают значительное влияние на плотность почвы. Это предположение подтверждает корреляционные отношения ($r=-0,37-(-0,63)$). С увеличением плотности почвы уменьшается количество мелких фракций размером 0,5-1 мм и 0,25-0,5 мм.

Ниже приведен график расположения вариации признаков в двумерном пространстве координат ГК1 и ГК2, из которого видно, что все варианты хорошо распределены в выбранной системе координат (Рисунок 62).

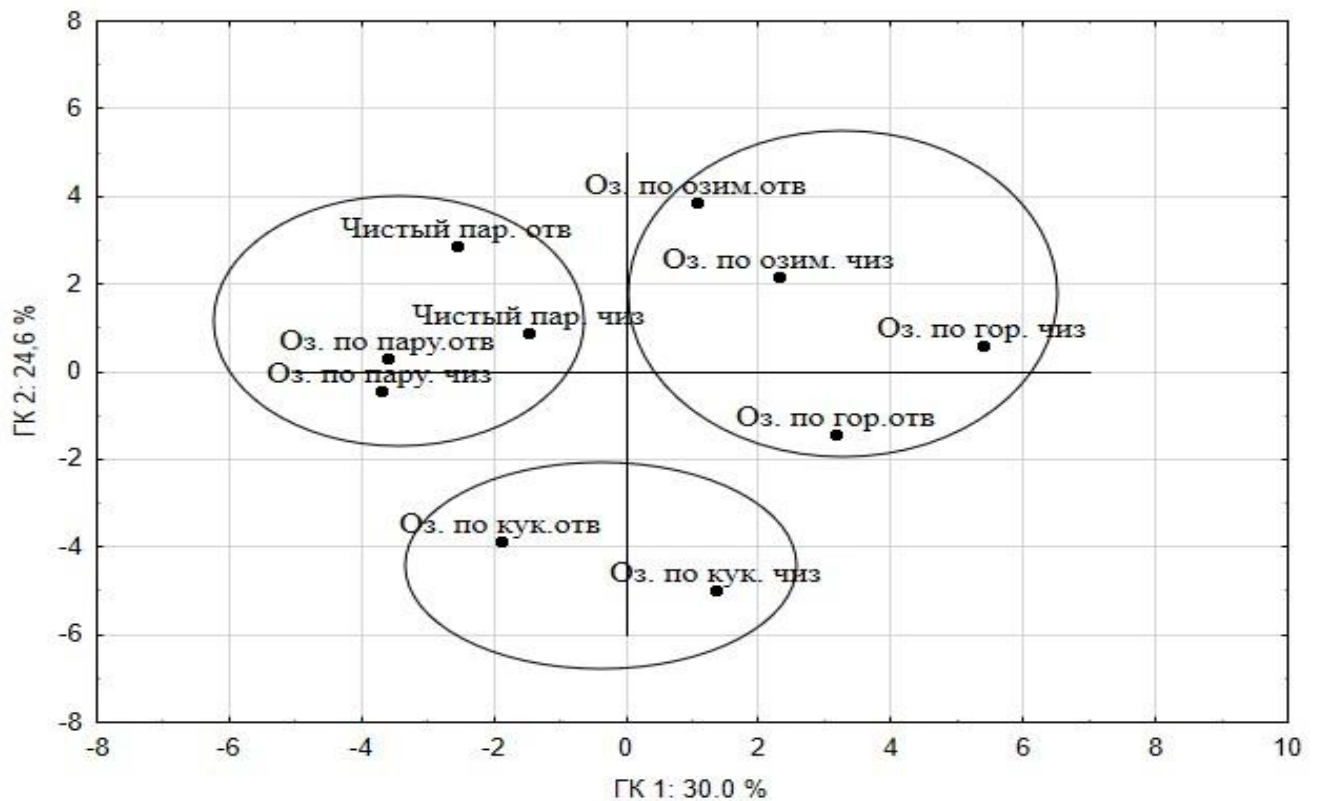


Рисунок 62 – Расположение в пространстве первых двух главных компонент основных агрохимических и агрофизических показателей чернозема обыкновенного в чистом пару и под озимой пшеницей, по различным предшественникам и агротехнологиям

Ближние предшественники озимой пшеницы по свойствам – чистый пар и озимая по предшественнику чистый пар – находятся на графике относительно близко друг к другу, что говорит о значительном влиянии предшественника. Чистый пар и озимая пшеница по предшественнику чистый пар и непаровые предшественники озимой пшеницы (горох и озимая пшеница) расположены относительно близко друг к другу в системе координат, но занимают различные стороны относительно осей координат, что указывает на общие или схожие агрофизиче-

ские и агрохимические свойства почвы между предшественниками. Напротив, чистый пар и озимая пшеница при использовании различных систем обработки почвы располагаются в системе координат компактно, и это подтверждает незначительное влияние на агрохимические и агрофизические свойства почвы изучаемых различных агротехнологий.

Таким образом, сравнивая распределение агрофизических и агрохимических показателей черноземов обыкновенных в пространстве главных компонент, выделены четыре ГК, описывающие 83,1 % общей дисперсии. Первая главная компонента (ГК1) характеризует обратную зависимость агрофизических показателей (мезоагрегатов и пыли-крупноглыбистой фракции) от влажности почвы. ГК2 отражает взаимосвязь агрофизических и агрохимических свойств почвы (сток воды, количество водопрочных агрегатов и содержание макроэлементов, гумуса). ГК3 показывает связь между гребнистостью, запасом воды в снеге, водопроницаемостью и смывом почвы. Четвертая ГК 4 выявила связь плотности почвы и мезоагрегатов.

9.4 Прогноз урожайности озимой пшеницы

На основании анализа главных компонент были выделены основные агрофизические и агрохимические показатели для составления модели параметров почвенного плодородия, позволяющей рассчитать урожайность озимой пшеницы. Выделенные факторы позволяют сократить количество показателей, характеризующих плодородие почвы и влияющих на урожайность озимой пшеницы (Скобелев и др., 2024). Наиболее значимые были использованы для построения уравнения множественной регрессии, в котором достоверность аппроксимации между фактической и теоретической урожайностью озимой пшеницы составила 0,98. Данная модель построена для значений агрофизических и агрохимических показателей чернозема обыкновенного в пахотном слое почвы и среднего уровня применения удобрений (Гаевая и Безуглова, 2025с).

Для анализа были отобраны девять основных агрофизических и агрохимических показателей чернозема обыкновенного, с которыми были выявлены наибольшие корреляционные отношения с главными компонентами. Также были определены максимальные и минимальные пределы колебания значений, показателей параметров почвенного плодородия (Таблица 84).

Таблица 84 – Агрохимические и агрофизические показатели чернозема обыкновенного, участвующие в построении модели параметров почвенного плодородия для озимой пшеницы (N=24)

Показатель	Амплитуда колебаний		Среднее значение	Коэффициент	
	min	max		корреляции, (r)	вариации, (Cv) %
Урожайность (У), т/га	3,32	5,80	4,7	-	15,6
Количество агрегатов 10–0,25 мм (Ag), %	70,0	87,6	78,2	0,47	7,9
Влажность почвы в слое 0–30 см (W), мм	84,0	154,5	123,9	0,51	16,0
N-NH ₄ (NH), мг/кг	7,0	14,0	10,6	0,50	16,6
N-NO ₃ (NO), мг/кг	7,1	12,8	8,4	0,37	15,7
P ₂ O ₅ , (P) мг/кг	32,2	45,0	36,9	0,44	8,8
K ₂ O, (K) мг/кг	330,5	420,0	370	0,47	8,4
C _{орг.} , (C) %	3,64	3,90	3,8	0,46	1,7
Сток (St), мм	5,3	44,8	18,0	-0,54	58,0
Смыв (Sm), т/га	2,0	10,6	4,8	-0,46	47,2

Установлены значения показателей, при которых средняя урожайность озимой пшеницы на черноземе обыкновенном среднеэродированном составит 4,7 т/га. Представленные в таблице значения можно считать оптимальными для получения урожая озимой пшеницы в пределах от 3,32 до 5,80 т/га.

Наиболее нестабильными признаками, оказывающими влияние на урожайность, являются сток воды и смыв почвы. Коэффициент вариации по этим признакам $C_v > 25\%$ считается значительным (соответственно 58,0 и 47,2 %). Такие показатели, как влажность почвы (16,0 %), содержание нитратного азота (16,6 %) и аммонийного азота (15,7 %) считаются средними. Остальные показатели не превышают вариации в 10 % и считаются слабыми.

Эти же данные подтверждают матричные графики зависимости урожайности от плодородия почвы. В большей степени урожайность озимой пшеницы зависит от влажности почвы ($r = 0,76$), нитратного ($r = 0,86$) и аммонийного ($r =$

0,75) азота, и в меньшей степени от структурности почвы ($r = 0,18$), подвижного фосфора ($r = 0,27$), обменного калия ($r = 0,08$), стока ($r = 0,29$) и смыва ($r = 0,18$), гумуса ($r = 0,03$) (Рисунок 63).

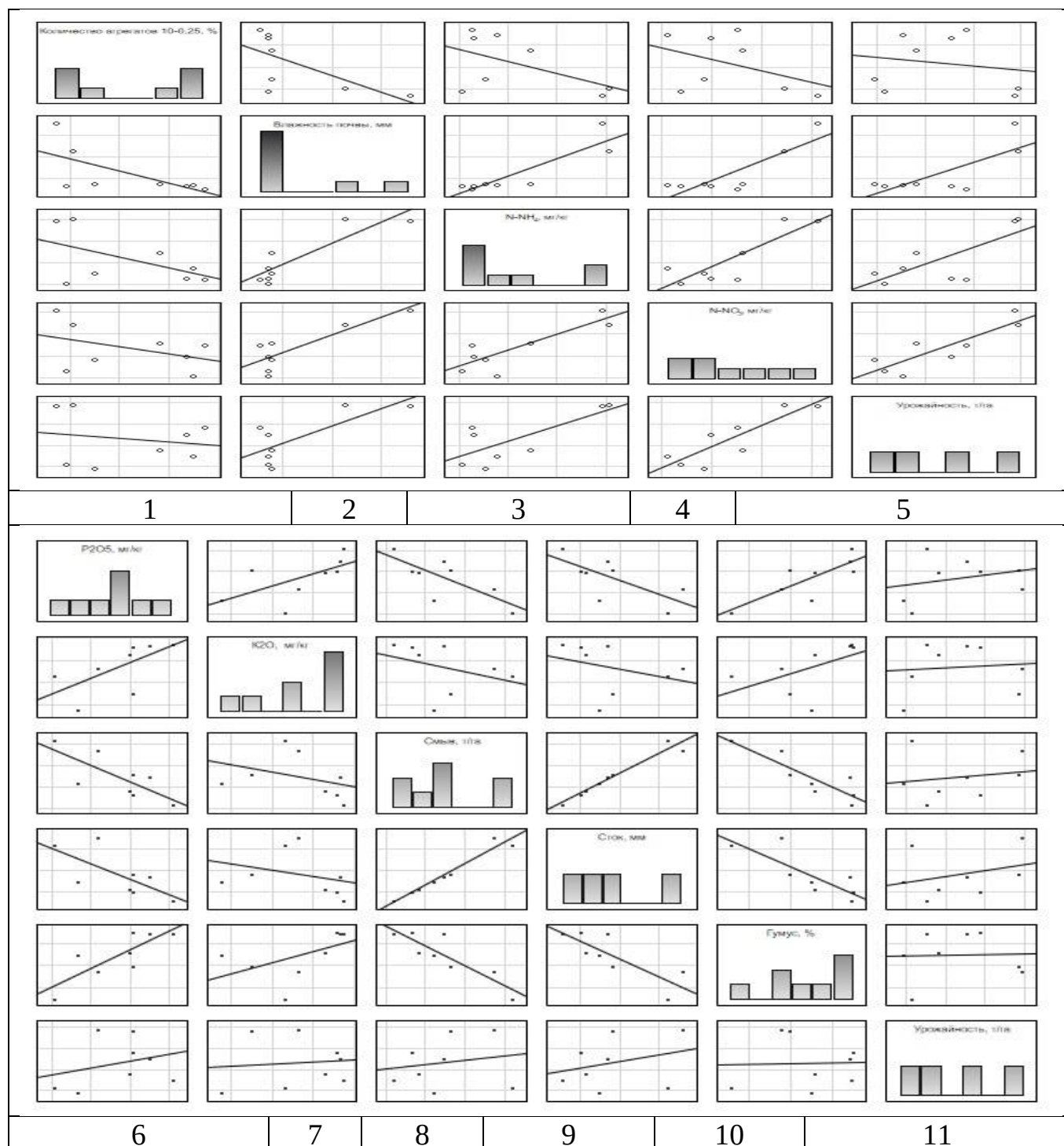


Рисунок 63 – Матричный график зависимости урожайности, т/га (5;11) от количество агрегатов 10-0,25 мм (1); влажность почвы, мм (2); содержания аммонийного, мг/кг (3) и нитратного азота, мг/кг (4); содержания подвижного фосфора, мг/кг (6) и обменного калия, мг/кг (7); гумуса, % (8); стока, мм (9), смыва, т/га (10) и гумус, % (10)

Ниже представлено уравнение множественной регрессии, описывающее параметры почвенного плодородия чернозема обыкновенного среднерозерированного с использованием 9 аргументов (6).

$$Y = 0,18(NH_4) - 0,001(NO_3) - 0,04(P_2O_5) + 0,0015(K_2O) + 0,02(W) + 0,0038(Ag) - 0,63(C) - 0,04(St) + 0,016(Sm) + 2,60; \quad (6)$$

$$R^2 = 0,98.$$

Практический смысл составленной модели состоит в том, что она позволяет прогнозировать будущую урожайность озимой пшеницы при определении агрофизических и агрохимических показателей почвенного плодородия в указанных в таблице пределах (Рисунок 64) (Гаева и Безуглова, 2025с).

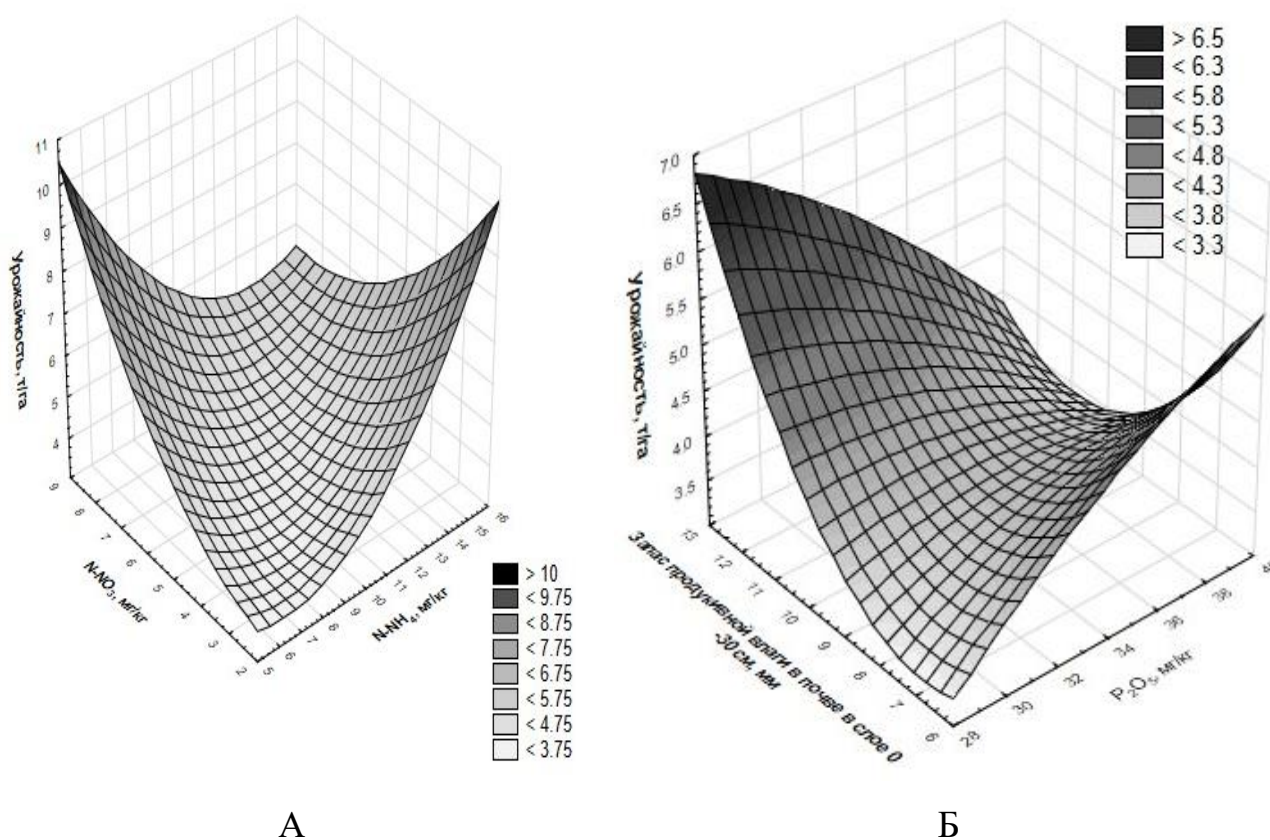


Рисунок 64 – Зависимость урожайности озимой пшеницы от агрохимических показателей почвы (А – содержание нитратного и аммонийного азота, Б – влажность почвы и содержание подвижного фосфора), 2020-2022 гг.

Построенные многомерные модели зависимости урожайности от агрохимических факторов почвы выявили прямую зависимость от азотного режима почвы, влажности почвы и фосфатного режима почвы. При содержании в почве минерального азота свыше 25 мг/кг возможно получить урожайность озимой пшеницы более 10 т/га. При увеличении влажности почвы в слое почвы 0-30 см свыше 40 мм и подвижных фосфатов более 40 мг/кг возможно получить урожайность 6,8 т/га. Так же выявлено большее влияние на урожайность озимой пшеницы влажности почвы, по сравнению с содержанием подвижных фосфатов, что подтверждает положение о достаточном обеспечении чернозема обыкновенного фосфором. Однако в нашем случае пределы составления прогноза ограничены значениями урожайности от 3,32 до 5,8 т/га и содержанием минерального азота в почве – до 14 мг/кг, подвижного фосфора – до 45,0 мг/кг и влажностью почвы в слое почвы 0-30 см до 42 мм. Свыше этих пределов полученные значения не достоверны.

Таким образом, выделены девять интегральных факторов (количество агрегатов 10-0,25, мм; влажность почвы, мм; N-NH₄, мг/кг; N-NO₃, мг/кг; P₂O₅, мг/кг; K₂O, мг/кг; C_{орг.}, %; сток, мм; смыв, т/га), включающих основные параметры почвенного плодородия, влияющие на урожайность озимой пшеницы. На основании выделенных факторов построена модель параметров почвенного плодородия чернозема обыкновенного среднеэродированного.

10 ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИЕМОВ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТИ СЕВООБОРОТОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, РАЗМЕЩЕННЫХ НА ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ СКЛОНАХ

10.1 Эколого-экономическая оценка приемов повышения плодородия

В степной зоне Ростовской области большинство земель подвержено ветровой и водной эрозии. Для предотвращения процессов деградации необходим переход на ландшафтное земледелие. Поэтому одним из важных направлений в успешном развитии адаптивно-ландшафтного земледелия является создание высокопродуктивных агроценозов, которые решают биолого-экологические проблемы современного растениеводства (Васильченко и Гаевая, 2016). Обеспечить агро-эколого-экономическую эффективность природоохранной системы земледелия можно только на основе рационального построения механизированных производственных процессов, научной проработки организационно-экономических мероприятий по их выполнению. Комплексный учет требований, предъявляемых к рациональной организации производственных процессов на склоновых землях, позволяет оптимизировать и рационально использовать основные факторы производства: земельные, материальные, трудовые, финансовые ресурсы и предпринимательство и этим повысить эколого-экономическую эффективность природоохранных систем земледелия (Городецкий, 2012).

Современная агроэкономическая ситуация требует совершенствования систем земледелия, а также внедрения почвозащитных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, основанных на новых методологических принципах. Академик А.Н. Каштанов считает, что без здоровой экологии не может быть здорового производства. В наше время экология и экономика стали неотделимы друг от друга. Общеизвестно, что на данном этапе развития сельскохозяйственной науки стоит задача создания эколого-экономически эффективного производ-

ства, способного решать задачу наращивания производства продукции при одновременном сохранении окружающей среды (Каштанов и др., 1994).

Решению проблемы деградации черноземов обыкновенных от водной эрозии способствует применение почвозащитной обработки почвы, оставляющей на полях растительные остатки сельскохозяйственных культур, которые выполняют почвозащитную роль, снижая сток талых и ливневых вод, и тем самым предотвращая потери органического вещества и питательных элементов почвы (Новикова и Лаханов, 2002).

Применяемая в настоящее время система отвальной обработки почвы ведет к большим потерям влаги в результате испарения. Применение почвозащитных обработок почвы позволяет не только сократить сток и смыв, но также сохранить потери влаги за счет испарения. Оставшаяся стерня и растительные остатки также выполняет роль мульчи, которая предохраняет почву от высыхания.

Эколого-экономическую оценку приемов повышения плодородия почвы проводили с использованием методики: «Эколого-экономической оценки систем земледелия с комплексом противоэрозионных мероприятий» (Полуэктов и др., 2002). На первом этапе рассчитывали потерю со смывом почвы – гумуса и основных элементов питания с учетом их исходного содержания. Затем определяли количество органических и минеральных удобрений, необходимое для внесения компенсационных доз для восстановления плодородия почвы. Это является экологической составляющей оценки систем земледелия. Экономическая составляющая заключается в определении затрат, пошедших на восстановление плодородия в денежном эквиваленте, с последующим расчетом экономической эффективности.

На рисунке 65 приведены потери гумуса в среднем за 30 лет наблюдений с одного гектара пашни в севооборотах различной конструкции в сравнении с контрольным вариантом – отвальной обработкой почвы. Отмечена тенденция увеличения потерь гумуса по мере интенсификации фона удобрений. Наибольшее количество гумуса теряется со стоком и смывом в севообороте «А» с 20 % чистого

пара от 1,7 до 2,2 ц/га, с большими значениями при использовании отвальной обработки почвы (Гаевая и Безуглова, 2024).

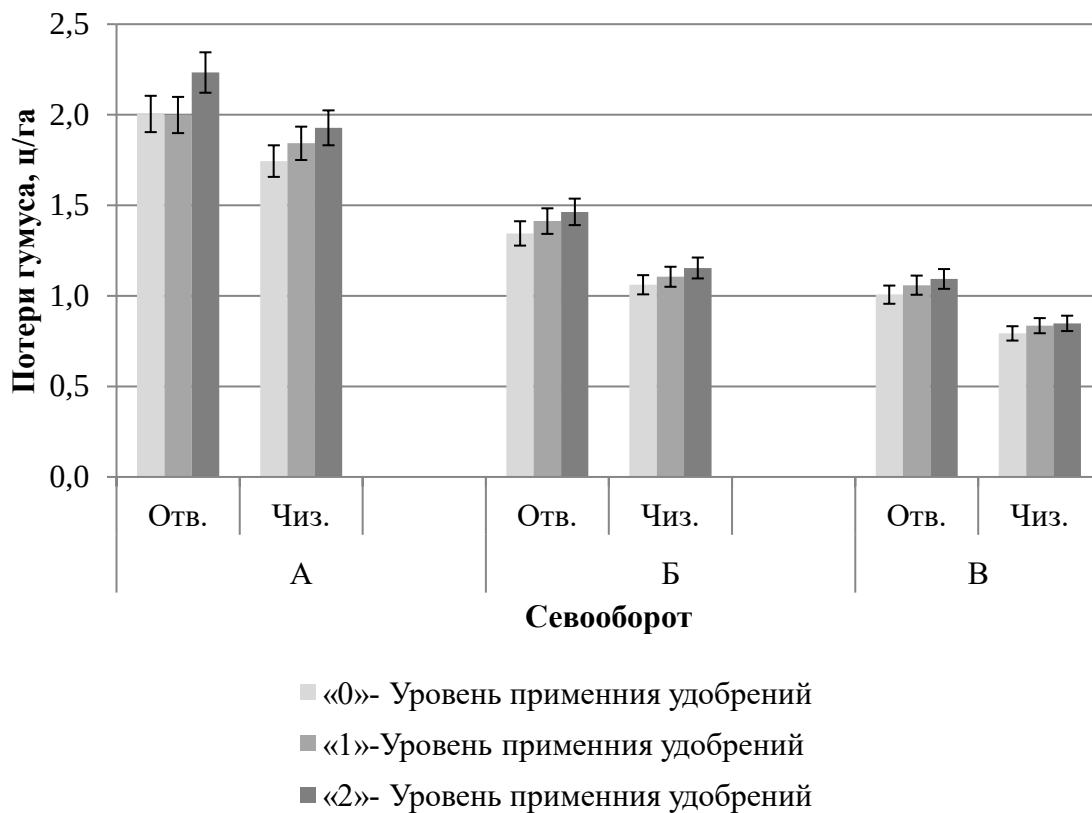


Рисунок 65 – Потери гумуса в севооборотах различной конструкции в зависимости от уровня применения удобрений и агротехнологии возделывания на эрозионно-опасных склонах, ц/га, 1990-2022 гг.

В почвозащитных севооборотах «Б» и «В» потери были сокращены за счет введения многолетних трав до 1,1-1,2 ц/га и 0,8 ц/га (39,2-40,1 % и 54,6-56,0 %, соответственно) и использования почвозащитной обработки.

Обработка почвы также имеет существенное значение при учете потерь гумуса со стоком и смывом. Использование почвозащитных обработок с оставлением на поверхности поля стерни позволяет сократить смыв на 7,8-22,4 %, по сравнению с отвальной обработкой, с большими значениями в севооборотах с 20 и 40 % многолетних трав (Васильченко и Гаевая, 2016).

Одним из способов сохранения и восстановления плодородия в севооборотах на эрозионно-опасных склонах является введение культур, способствующих образованию и накоплению гумуса и элементов питания. Такими культурами яв-

ляются бобовые культуры, имеющие способность к азотфиксации. В севооборотах «Б» и «В» культурами, способными к азотфиксации, являются горох и многолетние травы (эспарцет и люцерна) (Васильченко и Гаевая, 2016).

Экологическое состояние пашни взаимосвязано с её экономическими характеристиками. Поэтому повышение экологической эффективности рассматривается как улучшение качества почвы, позволяющее получать дополнительную продукцию и повышать экономические показатели хозяйств, где большие площади занимают эрозионно-опасные земли, в целом в результате предотвращения ущерба природной среде. При анализе этих потерь выявлена аналогичная тенденция, что и при анализе потерь смытой почвы в результате процессов эрозии. Наибольшее количество основных элементов питания со смывом теряется в севообороте с наличием поля чистого пара и высоким уровнем питания растений: азота – 12,6 кг/га; фосфора – 9,8 кг/га; калия – 157 кг/га при использовании отвальной обработки почвы (Васильченко и Гаевая, 2016) (Рисунок 66).

Наименьшие потери были отмечены в севообороте «В», имеющем в структуре посевных площадей почвозащитный компонент – многолетние травы, способный сократить, а в некоторых случаях полностью предотвратить процессы эрозии. Потери азота в этом севообороте составляли 4,3-6,0 кг/га; фосфора – 3,2-4,7 кг/га; калия – 47-75 кг/га с большими значениями при внесении повышенных доз удобрений и при использовании отвальной обработки почвы. Роль севооборотов в снижении процессов деградации также была существенной. В среднем потери основных элементов питания в севообороте «В» были меньше на 52,3 %, в севообороте «Б» – на 34,4 %, чем в контрольном севообороте «А».

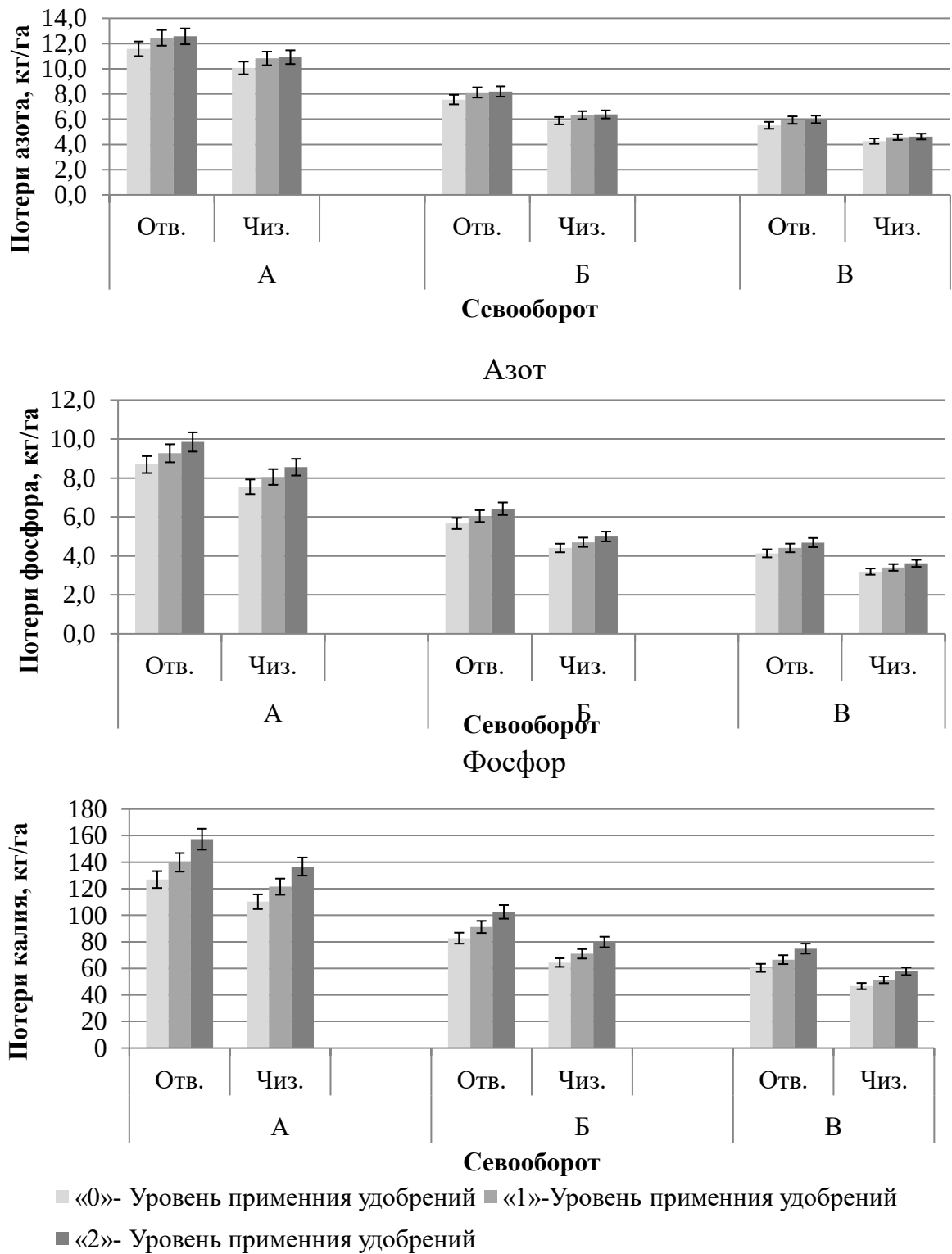


Рисунок 66 – Потери основных элементов питания в севооборотах различной конструкции в зависимости от уровня применения удобрений и агротехнологии возделывания культур на эрозионно-опасном склоне, кг/га, 1990-2022 гг.

Для оценки ущерба от водной эрозии была рассчитана компенсация годового ущерба гумуса и основных элементов питания. Для этого было рассчитано ко-

личество минеральных удобрений, которое необходимо вносить в почву для компенсации потерь помимо установленных доз вносимых удобрений под культуру. Затем полученное количество удобрений было переведено в денежное выражение. Расчет производили в ценах 2022 года.

В натуральном и денежном выражении наименьшие затраты на восстановление почвенного плодородия отмечены в севооборотах с многолетними травами, не имеющих в структуре посевных площадей поля чистого пара, которые составляют 4,2-6,4 тыс. руб. В севообороте с 20 % чистого пара эти затраты составляют 9,7-13,4 тыс. руб., с большими значениями при внесении повышенных доз удобрений (Таблица 85).

Таблица 85 – Компенсация удобрениями годового ущерба от потери основных элементов питания в севооборотах различной конструкции в зависимости от уровня применения удобрений и агротехнологий возделывания культур на эрозионно-опасном склоне, 1990-2022 гг.

Севооборот	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Годовой ущерб от потери основных элементов питания в пересчете на удобрения				Компенсация ущерба от потери элементов питания, тыс. руб.
			навоз, ц/га	азотные, кг/га	фосфорные, кг/га	калийные, кг/га	
А	0	Отв.	19,0	34,1	16,7	212	11,2
		Чиз.	17,4	29,6	14,5	184	9,7
	1	Отв.	20,0	36,6	17,8	234	12,1
		Чиз.	18,4	31,8	15,5	203	10,6
	2	Отв.	22,3	37,0	18,9	263	13,4
		Чиз.	19,3	32,1	16,4	228	11,6
Б	0	Отв.	13,4	22,2	10,9	138	7,3
		Чиз.	10,6	17,3	8,5	108	5,7
	1	Отв.	14,1	23,9	11,6	152	8,0
		Чиз.	11,1	18,6	9,0	119	6,2
	2	Отв.	14,6	24,1	12,3	171	8,7
		Чиз.	11,5	18,8	9,6	133	6,8
В	0	Отв.	10,1	16,2	7,9	101	5,4
		Чиз.	7,9	12,5	6,1	78	4,2
	1	Отв.	10,6	17,4	8,5	111	5,9
		Чиз.	8,4	13,5	6,5	86	4,5
	2	Отв.	10,9	17,6	9,0	125	6,4
		Чиз.	8,5	13,6	7,0	97	5,0

С уменьшением доли чистого пара и введением культур сплошного сева в севооборотах происходит повышение устойчивости к процессам водной эрозии, и как результат – снижение денежных затрат на компенсацию ущерба в 1,5-2,3 раза.

Аналогичная тенденция отмечена и с компенсационными дозами удобрений. В севообороте «А» необходимо внести дополнительно для восстановления плодородия в среднем ежегодно: навоза – 17,4-22,3 ц/га; азота – 29,6-37,0 кг/га; фосфора – 14,5-18,9 кг/га; калия – 184-263 кг/га. В севооборотах «Б» и «В» с различной долей многолетних трав внесение компенсационных доз удобрений было снижено на 33,9-41,4 и 51,5-57,4 % соответственно. В этом и проявляется экологический эффект влияния многолетних трав на процессы деградации почвы. Помимо этого, в почвозащитных севооборотах также присутствует 20 % озимой пшеницы, которая также способна в зимней период защищать почву от стока и смыва.

Роль почвозащитной обработки так же сказалась на сокращении процессов эрозии. Замена отвальной обработки почвы на почвозащитную, в севообороте с 20 % чистого пара, сократила потери основных элементов питания на 13,1 %, а введение в структуру почвозащитного севооборота различной доли многолетних трав на 22,2-22,7 %. Экологический эффект (предотвращение потери почвы) от применения обработок на эрозионно-опасных склонах может быть оценен по экономии затрат на восстановление плодородия почв, утраченного в результате процессов эрозии. Экономия ресурсов была в снижении затрат на обработку почвы, заработную плату и на дизельное топливо. Использование чизельной обработки почвы позволяет сэкономить до 16 % горюче-смазочных материалов и до 18 % заработной платы (Васильченко и Гаевая, 2016; 2017).

Эффективность почвозащитных мероприятий была оценена по нескольким показателям, одним из которых была эколого-экономическая эффективность, которая рассчитывалась как отношение стоимости предотвращенных потерь (от эрозии или других экологических осложнений) к затратам энергии, пошедшее на их предотвращение. Стоимость произведенной продукции в зерновых единицах приравнивали к стоимости озимой пшеницы, как эталонной единицы.

В сумме прямые затраты с учетом затрат на компенсацию годового ущерба от водной эрозии в севооборотах составили 27,0-43,1 тыс. руб. с большими значениями в севообороте «А» при применении повышенных доз удобрений. В почво-защитных севооборотах «Б» и «В» суммарные прямые затраты и затраты на возмещение ущерба от эрозии были ниже на 13,4-21,3 и 12,0-20,3 % соответственно (Таблица 86).

Таблица 86 – Эколого-экономическая эффективность севооборотов различной конструкции в зависимости от уровня применения удобрений на эрозионно-опасных склонах, 1990-2022 гг.

Показатель	Уровень применения удобрений	Севооборот					
		А		Б		В	
		Отв.	Чиз.	Отв.	Чиз.	Отв.	Чиз.
Производственные затраты, тыс. руб./га	0	25,2	23,8	24,7	23,3	24,2	22,9
	1	27,4	25,0	26,6	24,3	25,8	23,5
	2	29,7	27,3	28,8	26,5	27,9	25,7
Затраты на возмещение ущерба от эрозии, тыс. руб./га	0	11,2	9,7	7,3	5,7	5,4	4,2
	1	12,1	10,6	8,0	6,2	5,9	4,5
	2	13,4	11,6	8,7	6,8	6,4	5,0
Всего затрат, тыс. руб./га	0	36,4	33,5	32,0	29,0	29,6	27,0
	1	39,5	35,6	34,6	30,5	31,6	28,1
	2	43,1	38,9	37,5	33,3	34,3	30,6
Продуктивность, т зерн. ед./га	0	2,83	2,75	3,16	3,12	3,03	2,91
	1	3,48	3,44	3,84	3,78	3,64	3,54
	2	3,91	3,87	4,29	4,23	4,08	4,00
Себестоимость продукции, тыс. руб.	0	12,9	12,2	10,1	9,3	9,8	9,3
	1	11,3	10,3	9,0	8,1	8,7	7,9
	2	11,0	10,0	8,7	7,9	8,4	7,7
Стоимость произведенной продукции, тыс. руб.	0	56,5	55,0	63,2	62,3	60,6	58,2
	1	69,6	68,9	76,7	75,7	72,8	70,7
	2	78,2	77,5	85,9	84,6	81,6	80,1
Условный чистый доход, тыс. руб./га	0	20,1	21,5	31,2	33,3	31,0	31,2
	1	30,2	33,3	42,2	45,2	41,2	42,7
	2	35,2	38,5	48,3	51,3	47,2	49,4
Рентабельность, %	0	55,3	64,1	97,3	114,6	104,8	115,5
	1	76,4	93,6	122,1	148,4	130,2	152,1
	2	81,6	99,0	128,7	154,1	137,5	161,4

Наименьшая себестоимость 1 т продукции получена на повышенном уровне применения удобрений в севообороте «В» (7,7-8,4 руб.), что на 23,5-23,9 % и 2,8-3,8 % меньше, чем в севооборотах «А» и «Б». Наибольший условный чистый до-

ход также был отмечен в севооборотах с 20 и 40 % многолетних трав и составил 31,2-51,3 тыс. руб. и 31,0-49,4 тыс. руб., что в 1,3-1,6 раза больше, чем в севообороте «А». Применение минеральных удобрений в повышенных дозах приводит к существенному увеличению прямых затрат и снижению рентабельности, но за счет повышения урожайности условный чистый доход возрастает (Вошедский и др., 2022).

Стоимость произведенной продукции была наибольшая в севообороте «Б» составила 62,3-85,9 тыс. руб. с большими значениями на повышенном уровне применения удобрений, что больше чем в севообороте «А» на 8,4-11,8 %, и на 4,1-6,6 % – в севообороте «В».

На контроле без внесения удобрений рентабельность произведённой продукции составила 55,3-64,1 % (севооборот «А»). Применение минеральных удобрений в средних и повышенных дозах позволяет получить высокую прибавку урожая, а соответственно и увеличить рентабельность в севообороте «А» на 38,1-54,5 % (фактические значения рентабельности – 76,4-99,0 %). В почвозащитных севооборотах с 20 и 40 % многолетних трав рентабельность соответственно была выше на 55,6-80,2 и 63,0-89,5 %.

Это подтверждает эффективность почвозащитных мероприятий по защите почв от эрозии в севооборотах «Б» и «В». В результате снижения эрозионных процессов сохраняется плодородие почвы, и как следствие, увеличивается урожайность. Снижение процессов деградации приводит к сокращению затрат на компенсацию удобрениями потерь плодородия почвы и повышению рентабельности возделывания сельскохозяйственных культур.

Одной из характеристик, используемых для оценки эффективности технологии возделывания сельскохозяйственных культур, является окупаемость прямых затрат урожаем (Рисунок 67).

При оценке экономической эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур важным экономическим показателем является окупаемость произведенных затрат урожаем в стоимостном выражении. Максимальные значения окупаемости затрат были получены в севообороте «В» с 40 % многолет-

них трав и при внесении удобрений в повышенных дозах (2,3-2,6 руб. на рубль затрат). Несколько ниже получена окупаемость прямых затрат урожаем в севообороте «Б» с 20 % многолетних трав (2,2-2,5 руб. на рубль затрат), при той же дозе внесения удобрений. Самая низкая окупаемость прямых затрат урожаем была получена в севообороте «А». (1,8-2,0 руб. на рубль затрат).

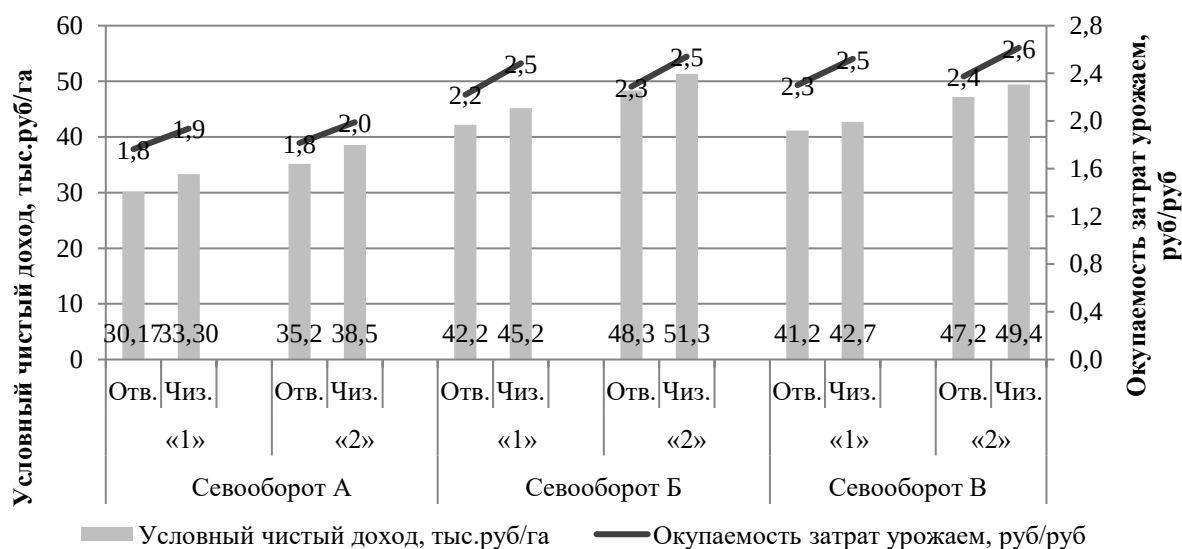


Рисунок 67 – Эколого-экономическая эффективность севооборотов различной конструкции в зависимости от уровня применения удобрений и приемов обработки почвы на эрозионно-опасном склоне, 1990-2022 гг.

Таким образом, на эрозионно-опасных склонах использование почвозащитной технологии возделывания сельскохозяйственных культур (севообороты с 20 и 40 % многолетних трав и почвозащитная обработка почвы) сокращает потери органического вещества на 39,2 и 54,7 %, снижает денежные затраты на компенсацию ущерба в 1,7-2,3 раза. Наиболее высокий эколого-экономический эффект был получен в севообороте «Б» с 20 % многолетних трав, выраженный в экономии средств на 22,1 %, используемых на восстановление почвенного плодородия, возросшей рентабельности производства на 148-154 %, условно чистого дохода на 45,2–51,3 тыс. руб./га и окупаемости затрат произведенной продукцией 2,48-2,54 руб./руб.

10.2 Биоэнергетическая оценка приемов повышения плодородия почвы

Одна из основных задач сельскохозяйственного производства состоит в том, чтобы добиться в короткий срок значительного увеличения сбора зерновой продукции (Вражнов и Шаталина, 2011). Выполнение этой задачи зависит от общей культуры земледелия, основу которой составляют научно обоснованные севообороты, соответствующие принятой структуре посевных площадей и отвечающие почвенно-климатическим условиям зоны возделывания (Митрофанов, 2019; Никитин и др., 2015; Еремина и Кутькина, 2018). Ресурсосберегающая система обработки почвы позволяет решить серьезные проблемы: предотвратить эрозию, увеличить накопление в почве продуктивной влаги, усилить процессы восстановления плодородия почвы и сократить затраты энергии (Сатаров, 2015; Бурлуцкий, 2014; Антонов и Ермолаев, 2018).

Отношение совокупного содержания энергии в урожае к общим затратам техногенной и антропогенной энергии в севооборотах следует считать их энергетической эффективностью. В условиях ландшафтного земледелия энергетическая оценка севооборотов необходима и для установления размера затрат энергии в связи с более сложной организацией территории агроландшафтов, и для выявления размеров использования энергии на производство единицы продукции в системе земледелия более высокой организационной и технологической категории. Энергетическая оценка как затрат на производство продукции (трудовых, техногенных, материальных), так и продукции, полученной с гектара севооборотной площади, осуществляется в энергетических единицах и является наиболее стабильной оценкой (Зеленский и др., 2005; Цугленок и Ивченко, 2006).

Полевые севообороты рекомендуется оценивать по следующим показателям: накопление потенциальной энергии (органического вещества) сельскохозяйственных растений на единице площади, совокупные затраты энергоресурсов и энергетическая эффективность севооборотов (Черкасов и др., 2017).

Концепция совершенствования севооборотов предполагает разработку основных положений их конструирования, и сам процесс совершенствования может

осуществляться: а) на основе оптимизации структуры посевных площадей; б) на основе существенного повышения уровня почвенного плодородия; и в) как способ более надёжного предотвращения эрозионных процессов и других экологических осложнений. В ландшафтном земледелии все три позиции носят системный характер и направлены на интенсификацию производства (Гаевая, 2020а; Оруджева, 2009; Кузнецов, 2018; Mondal et al., 2013).

Наиболее важной задачей земледелия является снижение затрат энергии, которая решается с помощью основной обработки, являющейся наиболее энергоёмкой. С её помощью решается ряд вопросов: подготовка почвы к посеву, борьба с сорными растениями, болезнями и вредителями, накопление и сохранение влаги (Кузыченко и др., 2017; Кузыченко, 2018; Антонов и Ермолаев, 2018, Сатаров, 2015; Recasens et al., 2016).

На обработку почвы приходится 40-50 % всех энергетических затрат по выращиванию культуры (Карпов и Асмус, 2007). Максимальную эффективность в ресурсосбережении можно получить заменой отвальной вспашки на менее затратное плоскорезное или безотвальное рыхление, сокращающие затраты на 15-20 % (Цугленок и Ивченко, 2006). Также остается нерешенным вопрос о необходимости вспашки с оборотом пласта, ежегодной или периодической, и менее изучена глубина основной обработки (Постников и др., 2017).

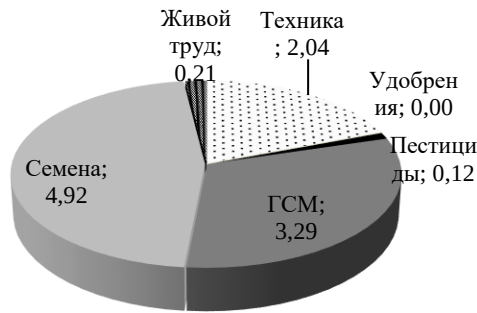
Затраты совокупной энергии при возделывании сельскохозяйственных культур в севооборотах различных конструкций складываются из энергии всех видов горюче-смазочных материалов, энергии на производство и применение минеральных удобрений и пестицидов, электроэнергии, энергии на производство и применение сельскохозяйственных машин, автотранспорта, энергии на хранение и доработку семенного материала, а также выполненных трудовыми ресурсами (Удалов и др., 2008).

Если затраты совокупной энергии принять за 100 %, то можно найти долю затрат, идущих на выполнение той или иной операции. Все затраты были определены по технологическим картам и переведены с использованием коэффициентов в энергетические единицы, выраженные в ГДж (Удалов и др., 2008). Наибольший

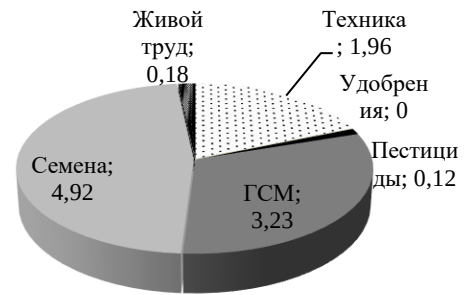
удельный вес в структуре затрат на производство различных культур приходится на семена и горюче-смазочные материалы. Эти затраты составляют более 30 % от общей суммы затрат (Гаевая, 2020б). Так, если общие затраты на возделывание культур в среднем по севооборотах колеблются от 9,8 до 16,3 ГДж, то из них затраты на горюче-смазочные материалы (ГСМ) и удобрения составляют 3,2-6,2 ГДж (31,0-42,8 %) и 3,4-4,9 ГДж (22,5-46,5 %) соответственно. Причем особенно высокий процент обнаруживается на вариантах без внесения удобрений (Рисунки 68-70, Приложение А61).

Применение различных агротехнологий позволяет сократить не только энергетические ресурсы, но также и затраты, связанные с восстановлением почвенного плодородия и предотвращением процессов деградации. Сокращение затрат на возделывание сельскохозяйственных культур возможно при использовании ресурсосберегающих систем обработки почвы. На эрозионно-опасных склонах такими являются почвозащитные обработки, позволяющие экономить энергию на производство и применение сельскохозяйственных машин на 3,8-5,7 %. Наибольший резерв в экономии затрат на получение сельскохозяйственной продукции приходится на экономию горюче-смазочных материалов (ГСМ). Применение чизельной обработки почвы позволяет экономить от 1,9 до 9,7 % ГСМ (Гаевая, 2020б).

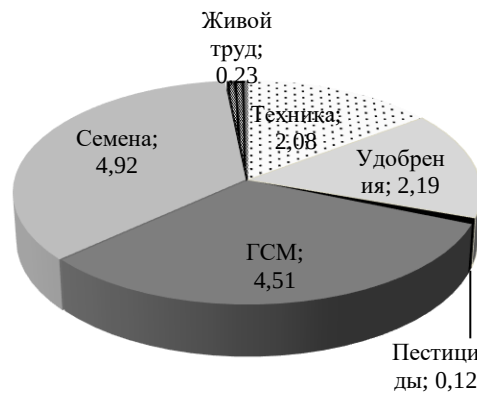
Следующая наиболее затратная статья – это удобрения. С увеличением дозы внесения удобрений увеличиваются и затраты от 1,91 до 3,46 ГДж (13,9-22,7 %). Но без удобрений, как известно, получить высокие урожаи невозможно. Также удобрения поддерживают плодородие почвы, пополняя основные элементы питания, вынесенные с урожаем. Поэтому сокращать внесение удобрений экономически нецелесообразно. Затраты на пестициды в большей степени зависят от набора культур в севообороте и составляют 1,0-3,0 %. Затраты на трудовые ресурсы не превышали в структуре затрат 1,5-2,2 %, но зависели от величины собранного урожая (Гаевая, 2020б).



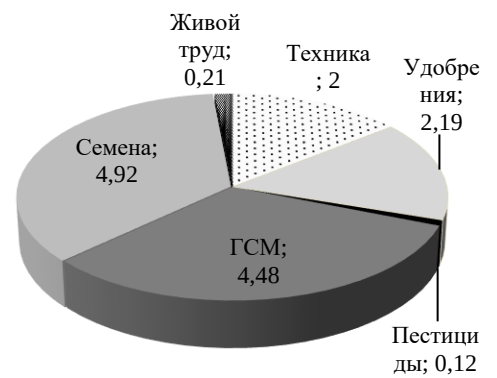
Уровень питания «0»



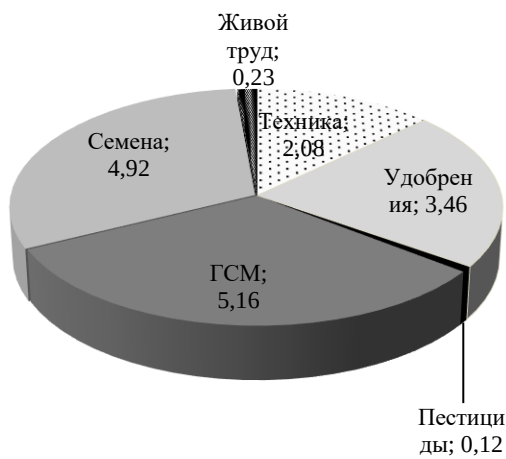
Уровень питания «0»



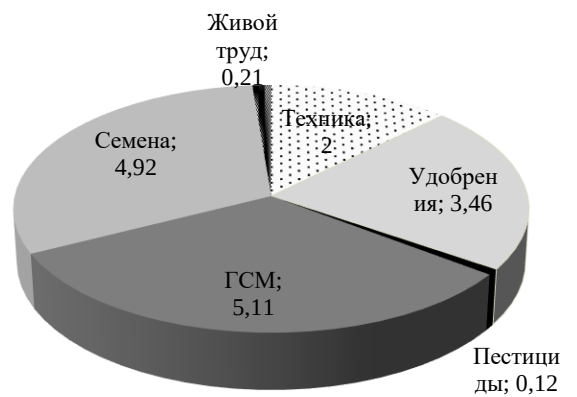
Уровень питания «1»



Уровень питания «1»



Уровень питания «2»

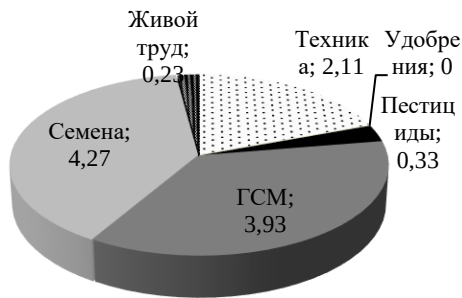


Уровень питания «2»

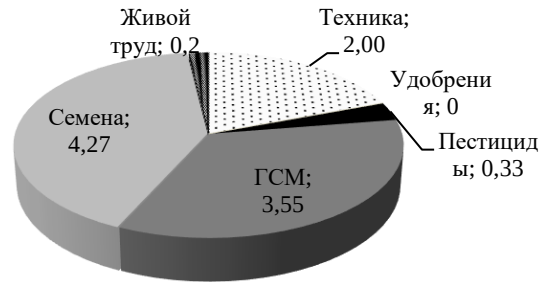
Отвальная обработка

Чизельная обработка

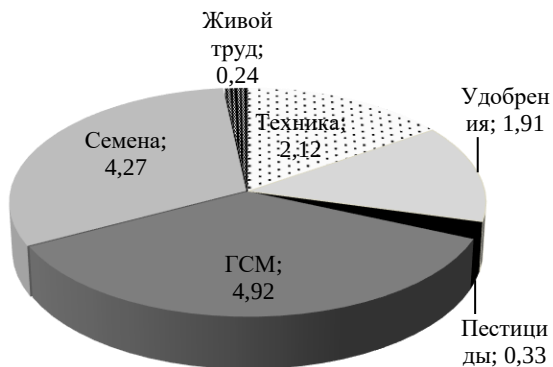
Рисунок 68 – Структура затрат элементов технологии, возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте «А», ГДж/га, 2015-2019 гг.



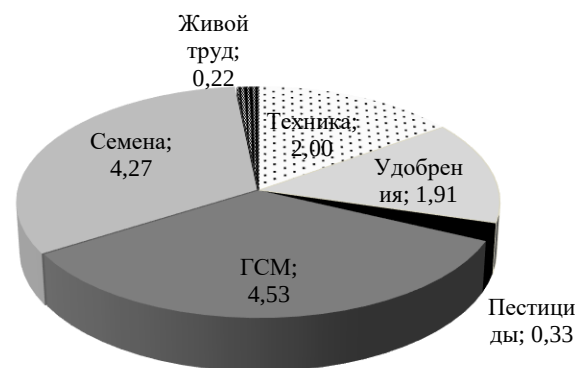
Уровень питания «0»



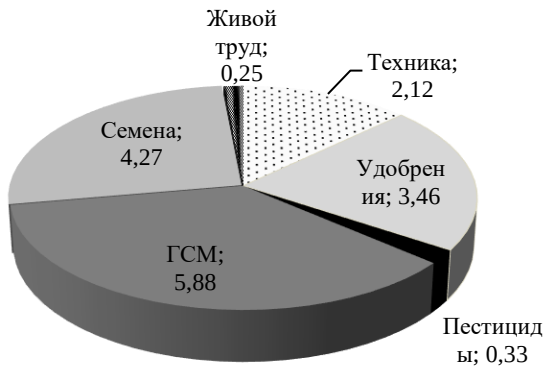
Уровень питания «0»



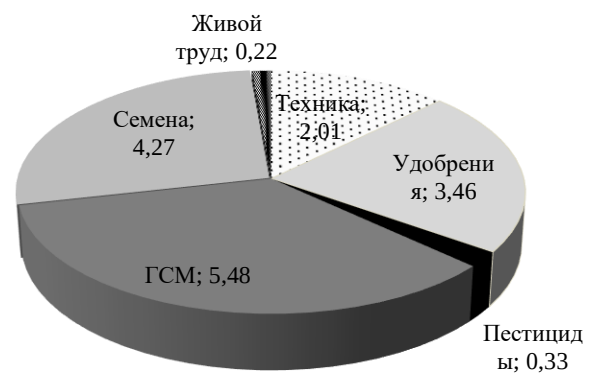
Уровень питания «1»



Уровень питания «1»



Уровень питания «2»



Уровень питания «2»

Отвальная обработка

Чизельная обработка

Рисунок 69 – Структура затрат элементов технологии, возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте «Б», ГДж/га, 2015-2019 гг.

Наибольшие суммарные затраты при выполнении технологических операций были в севообороте «А» с 20 % чистого пара в варианте с отвальной обработкой.

кой почвы. С увеличением дозы внесения удобрений совокупные затраты увеличивались с 10,6 ГДж/га в варианте естественного плодородия до 14,1-16,0 ГДж/га на среднем и повышенном уровне применения удобрений (Гаевая, 2020б).

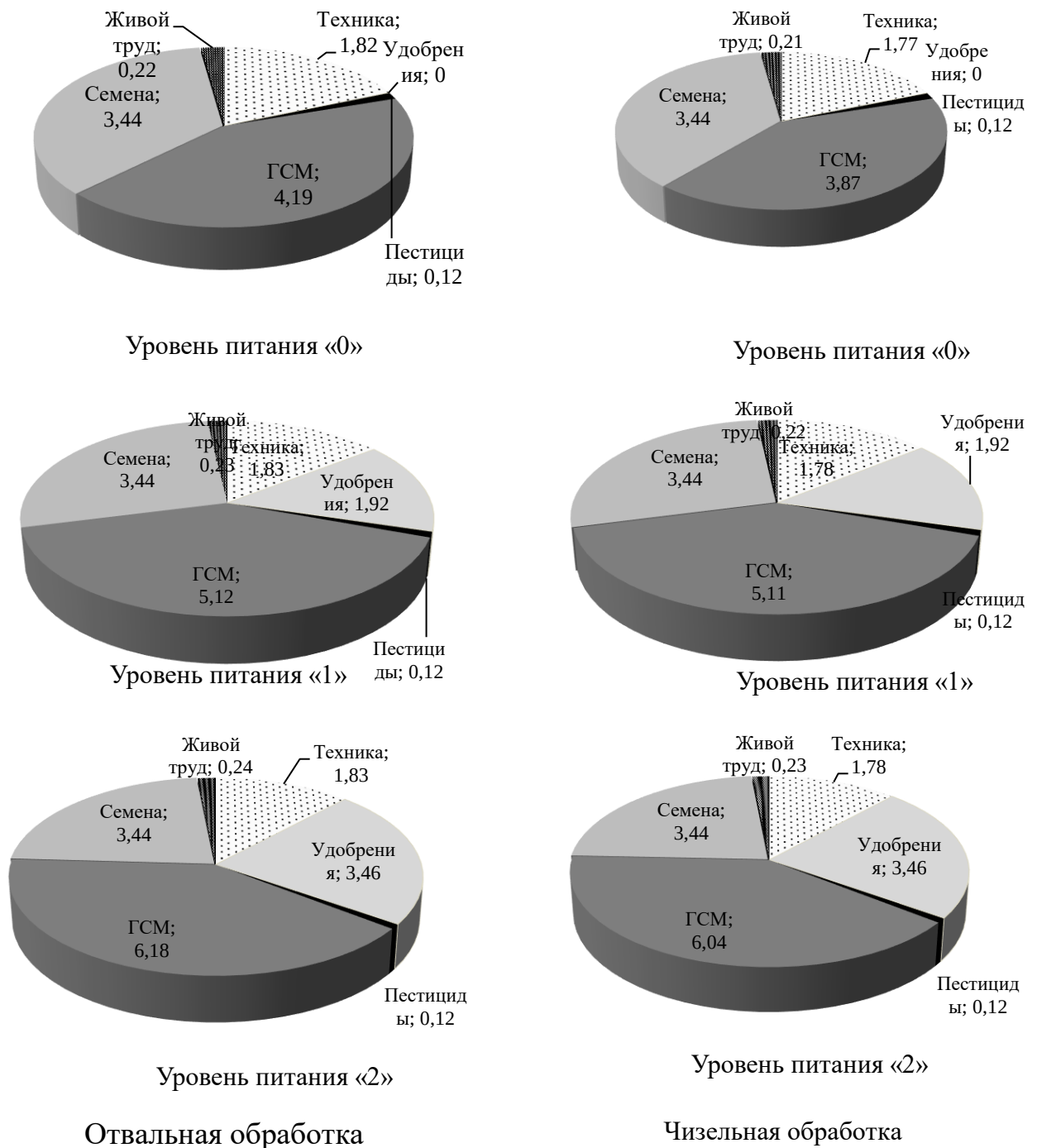


Рисунок 70 – Структура затрат элементов технологии, возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте «В», ГДж/га, 2015-2019 гг.

Введение в структуру севооборота 20 % многолетних трав (севооборот «Б») и отсутствие поля чистого пара выявило аналогичную тенденцию. Увеличение

доли многолетних трав в севообороте «В» до 40 % позволило сократить суммарные затраты на 1,0-1,4 ГДж/га по сравнению с севооборотом «А». Сокращение затрат на производство культур в севооборотах с многолетними травами связано с сокращением количества технологических операций на производство единицы продукции (Гаевая, 2020б). В варианте с чизельной обработкой почвы затраты энергии на возделывание культур составляли: в севообороте «А» – 10,6-16,0 ГДж/га, в севообороте «Б» – 10,9-16,3 ГДж/га, севообороте «В» – 9,8-15,3 ГДж/га, что меньше по сравнению с отвальной на 1,0-1,6; 3,3-4,8 и 1,3-3,9 % соответственно. Экономия затрат энергии на возделывание культур, рассчитываемая на гектар, выраженная в процентах, не велика, однако в масштабах всего хозяйства получаются значительные суммы.

Поэтому чизельную обработку почвы можно рекомендовать не только как почвозащитную, но еще и как энергосберегающую. Сбережение энергетических ресурсов также проявляется не только в экономии горюче-смазочных материалов, но и в сокращении эрозионных процессов и, как следствие, сохранении плодородия почвы.

Изучение продуктивности севооборотов, размещённых на эрозионно-опасных склонах крутизной до 3,5-4°, осуществляли в пятипольных севооборотах различной конструкции, с различным соотношением культур и чистого пара.

Продуктивность севооборотов оценивали по энергии, накопленной в урожае. Наиболее сбалансированной структурой отличался севооборот «Б», продуктивность которого была выше, чем севооборота «А» на 50,6-58,2 % и выше, чем севооборота «В» на 19,9-23,7 %. Сравнение продуктивности севооборота «А» с севооборотом «В» выявило преимущество последнего, а разница составляла 20,6-21,5 %. Севооборот «А» уступает по продуктивности в связи с тем, что структура посевов в нём недостаточно адаптивна к эрозионно-опасным условиям склона, и паровое поле значительно снижает его возможности в обычные по влагообеспеченности годы. Тогда как в засушливые годы по чистому пару возможно получить стабильный урожай зерна озимой пшеницы высокого качества (Гаевая, 2020 б) (Таблица 87).

В значительной мере продуктивность севооборотов зависит от уровня применения удобрений. Внесение удобрений в средних дозах на гектар севооборотной площади увеличивает энергию, накопленную в урожае, от 8,6 до 10,7 %, а в повышенных – на 20,5-25,9 %. Относительно небольшое различие между показателями продуктивности на среднем и повышенном уровнях применения удобрений (9,1-10,1 %) указывает на более высокий эффект от внесения удобрений в средних дозах их использования в сравнении с возделыванием на естественном фоне, а также на возможность дальнейшего повышения продуктивности, но более высокой ценой (Гаевая, 2020б).

Таблица 87 – Энергетическая оценка севооборотов в зависимости от уровня применения удобрений, ГДж/га, 2015-2019 гг.

Показатель	Уровень применения удобрений	Севооборот					
		А		Б		В	
		О	Ч	О	Ч	О	Ч
Энергия, накопленная в урожае, ГДж/га	«0»	34,2	34,8	54,1	57,7	41,3	42,4
	«1»	42,8	44,4	65,2	68,2	52,0	52,8
	«2»	47,6	49,4	71,7	74,4	57,4	58,8
Затраты совокупной энергии, ГДж/га	«0»	10,6	10,4	9,8	9,4	10,9	10,3
	«1»	14,0	13,9	12,7	12,6	13,8	13,3
	«2»	16,0	15,8	15,3	15,1	16,3	15,8
Энергоемкость продукции, ГДж/га	«0»	4,7	4,4	3,1	3,0	4,0	3,9
	«1»	5,3	5,0	3,8	3,6	4,5	4,2
	«2»	5,6	5,2	4,2	4,0	4,6	4,4
Прирост энергии в урожае сухого вещества, ГДж/га	«0»	23,6	24,4	44,3	48,3	30,4	32,1
	«1»	28,8	30,5	52,5	55,6	38,2	39,5
	«2»	31,6	33,6	56,4	59,3	41,1	43,0
Энергетическая эффективность, Е	«0»	3,2	3,3	5,5	6,1	3,8	4,1
	«1»	3,0	3,2	5,1	5,4	3,8	4,0
	«2»	3,0	3,1	4,7	4,9	3,5	3,7

Энергоемкость продукции характеризует количество энергии, которое расходуется на получение единицы урожая. Энергоемкость продукции вычисляется как отношение затрат совокупной энергии к урожайности абсолютно сухого вещества (Удалов и др., 2008). Наименее энергоемкая продукция получена в севообороте «Б» (3,0-4,2 ГДж/га). Наибольшая энергоемкость продукции получена в

севообороте с 20 % чистого пара по отвальной (4,4-5,6 ГДж/га). Севооборот «В» занимал промежуточное положение (Гаевая, 2020б).

Прирост энергии в урожае сухого вещества получается из разницы энергии, накопленной в урожае, и затрат совокупной энергии. Чем больше прирост, тем экономичнее и прогрессивнее технология выращивания культуры. Наибольший прирост энергии в урожае отмечен в севообороте «Б» (44,3-56,4 ГДж/га). Внесение удобрений в средних дозах увеличивает прирост энергии в этом же севообороте на 18,6-25,6 %, а в повышенных дозах – на 15,3-59,9 % по сравнению с «0» уровнем применения удобрений. В севообороте «А» прирост энергии в урожай в 1,8-2,0 раза меньше, в севообороте «В» – в 1,4-1,5 раза, чем в севообороте «Б».

Энергетической эффективностью севооборотов следует считать отношение совокупного содержания энергии в урожае к общим затратам техногенной и природной энергии. В условиях ландшафтного земледелия энергетическая оценка севооборотов необходима и для установления затрат энергии в связи с более сложной организацией территории агроландшафтов, а также для определения размеров энергетического потенциала более высокой продуктивности и необходимой для этого более совершенной технологией (Гаевая, 2020б).

Севооборот, как основная организационно-агрономическая категория в земледелии, совершенствуется в связи с корректировкой производственных затрат сельскохозяйственных предприятий, прогрессивными изменениями в технологиях возделывания культур, а также в целях более полного использования природных и техногенных ресурсов (Печенина, 2014).

Продуктивность севооборотов зависит от структуры посевов, которая должна быть адаптивной к почвенно-климатическим условиям, насыщения их ведущими культурами в агрономически обоснованных пределах, от плодородия почвы, сохранение которого возможно при использовании ландшафтной организации территории.

Таким образом, наиболее сбалансированной структурой посевных площадей отличался севооборот «Б», содержащий в структуре посевов 20 % многолетних трав, и севооборот «В» (40 % многолетних трав), продуктивность которых

выше, чем севооборота «А» соответственно на 50,6-58,2 % и на 19,9-23,7 %. Наименьшие суммарные затраты на производство продукции имели место в севообороте «Б» (9,8-15,3 ГДж/га), а энергетическая эффективность была наиболее высокая (4,7-5,5). Энергетическая эффективность севооборота «Б» выше, чем севооборота «А» на 57,5-70,7 %, и выше, чем севооборота «В» на 25,0-31,2 %. Внесение удобрений в средних и повышенных дозах соответственно увеличивает энергию, накопленную в урожае, на 8,6-10,7 и 20,5-25,9 %, а также способствует сохранению плодородия почвы. Почвозащитная обработка позволяла экономить энергию, затраченную на производство продукции от 4,8 до 9,7 %. Использование чизельной обработки почвы, как ресурсосберегающей и почвозащитной, сокращающей процессы эрозии, увеличивает коэффициент энергетической эффективности на 3,4-11,1 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На склоне крутизной 3,5-4° выявлена тесная зависимость ($R^2=0,78-0,89$) между стоком талых и ливневых вод и смывом почвы, при увеличении стока воды на 1 мм увеличивается смыв почвы на 0,11-0,27 т/га. Контурно-полосная организация территории склона в зависимости от доли многолетних трав в севообороте позволяет сократить сток талой и ливневой воды на 33,9-56,3 %, смыв почвы на 35,0-52,5 %. Применение почвозащитной обработки (чизельной) сокращает сток воды на 20,0-23,9 %, смыв – на 13,0-20,6 %. Долгосрочный прогноз с использованием автоматизированной нейронной сети при сохранении существующих условий выявил общую тенденцию затухания процессов эрозии на склонах означенной крутизны с различной степенью интенсивности в зависимости от конструкции почвозащитных севооборотов и приема обработки почвы.

2. Ретроспективный анализ структурного состояния чернозема обыкновенного выявил уменьшение в результате длительного землепользования содержания доли глыбистых агрегатов за счет увеличения вклада пылеватой фракции. Применение чизельной обработки почвы ведет к увеличению доли крупно глыбистых агрегатов на 10,2-21,7 % и мезоагрегатов (0,25-7 мм) на 3,0-21,3 %, а также росту $K_{стр.}$ и СВД по сравнению с отвальной вспашкой. В результате использования анализа главных компонент были выявлены структурные отдельности, вносящие наибольший вклад в почвообразовательный процесс. Определены закономерности распределения структурных отдельностей агрочерноземов, влияющие на водоустойчивые свойства и приводящие к процессам деградации. При разрушении крупноглыбистых агрегатов (>10 и 7-10 мм) увеличивается доля фракций мелкого размера (0,5-1,0 мм и 0,25-0,5 мм).

3. Сток талой воды имеет тесную зависимость с высотой снегового покрова и запасом воды в снеге. Высота снегового покрова увеличивается по мере снижения интенсивности основной обработки. Сток ливневой воды определяется водопроницаемостью черноземов обыкновенных и зависит от предшественника, приемов обработки почвы и сроков ее определения. Выявлена обратная зависи-

мость инфильтрации от плотности сложения и влажности почвы ($r = -0,6-0,9$), прямая – от количества водоустойчивых агрегатов ($r = 0,7-0,9$). Полученные уравнения могут быть использованы при проектировании систем земледелия на ландшафтной основе и организации мелиоративных мероприятий. Чередование в полосах культур устойчивых к процессам эрозии с неустойчивыми, уменьшает вероятность стока воды и смыва почвы.

4. Эрозионная устойчивость склона определяется способностью аккумулировать осадки холодного периода и уменьшается в ряду: чистый пар → непаровые предшественники озимой пшеницы → озимая пшеница по пару. Влияет на эрозионную устойчивость склона корневая система сельскохозяйственных культур, что обусловлено активной деятельностью её усваивающей части. Корневая система служит биологическим армирующим фактором для почвенных частиц; органические и минеральные выделения корней, а затем продукты их минерализации и гумификации, способны пополнять почву органическими веществами и служить клеящим материалом для почвенных агрегатов.

5. Наибольшее количество азота поступает в почву из растительных остатков многолетних трав и колосовых культур. На азотный режим чернозема обыкновенного в большей степени влияли температурный режим и влажность почвы, чем предшественник и приемы обработки почвы. Внесение органоминеральных удобрений в повышенных дозах поддерживает положительный баланс азота.

6. Анализ содержания гумуса в длительном опыте в результате возделывания культур по экстенсивной системе выявил уменьшение этого показателя на 0,11-0,25 %. Сокращение процессов деградации за счет введения 20 % многолетних трав в структуру севооборота и внесения повышенных доз органоминеральных удобрений способствует бездефицитному воспроизводству плодородия почвы. Увеличение доли многолетних трав до 40 % при этой же дозе удобрений приводит к расширенному воспроизводству гумуса. Исключение навоза из системы удобрений приводит к тенденции снижения гумуса и отрицательному балансу азота. Приемы обработки почвы существенного влияния на изменение содержания гу-

муса не оказывал. Содержание гумуса в почвенных агрегатах различного размера изменялось незначительно ($3,58-3,65 \pm 0,04$ %).

7. Прогноз динамики гумуса, составленный с использованием автоматизированных нейронных сетей, подтверждает тенденцию потери гумуса без внесения удобрений в последующие сто лет. Использование почвозащитной обработки сокращает потери гумуса на 6,2-32,0 % (относительных), за счет снижения процессов деградации. Интенсивность баланса гумуса увеличивается по мере роста доли многолетних трав и доз внесения удобрений. Исключение из системы удобрений навоза приводит к снижению интенсивности баланса гумуса во всех севооборотах и оценивается как «неудовлетворительная».

8. Содержание подвижного фосфора в почве на естественном уровне питания за семь ротаций севооборотов снизилось на 10,1–24,1 % по сравнению с исходным его содержанием, а обеспеченность фосфором упала до низкого уровня. Систематическое внесение фосфорных удобрений в средних дозах позволило повысить содержание подвижного фосфора в почве до уровня средней обеспеченности, а в повышенных – до высокой обеспеченности. Уменьшение дозы внесения фосфорных удобрений на 30 % и исключение органических удобрений привело к отрицательному балансу фосфора. Составленный прогноз с использованием нейронных сетей подтверждает общую тенденции снижения содержания подвижного фосфора без внесения минеральных удобрений. В почвозащитных севооборотах с долей многолетних трав 20-40 % отмечается увеличение содержания подвижного фосфора в два-три раза по сравнению с исходным количеством.

9. Длительное использование эродированных земель без внесения удобрений привело к уменьшению содержания обменного калия до 35 %, по сравнению с исходными значениями. Систематическое внесение калийных удобрений в средних дозах приводит к незначительному снижению содержания калия, а повышенные дозы удобрений незначительно увеличивают его содержание. Изучение содержания калия при внесении удобрений в различных дозах выявили отрицательную направленность баланса. Нейросетевой прогноз содержания обменного калия при внесении средних доз удобрений выявил некоторое снижение, по срав-

нению с текущими значениями, а внесение повышенных доз удобрений поддерживает содержание обменного калия на уровне текущего года. Для бездефицитного баланса всех элементов питания в черноземе обыкновенном среднеэродированном необходимо увеличить дозу внесения азотных удобрений на 27–33 %, фосфорных – на 40–45 %, калийных – на 42–56 %.

10. Урожайность озимой пшеницы по различным предшественникам изменялась от 2,51 до 5,52 т/га, ярового ячменя от 2,51 до 3,82 т/га, гороха от 1,72 до 2,43 т/га, кукурузы на силос от 20,8 до 29,6 т/га, кукурузы на зерно – 2,25–3,25 т/га; подсолнечника – 1,40–2,16 т/га, сена многолетних трав – в пределах 4,54–5,41 т/га. Большее влияние на урожайность оказывал уровень почвенного плодородия, чем предшественник и приемы обработки почвы. Наибольшая окупаемость удобрений была получена при внесении средних доз. Эффективность удобрений в зависимости от предшественника озимой пшеницы располагалась в ряду: озимая пшеница → кукуруза → зернобобовые → чистый пар. Наилучшими предшественниками для получения зерна с высоким содержанием клейковины является чистый пар (30,6 %) и зернобобовые (30,4 %).

11. Результаты многолетних исследований позволили разработать научные основы и параметры построения севооборотов в условиях средней эрозионной опасности. Наиболее высокая продуктивность отмечена в зерно-травяно-пропашном севообороте с долей многолетних трав 20 % (3,12–4,29 т/га зерн. ед.). Внесение удобрений в средних и повышенных дозах увеличивало продуктивность севооборотов в среднем на 22,0 и 37,0 %.

12. На основании анализа главных компонент были выделены девять интегральных факторов, оказывающих наибольшее влияние на урожайность озимой пшеницы. На основании выделенных факторов построена модель параметров почвенного плодородия для чернозема обыкновенного. Анализ агрофизических и агрохимических показателей черноземов обыкновенных в пространстве главных компонент (ГК) позволил выделить четыре ГК, характеризующие обратную зависимость агрофизических показателей и влажности почвы, взаимосвязь агрофизических и агрохимических свойств, связь между смывом почвы и гребнистостью

поверхности, запасов воды в снеге с водопроницаемостью, зависимость плотности почвы и доли агрегатов размером 0,25-7 мм.

13. Наиболее высокая биоэнергетическая оценка и эколого-экономический эффект были получены в севообороте с долей многолетних трав 20 %, что обусловлено экономией средств, используемых на восстановление почвенного плодородия, рентабельностью производства (148-154 %) и окупаемостью затрат произведенной продукцией на 2,48-2,54 руб/руб.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

В результате многолетних исследований и разработки приёмов сохранения и воспроизводства плодородия чернозема обыкновенного среднеэродированного и повышения продуктивности севооборотов различной конструкции рекомендуется производству:

- для сокращения процессов эрозии на склонах крутизной 3,5-4,0° до безопасных пределов рекомендуется в качестве основной обработки почвы применять почвозащитную – чизельную обработку в системе контурно-ландшафтной организации территории с полосным размещением культур и зерно-травяно-пропашные севообороты с 20-40 % многолетних трав;

- для получения урожайности сельскохозяйственных культур 3,7-3,8 т/га зерн. ед. и сохранения плодородия чернозема обыкновенного вносить удобрения в дозе 5 т навоза и $N_{46}P_{30}K_{30}$, использовать зерно-травяно-пропашной севооборот с 20 % многолетних трав как севооборот, имеющий сбалансированную структуру посевов;

- при отсутствии навоза увеличить внесение минеральных удобрений до $N_{84}P_{48}K_{48}$ и долю многолетних трав до 40 %.

Систематически проводить мониторинг содержания гумуса и основных элементов питания для составления прогноза их изменения, уточнения эффективности систем обработки почвы и корректировки систем удобрений. Для более точной оценки состояния плодородия использовать почвенную диагностику, балансовый метод и нейросетевой прогноз.

СПИСОК ТЕРМИНОВ

F – критерий Фишера;

MLP – многослойный персептрон;

PCA – Principal Component Analysis;

P – уровень значимости;

$V\sigma$ – коэффициент вариации;

АНС – автоматизированные нейронные сети;

ГК – главные компоненты;

E – Емкость баланса;

ИДК – индекс деформации клейковины;

I – интенсивность баланса;

$K_{\text{ву}}$ – коэффициент водопрочности;

$K_{\text{стр}}$ – коэффициент структурности;

$K_{\text{э}}$ – коэффициент подверженности эрозионным процессам;

M – среднее значение;

$НСР_{05}$ – наименьшая средняя разница;

СВД – средневзвешенный диаметр агрегатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Ростовской области. – Л.: Гидрометеиздат., 1972. – 250 с.
2. Агрохимические методы исследований почв. – 5-е изд. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
3. Антонов, В.Г. Эффективность длительного применения минимальных способов обработки почвы в севооборотах / В.Г. Антонов, А.П. Ермолаев // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – № 4 (65). – С. 87-92.
4. Артемьева, З.С. Изменение компонентного состава органического вещества макро- и микроагрегатов типичного чернозема под воздействием эрозионных процессов / З.С. Артемьева, Н.Н. Данченко, Н.П. Кириллова, (и др.) // Почвоведение. – 2021. – № 11. – С. 1322-1331.
5. Асеева, Т.А. Баланс и приемы воспроизводства гумуса в тяжелосуглинистых почвах среднего Приамурья / Т.А. Асеева // Ученые заметки ТОГУ. – 2013. – Т. 4. № 4. – С. 1742-1746.
6. Ачканов, А.Я. Мониторинг гумусного состояния почв / А.Я. Ачканов, П.П. Васюков, В.П. Василько, Л.П. (и др.) / Агроэкологический мониторинг в земледелии Краснодарского края. Краснодар: Агропромполиграфист, 2002. – С. 23-30.
7. Бакиров, Ф.Г. Равновесная плотность почвы: анализ дефиниций и методология / Ф.Г. Бакиров, Ю.М. Нестеренко, Д.Г. Поляков (и др.) // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2 (70). – С. 11-13.
8. Баламирзоев, М.А. Биосферно-экологическая оценка плодородия почв дельтово-аккумулятивных равнин западного Прикаспия / М.А. Баламирзоев, Д.Б. Асгерова, Э.Р. Мирзоев (и др.) // Аридные экосистемы. – 2014. – Т. 20. № 1 (58). – С. 33-38.

9. Барабанов, А.Т. К вопросу о прогнозе поверхностного стока талых вод в лесостепной и степной зонах / А.Т. Барабанов, В.И. Панов // Аридные экосистемы. – 2012 – Т. 18. – № 4(53). – С. 22-27.
10. Барабанов, А.Т. Роль и место агролесомелиорации в адаптивно-ландшафтной системе земледелия / А.Т. Барабанов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 2(38). – С. 22-31.
11. Безуглов, В.Г. Минимальная обработка почвы / В.Г. Безуглов, Р.М. Гафуров // Земледелие. – 2002. – № 4. – С. 21–22.
12. Безуглова О.С. Прогноз содержания подвижного фосфора в агрочернозёмах Ростовской области с использованием автоматизированных нейронных сетей [Электрон. ресурс] / О.С. Безуглова, Э.А. Гаевая // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/2/st_216.pdf <https://doi.org/10.51419/202152216>
13. Безуглова, О.С. Гумусное состояние почв Юга России / О.С.Безуглова. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 228 с.
14. Безуглова, О.С. Динамика деградации земель в Ростовской области / О.С. Безуглова, И.Н. Ильинская, В.Е. Закруткин, (и др.) // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2022. – №86(1). – С. 41-54. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010034>
15. Безуглова, О.С. Динамика деградации земель в Ростовской области / О.С. Безуглова, О.Г. Назаренко, И.Н. Ильинская // Аридные экосистемы. – 2020. – Т. 26. – № 2 (83). – С. 10-15.
16. Безуглова, О.С. Мониторинг гумусного состояния и определение содержания гумуса в почвах различного генезиса / О.С. Безуглова, С.Н. Горбов, Е.А. Полиенко (и др.) // Теоретическая и прикладная экология. – 2015. – № 1. – С. 106-109.
17. Безуглова, О.С. Структурно-агрегатный состав чернозема стокорегулирующей лесополосы в Ростовской области / О. С. Безуглова, Э. А. Гаевая, С. Н. Горбов, А. В. Мищенко // Фундаментальные концепции физики почв: развитие,

современные приложения и перспективы : Сборник научных трудов II Международной междисциплинарной научной конференции, Москва, 25–31 мая 2024 года. – Москва: ООО "Издательский дом КДУ", 2024. – С. 47-54.

18. Белоус, Н.М. Урожайность зерна сортов ярового ячменя в зависимости от условий возделывания / Н.М. Белоус, В.В. Ториков // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 2. (2011). – С. 41-46.

19. Белоусов, А.А. Сезонная динамика водорастворимого органического вещества чернозема выщелоченного в условиях почвозащитных технологий / А.А. Белоусов, Е.Н. Белоусова // Вестник КрасГАУ. – 2017. – №9. – С. 134-139.

20. Беляускас, П.М. Почвозащитное земледелие на холмах / П.М. Беляускас; М-во сел. хоз-ва. ЛитССР. – Вильнюс: МСХ ЛитССР, 1985. – 86 с.

21. Беховых, Ю.В. Влияние увлажнения на изменение агрофизических свойств поверхностного слоя чернозёма при уплотнении / Ю.В. Беховых, Л.А. Беховых // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1 (207). – С. 46-52.

22. Бирюкова, О.А. Прогнозирование продуктивности озимой пшеницы на черноземе обыкновенном / О.А. Бирюкова, И.И. Ельников, Д.В. Божков // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 7. – С. 150-151.

23. Бобрицкая, М.А. Поступление азота в почву с атмосферными осадками в различных зонах европейской части СССР / М.А. Бобрицкая // Почвоведение. – 1962. – № 12. – С. 53-60.

24. Богданович, Р.П. Баланс гумусу в чорноземі типовому легкосуглинковому правобережного лісостепу з урахуванням нетоварної частини врожаю сільськогосподарських культур / Р.П. Богданович, В.С. Олійник // Наукові доповіді НУБіП України. – 2014. – № 7 (49). – С. 13.

25. Бойцова, Л.В. Структурный состав дерново-подзолистых почв различного землепользования / Л.В. Бойцова // Агрофизика. – 2017. – № 1. – С. 10-19.

26. Булгарова, Н.В. Влияние способов обработки на противоэрозионную устойчивость чернозема типичного эродированного на склоновых землях лесостепи СССР / Н.В. Булгарова. – Каменец-Подольский, 1987. – 20 с.
27. Бурлуцкий, В.А. Оптимизация структуры короткоротационных севооборотов на основе биоэнергетической оценки / В.А. Бурлуцкий // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2014. – № 5(1). – С. 170-173.
28. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв и грунтов / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Высш. Шк, 1986. – 416 с.
29. Васильченко, А.П. Эколого-экономическая оценка возделывания сельскохозяйственных культур на эрозионно опасных склонах Ростовской области на примере ярового ячменя / А.П. Васильченко, Э.А. Гаевая // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 5 (67). – С. 198-201.
30. Васильченко, А.П. Эколого-экономическая оценка возделывания сельскохозяйственных культур на эрозионно опасных склонах на примере гороха / А.П. Васильченко, Э.А. Гаевая // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. № 2. – С. 61-64.
31. Венчиков, А.И. Баланс гумуса в севооборотах с бобовыми травами при разных системах обработки почвы / А.И. Венчиков // Земледелие. – 2008. – № 4. – С. 26-27.
32. Влащук, А.М. Влияние приёмов агротехники на урожайность гибридов кукурузы различных групп спелости / А.М. Влащук, Н.Н. Прищепо, А.С. Колпакова // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4. – С. 105-108.
33. Вошедский, Н.Н. Агробиологические особенности возделывания новых сортов гороха в Ростовской области / Н.Н. Вошедский, И.Н. Ильинская, Н.А. Коробова, Э.А. Гаевая (и др.); ФГБНУ ФРАНЦ. – Рассвет, 2022а. – 153 с.
34. Вошедский, Н.Н. Выращивание ярового ячменя в условиях Ростовской области / Н.Н. Вошедский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3 (53). – С. 40-43.

35. Вошедский, Н.Н. Усовершенствованная эколого-адаптивная технология возделывания новых сортов гороха применительно к почвенно-климатическим условиям приазовской зоны Ростовской области в различных агроландшафтах: Рекомендации / Н.Н. Вошедский, И.Н. Ильинская, Э.А. Гаевая, (и др.). – Рассвет, 2021. – 60 с.

36. Вошедский, Н.Н. Эколого-экономические особенности технологии возделывания нового сорта нута Донплаза в условиях плакорных и склоновых земель Ростовской области / Н.Н. Вошедский, И.Н. Ильинская, В.А. Кулыгин, С.В. Пасько, Э.А. Гаевая (и др.); ФГБНУ ФРАНЦ. – Рассвет: АзовПринт, 2020. – 108 с.

37. Вошедский, Н.Н., Ильинская И.Н., Гаевая Э.А. Технология возделывания чечевицы на черноземах обыкновенных в агроландшафтах Ростовской области / Н.Н. Вошедский, И.Н. Ильинская, В.А. Кулыгин Э.А. Гаевая (и др.). – Рассвет, 2021. – 120 с.

38. Вошедский, Н.Н., Эколого-адаптивная технология возделывания новых сортов озимой пшеницы для различных типов агроландшафтов Ростовской области / Н.Н. Вошедский, И.Н. Ильинская, В.А. Кулыгин, Э.А. Гаевая (и др.). ФГБНУ ФРАНЦ. – Рассвет, 2022б. – 60 с.

39. Вражнов, А.В. Агроэкономическая эффективность полевых севооборотов лесостепных агроландшафтов Челябинской области / А.В. Вражнов, Л.П. Шаталина // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2011. – № 3. – С. 34-35.

40. Гаврилюк, Ф.Я. Научные основы рационального использования и повышения производительности почв Северного Кавказа / Ф.Я. Гаврилюк, В.Ф. Вальков, Г.Г. Клименко. – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1983. – 208 с.

41. Гаевая Э.А. Эффективность внесения удобрений под озимую пшеницу в степной зоне Ростовской области / Э.А. Гаевая, Безуглова О.С. // Агрохимический вестник. – 2025. – №2. – С. 23-26. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2025-2-005>

42. Гаевая Э.А. Прогнозирование урожайности озимой пшеницы на основе агрофизических и агрохимических свойств чернозема обыкновенного приазов-

ской зоны ростовской области / Э.А. Гаевая, О.С. Безуглова // Вестник Дагестанского научного центра. – 2025. – № 96. С. 40-45.
<https://doi.org/10.31029/vestdnc96/6>

43. Гаевая Э.А. Применение метода главных компонент для выявления оптимальных параметров почвенного плодородия черноземов обыкновенных Ростовской области // Живые и биокосные системы. – 2025. – № 51; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-51/article-4>; <https://doi.org/10.18522/2308-9709-2025-51-4>.

44. Гаевая Э.А. Нейросетевой прогноз содержания гумуса в черноземах обыкновенных слабоэродированных Ростовской области [Электрон. ресурс] / Э.А. Гаевая, О.С. Безуглова // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/2/st_209.pdf <https://doi.org/10.51419/202152209>

45. Гаевая, Э. А. Деградация агрочерноземов и способы ее устранения на склонах в Ростовской области / Э. А. Гаевая // Проблемы плодородия почв в современном земледелии: сб. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., посв. 70-летию освоения целинных и залежных земель, Красноярск, 24–28 июня 2024 года. – Красноярск: Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Федеральный исследовательский центр "Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук", 2024. – С. 117-121. https://doi.org/10.52686/9785605087878_117

46. Гаевая, Э. А. Прогноз динамики содержания гумуса в длительном опыте на черноземах обыкновенных Ростовской области / Э.А. Гаевая, О.С. Безуглова // В сб.: Современное состояние чернозёмов. 12–17 сентября 2023 г. / отв. ред. О. С. Безуглова; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2023. – С.153-156.

47. Гаевая, Э. А. Регулирование плодородия почвы склоновых земель Ростовской области / Э. А. Гаевая // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и

агрохимии СО РАН, Новосибирск, 10 сентября 2018 г. / Отв за вып. А.И. Сысо. Том Часть 2. – Новосибирск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2018. – С. 38-41.

48. Гаевая, Э.А. Агрофизические свойства чернозема обыкновенного слабоэродированного в длительном опыте в Ростовской области / Э.А. Гаевая, О.С. Безуглова, Е.Н. Нежинская // Почвоведение. – 2022а. – № 11. – С. 1399-1414. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22110053>

49. Гаевая, Э.А. Анализ физико-химических параметров почвенного плодородия черноземов обыкновенных карбонатных средне эродированных на основе метода главных компонент / Э.А. Гаевая, О.С. Безуглова // Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы: сб. ст. по материалам II Междунар. междисциплинарной научн. Конф., Москва, 25–31 мая 2024 года. – Москва: ООО "Издательский дом КДУ", 2024. – С. 71-79.

50. Гаевая, Э.А. Баланс гумуса в севооборотах с короткой ротацией на эрозионно-опасных склонах / Э.А. Гаевая // Живые и биокосные системы. – 2018. – № 24. – С. 2.

51. Гаевая, Э.А. Баланс питательных веществ в севооборотах, расположенных на эрозионно опасных склонах Ростовской области / Э.А. Гаевая // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2 (52). – С. 21-23.

52. Гаевая, Э.А. Биоэнергетическая оценка способов основной обработки почвы при возделывании зерновых культур в Ростовской области / Э.А. Гаевая // Аграрная Россия. – 2020а. – № 8. – С. 31-35.

53. Гаевая, Э.А. Биоэнергетическая эффективность севооборотов расположенных на склоновых землях Ростовской области / Э.А. Гаевая // Проблемы развития АПК региона. – 2020б. – № 2 (42). – С. 30-37.

54. Гаевая, Э.А. Борьба с водной эрозией в севооборотах на склоновых землях / Э.А. Гаевая, А.Е. Мищенко, И.В. Сафонова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 1(05). – С.91-100.

55. Гаевая, Э.А. Влияние длительного применения удобрений на плодородие эродированных почв / Э.А. Гаевая // Почвы - стратегический ресурс России: сб. ст. по материалам VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв, Сыктывкар, 22 апреля 2021 года / Отв. редакторы С.А. Шоба, И.Ю. Савин. Том Часть 3. – Москва-Сыктывкар: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2021. – С. 836-837.

56. Гаевая, Э.А. Влияние различных норм удобрений и способов обработки почвы на урожайность озимой пшеницы в Приазовской зоне Ростовской области / Э.А. Гаевая // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019а. – № 2 (9). – С. 11-16.

57. Гаевая, Э.А. Влияние разных способов обработки почвы на ее физические свойства / Э.А. Гаевая // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2008. – № 39. – С. 154-162.

58. Гаевая, Э.А. Влияние способов обработки почвы на водно-физические свойства и урожайность ярового ячменя при возделывании на склоновых землях Ростовской области / Э.А. Гаевая // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 3 (31). – С. 132-147. <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2018-3-132-147>

59. Гаевая, Э.А. Влияние тепловлагообеспеченности на эффективность использования почвенной влаги озимой пшеницей, возделываемой на эрозионно опасных склонах Ростовской области / Э.А. Гаевая // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 1 (21). – С. 155-167.

60. Гаевая, Э.А. Влияние удобрений и гидротермических условий на урожайность кукурузы на силос в длительном опыте на черноземах обыкновенных Ростовской области / Э.А. Гаевая, И.Н. Ильинская, О.С. Безуглова (и др.) // Проблемы агрохимии и экологии. – 2022б. – № 2. – С.3-11. <https://doi.org/10.26178/AE.2022.25.43.003>

61. Гаевая, Э.А. Водопроницаемость почв эрозионно опасных земель Приазовской зоны Ростовской области / Э.А. Гаевая, С.А. Тарадин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4 (48). – С. 19-22.

62. Гаевая, Э.А. Воспроизводство гумуса в севооборотах, расположенных на эрозионно опасных склонах / Э.А. Гаевая // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 2 (40). – С. 27-31.

63. Гаевая, Э.А. Деградация почв в Ростовской области и способы ее предотвращения / Э. А. Гаевая, С. А. Тарадин, Е. Н. Нежинская, А. В. Мищенко // Проблемы современной аграрной науки: сб. ст. по материалам международной научной конференции, Красноярск, 15 октября 2020 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2020. – С. 10-14.

64. Гаевая, Э.А. Засоренность севооборотов с короткой ротацией, размещенных на склоновых землях Ростовской области / Э.А. Гаевая, С.А. Тарадин, Е.Н. Нежинская // Научно-агрономический журнал. – 2018. – № 2 (103). – С. 31-33.

65. Гаевая, Э.А. Изменение содержания гумуса в агрочерноземах в длительном опыте Ростовской области / Э.А. Гаевая // Почвы – опора России: сб. ст. по материалам IX съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Казань, 12-16 августа 2024 г.). / Отв. ред.: П.В. Красильников, Н.О. Ковалева, Е.М. Столпникова. – Москва-Казань: МАКС-Пресс. 2024. – С. 798-800.

66. Гаевая, Э.А. Изменение структурно-агрегатного состава чернозема обыкновенного в длительном стационарном опыте / Э.А. Гаевая, И.Н. Ильинская, С.А. Тарадин // Агрофизика. – 2022. – № 3. – С. 12-18.
<https://doi.org/10.25695/AGRPH.2022.03.02>

67. Гаевая, Э.А. Изменение фосфорно-калийного режима черноземов обыкновенных в длительном опыте Ростовской области (Электронный ресурс) / Э.А. Гаевая, И.Н. Ильинская, О.С. Безуглова, Е.Н. Нежинская // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022 в. – №2 – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_202.pdf. <https://doi.org/10.51419/202122202>

68. Гаевая, Э.А. Обоснование некоторых элементов технологии возделывания гороха посевного на склоновых землях / Э.А. Гаевая, А.Е. Мищенко, Н.Н. Кисс (и др.) // Земледелие. – 2016. – № 6. – С. 39-42.

69. Гаевая, Э.А. Окупаемость удобрений в зависимости от способов обработки почвы и предшественника озимой пшеницы / Э.А. Гаевая, Нежинская Е.Н. // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства: сб. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (Международные Бочкаревские чтения), посвященной памяти члена корреспондента РАСХН и НАН КР, академика МАЭП и РАВН Бочкарева Я.В., 6-9 декабря 2018 года. Рецензируемое научное издание. – Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета, 2019. – С. 583-588.

70. Гаевая, Э.А. Особенности возделывания гороха на эрозионноопасных склонах Ростовской области / Э.А. Гаевая // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2015. – № 3 (15). – С. 15-21.

71. Гаевая, Э.А. Повышение плодородия на эродированных землях Ростовской области / Э.А. Гаевая // Современное состояние чернозёмов: сб. ст. по материалам II Междунар. науч. конф., 24–28 сентября. – Ростов-на-Дону. 2018б. – С. 368-375.

72. Гаевая, Э.А. Прогноз развития процессов деградации на эрозионноопасных склонах черноземов обыкновенных Ростовской области / Э.А. Гаевая, О.С. Безуглова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2024. – № 2 (222). – С. 72-83.
<https://doi.org/10.18522/1026-2237-2024-2-72-83>

73. Гаевая, Э.А. Продуктивность севооборотов на эрозионноопасных склонах Ростовской области / Э.А. Гаевая, И.В. Сафонова // Зерновое хозяйство России. – 2014. – № 3. – С. 51-55.

74. Гаевая, Э.А. Роль обработки почвы в сохранении почвенного плодородия на эрозионноопасных склонах / Э.А. Гаевая // Научный журнал КубГАУ. – 2010. – №57(03). – С. 221-229.

75. Гаевая, Э.А. Роль почвозащитных севооборотов в экологической стабильности склонов / Э.А. Гаевая // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2019. – Т. 15. № 3. – С. 4-10.
76. Гаевая, Э.А. Сохранение плодородия в севооборотах на эродированной пашне / Э.А. Гаевая // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 41-45.
77. Гаевая, Э.А. Урожайность гороха в зависимости от погодных условий Ростовской области / Э.А. Гаевая, А.П. Васильченко // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. № 2. – С. 32-34.
78. Гаевая, Э.А. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в севооборотах на эрозионноопасных склонах Ростовской области / Э.А. Гаевая, А.Е. Мищенко, Н.Н. Кисс, И.В. Сафонова // Зерновое хозяйство России. – 2012. – № 6. – С. 42-47.
79. Гаевая, Э.А. Урожайность кукурузы при различных способах обработки почвы / Э. А. Гаевая, С. А. Тарадин, Е. Н. Нежинская // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур : сб. ст. по материалам XII Междун. науч.-практ. конф. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. – С. 27-30.
80. Гаевая, Э.А. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от климатических факторов в эрозионноопасных условиях Ростовской области / Э.А. Гаевая // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4 (72). – С. 73-75.
81. Гаевая, Э.А. Урожайность озимой пшеницы и запас продуктивной влаги / Э.А. Гаевая, А.Е. Мищенко // Зерновое хозяйство России. – 2015. – № 4. – С. 13-16.
82. Гаевая, Э.А. Урожайность ярового ячменя в зависимости от погодных условий Ростовской области / Э.А. Гаевая // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017а. – № 4 (66). – С. 71-75.

83. Гаевая, Э.А. Экологическая оценка севооборотов с короткой ротацией на эрозионно опасных склонах Ростовской области / Э.А. Гаевая // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2017б. – Т. 13. № 4. – С. 91–95.

84. Гаевая, Э.А. Эффективность применения удобрений под озимую пшеницу / Э.А. Гаевая, Е.Н. Нежинская, С.А. Тарадин // Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях биологизации и экологизации сельскохозяйственного производства: Матер. 52-й Междунар. науч. конф. молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, посвященной 200-летию со дня рождения профессора Ярослава Альбертовича Линовского, Москва, 24–25 октября 2018 г. / под ред В.Г. Сычева. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2018а. – С. 52-55.

85. Гармашов, В.М. Минимизация обработки почвы / В.М. Гармашов, А.Л. Качанин // Земледелие. – 2007. – № 6. – С. 8-11.

86. Германюк, Д.Д. Изучение динамики поверхностного стока и смыва почвы в зависимости от крутизны и длины склонов / Д.Д. Германюк. Методы исследования водной эрозии почв. – Кишинев. – 1976. – С. 158-164.

87. Глазунов, Г.П. Агроэкологическая оценка пахотных земель в склоновых агроландшафтах / Г.П. Глазунов, Н.В. Афонченко, А.Н. Золотухин // Земледелие. – 2022. – № 2. – С. 19-24.

88. Глазунов, Г.П. Пространственная неоднородность показателей плодородия черноземных почв в склоновых агроландшафтах ЦЧР / Г.П. Глазунов, Н.В. Афонченко, А.Н. Золотухин // Земледелие. – 2021. – № 7. – С. 3-9.

89. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство) / Р.С.Х. Эдельгериев, А.Л. Иванов, И.М. Донник, В.А. Багиров, И.М. Донник, В.А. Багиров, К.Н. Кулик, О.В. Кононенко, М.В. Николаев, А.О. Усков, И.Б. Усков, Ю.В. Чесноков, В.П. Якушев, А.И. Беляев, Д.Н. Козлов, И.Ю. Савин, Ю.А. Духанин, О.Н. Соломина, Г.С. Куст, А.Ю. Юрова, Э.А. Гаевая (и др.). Национальный доклад / Москва. – 2021. Т. 3. – 700 с.

90. Глухих, М.А. Обработка почвы в Зауралье / М.А. Глухих, В.Б. Собянин // Земледелие. – 2000. – № 5. – С. 17-18.
91. Глушко, А.Я. Деградация земель юга европейской части России под воздействием пыльных бурь / А.Я. Глушко, В.В. Разумов, М.Д. Рейхани // Юг России: экология, развитие. – 2010. – Т.5. № 1. – С. 146-151.
92. Гогмачадзе, Г.Д. О некоторых результатах агроэкологического мониторинга почв и земельных ресурсов Российской Федерации в 2019 году (Электрон. ресурс) / Г.Д. Гогмачадзе, Л.Г. Гогмачадзе // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st_410.pdf. <https://doi.org/10.51419/20214410>
93. Гончарова, Л.Ю. Буферность черноземов обыкновенных карбонатных Ростовской области / Л.Ю. Гончарова // Живые и биокосные системы. – 2019. – № 30; – URL: <https://jbks.ru/archive/issue-30/article-2>; <https://doi.org/10.18522/2308-9709-2019-30-2>
94. Городецкий, А.П. Эколого-экономические основы природоохранных систем земледелия в эрозионных и эрозионно-опасных агроландшафтах / А.П. Городецкий // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – №2. – С. 80-83.
95. ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. – Дата введения 1993-06-01. – М.: Стандартиформ, 2009. – 7 с.
96. ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. – Дата введения 1993-07-01. – М.: Стандартиформ, 1998. – 10 с.
97. ГОСТ 82268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – Дата введения 1990-06-01. – М.: Стандартиформ, 2006. – 6 с.
98. Грабовец, А.И. Озимая пшеница / А.И. Грабовец, М.А. Фоменко. – (2-е издание, доп.). – Ростов-на-Дону: Юг, 2022. – 712 с.
99. Гуторова, О.А. Динамика показателей плодородия лугово-черноземной почвы при длительном возделывании риса / О.А. Гуторова, В.А.

Романенков, А.Х. Шеуджен // Агрохимия. – 2019. – № 10. – С. 25-34. – <https://doi.org/10.1134/S0002188119100077>

100. Гуторова, О.А. Использование дискриминантного анализа при оценке количественных изменений водорастворимых органических веществ почвы / О.А. Гуторова, А.Х. Шеуджен, А.Г. Ладатко // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 6. – С. 50-52.

101. Давыдова, А.А. Влияние способов основной обработки почвы на развитие корневой системы и урожайность ячменя / А.А. Давыдова // сб. докл. науч.-практ. конф. Курского отделения «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». – Курск, 2011. – С. 30-32.

102. Демченко, И.П. Надежный комплекс почвозащитных мероприятий / И.П. Демченко, Е.В. Полуэктов // Земледелие. – 1983. – № 9. – С. 22-24.

103. Денисов, Е.П. Фитомелиоративная характеристика многолетних трав как предшественников для зерновых культур в травяном звене полевого севооборота / Е.П. Денисов, А. П. Солодовников, К. Е. Денисов, Д. Г. Шестеркин // Вестник Саратовского Госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2012. – № 5. – С. 13-16.

104. Дериглазова, Г.М. Влияние природных и антропогенных факторов на урожай и качество зерна ярового ячменя / Г.М. Дериглазова // Земледелие. – 2012. – № 6. – С. 43-45.

105. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году / Е. В. Фастова, А. Н. Павлюченко, О. А. Григорьев (и др.). – М.: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2022. – 384 с.

106. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – Изд. 4-е перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

107. Доспехов, Б.А. Практикум по земледелию: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.М. Туликов. – М.:

Колос, 1987. – 384 с.

108. Дубовик, Е.В. Взаимосвязь содержания органического углерода и структурного состояния в черноземе типичном под различными угодьями / Е.В. Дубовик, Д.В. Дубовик // Плодородие. – 2020. – № 5 (116). – С. 7-10.

109. Дыдышко, С.В. Кислотно-основная буферность дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени агрогенной трансформации / С.В. Дыдышко, Т.Н. Азаренок, С.В. Шульгина // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1 (62). – С. 14-25.

110. Дьяков, В.Н. Совершенствование метода учета смыва почв по водородинам. / В.Н. Дьяков // Почвоведение. – 1984. – №3. – С. 146-148.

111. Еремина, Д.В. Сравнительная оценка структурно-агрегатного состава темно-серых лесных почв лесостепной зоны Зауралья / Д.В. Еремина, Н.А. Груздева, Д.И. Еремин // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 12 (153). – С. 57-63. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2019-12-57-63>.

112. Еремина, И.Г. Биоэнергетическая эффективность севооборота при новом способе освоения залежных земель / И.Г. Еремина, Н.В. Кутькина // Вестник АПК Верхневолжья. – 2018. – № 4 (44). – С. 3-8.

113. Есипова, Е.Б. Влияние длительного применения удобрений на содержание и фракционный состав гумуса выщелоченного чернозема / Е.Б. Есипова, Р.Ф. Байбеков // Бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. – 2001. – № 115. – С. 179-180.

114. Жученко, А.А. Адаптивная система селекции растений (экологогенетические основы) / А.А. Жученко. – М, 2001. – Т. 1. – С. 79.

115. Замятин, С.А. Влияние культур севооборотов на плотность почвы / С.А. Замятин, А.К. Свечников // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 3. – С. 70-75.

116. Заславский, М.Н. Эрозиоведение. Основы противоэрозионного земледелия / М.Н. Заславский. – М.: Высшая школа, 1987. – 376 с.

117. Зеленин, И.Н. Продуктивность культур и баланс гумуса в короткоро-
тационном зернопаровом севообороте / И.Н. Зеленин, А.А. Смирнов // Нива По-
волжья. – 2012. – № 2. – С. 22-26.

118. Зеленский, Н.А. Биоэнергетическая эффективность звеньев севообо-
рота с занятыми и сидеральными парами в Ростовской области / Н.А. Зеленский,
А.П. Авдеев, А.Л. Безлюдский // Успехи современного естествознания. – 2005.
– № 6. – С. 77-78.

119. Зеленский, Н.А. Урожай озимой пшеницы по чистому и занятым па-
рам / Н.А. Зеленский, Г.М. Зеленская, Л.В. Безлюдский (и др.)// Земледелие. –
2002. – №4. – С. 29-30.

120. Зинченко, В.Е. Эффективность приемов снижения эрозионных про-
цессов при возделывании сельскохозяйственных культур на склонах / В.Е. Зин-
ченко, И.Н. Ильинская, Э.А. Гаевая // Адаптивно ландшафтное земледелие: вызо-
вы XXI века: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., посв. 70-летию со дня рож-
дения члена-корреспондента РАН Г.Н. Черкасова, 12-14 сентября. – Курск: ФГБ-
НУ «Курский федеральный аграрный научный центр» - Всероссийский научно-
исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии, 2018. – С. 43-
50.

121. Зональные системы земледелия Ростовской области на 2022-2026 го-
ды / А.И. Клименко, А.В. Гринько, А.И. Грабовец (и др.) – Ростов-на-Дону, 2022.
– С. 736.

122. Иванов, А.Л. Приоритеты и основные направления развития земледе-
лия / А.Л. Иванов // Земледелие. – 2007. – № 3. – С. 2-4.

123. Иванов, Л.А. Научное земледелие России: итоги и перспективы / А.Л.
Иванов // Земледелие. – 2014. – № 3. – С. 25-29.

124. Игнатьев, Д.С. Обработка почвы на эрозионноопасных склонах / Д.С.
Игнатьев, Э.А. Гаевая // Аграрный вестник Урала. – 2010. – № 12 (79). – С. 13-14.

125. Ильинская, И.Н., Гаевая Э.А. Гумусное состояние чернозема обыкно-
венного при длительном применении различных систем удобрений на эродиро-
ванной пашне ростовской области / И.Н. Э.А. Ильинская, Гаевая // Ключови

въпроси в съвременна та наука: сб. ст. по материалам за VIII международна научна практична конференция: Сб. науч. тр.– 17-25 апреля, София, 2012. – Вып. 28. – С. 70-74.

126. Ильинская, И.Н. Особенности формирования поверхностного стока талых вод на чернозёмах обыкновенных / И.Н. Ильинская, Е.В. Полуэктов, Э.А. Гаевая (и др.) // Земледелие. – 2023. – № 6. – С. 13-18. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-6-13-18>

127. Ильинская, И.Н. Эффективность почвозащитных мероприятий при возделывании озимой пшеницы на эрозионно-опасных склонах / И.Н. Ильинская, Э.А. Гаевая, М.И. Рычкова (и др.) // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т.34. № 6. – С. 17-22. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10603>

128. ИONOBA, E.B. Перспективы использования адаптивного районирования и адаптивной селекции сельскохозяйственных культур (обзор) / E.B. ИONOBA, B.Л. Газе, E.И. Некрасов // Зерновое хозяйство России. – 2013. – № 3. – С. 19-22.

129. Каличкин, В.К. Минимальная обработка почвы в Сибири: проблемы и перспективы / В.К. Каличкин // Земледелие. – 2008. – № 5. – С. 24-26.

130. Камбулов, С.И. Технологические аспекты разуплотнения почвы / С.И. Камбулов, В.Б. Рыков, Е.И. Трубилин, В.В. Колесник // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2019. – № 153. – С. 193-201. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-153-021>

131. Карабутов, А.П. Воспроизводство плодородия почв, продуктивность и энергетическая эффективность севооборотов / А.П. Карабутов, В.Д. Соловиченко, В.В. Никитин, Е.В. Навольнева // Земледелие. – 2019. – № 2. – С. 3-8. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10201>

132. Каргин, В.И. Режим влажности выщелоченных черноземов Центральной лесостепи России / В.И. Каргин, А.А. Моисеев // Доклады РАСХН. – 2006. – №8. – С. 20-22.

133. Карпов, А.В. Биоэнергетическая эффективность технологий возделывания овса в зависимости от систем основной обработки почвы / А.В. Карпов,

А.А. Асмус // Вестник Саратовского Госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2007. – № 4. – С. 9-10.

134. Качинский, Н.А. Структура почвы (Итоги и перспективы изучения вопроса) / Н.А. Качинский. – М.: Изд. Московского ун-та, 1963. – 100 с.

135. Каштанов, А.Н. Концепция устойчивого земледелия России / А.Н. Каштанов // Земледелие. – 2000. – №3. – С.10-14.

136. Каштанов, А.Н. Научные основы современных систем земледелия – М.: Агропромиздат, 1998. – 162 с.

137. Каштанов, А.Н. Основы ландшафтно-экологического земледелия. / А.Н. Каштанов, Ф.Н. Лисецкий, Г.И. Швебс. – М.: Колос, 1994. – 127 с.

138. Каштанов, А.Н. Почвоводоохранное земледелие / А.Н. Каштанов, М.Н. Заславский. – М.: – Россельхозиздат, 1984. – 462 с.

139. Кирюшин, В.И. Организация территориального и внутрихозяйственного землеустройства на ландшафтно-экологической основе / В.И. Кирюшин // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т. 38. № 5. – С. 4-9.
https://doi.org/10.53859/02352451_2024_38_5_4

140. Кисс, Н.Н. Влияние контурно-полосного размещения, способов обработки чистого и занятых паров на плодородие чернозема южного Ростовской области: автореф. дис. ... канд.с.-х. наук. / Николай Николаевич Кисс. – Воронеж, 1996. – 24 с.

141. Кисс, Н.Н. Некоторые элементы технологии возделывания гороха посевного в эрозионно опасных условиях / Н.Н. Кисс, А.Е. Мищенко, Э.А. Гаевая (и др.)// Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. № 2. – С. 58-60.

142. Классификация и диагностика почв СССР. сост. чл.-кор. ВАСХНИЛ В.В. Егоров, проф. В.М. Фридланд, проф. Е.Н. Иванова (и др.); Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. – М.: Колос, 1977. – 223 с.

143. Когут, Б.М. Динамика содержания органического углерода в типичном черноземе в условиях длительного полевого опыта / Б.М. Когут, А.С. Фрид, Н.П. Масютенко (и др.) // Агрохимия. – 2011. – № 12. – С. 37-44.

144. Козлов, А.В. Оценка агроэкологического состояния чернозема оподзоленного в условиях агроэкосистемы юга Нижегородской области / А.В. Козлов, И.П. Уромова // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 12 (1) – С. 63-69.
145. Колсанов, Г.В. Соломисто-азотная система удобрений на черноземе лесостепи Поволжья / Г.В. Колсанов, А.Х. Куликова, Н.В. Хвостов, И.Н. Землянов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 2 (12). – С. 3-12.
146. Комарова, Н.А. Влияние различных паров на содержание гумуса в почве и урожай овса / Н.А. Комарова // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – Т. 1. – С. 151-154.
147. Кореньков, Д.А. Превращение азотных удобрений в почве при внесении их под разные культуры / Д.А. Кореньков, И.А. Лаврова // Агрохимия. – 1974. – № 5. – С. 12-17.
148. Корнилов, И.М. Основная обработка почвы и продуктивность ячменя / И.М. Корнилов, И.В. Пивоваров, З.К. Пашина // Зерновое хозяйство. – 2006. – № 3. – С. 15-17.
149. Корчагин, В.А. Почвозащитные и влагосберегающие технологические комплексы возделывания зерновых культур в сухостепных районах среднего Поволжья / В.А. Корчагин, В.Г. Новиков // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 9. – С. 12-14.
150. Корчагин, А.А. Система удобрений: учеб. пособие / А.А. Корчагин, М.А. Мазиров, Н.А. Комарова; Владимирский гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2018. – 116 с.
151. Корчагин, В.А. О воспроизводстве почвенного плодородия / В.А. Корчагин, О.В. Терентьев // Аграрная наука. – 2007. – № 3. – С. 10-11.
152. Костяков, А. Н. Основы мелиорации. - М.: Сельхозгиз, 1957. – 750 с.
153. Котлярова, Е.Г. Содержание гумуса при освоении ландшафтных систем земледелия / Е.Г. Котлярова // Плодородие. – 2010. – № 6. – С. 26-29.

154. Котлярова, О.Г. Почвозащитная система в интенсивном земледелии Центрально-Черноземной зоны / Е.Г. Котлярова. – Воронеж: Центр.-Черноз. кн. изд-во, 1990. – 260 с.

155. Кравченко, Т.С. Стратегические направления развития инновационной деятельности в отрасли растениеводства / Т.С. Кравченко // Региональная экономика: теория и практика. – 2014. – № 21 (348). – С. 46-57.

156. Кривошеев, С.И. Оценка сортового состава озимой пшеницы в Курской области по параметрам экологической пластичности и стабильности / С.И. Кривошеев, В.А. Шумаков // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 5 (377). – С. 31-34.

157. Крылов, В.А. Влияние различного землепользования на элементный состав лабильных гумусовых веществ чернозема типичного Курской области / В.А. Крылов, В.Г. Мамонтов, В.И. Лазарев, О.В. Рыжков // Почвоведение. – 2022. – № 8. – С. 981-989.

158. Крыщенко, В.С. Динамика микроагрегатного состава в связи с изменением содержания органического вещества в черноземе / В.С. Крыщенко, И.В. Замулина, Т.В. Рыбьянец (и др.) // Почвоведение. – 2016. – № 6. – С. 697-710.

159. Крыщенко, В.С. Дисперсность и агрохимические показатели черноземов обыкновенных карбонатных Нижнего Дона / В.С. Крыщенко, О.А. Бирюкова, И.В. Замулина // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 3. – С. 3-8.

160. Кузнецов, Ю.Г. Биоэнергетическая оценка ярового ячменя в составе севооборота на эродированных склонах / Ю.Г. Кузнецов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3 (71). – С. 71-74.

161. Кузыченко, Ю.А. Обобщенная оценка дифференциации систем основной обработки почвы под культуры севооборота / Ю.А. Кузыченко, В.В. Кулинцев, А.К. Кобозев // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – № 8. – С. 28-30.

162. Кузыченко, Ю.А. Эффективность систем основной обработки почвы под культуры полевого звена севооборота в центральном Предкавказье / Ю.А. Ку-

зыченко // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3 (71). – С. 28-31.

163. Кузыченко, Ю.А., Формирование корневой системы кукурузы на зерно при различных системах обработки почвы в зоне центрального предкавказья / Ю.А. Кузыченко, Р.С. Стукалов, Р.Г. Гаджиумаров // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 1 (57). – С. 74-81.

164. Кузьменко, Н.Н. Мониторинг гумуса дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрений / Н.Н. Кузьменко // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2. № 9. – С. 181-184.

165. Куликова, А.Х. Влияние удобрений на содержание и баланс гумуса в черноземе выщелоченном при возделывании культур в зернопаровом севообороте / А.Х. Куликова, С.Н. Никитин, Г.В. Сайдяшева // Агрохимия. – 2017. – №12. – С. 7-15.

166. Куликова, А.Х. Роль органических удобрений (соломы, сидератов, пожнивно-корневых остатков) в воспроизводстве и сохранении гумуса в почве / А.Х. Куликова, Е.А. Яшин, Е.А. Черкасов, Е.С. Волкова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4 (60). – С. 53-58.

167. Курякова, Т.А. Факторный анализ для определения групповых параметров экосистем / Т.А. Курякова // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – № 6. – С. 12-13.

168. Лабынцев, А.В. Расход органического вещества под сельскохозяйственными культурами по зонам Ростовской области / А.В. Лабынцев, О.А. Целуйко // Плодородие. – 2012. – № 3 (66). – С. 22-23.

169. Лазарев, В.И. Гумусовое состояние чернозема типичного при длительном сельскохозяйственном использовании / В.И. Лазарев, А.Ю. Айдиев // Достигновения науки и техники АПК. – 2006. – № 10. – С. 3-5.

170. Лакин, Г.Ф. Биометрия: учеб. пособие для университетов и педагогических институтов / Г.Ф. Лакин. М.: Высшая школа, 1973. – 343 с.

171. Ларионов, Г.А. Экспериментальное исследование факторов, влияющих на эродлируемость почв / Г.А. Ларионов, О.Г. Бушуева, А.В. Горобец (и др.) // Почвоведение. – 2018. – № 3. – С. 347-356. <https://doi.org/10.7868/S0032180X18030097>

172. Липски, С.А. Нужен надежный контроль за состоянием почвенного плодородия / С.А. Липски // Земледелие. – 2002. – № 5. – С. 14–15.

173. Листопадов И.Н. Севооборот как средство предотвращения водной эрозии почв / И.Н. Листопадов, Д.С. Игнатьев, Э.А. Гаевая // Земледелие. – 2010. – № 8. – С. 8-9.

174. Листопадов, И.Н. Влага и корневая система озимой пшеницы в севообороте / И.Н. Листопадов, Э.А. Гаевая, А.Ю. Габунов, А.Е. Мищенко, // Земледелие. – 2009. – № 5. – С. 34-36.

175. Листопадов, И.Н. Водный режим под озимой пшеницей в севооборотах на эрозионно опасном склоне / И.Н. Листопадов, Э.А. Гаевая, Д.С. Игнатьев, А.Е. Мищенко // Земледелие. – 2012. – № 1. – С. 6-8.

176. Листопадов, И.Н. Минимизация, а не упрощение / И.Н. Листопадов // Земледелие. – 2007. – № 1. – С. 25-27.

177. Листопадов, И.Н. Почвенная влага севооборотов на эрозионноопасных склонах / И.Н. Листопадов, Д.С. Игнатьев // Научно-агрономический журнал. – 2010. – №2. – С.10-14.

178. Листопадов, И.Н. Почвенное плодородие севооборотов на эрозионноопасных склонах / И.Н. Листопадов, Д.С. Игнатьев, А.Е. Мищенко // Плодородие. – 2009. – № 5. – С. 42-43.

179. Листопадов, И.Н. Севообороты Южных регионов / И.Н. Листопадов. - Ростов-на-Дону, 2005. – 275 с.

180. Логачев, И.А. Влияние эрозионных процессов на изменение параметров основных агрохимических показателей плодородия почв склоновых сельскохозяйственных земель республики Беларусь / И.А. Логачев, А.В. Юхновец, С.А. Касьянчик, С.Д. Воронович // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2(69). – С. 30-36. [https://doi.org/doi.10.47612/0130-8475-2022-2\(69\)-30-36](https://doi.org/doi.10.47612/0130-8475-2022-2(69)-30-36)

181. Лозановская, И.Н. Теория и практика использования органических удобрений: для учеб. заведений Госагропрома СССР / И.Н. Лозановская, Д.С. Орлов, П.Д. Попов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 94 с.

182. Лопырев, М.И. Защита земель от эрозии и охрана природы: учеб. пособие для вузов / М.И. Лопырев, Е.И. Рябов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 240 с.

183. Лопырев, М.И. Модернизация систем земледелия на эколого-ландшафтной основе / М.И. Лопырев, А.В. Линкина // Вестник ВГАУ. – 2012. – № 3 (34). – С. 49-56.

184. Лукин, С.М. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность севооборота, содержание и качественный состав органического вещества почвы / С.М. Лукин, Е.И. Золкина, Е.В. Марчук // Плодородие. – 2021. – № 3 (120). – С. 93-98.

185. Лукьянов, В.А. Плотность и твёрдость чернозёма типичного на фоне разных агротехнологий и способов обработки почвы / В.А. Лукьянов, И.А. Прущик // Пермский аграрный вестник. – 2022. – № 4 (40). – С. 29-37. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-70-75>

186. Лыков, М.К. К методике расчётного определения гумусового баланса почвы в интенсивном земледелии / М.К. Лыков // Известия ТСХА. – 1979. – № 3. – С. 21-34.

187. Мальцев, К.А. Потенциальные эрозионные потери почвы на пахотных землях европейской части России / К.А. Мальцев, О.П. Ермолаев // Почвоведение. – 2019. – № 12. – С. 1502-1512. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19120104>

188. Мамонтов, В.Г. Изменение структурного состояния чернозема типичного Курской области под влиянием бессменных пара и озимой пшеницы / В.Г. Мамонтов, Р.Ф. Байбеков, В.И. Лазарев (и др.) // Земледелие. – 2019. – № 1. – С. 7-10. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10102>

189. Марданлы, А.Г. Изменение качественных и количественных параметров гумуса на эродированных почвах под влиянием минеральных удобрений / А.Г. Марданлы, Б.К. Шакури // Агро XXI. – 2007. – № 1-3. – С. 46-48.

190. Марков, М.В. Разнообразие корней и корневых систем у малолетних растений класса двудольных / М.В. Марков, В.З. Юсуфова, Т.А. Шестова, Д.О. Грушенков // Вестник Тверского государственного университета. Сер.: Биология и экология. – 2021. – № 2 (62). – С. 107-133.

191. Макаров, О.А. Перспективы развития экономической оценки эродированных почв / О.А. Макаров, В.В. Демидов, Д.В. Карпова (и др.) // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2024. – № 3. – С. 7-18.
<https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-3-7-18>

192. Масютенко, М.Н. Связь структурно-агрегатного состава чернозема типичного среднеэродированного с содержанием и составом подвижных гумусовых веществ при разложении растительных остатков / М.Н. Масютенко, Н.П. Масютенко, А.В. Кузнецов (и др.) // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36. – № 7. – С. 5-11. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_7_5

193. Масютенко, Н.П. Влияние агробиотехнологий на запасы и состав органического вещества чернозема типичного среднеэродированного / Н.П. Масютенко, А.В. Кузнецов, М.Н. Масютенко (и др.) // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. № 10. – С. 45-50.
https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_10_45

194. Масютенко, Н.П. К комплексной оценке воздействия агротехнологии на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов / Н.П. Масютенко, Н.А. Чужан, М.Н. Масютенко, А.В. Кузнецов // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37. № 8. – С. 12-18. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_8_12.

195. Медведева, А.М. Содержание и запас гумуса в черноземе обыкновенном при использовании различных систем основной обработки / А.М. Медведева, О.А. Бирюкова, Я.И. Ильченко (и др.) // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 1. – С. 29-34.

196. Мероприятия по охране почв от эрозии: научный обзор ФГНУ «РосНИИПМ» / Г.Т. Балакай, Е.В. Полуэктов, Н. И. Балакай (и др.) – М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2010. – 71 с.

197. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва

почвы при изучении водной эрозии. – Л.: Гидрометеиздат, 1975.– 88 с.

198. Митрофанов, Д.В. Агроэкономическая и биоэнергетическая оценка шестипольных севооборотов в засушливых условиях Оренбургской области / Д.В. Митрофанов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2 (76). – С. 20-24.

199. Мищенко, А.Е. Защита почв от деградации в адаптивно-ландшафтном земледелии Ростовской области / А.Е. Мищенко, Э.А. Гаевая, Н.Н. Кисс, С.А. Тарадин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3 (53). – С. 11-14.

200. Мищенко, А.Е. Почвозащитные мероприятия при возделывании полевых культур в системе контурно-полосной организации эрозионно опасного склона / А.Е. Мищенко, Н.Н. Кисс, Э.А. Гаевая (и др.) // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. № 2. – С. 49-53.

201. Моисеев, А.Н. Оценка севооборотов по влагообеспеченности культур в условиях лесостепной зоны Зауралья / А.Н. Моисеев, Д.И. Ерёмин // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 11 (103). – С. 18–20.

202. Научно-практические основы оценки экологической сбалансированности агроландшафта и степени соответствия используемой в нем системы земледелия / И.Г. Пыхтин, А.В. Гостев, Л.Б. Нитченко (и др.)– Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2017. – 66 с.

203. Немцев, С.Н. Совершенствование почвозащитных систем земледелия для лесостепи среднего Поволжья / С.Н. Немцев, М.М. Сабитов // Научное обеспечение агропромышленного комплекса России: мат. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. памяти Р.Г. Гареева. – Казань: Центр инновационных технологий, 2012. – С. 34-39.

204. Никитин, С.Н. Влияние удобрений на урожайность и биоэнергетическую эффективность технологий возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте / С.Н. Никитин, А.Х. Куликова, А.В. Карпов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4 (32). – С. 45-51.

205. Новиков, А.А. Баланс гумуса и энергетических ресурсов почвы под влиянием обработки и удобрений / А.А. Новиков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 185. – С. 157-161. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-185-011>

206. Новикова, Н.Е. О стабильности урожайности сортов гороха с усатым типом листа / Н.Е. Новикова, А.П. Лаханов // Аграрная Россия. – 2002. – № 1. – С. 43-45.

207. Орлов, Д.С. Проблемы контроля и улучшения гумусового состояния почв / Д.С. Орлов // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. – 1981. – № 2. – С. 9.

208. Оруджева, Н.И. Севооборот - основной фактор при повышении плодородия почв под овощными культурами / Н.И. Оруджева // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 1 (55). – С. 46-51.

209. Патент № 2716576 С1 Российская Федерация, МПК А01G 7/00. Способ определения массы корневой системы пшениц: № 2018144830, заявл. 17.12.2018: опубл. 12.03.2020 / В. Е. Зинченко, Э.А. Гаевая, Е. Н. Нежинская (и др.); заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный Ростовский аграрный научный центр" (ФГБНУ ФРАНЦ).

210. Патент на полезную модель № 119108 U1 Российская Федерация, МПК G01N 1/04. Устройство для отбора и фиксирования почвенных проб и корневой системы растения: № 2012110082/05, заявл. 15.03.2012: опубл. 10.08.2012 / А.Е. Мищенко, Э.А. Гаевая, Н.Н. Кисс (и др.); заявитель Государственное научное учреждение Донской зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ Донской НИИСХ Россельхозакадемии).

211. Петелько, А.И. Восстановление плодородия смытых почв / А.И. Петелько // Природообустройство. – 2017. – № 1. – С. 94-100.

212. Печенина, Т.С. Методология оценки экономической эффективности применения ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур / Т.С. Печенина // Вестник Федерального государственного образовательного

учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2014. – № 2 (62). – С. 88-92.

213. Плескачев, Ю.Н. Способы основной обработки каштановых почв Нижнего Поволжья / Ю.Н. Плескачев, И.Б. Борисенко – Волгоград, 2005. – 198 с.

214. Площинская, М.Е. Особенности анатомического строения и ветвления корней однодольных в связи с отсутствием вторичного утолщения / М.Е. Площинская // Вестник Тверского государственного университета. Сер.: Биология и экология. – 2018. – № 3. – С. 286-300.

215. Подлесных, И.В. Динамика органического углерода почвы в пахотном слое и продуктивность культур почвозащитного агропесопандшафтного комплекса в ЦЧР / И.В. Подлесных, С.А. Тарасов, Ю.О. Рубаник // Земледелие. – – 2023. – № 5. – С. 37-41. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-5-37-41>

216. Подлесных, И.В. Новый подход в методологии формирования структуры севооборотов с учетом противоэрозионной роли сельскохозяйственных культур / И.В. Подлесных, Ю.А. Соловьева // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. № 11. – С. 21–25. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11103>

217. Подлесных, И.В. Технология проектирования противоэрозионных комплексов с применением геоинформационных систем / И.В. Подлесных, Соловьева Ю.А. // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. № 7. – С. 58-63. https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_7_58

218. Полуэктов, Е.В. Влияние состояния защитных лесных насаждений на урожайность озимой пшеницы / Е.В. Полуэктов, В.В. Пляко, Г.Т. Балакай // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 1 (69). – С. 119-122.

219. Полуэктов, Е.В. Почвенно-земельные ресурсы Ростовской области. / Е.В. Полуэктов, Е.М. Цвылев. – Новочеркасск, 2008. – 355 с.

220. Полуэктов, Е.В. Почвозащитные системы в ландшафтном земледелии / Е.В. Полуэктов, Луганцев Е.П. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2005. – 208 с.

221. Полуэктов, Е.В. Почвозащитные системы на овражно-балочных землях / Е.В. Полуэктов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2017. – № 5. – С. 16-18.
222. Полуэктов, Е.В. Разработка мероприятий по борьбе с эрозионными процессами на примере ООО "Николино" Петровского района Ставропольского края / Е.В. Полуэктов, М.Н. Костянская // Экономика и экология территориальных образований. – 2017. – № 1. – С. 82-86.
223. Полуэктов, Е.В. Рациональное использование эродированных земель / Е.В. Полуэктов, А.С. Чешев. – Ростов-на-Дону, 1990. – 127 с.
224. Полуэктов, Е.В. Система мероприятий по снижению поверхностного стока и водной эрозии на землях сельскохозяйственного назначения / Е.В. Полуэктов, Н.И. Балакай, Г.Т. Балакай // Вестник аграрной науки Дона. – 2010. – № 4. – С. 103-107.
225. Полуэктов, Е.В. Эколого-экономическая оценка систем земледелия с комплексом противозерозионных мероприятий. Методические указания для дипломного проектирования / Е.В. Полуэктов, М.В. Техина, И.И. Техин. – Новочеркасск: Изд-во НГМА, 2002. – 48 с.
226. Полуэктов, Е.В. Эрозия почв на Дону и меры борьбы с ней / Е.В. Полуэктов. – Ростов-на-Дону: Донской зональный НИИ сельского хозяйства, 1984. – 160 с.
227. Попов, В.В. Состояние плодородия пахотных земель в юго-восточных районах Ростовской области / В.В. Попов // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. № 3. – С. 7-11. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10302>
228. Постников, П.А. Минимализация обработки почвы в зернотравяном севообороте / П.А. Постников, О.В. Васина, В.В. Попова // АПК России. – 2017. – Т. 24. № 2. – С. 333-337.
229. Пыхтин, И.Г. Обработка почвы: действительность и мифы / И.Г. Пыхтин // Земледелие. – 2017. – №1. – С. 33-36.
230. Роде, А.А. Водный режим почв и его регулирование/ А.А. Роде. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1963 г. – 119 с.

231. Розанов, Б.Г. Морфология почв / Б.Г. Розанов. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 320 с.
232. Романенко, А.А. Плодородие чернозема выщелоченного деградированного и продуктивность озимой пшеницы в севообороте при различных способах обработки и системах удобрения / А.А. Романенко, В.М. Кильдюшкин, В.А. Кулик (и др.) // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 2. – С. 8-10.
233. Сапожников, П.М. Дифференциация кадастровой стоимости земель в агроландшафтах гумидных, аридных и полуаридных территорий Российской Федерации / П.М. Сапожников, К.П. Шехтер, Н.И. Данилова // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2023. – № 2. – С. 46-55.
<https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-46-55>
234. Сатаров, Г.А. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений в зернопаропропашном севообороте в зоне лесостепного Поволжья / Г.А. Сатаров // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2015. – № 3. – С. 127-132.
235. Свиридов, В.И. Дефицит гумуса в почве как практическая проблема получения планируемого количества продукции полеводства в регионах лесостепи и степи европейской территории России / В.И. Свиридов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 3. – С. 13-20.
236. Селянинов, Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. Мировой агроклиматический справочник / Г.Т. Селянинов. – Л., М.: Гидрометеиздат, 1977. – 220 с.
237. Семенов, В.М. Взаимосвязь размера агрегатов, содержания дисперсного органического вещества и разложения растительных остатков в почве / В.М. Семенов, Т.Н. Лебедева, Н.Б. Паутова (и др.) // Почвоведение. – 2020. – № 4. – С. 430-443. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20040139>
238. Серая, Т.М. Виды органических удобрений и методика расчета их потребности для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах / Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева, Т.М. Кирдун, Н.Ю. Жабровская // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2 (69). – С. 37-56. [https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-2\(69\)-37-56](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-2(69)-37-56)

239. Сидаренко, Д.П. Почвозащитная и агротехническая эффективность системы агрофитомелиоративных мероприятий: автореф. дис. ... канд.с.-х. наук / Дмитрий Петрович Сидаренко. – Рассвет, 2003. – 24 с.

240. Скобелев, П. Развитие сортовой модели озимой пшеницы для цифрового двойника растения / П. Скобелев, А. Стрижаков, А. Табачинский [и др.] // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2024): Сборник трудов по материалам X Международной конференции и молодежной школы. В 6-ти томах, Самара, 20–24 мая 2024 года. – Самара: Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева, 2024. – С. 32932.

241. Смирнов, П.М. Доступность растениям и превращение в почве иммобилизованного азота удобрений в последствии / П.М. Смирнов, А.А. Суков // Агрохимия. – 1974. – № 7. – С. 3-15.

242. Смирнова, Л.Г. Содержание гумуса в почве эрозионных агроландшафтов в условиях контурно-мелиоративной организации территории / Л.Г. Смирнова, Д.С. Лебедева, Е.Ю. Марченко, Е.А. Пелехоце // Плодородие. – 2011. – № 4. – С. 26-27.

243. Современное сельскохозяйственное землепользование в России: состояние, проблемы и перспективы. В рамках программы сотрудничества ЕС-Россия (Тасис). – М.: Тасис, 2007. – 229 с.

244. Солдат, И.Е. Снижение негативного влияния эрозии почв в белгородской области внедрением адаптивно-ландшафтной системы земледелия / И.Е. Солдат // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2020. – Т. 15. № 2. – С. 182-190. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2020-15-2-182-190>

245. Станков, Н.З. Корневая система полевых культур / Н.З. Станков. – М.: Колос, 1964. – 280 с.

246. Столбовой, В.С. Индикаторы качества почв пахотных угодий РФ / В.С. Столбовой, А.М. Гребенников // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2020. – № 104. – С. 31-67. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-31-67>

247. Сурмач, Г.П. Водная эрозия и борьба с ней / Г.П. Сурмач. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 253 с.
248. Сухановский, Ю.П. Модель динамики содержания гумуса в эродированном черноземе Центрального Черноземья / Ю.П. Сухановский, С.И. Санжарова, А.В. Прущик // Агрохимия. – 2011. – № 12. – С. 45–52.
249. Сухановский, Ю.П. Оценка содержания гумуса в почве ключевых участков агролесоландшафтного комплекса / Ю.П. Сухановский, А.В. Прущик С.А. Тарасов (и др.) // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2023б. – № 5 (395). – С. 502-505. https://doi.org/10.55186/25876740_2023_66_5_502
250. Сухановский, Ю.П. Прогноз эрозии почвы для полевого эксперимента по контурно-мелиоративному земледелию / Ю.П. Сухановский, А.В. Прущик, Ю.О. Рубаник // Достижения науки и техники АПК. – 2023а. – Т. 37. № 8. – С. 19-23. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_8_19
251. Тарасов, С.А. Оценка влияния противозерозионных комплексов на урожайность сельскохозяйственных культур, возделываемых на склонах / С.А. Тарасов, Т.Я. Зарудная, И.В. Подлесных // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2021. – № 4 (382). – С. 59-63. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-4-59-63>
252. Тарасов, С.А. Почвозащитная эффективность сформированных культурами севооборота агрофонов в системе гидролесомелиорации на склонах центрального Черноземья / С.А. Тарасов, А.В. Прущик, Т.Я. Зарудная, В.А. Вытовтов // Земледелие. – 2020. – № 6. – С. 6-10. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10602>
253. Терпелец, В.И. Гумусное состояние чернозема выщелоченного в агроценозах Азово-Кубанской низменности / В.И. Терпелец, Ю.С. Плитинь. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 127 с.
254. Тимошкин, О.А. Продуктивность и почвозащитное действие многолетних трав на склоновых землях различной экспозиции / О.А. Тимошкин, З.А. Кирасиров, Л.Е. Вельмисева, И.В. Бакулова // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 5. – С. 44-46.

255. Тунакова, Ю.А. Развитие методики расчёта нормативов допустимого сброса жидких производственных отходов с учётом региональных особенностей водных объектов / Ю.А. Тунакова, С.В. Новикова, В.С. Валиев, Е.В. Байбакова // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – № 4. – С. 70-77. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-4-070-077>

256. Тютюнов, С.И. Влияния способов обработки почвы, минеральных и органических удобрений в различных севооборотах на содержание гумуса в чернозёме типичном / С.И. Тютюнов, В.Д. Соловиченко, А.С. Цыгуткин, И.В. Логвинов // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. № 5. – С. 7-12. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10503>

257. Удалов, А.В. Основы биоэнергетической оценки производства продукции растениеводства / А.В. Удалов, А.П. Авдеенко, А.М. Струк В.В. (и др.): учеб. пособие. – Персиановский: ФГОУ ВПО «Донской ГАУ», 2008. – 103 с.

258. Фетюхин, И.В. Факторы развития, моделирование и прогнозирование эрозии почвы / И.В. Фетюхин, В.В. Черненко // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – № 1. – С. 11-13. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2018-11003>

259. Хитров, Н.Б. Способ интерпретации данных макро- и микроструктурного состояния почв / Н.Б. Хитров, О.А. Чечуева // Почвоведение. – 1994. – № 2. – С. 84-92.

260. Холодов, В.А. Агрегаты и органическое вещество почв восстанавливающихся ценозов / В.А. Холодов, Н.В. Ярославцева. – М.: ГЕОС, 2021. – 120 с.

261. Холодов, В.А. Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования / В.А. Холодов, Н.В. Ярославцева (и др.) // Почвоведение. – 2019. – № 2. – С. 184-193. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020060>

262. Цугленок, Н.В. Биоэнергетическая оценка минимализации системы основной обработки почвы в зернопаропропашном севообороте / Н.В. Цугленок, В.К. Ивченко // Вестник КрасГАУ. – 2006. – № 11. – С. 99-104.

263. Чевердин, Ю.И. Динамика содержания гумуса черноземных почв каменной степи / Ю.И. Чевердин, В.А. Беспалов, Т.В. Титова // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2015. – № 8-2. – С. 86-88.

264. Черкасов, Г.Н. Ареал применения нулевых и поверхностных обработок при возделывании колосовых культур на территории Европейской части Российской Федерации / Г.Н. Черкасов, И.Г. Пыхтин, А.В. Гостев // Земледелие. – 2017. – №2. – С. 10-13.

265. Чернова, О.В. Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области) / О.В. Чернова, И.О. Алябина, О.С. Безуглова, Ю.А. Литвинов // Юг России: экология, развитие. – 2020. – Т.15. № 4 (57). – С. 99-113. <https://doi.org/10.18470/199210982020499113>

266. Чешев, А.С. Природоохранное рациональное использование земли / А.С. Чешев // Земледелие. – 1987. – № 1. – С. 29-33.

267. Чибилёв, А.А. Оценка ландшафтно-экологической устойчивости земледельческих регионов Урала и Западной Сибири. / А.А. Чибилёв, Ю.А. Гулянов, Д.С. Мелешкин, Д.В. Григоревский // Юг России: экология, развитие. – 2022. – 17(1). – С. 109-118. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-109-118>

268. Чуян, Н.А. Влияние органических и минеральных удобрений на изменение содержания органического вещества чернозема типичного / Н.А. Чуян, О.Г. Чуян, Г.М. Брескина // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. № 2. – С. 8-10.

269. Чуян, О.Г. К вопросу управления плодородием почв и продуктивностью пашни в агроландшафтах центрально-черноземного региона / О.Г. Чуян, Л.Н. Караулова, О.А. Митрохина // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2021. – № 5 (383). – С. 27-31. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-27-31>

270. Чуян, О.Г. Оценка ресурсов продуктивности пашни в склоновых агроландшафтах ЦЧР / О.Г. Чуян, А.Н. Золотухин, Г.П. Глазунов // Земледелие. – 2023. – № 1. – С. 8–13. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-1-8-13>

271. Чуян, О.Г. Оценка роли климатических, почвенных и агротехнических факторов в формировании ресурсов продуктивности агроландшафтов центрального Черноземья / О.Г. Чуян, Г.П. Глазунов, Л.Н. Караулова (и др.)// Метеорология и гидрология. – 2022. – № 6. – С. 79-87. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-6-79-87>
272. Шабаев, А.И. Адаптивно-экологический вектор развития ландшафтного земледелия на юго-востоке европейской части России / А.И. Шабаев // Агарный вестник Юго-Востока. – 2009. – № 1. – С.41-44.
273. Шабаев, А.И. Особенности обработки почв в различных зонах и агроландшафтах Поволжья / А.И. Шабаев // Земледелие. – 2001. – № 5. – С. 13-15.
274. Шабаев, А.И. Приемы сохранения плодородия почв на склонах / А.И. Шабаев, Н.М. Соколов, Н.М. Жолинский // Плодородие. – 2008. – №1. – С.37-38.
275. Шапошникова, И.М. Изменение гумусного фонда почв в Ростовской области / И.М. Шапошникова, И.Н. Листопадов // Почвоведение. – 1984. – № 8. – С. 57-62.
276. Шапошникова, И.М. Плодородие черноземов Юга России / И.М. Шапошникова. – Ростов-на-Дону, 2004. – 232 с.
277. Шапошникова, И.М., Листопадов И.Н. Баланс азота, фосфора и калия в интенсивных зерновых севооборотах / И.М. Шапошникова, И.Н. Листопадов // Почвоведение. – 1978. – № 4. – С. 48-52.
278. Шарков, И.Н. Минимизация обработки и ее влияние на плодородие почвы / И.Н. Шарков // Земледелие. – 2009. – № 3. – С. 24-25.
279. Шашко, Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д.И. Шашко. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С. 248.
280. Шеуджен, А. Х. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, О.А. Гуторова // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: сб. статей VIII Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 13–14 февраля 2023 г. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 173-176.

281. Шеуджен, А. Х. Удобрения и фосфатный режим почв / А.Х. Шеуджен, Г.А. Галкин // Почвоведение. – 2007. – № 12. – С. 1523-1524.

282. Шеуджен, А.Х. Агрохимическое обследование почв и составление картограмм / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, А.А. Тенеков. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 44 с.

283. Шеуджен, А.Х. Азот и гумус: методы их определения / А. Х. Шеуджен, В. П. Суетов, Т. Н. Бондарева (и др.); Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, федеральный центр риса. – Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 2021. – 176 с.

284. Шеуджен, А.Х. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А. Х. Шеуджен, Л. М. Онищенко, Т. Н. Бондарева (и др.) // Агрохимия. – 2017. – № 5. – С. 3-11.

285. Ширяева, Н.В. Структурное состояние почвы при возделывании озимой пшеницы по разным предшественникам / Н.В. Ширяева, Л.Н. Кузнецова, А.Г. Ступаков (и др.) // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2018. – № 3(19). – С. 116-123.

286. Юркин, С.Н. Внешне хозяйственный баланс в земледелии СССР и зарубежных стран / С.Н. Юркин // Бюл. ВИУА. – 1974. – № 20. – С.42-55.

287. Янюк, В.М. Обоснование расчетной модели баланса гумуса для агроэкологической оценки организации севооборотов / В.М. Янюк, В.А. Тарбаев, Л.К. Верина // Аграрный научный журнал. – 2014. – № 12. – С. 47-50.

288. Almasri, M.N. Modular neural networks to predict the nitrate distribution in ground water using the on-ground nitrogen loading and recharge data / M.N. Almasri, J.J. Kaluarachchi // Environmental Modelling and Software. – 2005. – № 20. (7). – P. 851-871. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.05.001>

289. Alves, A.S. Soil, water and nutrient loss under simulated rainfall patterns in an area fertilised with chicken litter / A.S. Alves, N. Schultz, B.A.A.F. Conforto (et al.) // Journal of Hydrology. – 2023. – Vol. 620. (B). – P. 129543. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129543>

290. An, M. Analysis and simulation of nitrogen loss during water erosion process on windward slope under wind-driven rain conditions / M. An, W. Xing, Y. Han (et al.) // CATENA. – 2023. – Vol. 228. – P. 107146. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107146>

291. Aslan, Z. Effects of climate change on soil erosion risk assessed by clustering and artificial neural network / Z. Aslan, G. Erdemir, F. Giorgi (et al.) // Pure and Applied Geophysics. – 2019. – Vol. 176. № 2. – P. 937-949. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-2010-y>

292. Bahddou, S. Changes in soil surface properties under simulated rainfall and the effect of surface roughness on runoff, infiltration and soil loss / S. Bahddou, W. Otten, W.R. Whalley (et al.) // Geoderma. – 2023. – Vol. 431. – P. 116341. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116341>

293. Benaud, P. Reproducibility, open science and progression in soil erosion research / P. Benaud, K. Anderson, M. Evans (et al.) // Geoderma. – 2021. – Vol. 402. – P. 115181. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115181>

294. Bettoni, M. Land use effects on surface runoff and soil erosion in a southern Alpine valley / M. Bettoni, M. Maerker, A. Bosino (et al.) // Geoderma. – 2023. – Vol. 435. – P. 116505. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116505>

295. Biggelaar, C. The Global Impact Of Soil Erosion On Productivity: II: Effects On Crop Yields And Production Over Time / C. Biggelaar, R. Lal, K. Wiebe (et al.) // Advances in Agronomy. – 2003. – Vol. 81. – P. 49-95. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)81002-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)81002-7)

296. Bin, H. Effects of tillage practices on combined forms of humus and humus components / H. Bin, X. Shang-qi, Z. Hai-lin, C. Fu // J. China Agr. Univ. – 2010. – Vol.15. №1. – P. 72-78.

297. Borrelli, P. Towards a better understanding of pathways of multiple co-occurring erosion processes on global cropland / P. Borrelli, C. Alewell, J.E. Yang (et al.) // International Soil and Water Conservation Research. – 2023. – Vol. 11 (4). – P. 713-725. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.07.008>

298. Bragagnolo, L. Landslide susceptibility mapping with r.landslide: A free open-source GIS-integrated tool based on Artificial Neural Networks / L. Bragagnolo, R.V. Silva, J.M.V. Grzybowski // *Environmental Modelling and Software*. – 2020. – № 123. – P. 104565. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104565>
299. Bui, D.T. A novel ensemble artificial intelligence approach for gully erosion mapping in a semi-arid watershed (Iran) / D.T. Bui, A. Shirzadi, K. Chapi (et al.) // *Sensors*. – 2019. – T. 19. № 11. – P. 2444. <https://doi.org/10.3390/s19112444>
300. Buryak, Z.A. Geomorphic factors influencing the spatial distribution of eroded Chernozems in automated digital soil erosion mapping / Z.A. Buryak, P.A. Ukrainsky, A.V. Gusarov (et al.) // *Geomorphology*. – 2023. – Vol. 439. – P. 108863. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108863>
301. Cai, A. Manure acts as a better fertilizer for increasing crop yields than synthetic fertilizer does by improving soil fertility / A. Cai, M. Xu, B. Wang (et al.) // *Soil and Tillage Research*. – 2019. – №189. – P. 168-175.
302. Cao, Y. Evaluation of monthly-scale soil erosion spatio-temporal dynamics and identification of their driving factors in Northeast China / Y. Cao, L. Hua, Q. Tang (et al.) // *Ecological Indicators*. – 2023. – Vol. 150. – P. 110187. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110187>
303. Chen, J. Effects of land use and land cover on soil erosion control in southern China: Implications from a systematic quantitative review / J. Chen, Z. Li, H. Xiao (et al.) // *Journal of Environmental Management*. – 2021. – Vol. 282. – P. 111924. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111924>
304. Clement, T. Soil pitting mitigates runoff, erosion and pesticide surface losses in maize crops in the Belgian loess belt / T. Clement, C.L. Biielders, A. Degré (et al.) // *Soil and Tillage Research*. – 2023. – Vol. 234. – P. 105853. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105853>
305. Dehkordi, E.A. Ecological restoration of sloping land using straw checker-board barriers seeded with winter cover crops / E.A. Dehkordi, A.A. Surki, M. Pajouhesh, P. Tahmasebi // *Ecological Engineering*. – 2023. – Vol. 193. – P. 106994. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106994>

306. Dežerický, D. An approach to classify areas for appropriate rainfall-runoff risk management: A case study in Drevenica basin, Slovakia / D. Dežerický, K. Šinka, P. Pipíšková (et al.) // *Ecological Engineering*. – 2023. – Vol. 196. – P. 107083. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107083>
307. Gaevaya, E. The role of soil-protective crop rotations, tillage and fertilizers in stabilizing erosion processes and the preservation of organic carbon on the slopes of the Rostov region (Russia). / E. Gaevaya, O. Bezuglova // *Soil and Environment*. – 2021– №40 (2). – P.110-118. <https://doi.org/10.25252/SE/2021/202594>
308. Gaevaya, E.A. Agrophysical Properties of Ordinary Slightly Eroded Chernozem in a Long-Term Experiment in Rostov Oblast / E.A. Gaevaya, O.S. Bezuglova, E.N. Nezhinskaya // *Eurasian Soil Science*. – 2022. – Vol. 55. №. 11. – P. 1609-1622. <https://doi.org/10.1134/S106422932211005>
309. Gaevaya, E.A. Effect of long-term organo-mineral fertilizer application on the fertility of eroded soils / E.A. Gaevaya, O.S. Bezuglova, I.N. Iljinskaya, S.A. Taradin, E.N. Nezhinskaya, A.V. Mishchenko // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 8. Сер. "VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society" – 2021b. – С. 012095. Режим доступа: [https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/862/1/012095:](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/862/1/012095)
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012095>
310. Gaevaya, E.A. Influence of Heat Stress and Water Availability on Productivity of Silage Maize (*Zea mays* L.) under Different Tillage and Fertilizer Management Practices in Rostov Region of Russia / E.A. Gaevaya, I. N. Iljinskaya, O. S. Bezuglova (et al.) // *Agronomy*. – 2023. – Vol. 13, No. 2. – P. 320. – <https://doi.org/10.3390/agronomy13020320>
311. Gaevaya, E.A. Soil protection measures during sunflower farming on slopes of Rostov oblast / E.A. Gaevaya, I.N. Iljinskaya, O.S. Bezuglova, S.A. Taradin, // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International Conference on World Technological Trends in Agribusiness" – 2021c. – P. 012223. Режим доступа: [https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/624/1/012223:](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/624/1/012223)
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012223>

312. Gaevaya, E.A. The experience in the implementation of adaptive-landscape systems of agriculture in Rostov oblast / E.A. Gaevaya, O.S. Bezuglova, I.N. Ilinskaya, S.A. Taradin, E.N. Nezhinskaya, A.V. Mishchenko // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "Environmental Transformation and Sustainable Development in Asian Region". – 2021a. – P. 012030. – Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/629/1/012030>: doi:10.1088/1755-1315/629/1/012030

313. Gaevaya E. A. Use of analysis of the principal components to identify the relationships between soil aggregates and parameters of soil fertility of migration–segregation chernozems / E. A. Gaevaya, O. S. Bezuglova // Moscow University Soil Science Bulletin, 2025. Vol. 80, №. 2, pp. 228–238. <https://doi.org/10.3103/S0147687425700103>

314. Gan, F. Responses of soil aggregate stability and soil erosion resistance to different bedrock strata dip and land use types in the karst trough valley of Southwest China / F. Gan, H. Shi, J. Gou (et al.) // International Soil and Water Conservation Research. – 2024. – Vol. 12(3). – P. 684-696. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.09.002>.

315. González-Pelayo, O. Impacts of barley (*Hordeum vulgare* L.) straw mulch on post-fire soil erosion and ground vegetation recovery in a strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) stand / O. González-Pelayo, S.A. Prats, A.M.D. Vieira (et al.) // Ecological Engineering. – 2023. – Vol. 195. – P. 107074. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107074>

316. Gunay, C.J.C. Influence of different management systems on surface protection and erodibility of a temperate mixed forest / C.J.C. Gunay, T. Iwama, H. Sakai, K. Yokoyama // Ecological Engineering. – 2023. – Vol. 193. – P. 106993. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106993>

317. Han, Y. Soil erodibility for water and wind erosion and its relationship to vegetation and soil properties in China's drylands / Y. Han, W. Zhao, J. Ding, C.S.S. Ferreira // Science of The Total Environment. – 2023. – Vol. 903. – P. 166639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166639>

318. Han, Y. Water and wind erosion response to ecological restoration measures in China's drylands / Y. Han, W. Zhao, A. Zhou, P. Pereira // *Geoderma*. – 2023. – Vol. 435. – P. 116514. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116514>
319. Han, Z. Effect of exposed roots on the erosion characteristics of sloped land based on close-range photogrammetry in a karst rocky desertification region / Z. Han, X. Yang, X. Yin (et al.) // *CATENA*. – 2023. – Vol. 225. – P. 107035. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107035>
320. Harche, S.E. No-tillage and agroforestry decrease sediment loss from a hilly landscape in northern Morocco / S.E. Harche, M. Chikhaoui, M. Naimi (et al.) // *CATENA*. – 2023. – Vol. 223. – P. 106951. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106951>
321. He, Y. Insights from size fractions to interpret the erosion-driven variations in soil organic carbon on black soil sloping farmland, Northeast China / Y. He, F. Zhang, M. Yang (et al.) // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2023. – Vol. 343. – P. 108283. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108283>
322. Heyder, S.M. Optimization of land management measures for soil erosion risk using GIS in agricultural landscape of western Hararghe highlands, Ethiopia / S.M. Heyder, S.A. Beza, S.T. Demissie // *Scientific African*. – 2023. – Vol. 21. – e01853. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01853>
323. Hok, L. Dynamics of soil aggregate-associated organic carbon based on diversity and high biomass-C input under conservation agriculture in a savanna ecosystem in Cambodia / L. Hok, J.C. Moraes Sa, S. Boulakia (et al.) // *Catena*. – 2021. – V. 198. – P. 105065 <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105065>
324. Hou, T. Tillage-induced surface soil roughness controls the chemistry and physics of eroded particles at early erosion stage / T. Hou, T.R. Filley, Y. Tong (et al.) // *Soil Tillage Res.* – 2021. – V.207. – P. 104807. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104807>
325. Hu, Y. Soil and water conservation effects of different types of vegetation cover on runoff and erosion driven by climate and underlying surface conditions / Y.

Hu, F. Zhang, Z. Luo (et al.) // CATENA. – 2023. – Vol. 231. – P. 107347.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107347>

326. Ilyinskaya, I.N. The productivity of crop rotations on the eroded slope of ordinary chernozems depending on agricultural practices / I. N. Ilyinskaya, E. A. Gaevaya // 28–30 июня 2021 года. Vol. 32, 2021. – P. 02007. –
<https://doi.org/10.1051/bioconf/20213202007>

327. Islam, S. Impact of various levels of phosphorus on wheat (CV. PIRSA-BAK-2013) / S. Islam, S. Ullah, M. Anjum (et al.) // The International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2017. – №6. – P. 106-111.

328. Juhos, K. Carbon sequestration of forest soils is reflected by changes in physicochemical soil indicators – A comprehensive discussion of a long-term experiment on a detritus manipulation / K. Juhos, B. Madarasz, Z. Kotroczó (et al.) // Geoderma. – 2021. – V. 385. – P. 114918.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114918>

329. Kaiser, H.F. The application of electronic computers to factoranalysis / H.F. Kaiser // Educational and Psychological Measurement 1960. Vol. 20 P. 141-151.

330. Kalehhouei, M. Changeability of runoff and soil loss from inclined mid-sized plots under simulated upward wind-driven rain / M. Kalehhouei, S.H. Sadeghi, A.K. Darvishan // CATENA – 2023. – Vol. 232. – P. 107453.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107453>

331. Kallenbach, C.M. Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls / C.M. Kallenbach, S.D. Frey, A.S. Grandy // Nature Communications. – 2013. – №7. – P. 13630.

332. Khosravi, K. Soil water erosion susceptibility assessment using deep learning algorithms / K. Khosravi, F. Rezaie, J.R. Cooper (et al.) // Journal of Hydrology. – 2023. – Vol. 618. – P. 129229. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129229>

333. Kim, M. Artificial Neural Network estimation of soil erosion and nutrient concentrations in runoff from land application areas / M. Kim, J.E. Gilley // Computers and Electronics in Agriculture. – 2008. – № 64(2). – P. 268-275.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.021>

334. Kostić, M.M. The effect of N fertilizer application timing on wheat yield on chernozem soil / M.M. Kostić, A.C. Tagarakis, N. Ljubičić (et al.) // *Agronomy*. – 2021. – №11. – P. 1413. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071413>
335. Lang, Y. Quantifying anthropogenic soil erosion at a regional scale – The case of Jiangxi Province, China / Y. Lang, X. Yang, H. Cai // *CATENA*. – 2023. – Vol.226. – P. 107081. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107081>
336. Liu, X. Runoff velocity controls soil nitrogen leaching in subtropical restored forest in southern China / X. Liu, Y. Zhang, T. Xiao (et al.) // *Forest Ecology and Management*. – 2023. – Vol. 548. – P. 121412. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121412>
337. Liu, Y. Evaluation of soil erosion rates in the hilly-gully region of the Loess Plateau in China in the past 60 years using global fallout plutonium / Y. Liu, X. Hou, J. Qiao (et al.) // *CATENA*. – 2023. – Vol. 220(A). – P. 106666. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106666>
338. Liu, Y. Linking soil phosphorus fractions to associated microbial functional profiles under crop rotation on the Loess Plateau of China / Y. Liu, R. Liu, R. Ghimire (et al.) // *Soil and Tillage Research*. – 2023. – Vol. 233. – P. 105809. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105809>
339. Liu, Y. Predicting the interrill erosion rate on hillslopes incorporating soil aggregate stability on the Loess Plateau of China / Y. Liu, G. Liu, H. Xiao (et al.) // *Journal of Hydrology*. – 2023. – Vol. 622(B). – P. 129698. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129698>
340. Lucas-Borja, M.E. Short-term changes in infiltration between straw mulched and non-mulched soils after wildfire in Mediterranean forest ecosystems / M.E. Lucas-Borja, D.A. Zema, B.G. Carrà (et al.) // *Ecological Engineering*. – 2018. – Vol. 122. – P. 27-31. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.018>
341. Lucas-Borja, M.E. The impact of straw mulching and salvage logging on post-fire runoff and soil erosion generation under Mediterranean climate conditions / M.E. Lucas-Borja, J. González-Romero, P.A. Plaza-Álvarez (et al.) // *Science of The*

Total Environment. – 2019. – Vol. 654. – P. 441-451.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.161>

342. Luo, J. Multi-temporal spatial modelling to assess runoff and sediment dynamics under different micro topographic patterns / J. Luo, Z. Zheng, S. He, W. Ding // Geoderma. – 2023. – Vol. 436. – P. 116539.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116539>

343. Majeed, M.A. Effect of phosphorus fertilizer sources and rates on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) / M.A. Majeed, R. Ahmad, M. Tahir, A. Tanveer, M. Ahmad // Asian Journal of Agriculture and Biology. – 2014. – №2. – P. 14-19.

344. Mamoon, A.A. First flush analysis using a rainfall simulator on a micro catchment in an arid climate / A.A. Mamoon, S. Jahan, X. He (et al.) // Science of The Total Environment. – 2019. – Vol. 693. – P. 133552.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.358>

345. Mandic, V. Nitrogen fertilizer influence on wheat yield and use efficiency under different environmental conditions / V. Mandic, V. Krnjaja, Z. Tomic (et al.) // Chilean journal of agricultural research. – 2015. – №75. – P. 92-97.

346. May, D.B. Prediction of urban stormwater quality using artificial neural networks / D.B. May, M. Sivakumar // Environmental Modelling and Software. – 2009. – № 24.(2) – P. 296-302. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.07.004>

347. Milazzo, F. The role of grassland for erosion and flood mitigation in Europe: A meta-analysis / F. Milazzo, R.M. Francksen, L. Zavattaro (et al.) // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2023. – Vol. 348. – P. 108443.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108443>

348. Mondal, S. Tillage and residue management effect on soil hydro-physical environment under pigeonpea (*Cajanus cajan*)-wheat (*Triticum aestivum*) rotation / S. Mondal, D. Chakraborty, R.K. Tomar, R. Singh (et al.) // Indian Journal of Agricultural Sciences. – 2013 – Vol. 83 (5) – 502-507.

349. Mussarat, M. Accentuating the role of nitrogen to phosphorus ratio on the growth and yield of wheat crop / M. Mussarat, M. Shair, D. Muhammad (et al.) // Sustainability. – 2021. – Vol. 13. – P. 2253. <https://doi.org/10.3390/su13042253>

350. Pachev, I. Agronomical and Agrochemical Aspects of Soil Organic Matter / I. Pachev // Почвозн. Агрохим. Екол. – 2015. – Vol.49(4). – С. 47-54.

351. Patriche, C.V. Applying RUSLE for soil erosion estimation in Romania under current and future climate scenarios / C.V. Patriche // Geoderma Regional. – 2023. – Vol. 34. – e00687. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00687>

352. Peng, Q. The role of conventional tillage in agricultural soil erosion / Q. Peng, B. Liu, Y. Hu (et al.) // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2023. – Vol. 348. – P. 108407. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108407>

353. Penn, C. A critical review on soil chemical processes that control how soil pH Affects phosphorus availability to plants / C. Penn, J. Camberato // Agriculture. – 2019. – №9. – P.120. <https://doi.org/10.3390/agriculture9060120>

354. Qiao, X. Assessing current and future soil erosion under changing land use based on InVEST and FLUS models in the Yihe River Basin, North China / X. Qiao, Z. Li, J. Lin (et al.) // International Soil and Water Conservation Research. – 2023. – № 4. – P. 755-763. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.07.001>

355. Qiu, D. Effects of vegetation restoration on soil infiltrability and preferential flow in hilly gully areas of the Loess Plateau, China. / D. Qiu, R. Xu, C. Wu (et al.) // CATENA. – 2023. – Vol. 221. – P. 106770. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106770>

356. Rafaeli, O. Dynamics of subsurface soil erosion in a semiarid region: A time-series study of sinkhole area and morphology / O. Rafaeli, A. Nahlieli, T. Svoray // CATENA. – 2023. – Vol. 233. – P. 107511. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107511>

357. Recasens, J. Long-term effect of different tillage systems on the emergence and demography of Bromus diandrus in rainfed cereal fields / J. Recasens, A.L. Garcia, C. Cantero-Martinez (et al.) // Weed Research. – 2016. – Vol. 56(1). – P. 31-40.

358. Riquetti, N.B. Climate change projections of soil erosion in South America in the XXI century / N.B. Riquetti, C.R. Mello, D. Leandro, J.A. Guzman // Geoderma Regional. – 2023b. – Vol. 33. – e00657. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00657>

359. Riquetti, N.B. Soil erosion assessment in the Amazon basin in the last 60 years of deforestation / N.B. Riquetti, S. Beskow, L. Guo, C.R. Mello // *Environmental Research*. – 2023a. – Vol. 236, (2). – P. 116846. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116846>
360. Rodriguez-Delgado, C. An artificial neural network model of coastal erosion mitigation through wave farms / C. Rodriguez-Delgado, R.J. Bergillos, G. Iglesias // *Environmental Modelling and Software*. – 2019. – № 119. – P. 390-399. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.07.010>
361. Roy, P. The role of indigenous plant species in controlling the erosion of top soil in sub-tropical environment: In-situ field observation and validation / P. Roy, S.C. Pal, R. Chakraborty (et al.) // *Journal of Hydrology*. – 2023. – Vol. 625. – P.129993. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129993>
362. Saggau, P. Effects of contour farming and tillage practices on soil erosion processes in a hummocky watershed. A model-based case study highlighting the role of tramline tracks / P. Saggau, M. Kuhwald, R. Duttmann // *CATENA*. – 2023. – Vol. 228. – P. 107126. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107126>
363. Saiyed, I.M. Thermal time models for estimating wheat phenological development and weather-based relationships to wheat quality / I.M. Saiyed, P.R. Bullock, H.D. Sapirstein (et al.) // *Canadian Journal of Plant Science*. – 2009. – № 89. P. – 429-439.
364. Salazar-Gutierrez, M.R. Relationship of base temperature to development of winter wheat / M.R. Salazar-Gutierrez, J. Johnson, B. Chaves-Cordoba, G. Hoogenboom // *International Journal of Plant Production*. – 2013. – №7. – P. 741-762.
365. Santana, V.M. Mulch application as post-fire rehabilitation treatment does not affect vegetation recovery in ecosystems dominated by obligate seeders / V.M. Santana, J.G. Alday, M.J. Baeza // *Ecological Engineering*. – 2014. – Vol. 71. – P. 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.037>
366. Schmaltz, E.M. The effectiveness of soil erosion measures for cropland in the Austrian Agri-environmental Programme: A national approach using local data / E.M. Schmaltz, C. Krammer, G. Dersch (et al.) // *Agriculture, Ecosystems &*

Environment. – 2023. – Vol. 355. – P. 108590.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108590>

367. Starkloff, T. Integrated, spatial distributed modelling of surface runoff and soil erosion during winter and spring / T. Starkloff, J. Stolte, R. Hessel (et al.) // Catena. – 2018. – T. 166. – P. 147-157. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.001>

368. StatSoft, Inc. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 13. 2020. Available online: <https://web.archive.org/web/20131213145004> / (дата обращения 1 августа 2024г.)

369. Stumpe, H. Effects of humus content, farmyard manuring, and mineral-N fertilization on yields and soil properties in a long-term trial / H. Stumpe, J. Garz, W. Schliephake (et al.) // J.Plant Nutrit. Soil Sc. – 2000. – Vol. 163 (6). – P. 657-662.

370. Uno, Y. Artificial neural networks to predict corn yield from Compact Airborne Spectrographic Imager data / Y. Uno, S.O. Prasher, R. Lacroix (et al.) // Computers and Electronics in Agriculture. – 2005. – № 47(2). – P. 149-161, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.014>

371. Wagena, M.B. Comparison of short-term streamflow forecasting using stochastic time series, neural networks, process-based, and Bayesian models / M.B. Wagena, D. Goering, A.S. Collick (et al.) // Environmental Modelling and Software. – 2020. – № 126. – P. 104669. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104669>

372. Wang, H. Runoff and sediment characteristics of a typical watershed after continuous soil erosion control in the red soil region of Southern China / H. Wang, W. Chen, M. Zhou (et al.) // CATENA. – 2023. – Vol. 233. – P. 107484. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107484>

373. Wang, J. Gully internal erosion triggered by a prolonged heavy rainfall event in the tableland region of China's Loess Plateau / J. Wang, Y. Zhang, K. Li (et al.) // International Soil and Water Conservation Research. – 2023. – Vol. 11(4). – P. 610-621. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.12.003>

374. Wang, Y. Mechanisms and influencing factors of hydrothermal processes in active layer soils on the Qinghai-Tibet Plateau under freeze-thaw action / Y. Wang,

X. Liu, M. Lv, Z. Zhang // CATENA. – 2023. – Vol. 220. – P. 106694.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106694>

375. Wei, B. Vegetation types and rainfall regimes impact on surface runoff and soil erosion over 10 years in karst hillslopes / B. Wei, Z. Li, L. Duan (et al.) // CATENA. – 2023. – Vol. 232. – P. 107443.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107443>

376. Wen, B. Spatiotemporal dynamics and driving factors of soil erosion in the Beiluo River Basin, Loess Plateau, China / B. Wen, Ch. Huang, Ch. Zhou (et al.) // Ecological Indicators. – 2023. – Vol. 155. – P. 110976.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110976>

377. World reference base for soil resources 2014. II nternational soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. – №. 106. – FAO, Rome.

378. Xiao, Z. Mechanism of microbial inhibition of rainfall erosion in black soil area, as a soil structure builder / Z. Xiao, R. Hou, T. Li (et al.) // Soil and Tillage Research. – 2023. – Vol. 233. – P. 105819. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105819>

379. Xing, S. Effects of straw incorporation on soil erosion resistance along a land degradation gradient in the black soil region of China / S. Xing, G. Zhang, C. Wang (et al.) // CATENA. – 2023 – Vol. 231. – P. 107365.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107365>

380. Yang, R. Effect of vegetation restoration on soil erosion control and soil carbon and nitrogen dynamics: A meta-analysis / R. Yang, S. Yang, L. Chen (et al.) // Soil and Tillage Research. – 2023. – Vol. 230. – P. 105705.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105705>

381. Yuan, C. Divergent effects of converting different types of ecosystems to tree plantations on soil water holding characteristics: A meta-analysis / C. Yuan, F. Wu, Q. Wu (et al.) // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2023. – Vol. 348. – P. 108403. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108403>

382. Zarrinabadi, E. Agricultural activities lead to sediment infilling of wetlandscapes in the Canadian Prairies: Assessment of soil erosion and sedimentation fluxes /

E. Zarrinabadi, D.A. Lobb, E. Enanga (et al.) // *Geoderma*. – 2023. – Vol. 436. – P. 116525. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116525>

383. Zhang, D. Quantification of soil erosion dynamics in the hilly red soil region of Southeast China based on exposed roots / D. Zhang, F. Zhou, K. Fang (et al.) // *CATENA*. – 2023. – Vol. 232. – P. 107386. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107386>

384. Zhang, J. Improving wheat yield estimates using data augmentation models and remotely sensed biophysical indices within deep neural networks in the Guanzhong Plain, PR China / J. Zhang, H. Tian, P. Wang (et al.) // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2022. – № 192. – P. 106616, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106616>

385. Zhang, Q. Response of erosion reduction effect of typical soil and water conservation measures in cropland to rainfall and slope gradient changes and their applicable range in the Chinese Mollisols Region, Northeast China / Q. Zhang, W. Qin, W. Cao (et al.) // *International Soil and Water Conservation Research*. – 2023. – Vol. 11 (2). – P. 251-262. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.10.005>

386. Zhang, Y. Tracer elements revealed the soil organic carbon sources in a dam-controlled watershed / Y. Zhang, P. Li, X. Liu (et al.) // *Soil and Tillage Research*. – 2022. – Vol. 216. – P. 105184. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105184>

387. Zhao, W. Water erosion changes on the Qinghai-Tibet Plateau and its response to climate variability and human activities during 1982–2015 / W. Zhao, Y. Cheng, J. Jian (et al.) // *CATENA*. – 2023. – Vol. 229. – P. 107207. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107207>

388. Zhao, X. Effect of microrelief features of tillage methods under different rainfall intensities on runoff and soil erosion in slopes / X. Zhao, X. Song, L. Li (et al.) // *International Soil and Water Conservation Research*. – 2023. – Vol. 12(2). – P. 351-364. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.10.001>

389. Zhou, S. Formation of new erosion-deposition patterns after farmland conversion: The major role of topography / S. Zhou, P. Li, Y. Zhang (et al.) // *CATENA*. – 2023. – Vol. 231. – P. 107349. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107349>

390. Zhu, X. Progress and prospect of studies of Benggang erosion in southern China / X. Zhu, L. Gao, X. Wei (et al.) // *Geoderma*. – 2023. – Vol. 438. – P. 116656.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116656>

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Таблицы

Приложение А1 – Описание разреза 2301 на эрозионно-опасном склоне, 2023 г.
 Разрез 2301. Разрез заложен в Аксайском районе Ростовской области (п. Аглос) на стационаре «Эрозия» (поле 37). Координаты: 47.373221° с.ш.; 39.912329° в.д.
 Южная опушка стокорегулирующей лесополосы из робинии ложноакациевой. Растительность на опушке: пырей, кострец безостый. Глубина разреза 150 см. Вскипание слабое с 60 см, бурное – с 70 см, карбонатный мицелий с 65, белоглазка единично со 100 см, обильная – со 110 см.

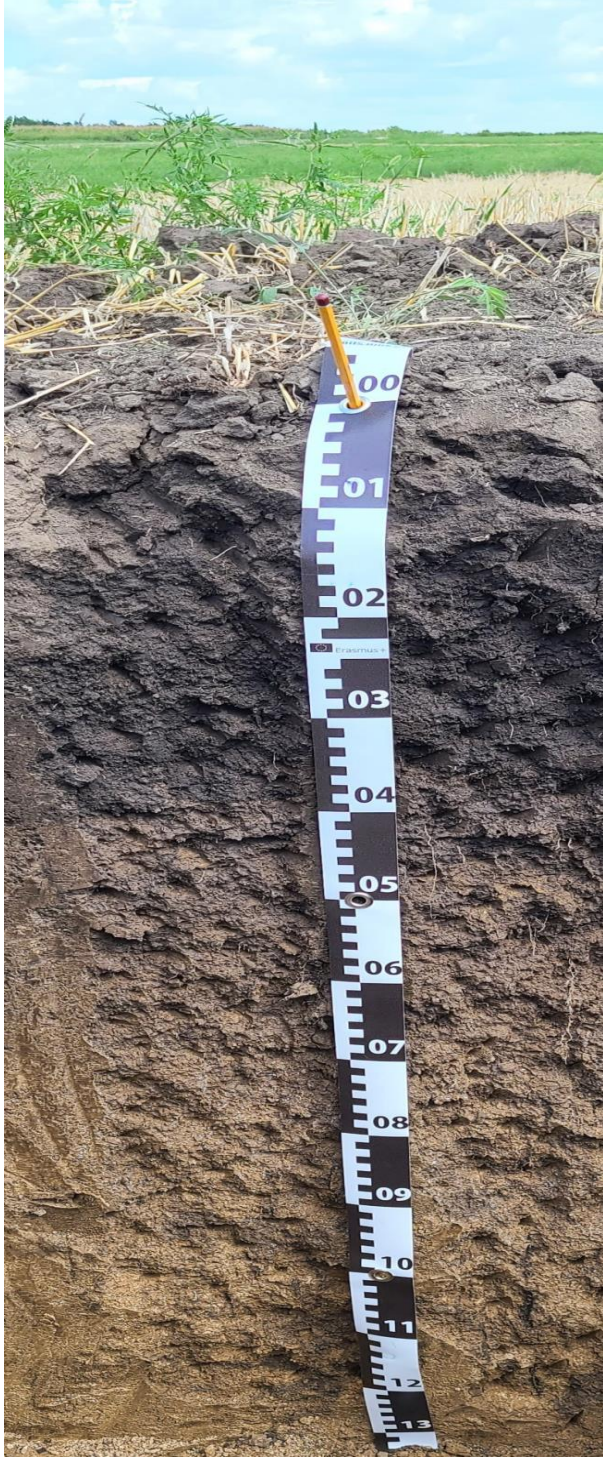
Общий вид разреза	Классификация почв России	Международная классификация WRB
1	2	3
	Ad – 0–15 см. Сухой, темно-серый, зернисто-комковато порошистый, тяжелосуглинистый, рыхлый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, густокорешковат, переход заметный по плотности. A1 – 15–55 см. Свежий, темно-серый, комковато-порошисто-зернистый, тяжелосуглинистый. Уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый. Крупные корни, бусы, копролиты. Переход постепенный. B1 – 55–70 см. Свежий, темно-серый с бурым оттенком, зернисто-комковато-ореховатый, тяжелосуглинистый. Уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый. Кротовина, крупные корни, земляные бусы. Переход заметный по окраске и вскипанию.	AU rz — 0–15 см. Сухой, темно-серый, зернисто-комковато порошистый, тяжелосуглинистый, рыхлый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, густокорешковатый, переход заметный по плотности. AU — 15–55 см. Свежий, темно-серый, комковато-порошисто-зернистый, тяжелосуглинистый. Уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый. Крупные корни, бусы, копролиты. Переход постепенный. AU lc — 55–70 см. Свежий, темно-серый с бурым оттенком, зернисто-комковато-ореховатый, тяжелосуглинистый. Уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый. Кротовина, крупные корни, земляные бусы. Переход заметный по окраске и вскипанию.

Продолжение приложения А1

1	2	3
	B2 – 70–80 см. Свежий, неоднородный по окраске: серовато-бурый с темными затеками гумуса, комковато-ореховатый, легкоглинистый, уплотненный, тонкопористый, тонкотрещиноватый, карбонатная плесень, корешки и корни, копролиты. BC – 80–110 см. Свежий, неоднородный по окраске: бурый с затеками гумуса и белесыми пятнами единичной белоглазки, порошисто-комковато-ореховатый, легкоглинистый, плотный, переход заметный по обилию белоглазки. Ск – 110–150/ дно. Карбонатная лессовидная легкая глина. Почва: Чернозем сегрегационный (обыкновенный – по Классификации почв СССР, 1977) мощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидной легкой глине.	BCA Ic — 70–80 см. Свежий, неоднородный по окраске: серовато-бурый с темными затеками гумуса, комковато-ореховатый, легкоглинистый, уплотненный, тонкопористый, тонкотрещиноватый, карбонатная плесень, корешки и корни, копролиты. BCA nc — 80–110 см. Свежий, неоднородный по окраске: бурый с затеками гумуса и белесыми пятнами единичной белоглазки, порошисто-комковато-ореховатый, легкоглинистый, плотный, переход заметный по обилию белоглазки. С са — 110–150/ дно. Карбонатная лессовидная легкая глина с многочисленными карбонатными новообразованиями – белоглазкой и прожилками, на глубине 140 см переходящая в лессовидную глину с единичной белоглазкой. Почва: Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)

Приложение А2 – Описание разреза 2302 на эрозионно-опасном склоне, 2023 г.

Разрез 2302. Разрез заложен в Аксайском районе Ростовской области (п. Аглос) на стационаре «Эрозия» (поле 37). Координаты: 47.371454° с.ш.; 39.913273° в.д. Севооборот В2. Эспарцет+ячмень. Глубина разреза 130 см. Вскипание слабое с 20 см, бурное – с 30 см, прожилки карбонатов с 60, белоглазка мелкая, рыхлая, единично со 110 см.

Общий вид разреза	Классификация почв России	Международная классификация WRB
1	2	3
	Апах – 0–30 см. Сухой, темно-серый, пылевато-порошисто-глыбистый, тяжело-суглинистый, рыхлый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, корешковат, переход заметный по плотности. Аподпах – 30–40 см. Свежий, темно-серый с буроватым оттенком в нижней части, зернисто-порошисто-комковатый, тяжело-суглинистый. Уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый. Переход заметный. В1 – 40–60 см. Свежий, буровато-серый, порошисто-зернисто-ореховатый, тяжело-суглинистый. Уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый. Кро-товина, червороины, копролиты, мелкие корни. Переход постепенный.	PU — 0–30 см. Сухой, темно-серый, пылевато-порошисто-глыбистый, тяжело-суглинистый, рыхлый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, корешковат, переход заметный по плотности. AU — 30–40 см. Свежий, темно-серый с буроватым оттенком в нижней части, зернисто-порошисто-комковатый, тяжело-суглинистый. Уплотненный, тонкопористый, тонкотрещиноватый. Переход заметный. AU — 40–60 см. Свежий, буровато-серый, порошисто-зернисто-ореховатый, тяжело-суглинистый. Уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый. Кро-товина, червороины, копролиты, мелкие корни. Переход постепенный.

Продолжение приложения А2

1	2	3
	B2 – 60–75 см. Свежий, неоднородный по окраске: темно-бурый с более светлыми и сероватыми пятнами, порошисто-ореховатый, тяжелосуглинистый, уплотненный, тонкопористый, тонкотрещиноватый, карбонатные прожилки, корешки, переход постепенный. BC – 75–100 см. Свежий, неоднородный по окраске: с преобладанием темно-бурых и бурых тонов, порошисто-ореховатый, тяжелосуглинистый, плотный, переход постепенный. Ск – 110–130 / дно. Карбонатный лессовидный тяжелый суглинок с обильными прожилками карбонатов и единичной белоглазкой. Почва: Агрозернозем миграционно-сегрегационный (Чернозем обыкновенный карбонатный слабосмытый - по Классификации почв СССР, 1977) среднеломощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке.	BCA Іс — 60–75 см. Свежий, неоднородный по окраске: темно-бурый с более светлыми и сероватыми пятнами, порошисто-ореховатый, тяжелосуглинистый, уплотненный, тонкопористый, тонкотрещиноватый, карбонатные прожилки, корешки, переход постепенный. BCA Іс — 75–100 см. Свежий, неоднородный по окраске: с преобладанием темно-бурых и бурых тонов, порошисто-ореховатый, тяжелосуглинистый, плотный, карбонатные прожилки, переход постепенный. С са — 110–130 / дно Карбонатный лессовидный тяжелый суглинок с обильными прожилками карбонатов и единичной белоглазкой. Почва: Calcic Chernozem (Loamic, Pachic).

Приложение АЗ – Описание разреза 2303 на эрозионно-опасном склоне, 2023 г.

Разрез 2303. Разрез заложен в Аксайском районе Ростовской области (п. Аглос) на стационаре «Эрозия» (поле 37). Координаты: 47.372150° с.ш.; 39.915602° в.д. Севооборот Б4, пятая полоса. Горох посевной. Глубина разреза 140 см. Вскипание бурное – с 60 см, карбонатный мицелий с 60, карбонатные прожилки с 70, белоглазка единично со 130 см.

Общий вид разреза	Классификация почв России	Международная классификация WRB
1	2	3
	Апах – 0–25 см. Свежий, темно-серый, глыбисто-комковато-порошистый, тяжело-суглинистый, рыхлый, неоднородный по плотности, тонкопористый, тонкотрещиноватый, корешковат, переход заметный по плотности. Аподпах – 25–55 см. Свежий, темно-серый, зернисто-порошисто-комковатый, тяжело-суглинистый. Уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый, корешковат. Переход заметный. В1 – 55–75 см. Свежий, темно-серый с бурым оттенком, порошисто-комковато-ореховатый, тяжело-суглинистый. Уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый. Единичные корни, карбонатная плесень. Переход заметный по окраске и вскипанию.	PU — 0–25 см. Свежий, темно-серый, глыбисто-комковато-порошистый, тяжело-суглинистый, рыхлый, неоднородный по плотности, тонкопористый, тонкотрещиноватый, корешковатый, переход заметный по плотности. AU — 25–55 см. Свежий, темно-серый, зернисто-порошисто-комковатый, тяжело-суглинистый. Уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый, корешковатый. Переход заметный. AU Ic — 55–75 см. Свежий, темно-серый с бурым оттенком, порошисто-комковато-ореховатый, тяжело-суглинистый. Уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый. Единичные корни, карбонатная плесень. Переход заметный по окраске и вскипанию.

Продолжение приложения А3

1	2	3
	B2 – 75–90 см. Свежий, темно-бурый с серыми пятнами, порошисто-ореховатый, тяжелоуглинистый, уплотненный, тонкопористый, тонкотрещиноватый, карбонатные прожилки, червороины, единичные корни, переход заметный. BC – 90–130 см. Свежий, неоднородный по окраске: бурый с затеками гумуса и белесыми пятнами единичной белоглазки, порошисто-комковато-ореховатый, тяжелоуглинистый, уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый, червороины, карбонатные прожилки, переход постепенный. Ск – 110–140/ дно. Карбонатный лессовидный тяжелый суглинок. Почва: Агрочернозем миграционно-сегрегационный (Чернозем обыкновенный карбонатный) среднемощный малогумусный тяжелоуглинистый на лессовидном суглинке.	BCA Ic — 75–90 см. Свежий, темно-бурый с серыми пятнами, порошисто-ореховатый, тяжелоуглинистый, уплотненный, тонкопористый, тонкотрещиноватый, карбонатные прожилки, червороины, единичные корни, переход заметный. BCA nc — 90–130 см. Свежий, неоднородный по окраске: бурый с затеками гумуса и белесыми пятнами единичной белоглазки, порошисто-комковато-ореховатый, тяжелоуглинистый, уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый, червороины, карбонатные прожилки, переход постепенный. С са — 110–140/ дно. Карбонатный лессовидный тяжелый суглинок. Почва: Calcic Chernozem (Loamic, Pachic).

Приложение А4 – Среднемноголетние значения количества осадков и температура воздуха в 1991–2022 гг.

Месяц	Количество осадков, (W), мм		Температура, (T), °C		ГТК	
	факт	среднее многолетнее	факт	среднее многолетнее	факт	среднее многолетнее
Январь	54	35	-2,9	-5,7		
Февраль	44	34	-1,9	-5,1		
Март	42	33	3,0	0,2		
Апрель	40	36	11,0	9,0	1,2	-
Май	54	43	17,5	16,4	1,0	0,8
Июнь	56	61	21,8	20,0	0,9	1,0
Июль	49	51	24,1	22,9	0,7	0,7
Август	33	36	23,7	21,1	0,4	0,5
Сентябрь	43	32	17,5	16,2	0,8	0,7
Октябрь	45	39	10,2	9,2	1,4	
Ноябрь	42	40	4,7	2,2		
Декабрь	49	43	-1,4	-3,1		
В среднем за год	551	483	10,6	8,6	0,9	

Приложение А5 – Уровни статистической значимости для средних значений показателя стока талых и ливневых вод на эрозионно-опасном склоне

Группы сравнения				Среднее значение, мм		Уровни статистической значимости		Критерий Колмогорова – Смирнова
Группа 1		Группа 2				t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости	
Севооборот	Приемы обработки почвы	Севооборот	Приемы обработки почвы	Группа 1	Группа 2			
А	Ч	Б	Ч	17,3	10,5	5,06*	0,00001*	0,05*
А	Ч	В	Ч	17,3	7,5	7,96*	0,0001*	0,05*
А	Ч	А	О	17,3	22,7	-2,78*	0,00874*	0,05*
А	Ч	Б	О	17,3	13,3	2,49*	0,01725*	0,05*
А	Ч	В	О	17,3	9,5	5,57*	0,0001*	0,05*
А	О	Б	Ч	22,7	10,5	6,35*	0,0001*	-
А	О	В	Ч	22,7	7,5	8,24*	0,0001*	-
А	О	Б	О	22,7	13,3	4,46*	0,00007*	-
А	О	В	О	22,7	9,5	6,73*	0,0001*	0,05*
Б	Ч	Б	О	10,5	13,3	-1,81	0,07751	-
Б	Ч	В	Ч	10,5	7,5	2,60*	0,01280*	-
Б	Ч	В	О	10,5	9,5	0,77	0,44277	-
Б	О	В	Ч	13,3	7,5	4,02*	0,00030*	-
Б	О	В	О	13,3	9,5	2,40*	0,02102*	0,05*
В	Ч	В	О	7,5	9,5	-1,61	0,11484	0,05*

Примечание: N=22; * $p < 0,05$; Севообороты: «А», «Б», «В»; приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная.

Приложение А6 – Уровни статистической значимости для средних значений показателя смыва почвы на эрозионно-опасном склоне

Группы сравнения				Среднее значение, т/га		Уровни статистической значимости	
Группа 1		Группа 2				t- критерий Стьуден- та	уровень р- значи- мо- сти
Сево- оборот	Приемы обработ- ки почвы	Сево- оборот	Приемы обработки почвы	Группа 1	Группа 2		
А	Ч	Б	Ч	5,0	2,9	3,37*	0,00182*
А	Ч	В	Ч	5,0	2,0	5,03*	0,00002*
А	Ч	А	О	5,0	5,8	-0,99	0,32952
А	Ч	Б	О	5,0	3,8	1,88	0,06659
А	Ч	В	О	5,0	2,6	3,81*	0,00052*
А	О	Б	Ч	5,8	2,9	4,60*	0,00005*
А	О	В	Ч	5,8	2,0	6,32*	0,00001*
А	О	Б	О	5,8	3,8	3,03*	0,00421*
А	О	В	О	5,8	2,6	5,04*	0,00001*
Б	Ч	Б	О	2,9	3,8	-1,73	0,09092
Б	Ч	В	Ч	2,9	2,0	2,36*	0,02285*
Б	Ч	В	О	2,9	2,6	0,69	0,49595
Б	О	В	Ч	3,8	2,0	3,85*	0,00043*
Б	О	В	О	3,8	2,6	2,30*	0,02597*
В	Ч	В	О	2,0	2,6	-1,55	0,12747

Примечание: N=24; *p < 0,05; Севообороты: «А», «Б», «В»; прием обработки почвы: Ч – чи-
зельная, О – отвальная.

Приложение А7 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей для показателей стока талых и ливневых вод в севооборотах различной конструкции

№	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
Севооборот «А»						
1	MLP 32-3-1	0,99	0,46	0,40	18,82	BFGS 17
2	MLP 32-2-1	0,99	0,42	0,001	24,81	BFGS 0
3	MLP 32-6-1	0,99	0,42	0,001	27,05	BFGS 0
Севооборот «Б»						
4	MLP 32-2-1	0,99	0,61	0,01	4,11	BFGS 22
5	MLP 32-2-1	0,99	0,61	0,01	4,09	BFGS 23
6	MLP 32-2-1	0,99	0,60	0,08	3,87	BFGS 16
Севооборот «В»						
7	MLP 32-4-1	0,99	0,64	0,02	2,47	BFGS 9
8	MLP 32-5-1	0,99	0,66	0,05	2,06	BFGS 8
9	MLP 32-5-1	0,99	0,64	0,02	2,40	BFGS 5

Приложение А8 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей стока талых и ливневых вод при использовании различных агротехнологий

№	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
1	2	3	4	5	6	7
Чизельная обработка						
1	MLP 48-8-1	0,98	0,75	0,20	1,41	BFGS 15
2	MLP 48-2-1	0,98	0,74	0,23	1,50	BFGS 10
3	MLP 48-5-1	0,98	0,74	0,21	1,52	BFGS 11
Отвальная обработка						
4	MLP 48-5-1	0,98	0,76	0,05	2,48	BFGS 32
5	MLP 48-5-1	0,98	0,76	0,03	2,49	BFGS 23
6	MLP 48-5-1	0,98	0,77	0,05	2,34	BFGS 22

Приложение А9 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей смытой почвы в севооборотах различной конструкции

№	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
Севооборот «А»						
1	MLP 32-4-1	0,98	0,85	0,033	1,33	BFGS 11
2	MLP 32-2-1	0,99	0,86	0,025	1,72	BFGS 9
3	MLP 32-2-1	0,99	0,88	0,001	1,27	BFGS 41
Севооборот «Б»						
4	MLP 32-7-1	0,99	0,80	0,006	0,21	BFGS 14
5	MLP 32-8-1	0,99	0,79	0,008	0,25	BFGS 12
6	MLP 32-8-1	0,99	0,80	0,005	0,21	BFGS 16
Севооборот «В»						
7	MLP 32-8-1	0,99	0,70	0,001	0,18	BFGS 11
8	MLP 32-6-1	0,99	0,71	0,002	0,20	BFGS 12
9	MLP 32-6-1	0,99	0,71	0,001	0,27	BFGS 22

Приложение А10 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей смыва почвы при использовании различных агротехнологий

№	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
Чизельная обработка						
1	MLP 48-2-1	0,96	0,85	0,023	0,039	BFGS 18
2	MLP 48-7-1	0,96	0,84	0,023	0,073	BFGS 19
3	MLP 48-5-1	0,96	0,85	0,019	0,060	BFGS 19
Отвальная обработка						
4	MLP 48-8-1	0,96	0,84	0,023	0,073	BFGS 19
5	MLP 48-8-1	0,96	0,84	0,021	0,069	BFGS 15
6	MLP 48-5-1	0,96	0,83	0,020	0,084	BFGS 14

Приложение А11 – Структурно-агрегатный состав почвы под лесной полосой, в слое 0-30 см, 2021, 2023 г.

Повторение	Слой почвы см	Размер агрегатов, мм								
		>10	7-10	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	0,25-0,5	<0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0-10	6,3	6,2	5,9	11,3	10,2	20,9	14,1	18,0	7,3
	10-20	6,2	7,6	8,1	14,7	10,9	20,2	12,7	14,9	4,7
	20-30	7,8	5,4	6,9	12,0	10,1	21,5	18,5	12,3	5,5
	0-30	6,8	6,4	7,0	12,6	10,4	20,8	15,1	15,0	5,8
2	0-10	8,0	9,3	10,0	16,1	12,4	19,4	10,7	10,0	4,1
	10-20	4,8	7,2	10,5	17,7	12,9	20,7	11,0	10,9	4,3
	20-30	3,0	4,8	8,3	16,4	14,7	23,9	11,2	11,4	6,3
	0-30	5,3	7,1	9,6	16,7	13,3	21,3	11,0	10,8	4,9
3	0-10	8,0	9,3	10,0	16,1	12,4	19,4	10,7	10,0	4,1
	10-20	4,8	7,2	10,5	17,7	12,9	20,7	11,0	10,9	4,3
	20-30	3,0	4,8	8,3	16,4	14,7	23,9	11,2	11,4	6,3
	0-30	5,3	7,1	9,6	16,7	13,3	21,3	11,0	10,8	4,9
Среднее	0-10	7,4	8,2	8,6	14,5	11,7	19,9	11,9	12,7	5,2
	10-20	5,3	7,3	9,7	16,7	12,2	20,5	11,6	12,2	4,4
	20-30	4,6	5,0	7,9	14,9	13,1	23,1	13,6	11,7	6,1
	0-30	5,8	6,9	8,7	15,4	12,3	21,2	12,4	12,2	5,2

Приложение А12 – Структурно-агрегатный состав почвы в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, 1990 г.

Предшественник	Приемы обработки почвы	Размер агрегатов, мм								
		>10	7-10	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	0,25-0,5	<0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Слой 0-10 см										
Чистый пар	Ч	26,8	9,6	7,4	9,5	10,5	20,5	5,2	6,3	4,2
	О	21,6	8,9	6,8	8,6	9,7	19,8	6,5	8,7	9,4
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	22,4	13,8	8,9	9,6	12,4	16,5	4,6	7,2	4,6
	О	20,7	11,9	6,6	11,2	11,5	14,3	4,4	8,5	10,9
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	22,3	13,7	7,9	15,6	12,3	14,4	5,7	3,2	4,9
	О	21,9	10,8	5,4	16,5	11,5	12,5	8,7	4,1	8,6
Многолетние травы	Ч	7,5	12,9	14,1	17,0	2,8	31,1	7,5	5,4	1,7
	О	8,8	10,7	12,4	16,8	3,4	32,4	6,2	6,9	2,4
Слой 10-20 см										
Чистый пар	Ч	24,7	8,5	6,8	8,9	11,2	21,3	5,6	7,8	5,2
	О	18,2	6,6	6,4	8,0	10,5	19,5	9,1	8,4	13,3
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	18,8	10,6	5,9	7,6	12,7	18,5	7,7	8,6	9,6
	О	17,5	9,1	5,5	9,0	12,2	17,2	9,8	8,2	11,6
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	18,9	11,3	5,4	16,4	12,1	17,1	6,8	7,9	4,2
	О	18,2	8,6	3,8	15,5	12,9	19,0	6,2	9,1	6,7
Многолетние травы	Ч	12,0	13,0	12,2	17,2	3,7	28,1	6,0	7,6	0,3
	О	7,2	10,7	15,1	19,8	4,0	32,9	4,1	4,8	1,3
Слой 20-30 см										
Чистый пар	Ч	22,9	7,7	6,2	6,2	12,2	24,5	12,9	1,5	5,9
	О	20,8	6,4	8,1	6,8	10,4	21,5	11,3	10,8	3,8
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	19,8	6,9	5,4	6,6	10,0	18,2	11,3	8,2	13,5
	О	16,2	5,8	5,7	6,2	9,2	16,5	12,7	9,4	18,3

Продолжение приложения А12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	16,7	9,4	5,3	6,7	11,0	18,5	11,9	8,0	12,5
	О	15,5	8,1	4,0	8,0	9,6	19,3	13,6	6,4	15,6
Многолетние травы	Ч	12,8	12,2	13,8	18,5	4,8	29,4	4,1	3,1	1,4
	О	6,4	10,8	14,2	21,1	4,4	31,0	4,4	4,9	2,7
Среднее в слое 0-30 см										
Чистый пар	Ч	24,8	8,6	6,8	8,2	11,3	22,1	7,9	5,2	5,1
	О	20,2	7,3	7,1	7,8	10,2	20,3	9,0	9,3	8,8
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	20,4	10,4	6,8	7,9	11,7	17,8	7,9	8,0	9,2
	О	18,1	8,9	5,9	8,8	10,9	16,0	9,0	8,7	13,6
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	19,3	11,5	6,2	12,9	11,8	16,7	8,1	6,3	7,2
	О	18,5	9,1	4,4	13,3	11,3	16,9	9,5	6,5	10,3
Многолетние травы	Ч	10,7	12,7	13,4	17,6	3,8	29,5	5,9	5,4	1,1
	О	7,4	10,8	13,9	19,2	3,9	32,1	4,9	5,6	2,2

Приложение А13 – Структурно-агрегатный состав почвы в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, 1991 г.

Предшественник	Приемы обработки почвы	Размер агрегатов, мм								
		>10	7-10	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	0,25-0,5	<0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Слой 0-10 см										
Чистый пар	Ч	27,3	9,9	10,2	6,2	9,0	14,7	9,8	9,9	3,1
	О	28,1	10,3	9,1	5,8	8,2	15,8	11,7	9,5	1,5
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	25,5	5,2	11,5	5,4	12,1	16,9	8,3	8,0	7,0
	О	24,2	4,8	6,3	4,7	8,9	18,8	13,1	9,5	9,7
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	27,7	7,5	9,1	3,2	11,5	14,8	9,0	9,1	8,2
	О	24,8	5,1	7,0	4,6	10,8	13,4	13,2	13,3	7,9
Многолетние травы	Ч	11,6	14,9	10,1	12,0	3,6	26,1	6,5	11,8	3,3
	О	7,8	10,2	11,4	17,6	3,0	29,8	4,9	7,5	7,8
Слой 10-20 см										
Чистый пар	Ч	18,0	4,8	8,6	10,6	9,3	19,8	11,8	8,6	8,5
	О	14,4	5,3	8,3	10,5	8,4	17,1	12,1	12,0	12,0
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	16,0	8,9	7,4	10,0	8,0	15,4	10,5	10,8	12,9
	О	16,6	6,4	9,9	8,5	12,9	16,7	9,1	9,9	10,0
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	19,3	6,9	7,8	10,9	7,9	15,2	11,1	11,3	9,6
	О	14,1	9,2	6,9	14,3	8,7	16,7	10,3	9,2	10,6
Многолетние травы	Ч	12,2	17,0	12,3	16,5	3,6	24,2	5,1	8,0	1,1
	О	6,3	10,5	11,6	19,0	4,9	30,0	5,5	8,4	3,9
Слой 20-30 см										
Чистый пар	Ч	27,6	16,6	5,8	12,3	13,5	15,9	1,2	0,4	6,6
	О	27,4	9,9	7,5	10,4	8,3	18,7	0,6	3,1	14,2
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	35,5	4,9	1,7	12,8	6,6	16,6	7,0	6,3	8,5
	О	33,0	3,8	3,1	6,0	2,5	7,2	14,7	14,7	15,1
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	31,3	4,2	8,9	11,1	5,8	14,7	11,7	2,3	9,8
	О	43,6	6,4	8,9	6,3	9,9	8,0	3,2	3,4	10,3
Многолетние травы	Ч	9,1	13,6	13,8	17,8	3,3	28,3	4,5	6,8	2,7
	О	5,9	11,7	11,2	17,7	4,9	30,7	5,7	9,1	3,2
Среднее в слое 0-30 см										
Чистый пар	Ч	24,3	10,4	8,2	9,7	10,6	16,8	7,6	6,3	6,1
	О	23,3	8,5	8,3	8,9	8,3	17,2	8,1	8,2	9,2
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	25,7	6,3	6,9	9,4	8,9	16,3	8,6	8,4	9,5
	О	24,6	5,0	6,4	6,4	8,1	14,2	12,3	11,4	11,6

Продолжение приложения А13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	26,1	6,2	8,6	8,4	8,4	14,9	10,6	7,6	9,2
	О	27,5	6,9	7,6	8,4	9,8	12,7	8,9	8,6	9,6
Многолетние травы	Ч	11,0	15,2	12,1	15,5	3,5	26,2	5,4	8,9	2,4
	О	6,7	10,8	11,4	18,1	4,3	30,1	5,4	8,3	5,0

Приложение А14 – Структурно-агрегатный состав почвы в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, 1992 г.

Предшественник	Приемы обработки почвы	Размер агрегатов, мм								
		>10	7-10	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	0,25-0,5	<0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Слой 0-10 см										
Чистый пар	Ч	20,1	8,4	7,5	10,4	9,5	18,1	9,6	11,8	4,7
	О	23,0	7,5	9,1	9,4	9,0	15,7	8,4	10,1	7,8
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	21,6	7,0	8,3	10,5	8,3	16,3	11,7	11,2	5,2
	О	19,1	5,0	7,1	9,6	8,5	15,2	13,3	13,6	8,6
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	20,0	8,1	7,7	9,7	8,3	14,9	10,2	11,2	9,9
	О	19,7	7,4	6,3	8,2	6,0	14,6	12,5	12,9	12,5
Многолетние травы	Ч	11,4	13,7	13,7	21,3	4,1	24,0	5,8	1,5	4,5
	О	6,7	9,5	6,1	21,1	4,8	28,3	11,1	9,8	2,6
Слой 10-20 см										
Чистый пар	Ч	20,5	9,2	6,7	12,4	10,1	16,7	8,3	10,5	5,7
	О	19,9	8,8	5,3	11,3	10,3	15,2	9,6	8,2	11,4
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	19,1	12,5	11,6	13,0	9,4	14,9	8,7	7,9	2,8
	О	19,2	8,9	8,4	13,7	10,4	16,5	9,5	6,8	6,6
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	20,4	10,7	9,6	16,2	12,0	15,3	4,5	4,9	6,5
	О	18,2	11,1	8,1	14,8	14,3	13,5	5,4	4,4	10,2
Многолетние травы	Ч	12,1	12,6	12,1	20,7	4,8	25,7	6,0	3,3	2,7
	О	6,0	9,8	12,7	18,6	4,7	30,2	5,5	8,7	3,6
Слой 20-30 см										
Чистый пар	Ч	21,0	10,0	11,9	7,2	4,8	18,0	7,0	6,2	13,9
	О	14,4	9,2	11,4	6,3	9,3	19,8	8,1	2,4	19,2
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	22,9	13,2	5,3	14,6	7,5	15,4	5,1	4,3	11,8
	О	22,9	18,2	13,3	10,0	11,1	11,1	2,7	3,3	7,3
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	26,7	18,1	13,0	5,6	12,7	9,1	2,8	3,4	8,5
	О	23,6	12,1	14,7	5,5	6,6	9,2	1,9	6,4	19,9
Многолетние травы	Ч	10,6	13,8	10,3	19,1	3,2	27,7	6,3	4,2	4,9
	О	7,2	10,1	9,2	21,7	5,6	33,0	5,1	3,4	4,8
Среднее в слое 0-30 см										
Чистый пар	Ч	20,5	9,2	8,7	10,0	8,1	17,6	8,3	9,5	8,1
	О	19,1	8,5	8,6	9,0	9,5	16,9	8,7	6,9	12,8
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	21,2	10,9	8,4	12,7	8,4	15,5	8,5	7,8	6,6
	О	20,4	10,7	9,6	11,1	10,0	14,3	8,5	7,9	7,5
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	22,4	12,3	10,1	10,5	11,0	13,1	5,8	6,5	8,3
	О	20,5	10,2	9,7	9,5	9,0	12,4	6,6	7,9	14,2
Многолетние травы	Ч	11,4	13,4	12,0	20,4	4,0	25,8	6,0	3,0	4,0
	О	6,6	9,8	9,3	20,5	5,0	30,5	7,3	7,3	3,7

Приложение А15 – Структурно-агрегатный состав почвы в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, 2018 г.

Предшественник	Приемы обработки почвы	Размер агрегатов, мм								
		>10	7-10	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5- 1	0,25- 0,5	<0,25
Слой 0-10 см										
Чистый пар	Ч	11,8	8,6	10,3	10,2	11,3	21,6	5,6	7,2	13,4
	О	10,2	7,3	10,1	8,4	10,2	20	8,6	9,3	15,9
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	7,5	11,7	10,6	12,4	12,7	15,1	4,9	6,2	18,9
	О	6,4	10,1	9,0	10,0	11,0	17,1	8,2	7,0	21,2
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	11,0	9,1	9,4	15,2	13,0	15	4,0	4,2	19,1
	О	9,4	7,1	8,6	13,2	12,7	15,1	5,5	4,6	23,8
Многолетние тра- вы	Ч	8,5	12,6	11,5	15,8	3,5	26,4	6,3	9,6	5,9
	О	9,1	10,7	12,0	19,3	4,0	27,1	7,5	7,5	2,8
Слой 10-20 см										
Чистый пар	Ч	10,8	12,6	9,4	9,4	10,6	18,3	6,3	7,9	14,7
	О	9,6	12,4	8,3	9,1	9,6	17,1	9,7	9,5	14,7
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	7,1	10,4	9,4	11,4	13,2	20,1	6,1	5,2	17,1
	О	6,4	9,8	9,5	14,4	12,2	16,0	6,3	5,4	20,0
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	10,4	9,2	9,2	15,7	12,6	18,0	3,2	3,6	18,1
	О	8,5	5,9	9,7	14,4	13,4	15,4	5,3	3,9	23,5
Многолетние тра- вы	Ч	10,4	9,6	7,8	13,2	2,1	29,0	6,7	13,3	7,9
	О	2,5	3,6	5,1	9,6	2,2	35,3	13,5	18,3	9,8
Слой 20-30 см										
Чистый пар	Ч	9,8	14,3	9,1	8,5	9,5	20	6,4	7,3	15,1
	О	8,3	13,5	8,6	7,2	8,8	17,8	9,5	11,6	14,7
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	6,8	9,3	9,8	10,5	13,0	22,7	5,8	5,0	17,1
	О	5,2	8,4	8,8	13,3	10,6	20,3	6,5	6,0	20,9
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	10,8	7,5	8,7	15,5	13,6	21,8	2,4	2,6	17,1
	О	7,9	5,1	7,0	15,1	10,9	21,0	5,5	4,2	23,4
Многолетние тра- вы	Ч	12,7	9,2	9,9	15,8	3,4	27,1	6,5	9,1	6,2
	О	2,8	7,8	11,4	21,2	4,7	31,9	6,3	9,0	4,9
Среднее в слое 0-30 см										
Чистый пар	Ч	10,8	11,8	9,6	9,4	10,5	20,0	6,1	7,5	14,4
	О	9,4	11,1	9,0	8,2	9,5	18,3	9,3	10,1	15,1
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	7,1	10,5	9,9	11,4	13,0	19,3	5,6	5,5	17,7
	О	6,0	9,4	9,1	12,6	11,3	17,8	7,0	6,1	20,7
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	10,7	8,6	9,1	15,5	13,1	18,3	3,2	3,5	18,1
	О	8,6	6,0	8,4	14,2	12,3	17,2	5,4	4,2	23,6
Многолетние тра- вы	Ч	10,5	10,5	9,7	15,0	3,0	27,5	6,5	10,7	6,7
	О	4,8	7,4	9,5	16,7	3,7	31,4	9,1	11,6	5,8

Приложение А16 – Структурно-агрегатный состав почвы в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, 2019 г.

Предшественник	Приемы обработки почвы	Размер агрегатов, мм								
		>10	7-10	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	0,25-0,5	<0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Слой 0-10 см										
Чистый пар	Ч	10,5	11,4	10,2	13,7	8,6	19,8	5,6	5,3	14,9
	О	8,8	9,5	9,1	10,4	9,3	18	10,1	9,2	15,6
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	5,7	7,3	8,9	14,4	10,9	20,3	11,6	11,4	9,5
	О	4,6	6	7,4	11,4	10,1	20,2	14,3	14,4	11,6

Продолжение приложения А16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	8,9	6,2	9,2	14,4	11,3	18,9	4,0	4,6	22,5
	О	7,5	6,9	9,6	15,4	10,8	16,7	7,5	5,9	19,7
Многолетние тра- вы	Ч	14,6	10,5	9,8	17,5	4,6	27,2	6,5	8,3	1,0
	О	7,5	13,6	12,1	21,6	4,6	28,7	3,9	4,5	3,6
Слой 10-20 см										
Чистый пар	Ч	10,5	13,4	12	13,4	8,3	18,1	4,5	5,6	14,2
	О	8,6	12,4	10,2	10,6	8,3	16,1	8	9,9	15,9
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	9,8	9,6	10,9	16,4	12,0	17,4	8,5	8,0	7,4
	О	7,8	10,0	11,1	15,9	11,1	17,1	9,2	9,2	8,6
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	8,5	7,5	10,7	17,4	13,2	19,7	4,1	4,0	14,9
	О	7,1	6,9	9,0	17,3	12,2	17	7,3	5,8	17,4
Многолетние тра- вы	Ч	12,3	9,1	11,4	16,7	4,1	30,3	6,2	7,6	2,4
	О	10,2	13,7	12,2	19,1	4,7	28,4	5,0	5,2	1,4
Слой 20-30 см										
Чистый пар	Ч	10,7	13,7	10,0	13,8	8,8	16,2	4,6	5,8	16,4
	О	8,3	11,0	8,1	12,3	10,9	17,2	7,5	7,5	17,2
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	6,7	10,1	10,6	16,0	12,2	18,3	9,2	8,5	8,4
	О	6,9	11,1	11,9	17,2	12,4	17,1	8,2	7,7	7,5
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	8,6	7,7	12,2	17,4	12,4	17,6	4,0	4,1	16,0
	О	8,1	6,7	9,4	16,8	11,7	16,7	6,3	5,9	18,4
Многолетние тра- вы	Ч	9,1	13,4	15,6	23,4	4,4	23,5	3,0	4,0	3,6
	О	17,5	19,0	13,5	17,2	4,0	20,7	3,3	3,2	1,7
Среднее в слое 0-30 см										
Чистый пар	Ч	10,6	12,8	10,7	13,6	8,6	18,0	4,9	5,6	15,2
	О	8,6	11,0	9,1	11,1	9,5	17,1	8,5	8,9	16,2
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	7,4	9,0	10,1	15,6	11,7	18,7	9,8	9,3	8,4
	О	6,4	9,0	10,1	14,8	11,2	18,1	10,6	10,4	9,2
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	8,7	7,1	10,7	16,4	12,3	18,7	4,0	4,2	17,8
	О	7,6	6,8	9,3	16,5	11,6	16,8	7,0	5,9	18,5
Многолетние тра- вы	Ч	12,0	11,0	12,3	19,2	4,4	27,0	5,2	6,6	2,3
	О	11,7	15,5	12,6	19,3	4,4	26,0	4,1	4,3	2,2

Приложение А17 – Структурно-агрегатный состав почвы в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, 2020 г.

Предшественник	Приемы обработки почвы	Размер агрегатов, мм								
		>10	7-10	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	0,25-0,5	<0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Слой 0-10 см										
Чистый пар	Ч	11,1	7,4	6,5	12,4	9,9	19,8	6,5	9,8	16,6
	О	9,6	10,0	9,3	14,5	9,3	16,3	9,6	10,2	11,2
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	6,1	5,0	11,5	6,6	9,5	19,2	9,3	10,6	22,2
	О	9,8	9,1	7,7	13,1	9,7	15,9	11,2	11,2	12,3
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	9,1	9,8	9,5	9,8	8,3	18,3	14,1	11,1	10
	О	7,3	6,2	6	10,7	7,8	17,1	13,5	14,3	17,1
Многолетние тра- вы	Ч	8,9	12,7	11,2	15,9	3,6	32,3	6,6	7,2	1,7
	О	4,1	12,9	12,6	23,0	1,9	33,3	3,9	5,3	3,0
Слой 10-20 см										
Чистый пар	Ч	11,5	9,2	8,7	12,0	8,8	18,6	6,3	7,5	17,4
	О	8,7	10,5	8,6	14,0	8,9	16,9	8,7	6,9	16,8

Продолжение приложения А17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	11,2	12,9	10,8	13,7	9,4	18,5	9,5	8,8	5,2
	О	8,4	8,6	9,6	12,1	8,4	15,3	8,5	10,2	18,9
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	10,4	8,7	8,5	12,6	11,0	15,1	6,8	11,5	15,4
	О	8,5	7,9	8,7	11,5	10,1	15,4	8,6	12,1	17,2
Многолетние тра- вы	Ч	14,3	17,1	13,6	19,6	3,4	24,4	2,8	2,3	2,4
	О	11,4	18,2	15,1	20,5	1,8	22,9	3,9	5,4	0,8
Слой 20-30 см										
Чистый пар	Ч	10,3	15,0	12,3	9,8	7,7	17,9	5,2	6,4	15,4
	О	7,4	9,5	8,8	10,2	8,5	16,3	7,9	7,3	24,1
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	9,7	7,6	9,7	10,7	9,9	16,9	7,6	9,8	18,1
	О	8,4	7,2	10,2	11,1	7,8	15,7	8,9	8,9	21,8
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	10,8	7,8	7,1	14,7	11,0	15,1	6,8	6,5	20,2
	О	10,6	8,2	8,8	10,2	9,4	14,8	9,0	9,1	19,9
Многолетние тра- вы	Ч	12,9	14,3	12,8	12,9	3,7	23,1	6,6	9,7	3,9
	О	10,3	14,2	15,3	20,8	2,4	26,3	3,6	4,7	2,3
Среднее в слое 0-30 см										
Чистый пар	Ч	11,0	10,5	9,2	11,4	8,8	18,8	6,0	7,9	16,5
	О	8,6	10,0	8,9	12,9	8,9	16,5	8,7	8,1	17,4
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	9,0	8,5	10,7	10,3	9,6	18,2	8,8	9,7	15,2
	О	8,9	8,3	9,2	12,1	8,6	15,6	9,5	10,1	17,7
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	10,1	8,8	8,4	12,4	10,1	16,2	9,2	9,7	15,2
	О	8,8	7,4	7,8	10,8	9,1	15,8	10,4	11,8	18,1
Многолетние тра- вы	Ч	12,0	14,7	12,5	16,1	3,6	26,6	5,3	6,4	2,7
	О	8,6	15,1	14,4	21,4	2,0	27,5	3,8	5,1	2,0

Приложение А18 – Статистическая значимость средних значений агрегатов, различного размера при просеивании на воздухе в слое почвы 0-30 см в чистом пару

Группы сравнения				Среднее значе- ние, %		Уровни статистической зна- чимости	
Группа 1		Группа 2		Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р- значимости
Ротация севооб- орога	Приемы обра- ботки почвы	Ротация севооб- орога	Приемы обра- ботки почвы				
1	2	3	4	5	6	7	8
Размер фракции >10 мм							
II	О	VII	О	18,2	8,8	7,78	0,001
II	О	VII	Ч	18,2	17,3	0,71	0,52
II	Ч	II	О	18,2	9,3	7,41	0,002
II	Ч	VII	О	18,2	10,8	4,14	0,01
II	Ч	VII	Ч	18,2	9,0	7,79	0,001
VII	Ч	VII	О	18,2	10,7	6,10	0,004
Размер фракции 7-10 мм							
II	Ч	II	О	11,7	10,8	1,38	0,24
VII	О	II	О	11,7	7,0	4,86	0,01
VII	О	II	Ч	11,7	5,7	7,98	0,001
VII	Ч	II	О	11,7	9,3	2,75	0,05
VII	Ч	II	Ч	11,7	11,5	0,18	0,87

1	2	3	4	5	6	7	8
VII	Ч	VII	О	11,7	9,8	2,33	0,08
Размер фракции 5-7 мм							
I	О	II	Ч	9,3	8,0	1,67	0,17
VII	О	II	О	9,3	8,1	1,61	0,18
VII	О	II	Ч	9,3	6,2	2,50	0,07
VII	Ч	II	О	9,3	7,0	1,59	0,19
VII	Ч	II	Ч	9,3	7,9	2,10	0,10
VII	Ч	VII	О	9,3	7,9	1,65	0,17
Размер фракции 3-5 мм							
II	Ч	II	О	10,8	8,1	3,80	0,02
VII	О	II	О	10,8	8,8	4,46	0,01
VII	О	II	Ч	10,8	9,3	2,60	0,06
VII	Ч	II	О	10,8	8,6	5,60	0,01
VII	Ч	II	Ч	10,8	8,0	5,95	0,004
VII	Ч	VII	О	10,8	8,1	6,52	0,003
Размер фракции 2-3 мм							
II	О	VII	О	10,8	9,3	0,99	0,38
II	О	VII	Ч	10,8	7,9	1,94	0,12
II	Ч	II	О	10,8	9,4	0,93	0,41
II	Ч	VII	О	10,8	8,9	1,36	0,25
II	Ч	VII	Ч	10,8	9,0	1,17	0,31
VII	О	VII	Ч	10,8	8,8	1,39	0,24
Размер фракции 1-2 мм							
II	О	VII	О	16,2	7,9	9,67	0,001
II	Ч	II	О	16,2	9,4	8,17	0,001
II	Ч	VII	О	16,2	8,9	10,64	0,0004
II	Ч	VII	Ч	16,2	9,0	8,32	0,001
VII	Ч	II	О	16,2	8,8	10,82	0,0004
VII	Ч	VII	О	16,2	9,3	10,16	0,001
Размер фракции 0,5-1 мм							
II	О	II	Ч	10,0	8,8	1,13	0,32
II	О	VII	Ч	10,0	9,3	0,60	0,58
II	Ч	VII	Ч	10,0	8,6	1,37	0,24
VII	О	II	О	10,0	8,0	1,86	0,14
VII	О	II	Ч	10,0	8,1	1,81	0,14
VII	О	VII	Ч	10,0	6,2	2,63	0,06
Размер фракции 0,25-0,5							
II	О	II	Ч	19,1	8,8	5,32	0,01
II	О	VII	Ч	19,1	18,2	0,37	0,73
II	Ч	VII	Ч	19,1	9,3	4,96	0,01
VII	О	II	О	19,1	8,6	5,47	0,01
VII	О	II	Ч	19,1	8,0	5,72	0,005
VII	О	VII	Ч	19,1	8,1	5,70	0,005
Размер фракции <0,25 мм							
II	О	II	Ч	10,0	8,1	1,13	0,32
VII	О	II	О	10,0	8,8	0,76	0,49
VII	О	II	Ч	10,0	9,3	0,40	0,71
VII	О	VII	Ч	10,0	8,6	0,92	0,41
VII	Ч	II	О	10,0	8,0	1,28	0,27
VII	Ч	II	Ч	10,0	8,1	1,23	0,29

Примечание: N=3; *p < 0,05; Приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная, II – 2-я ротация севооборотов, VII – 7-я ротация севооборотов.

Приложение А19 – Статистическая значимость средних значений агрегатов, различного размера при просеивании на воздухе в слое почвы 0-30 см под озимой пшеницей по предшественнику чистый пар

Группы сравнения				Среднее значение, %		Уровни статистической значимости	
Группа 1		Группа 2		Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Ротация севооборота	Приемы обработки почвы	Ротация севооборота	Приемы обработки почвы				
1	2	3	4	5	6	7	8
Размер фракции >10 мм							
II	Ч	II	О	22,6	21,5	0,51	0,64
II	О	VII	О	21,5	7,1	7,84	0,001
II	О	VII	Ч	21,5	7,8	8,02	0,001
II	Ч	VII	О	22,6	7,1	8,62	0,001
II	Ч	VII	Ч	22,6	7,8	8,89	0,001
VII	Ч	VII	О	7,8	7,1	0,66	0,55
Размер фракции 7-10 мм							
II	Ч	II	О	9,7	8,6	0,43	0,69
VII	О	II	О	8,9	8,6	0,18	0,87
VII	Ч	II	О	9,3	8,6	0,38	0,72
II	Ч	VII	Ч	9,7	9,3	0,18	0,86
II	Ч	VII	О	9,7	8,9	0,43	0,69
VII	Ч	VII	О	9,3	8,9	0,61	0,58
Размер фракции 5-7 мм							
II	Ч	II	О	7,3	7,0	0,20	0,85
VII	О	II	О	9,5	7,0	1,76	0,15
VII	Ч	II	О	10,3	7,0	2,36	0,08
VII	О	II	Ч	9,5	7,3	3,34	0,03
VII	Ч	II	Ч	10,3	7,3	4,89	0,01
VII	Ч	VII	О	10,3	9,5	1,94	0,12
Размер фракции 3-5 мм							
II	Ч	II	О	10,2	9,2	0,52	0,63
VII	Ч	II	Ч	12,4	10,2	1,10	0,33
VII	Ч	II	О	12,4	9,2	1,52	0,20
VII	О	II	Ч	13,2	10,2	1,95	0,12
VII	О	II	О	13,2	9,2	2,43	0,07
VII	О	VII	Ч	13,2	12,4	0,41	0,70
Размер фракции 2-3 мм							
II	Ч	II	О	10,3	10,0	0,15	0,89
VII	О	II	Ч	10,4	10,3	0,01	0,99
VII	О	II	О	10,4	10,0	0,22	0,83
VII	Ч	II	Ч	11,4	10,3	0,56	0,61
VII	Ч	II	О	11,4	10,0	0,93	0,41
VII	Ч	VII	О	11,4	10,4	0,80	0,47
Размер фракции 1-2 мм							
II	Ч	II	О	17,5	15,9	0,71	0,52
VII	О	II	О	17,2	15,9	0,74	0,50
VII	Ч	II	Ч	18,8	17,5	0,79	0,47

Продолжение приложения А19

1	2	3	4	5	6	7	8
VII	Ч	II	О	18,8	15,9	1,75	0,16
II	Ч	VII	О	17,5	17,2	0,16	0,88
VII	Ч	VII	О	18,8	17,2	1,83	0,14
Размер фракции 0,5-1 мм							
II	О	II	Ч	9,7	7,3	1,30	0,26
VII	Ч	II	Ч	8,1	7,3	0,41	0,70
VII	О	II	Ч	9,0	7,3	1,05	0,35
II	О	VII	О	9,7	9,0	0,37	0,73
II	О	VII	Ч	9,7	8,1	0,88	0,43
VII	О	VII	Ч	9,0	8,1	0,59	0,58
Размер фракции 0,25-0,5 мм							
II	О	II	Ч	9,1	7,5	1,23	0,29
VII	Ч	II	Ч	8,2	7,5	0,46	0,67
VII	О	II	Ч	8,9	7,5	0,93	0,41
II	О	VII	О	9,1	8,9	0,12	0,91
II	О	VII	Ч	9,1	8,2	0,52	0,63
VII	О	VII	Ч	8,9	8,2	0,37	0,73
Размер фракции <0,25 мм							
II	О	II	Ч	9,1	7,7	0,92	0,41
VII	Ч	II	О	13,7	9,1	1,53	0,20
VII	О	II	О	15,9	9,1	1,85	0,14
VII	Ч	II	Ч	13,7	7,7	2,09	0,10
VII	О	II	Ч	15,9	7,7	2,31	0,08
VII	О	VII	Ч	15,9	13,7	0,48	0,66

Приложение А20 – Статистическая значимость средних значений агрегатов, различного размера при просеивании на воздухе в слое почвы 0-30 см под озимой пшеницей по предшественнику кукуруза

Группы сравнения				Среднее значение, %		Уровни статистической значимости	
Группа 1		Группа 2		Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Ротация севооборота	Приемы обработки почвы	Ротация севооборота	Приемы обработки почвы				
1	2	3	4	5	6	7	8
Размер фракции >10 мм							
II	Ч	I	О	23,2	22,7	0,2	0,89
VII	Ч	VII	О	9,8	8,3	2,1	0,10
II	О	VII	Ч	22,7	9,8	5,2	0,0063
II	О	VII	О	22,7	8,3	6,0	0,0040
II	Ч	VII	Ч	23,2	9,8	8,1	0,0012
II	Ч	VII	О	23,2	8,3	9,5	0,00070
Размер фракции 7-10 мм							
II	О	VII	Ч	8,9	8,2	0,6	0,58
II	Ч	I	О	10,3	8,9	0,6	0,56
II	Ч	VII	Ч	10,3	8,2	1,0	0,37
II	Ч	VII	О	10,3	6,7	1,7	0,16
II	О	VII	О	8,9	6,7	2,0	0,12
VII	Ч	VII	О	8,2	6,7	2,2	0,10

Продолжение приложения А20

1	2	3	4	5	6	7	8
Размер фракции 5-7 мм							
VII	O	I	Ч	8,5	8,2	0,2	0,84
II	Ч	I	O	8,2	7,2	0,5	0,62
VII	O	I	O	8,5	7,2	0,8	0,46
VII	Ч	I	Ч	9,4	8,2	0,9	0,44
VII	Ч	VII	O	9,4	8,5	1,1	0,33
VII	Ч	I	O	9,4	7,2	1,3	0,27
Размер фракции 3-5 мм							
II	Ч	I	O	12,4	11,7	0,2	0,88
VII	O	I	Ч	13,8	12,4	0,4	0,69
VII	Ч	VII	O	14,8	13,8	0,5	0,68
VII	O	I	O	13,8	11,7	0,7	0,54
VII	Ч	I	Ч	14,8	12,4	0,7	0,50
VII	Ч	I	O	14,8	11,7	1,0	0,37
Размер фракции 2-3 мм							
II	O	II	Ч	10,9	10,8	0,05	0,96
VII	Ч	II	Ч	11,8	10,8	0,64	0,56
VII	Ч	II	O	11,8	10,9	0,52	0,63
VII	Ч	VII	O	11,8	11,0	0,63	0,56
VII	O	II	Ч	11,0	10,8	0,12	0,91
VII	O	II	O	11,0	10,9	0,06	0,96
Размер фракции 1-2 мм							
II	Ч	I	O	15,7	15,4	0,1	0,94
VII	O	I	O	16,6	15,4	0,4	0,69
VII	O	I	Ч	16,6	15,7	0,5	0,62
VII	Ч	I	O	17,7	15,4	0,8	0,48
VII	Ч	I	Ч	17,7	15,7	1,1	0,34
VII	Ч	VII	O	17,7	16,6	1,2	0,28
Размер фракции 0,5-1							
II	O	I	Ч	7,0	6,8	0,1	0,93
VII	O	I	Ч	7,6	6,8	0,3	0,76
VII	O	I	O	7,6	7,0	0,3	0,75
II	Ч	VII	Ч	6,8	5,5	0,5	0,65
II	O	VII	Ч	7,0	5,5	0,7	0,51
VII	O	VII	Ч	7,6	5,5	0,9	0,42
Размер фракции 0,25-0,5 мм							
II	O	II	Ч	7,0	5,8	0,70	0,52
II	O	VII	Ч	7,0	5,8	0,53	0,63
VII	Ч	II	Ч	5,8	5,8	0,02	0,98
VII	O	II	Ч	7,3	5,8	0,59	0,59
VII	O	II	O	7,3	7,0	0,11	0,92
VII	O	VII	Ч	7,3	5,8	0,50	0,65
Размер фракции <0,25							
II	O	I	Ч	9,2	6,9	0,7	0,55
VII	O	VII	Ч	20,0	17,0	1,5	0,21
VII	Ч	I	O	17,0	9,2	2,5	0,070
VII	O	I	O	20,0	9,2	3,1	0,036
VII	Ч	I	Ч	17,0	6,9	4,7	0,0091
VII	O	I	Ч	20,0	6,9	5,1	0,0072

Примечание: N=3; *p < 0,05; Приемы обработки почвы: Ч – чизельная, O – отвальная; II – 2-я ротация севооборотов, VII – 7-я ротация севооборотов.

Приложение А21 – Статистическая значимость средних значений агрегатов, различного размера при просеивании на воздухе в слое почвы 0-30 см под многолетними травами

Группы сравнения				Среднее значение, %		Уровни статистической значимости	
Группа 1		Группа 2		Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Ротация севооборота	Приемы обработки почвы	Ротация севооборота	Приемы обработки почвы				
1	2	3	4	5	6	7	8
Размер фракции >10 мм							
II	O	VII	O	4,4	3,8	1,00	0,38
II	Ч	II	O	11,0	4,4	10,30	0,001
II	Ч	VII	O	11,0	3,8	11,30	0,0003
II	Ч	VII	Ч	11,0	10,9	0,17	0,9
VII	Ч	II	O	10,9	4,4	10,13	0,001
VII	Ч	VII	O	10,9	3,8	11,13	0,0004
Размер фракции 7-10 мм							
II	O	II	Ч	27,2	6,9	31,88	0,00001
II	O	VII	O	27,2	27,2	0,11	0,92
II	O	VII	Ч	27,2	8,3	29,73	0,00001
VII	O	II	Ч	27,2	6,9	31,77	0,00001
VII	O	VII	Ч	27,2	8,3	29,63	0,00001
VII	Ч	II	Ч	8,3	6,9	2,14	0,10
Размер фракции 5-7 мм							
II	O	II	Ч	30,9	13,8	26,90	0,00001
II	O	VII	O	30,9	30,7	0,40	0,71
II	O	VII	Ч	30,9	12,7	28,55	0,00001
II	Ч	VII	Ч	13,8	12,7	1,65	0,17
VII	O	II	Ч	30,7	13,8	26,50	0,00001
VII	O	VII	Ч	30,7	12,7	28,15	0,00001
Размер фракции 3-5 мм							
II	O	VII	O	4,4	4,3	0,08	0,94
II	Ч	II	O	10,5	4,4	6,25	0,003
II	Ч	VII	O	10,5	4,3	6,36	0,003
II	Ч	VII	Ч	10,5	10,2	0,46	0,67
VII	Ч	II	O	10,2	4,4	5,95	0,004
VII	Ч	VII	O	10,2	4,3	6,06	0,004
Размер фракции 2-3 мм							
II	Ч	II	O	12,6	5,2	4,52	0,01
II	Ч	VII	O	12,6	5,7	4,11	0,01
II	Ч	VII	Ч	12,6	11,4	1,96	0,12
VII	O	II	O	5,7	5,2	0,22	0,84
VII	Ч	II	O	11,4	5,2	3,77	0,02
VII	Ч	VII	O	11,4	5,7	3,37	0,03
Размер фракции 1-2 мм							
II	Ч	II	O	11,5	5,5	2,38	0,08
II	Ч	VII	O	11,5	7,7	4,21	0,01
II	Ч	VII	Ч	11,5	10,3	1,84	0,14

Продолжение приложения А21

1	2	3	4	5	6	7	8
VII	О	II	О	7,7	5,5	0,84	0,45
VII	Ч	II	О	10,3	5,5	1,91	0,13
VII	Ч	VII	О	10,3	7,7	2,91	0,04
Размер фракции 0,5-1							
II	Ч	II	О	17,8	6,0	14,13	0,0001
II	Ч	VII	О	17,8	9,2	15,78	0,0001
II	Ч	VII	Ч	17,8	16,5	2,04	0,11
VII	О	II	О	9,2	6,0	4,16	0,01
VII	Ч	II	О	16,5	6,0	12,57	0,0002
VII	Ч	VII	О	16,5	9,2	13,40	0,0002
Размер фракции 0,25-0,5 мм							
II	Ч	II	О	19,3	3,8	19,62	0,00004
II	Ч	VII	О	19,3	5,8	10,50	0,0005
II	Ч	VII	Ч	19,3	16,1	5,06	0,007
VII	О	II	О	5,8	3,8	1,46	0,218
VII	Ч	II	О	16,1	3,8	15,54	0,0001
VII	Ч	VII	О	16,1	5,8	7,99	0,001
Размер фракции <0,25							
II	О	II	Ч	5,2	3,8	1,05	0,35
II	О	VII	Ч	5,2	3,5	1,26	0,28
II	Ч	VII	О	3,8	3,5	0,44	0,68
VII	О	II	О	5,8	5,2	0,37	0,73
VII	О	II	Ч	5,8	3,8	2,16	0,10
VII	О	VII	Ч	5,8	3,5	2,46	0,07
Примечание: N=3; *p < 0,05; Приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная; II – 2-я ротация севооборотов, VII – 7-я ротация севооборотов.							

Приложение А22 – Количество водопрочных агрегатов под лесной полосой, в слое 0-30 см, среднее 2021, 2023 г.

Повторение	Слой почвы, см	Размер водопрочных агрегатов, мм,						
		>7	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	<0,25
1	0-10	2,0	2,5	5,4	22,9	21,4	11,3	34,6
	10-20	0,7	2,1	4,7	21,9	25,6	10,0	35,1
	20-30	1,2	1,7	3,4	29,8	20,8	8,7	34,3
	0-30	1,3	2,1	4,5	24,9	22,6	10,0	34,7
2	0-10	2,5	1,6	4,7	27,4	17,0	8,3	38,5
	10-20	2,9	3,6	7,4	28,8	18,5	13,3	25,5
	20-30	3,0	6,1	16,8	25,6	7,6	4,3	36,5
	0-30	2,8	3,8	9,6	27,3	14,4	8,7	33,5
3	0-10	6,5	5,1	14,3	28,5	8,0	4,0	33,6
	10-20	2,9	6,5	10,5	31,2	11,2	4,9	32,6
	20-30	3,9	3,6	13,8	32,8	10,7	5,6	29,6
	0-30	4,4	5,1	12,9	30,8	10,0	4,8	32,0
Среднее	0-10	3,7	3,1	8,1	26,2	15,5	7,8	35,6
	10-20	2,1	4,1	7,5	27,3	18,4	9,4	31,1
	20-30	2,7	3,8	11,3	29,4	13,1	6,2	33,5
	0-30	2,8	3,7	9,0	27,7	15,6	7,8	33,4

Приложение А23 – Количество водопрочных агрегатов в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, 1990 г.

Предшественник	Приемы об- работки почвы	Размер водопрочных агрегатов, мм,						
		>7	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	<0,25
Слой 0-10 см								
Чистый пар	Ч	3,5	6,7	10,6	17,5	22,3	22,7	16,7
	О	3,7	6,9	9,5	16,9	20,7	24,9	17,4
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	5,3	10,5	12,5	12,6	17,9	19,7	21,5
	О	4,8	12,4	13,8	9,7	18,6	20,6	20,1
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	7,8	13,6	11,9	17,8	16,8	18,1	14,0
	О	6,9	12,2	8,4	16,9	17,5	19,2	18,9
Многолетние травы	Ч	3,3	7,8	15,0	30,2	11,0	12,7	20,0
	О	0,4	7,5	10,7	26,3	14,0	13,3	27,8
Слой 10-20 см								
Чистый пар	Ч	1,3	5,8	9,4	14,2	23,6	24,5	21,2
	О	1,5	6,2	6,5	12,3	22,8	22,7	28
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	2,6	9,5	7,5	15,6	21,6	19,6	23,6
	О	2,4	10,1	4,7	14,3	20,4	18,5	29,6
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	3,6	11,2	9,6	12,6	19,5	17,4	26,1
	О	3,9	9,6	8,6	10,2	20,6	20,8	26,3
Многолетние травы	Ч	4,3	8,4	13,3	33,0	11,2	15,7	14,0
	О	2,3	5,6	14,7	31,2	15,5	10,3	20,4
Слой 20-30 см								
Чистый пар	Ч	2,1	4,0	7,6	17,5	28,5	25,4	14,9
	О	1,7	4,6	9,5	16,4	24,6	30,7	12,5
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	9,2	8,5	14,8	11,4	16,9	20,4	18,8
	О	0,0	7,8	17,5	12,6	21	24,2	16,9
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	9,0	7,6	15,7	15,8	14,1	15,5	22,3
	О	6,6	3,7	10,6	22,1	14,4	18,5	24,1
Многолетние травы	Ч	4,8	8,9	17,5	31,8	10,5	13,1	13,4
	О	4,0	7,2	14,9	21,0	14,9	12,1	25,9
Среднее в слое 0-30 см								
Чистый пар	Ч	2,3	5,5	9,2	16,4	24,8	24,2	17,6
	О	2,3	5,9	8,5	15,2	22,7	26,1	19,3
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	5,7	9,5	11,6	13,2	18,8	19,9	21,3
	О	2,4	10,1	12,0	12,2	20,0	21,1	22,2
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	6,8	10,8	12,4	15,4	16,8	17,0	20,8
	О	5,8	8,5	9,2	16,4	17,5	19,5	23,1
Многолетние травы	Ч	4,1	8,4	15,3	31,7	10,9	13,8	15,8
	О	2,2	6,8	13,4	26,2	14,8	11,9	24,7

Приложение А24 – Количество водопрочных агрегатов в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, 1991 г.

Предшественник	Приемы обработки почвы	Размер водопрочных агрегатов, мм,						
		>7	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	<0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Слой 0-10 см								
Чистый пар	Ч	0,6	1,3	12,7	32,3	30,9	13,7	8,5
	О	1,7	1,4	9,2	36,9	24,1	14,0	12,7
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	2,5	1,0	9,8	33,0	19,6	18,7	15,5
	О	2,3	1,6	6,1	33,4	20,1	17,1	19,3
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	2,5	2,9	8,5	29,4	25,7	14,1	16,9
	О	2,1	4,2	14,6	25,2	22,6	13,4	17,7

Продолжение приложения А24

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Многолетние травы	Ч	4,5	9,5	11,2	39,5	11,1	10,1	14,2
	О	0,4	7,4	12,9	26,3	14,6	17,8	20,6
Слой 10-20 см								
Чистый пар	Ч	3,0	2,3	10,6	21,6	29,7	9,6	23,1
	О	1,8	2,3	11,7	23,1	26,4	11,0	23,6
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	3,5	1,6	8,7	22,2	20,3	12,2	31,5
	О	2,3	2,6	5,3	27,4	22,2	11,5	28,6
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	1,9	2,6	7,3	25,0	26,2	12,5	24,4
	О	2,3	5,2	5,1	24,0	26,0	9,2	28,2
Многолетние травы	Ч	6,1	13,2	15,2	32,2	12,3	10,1	10,9
	О	1,9	7,1	17,4	24,6	14,7	12,5	21,8
Слой 20-30 см								
Чистый пар	Ч	0,0	10,8	8,7	63,9	1,8	1,6	13,1
	О	1,6	7,1	0,0	58,4	11,7	4,0	17,1
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	0,3	9,7	4,0	36,9	30,3	1,2	17,5
	О	0,2	4,1	1,7	25,6	25,8	11,3	31,3
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	7,3	5,9	3,1	34,4	21,3	8,5	19,7
	О	8,4	4,4	3,0	25,4	21,0	14,6	23,1
Многолетние травы	Ч	4,3	8,2	15,2	27,3	11,1	10,7	23,2
	О	3,0	6,7	15,6	39,1	12,7	10,9	12,0
Среднее в слое 0-30 см								
Чистый пар	Ч	1,2	4,8	10,7	39,3	20,8	8,3	14,9
	О	1,7	3,6	7,0	39,5	20,7	9,7	17,8
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	2,1	4,1	7,5	30,7	23,4	10,7	21,5
	О	1,6	2,8	4,4	28,8	22,7	13,3	26,4
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	3,9	3,8	6,3	29,6	24,4	11,7	20,3
	О	4,3	4,6	7,6	24,9	23,2	12,4	23,0
Многолетние травы	Ч	4,9	10,3	13,8	33,0	11,5	10,3	16,1
	О	1,8	7,1	15,3	30,0	14,0	13,8	18,1

Приложение А25 – Количество водопрочных агрегатов в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, 1992 г.

Предшественник	Приемы обработки почвы	Размер водопрочных агрегатов, мм,						
		>7	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	<0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Слой 0-10 см								
Чистый пар	Ч	2,6	3,4	5,8	29,5	28,1	7,4	23,2
	О	1,1	2,2	7,5	28,0	21,1	7,9	32,1
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	0,3	3,2	5,9	19,9	28,6	7,0	35,3
	О	0,5	2,9	6,6	9,1	27,9	18,7	34,4
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	1,0	1,4	3,0	14,4	37,3	12,4	30,4
	О	1,2	2,3	8,3	22,1	24,6	8,0	33,6
Многолетние травы	Ч	3,5	9,6	15,6	39,3	11,8	6,5	13,7
	О	2,5	7,4	17,1	36,0	17,7	15,3	4,1
Слой 10-20 см								
Чистый пар	Ч	2,6	8,7	13,4	34,0	15,9	6,3	19,2
	О	1,8	6,3	13,8	37,0	15,2	6,0	19,9
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	0,3	4,4	6,9	37,9	24,9	6,7	19,0
	О	0,3	2,1	6,7	35,7	27,1	9,8	18,2
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	1,2	2,2	3,6	25,8	25,7	6,0	35,5
	О	1,7	2,6	4,5	25,2	25,6	5,1	35,3

Продолжение приложения А25

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Многолетние травы	Ч	4,5	8,6	19,8	32,6	10,0	9,1	15,3
	О	1,4	7,2	12,6	50,3	12,4	8,0	8,3
Слой 20-30 см								
Чистый пар	Ч	0,8	1,4	10,9	42,7	12,7	17,2	14,3
	О	4,3	1,6	6,9	29,1	36,1	13,1	8,9
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	0,3	4,1	15,4	24,4	43,4	10,3	1,8
	О	2,3	6,5	14,9	27,4	40,7	3,3	5,0
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	2,6	6,3	20,9	23,7	14,4	14,3	17,8
	О	1,0	6,5	15,4	14,2	25,4	20,5	17,0
Многолетние травы	Ч	3,9	8,7	17,4	31,4	14,6	9,5	14,5
	О	3,1	7,2	12,8	38,1	15,6	12,8	10,4
Среднее в слое 0-30 см								
Чистый пар	Ч	2,0	4,5	10,0	35,4	18,9	10,3	18,9
	О	2,4	3,4	9,4	31,4	24,1	9,0	20,3
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	0,3	3,9	9,4	27,4	32,3	8,0	18,7
	О	1,0	3,8	9,4	24,1	31,9	10,6	19,2
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	1,6	3,3	9,2	21,3	25,8	10,9	27,9
	О	1,0	6,5	15,4	14,2	25,4	20,5	17,0
Многолетние травы	Ч	4,0	9,0	17,6	34,5	12,1	8,4	14,5
	О	2,3	7,3	14,2	41,5	15,2	12,0	7,6

Приложение А26 – Количество водопрочных агрегатов в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, 2018 г.

Предшественник	Приемы обработки почвы	Размер водопрочных агрегатов, мм,						
		>7	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	<0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Слой 0-10 см								
Чистый пар	Ч	4,3	4,5	5,2	20,4	24,8	8,2	32,6
	О	2,4	2,9	5,5	21,2	33,7	11,1	23,2
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	3,7	6,8	7,6	18,2	26,8	16,6	20,3
	О	1,8	10,1	8,0	19,2	26,0	18,6	16,3
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	4,8	5,8	5,4	18,4	25,8	15,0	24,8
	О	5,8	3,5	4,2	12,4	22,5	12,5	39,1
Многолетние травы	Ч	1,5	3,1	11,9	31,7	24,9	9,1	17,8
	О	1,5	1,0	4,7	34,4	20,4	15,7	22,4
Слой 10-20 см								
Чистый пар	Ч	3,2	4,6	5,3	23	45,6	6,5	11,8
	О	2,1	2,2	5,4	20,8	32,4	11,4	25,7
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	3,1	8,6	9,5	19,4	26,4	17,4	15,6
	О	1,2	2,8	10,4	17,3	24,4	20,8	23,1
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	4,7	5,4	11,7	19,3	17,9	13,2	27,8
	О	5,3	3,9	11,7	13,8	25,2	14,4	25,7
Многолетние травы	Ч	5,6	6,5	14,8	32,8	12,5	11,7	16,0
	О	4,4	9,2	15,6	33,0	11,5	10,8	15,5
Слой 20-30 см								
Чистый пар	Ч	3,4	3,3	5,5	22,8	42,1	5,5	17,4
	О	1,6	5,4	5,6	18,9	32,4	9,1	27,0
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	2,1	7,9	11,6	20	26,3	16,6	15,5
	О	1,6	3,6	8,2	16,0	28,3	19,3	23,0
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	4,7	5,2	11,7	12,5	26,9	14,2	24,8
	О	4,1	8,7	15,5	10,3	24,3	13,3	23,8

Продолжение приложения А26

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Многолетние травы	Ч	3,5	5,8	12,3	33,8	12,7	14,0	17,9
	О	2,1	7,0	14,3	32,5	14,7	12,6	16,8
Среднее в слое 0-30 см								
Чистый пар	Ч	3,6	4,1	5,3	22,1	37,5	6,7	20,6
	О	2,0	3,5	5,5	20,3	32,8	10,5	25,3
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	3,0	7,8	9,6	19,2	26,5	16,9	17,1
	О	1,5	5,5	8,9	17,5	26,2	19,6	20,8
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	4,7	5,5	9,6	16,7	23,5	14,1	25,8
	О	5,1	5,4	10,5	12,2	24,0	13,4	29,5
Многолетние травы	Ч	3,5	5,1	13,0	32,8	16,7	11,6	17,2
	О	2,6	5,7	11,5	33,3	15,5	13,0	18,2

Приложение А27 – Количество водопрочных агрегатов в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, 2019 г.

Предшественник	Приемы обработки почвы	Размер водопрочных агрегатов, мм,						
		>7	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	<0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Слой 0-10 см								
Чистый пар	Ч	2,2	3,8	10,7	22	37,8	8,3	15,2
	О	1,7	2,6	7,0	19,5	34,7	9,7	24,8
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	2,1	4,1	7,5	20,9	33,4	10,7	21,3
	О	1,6	2,8	4,4	21,8	32,7	13,3	23,4
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	3,9	3,8	13,1	21,3	24,4	9,2	24,3
	О	4,3	4,6	7,6	18,9	23,2	12,4	29,0
Многолетние травы	Ч	1,7	2,9	9,2	38,9	22,9	9,3	15,1
	О	1,3	1,9	10,9	39,8	17,7	16,2	12,4
Слой 10-20 см								
Чистый пар	Ч	3,9	4,3	9	23,4	33,2	9,6	16,6
	О	2,9	2,6	15,6	18,5	33,9	9,7	16,8
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	2,6	7,9	14,8	19,9	33,7	9,7	11,4
	О	1,3	4,1	9,9	21,9	33,9	12,1	16,8
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	3,1	7,6	12,1	20,1	22,9	7,2	27
	О	2,3	5,8	10,7	16,7	23,0	11,4	30,1
Многолетние травы	Ч	2,8	3,7	9,7	33,2	22,7	13,1	14,9
	О	1,3	3,3	8,3	45,3	13,3	18,6	9,9
Слой 20-30 см								
Чистый пар	Ч	2,7	2,1	8,3	20,7	36,7	9,3	20,2
	О	2,3	2,8	14,1	22,1	32,2	9,7	16,8
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	1,9	4,4	11,0	18,8	32,9	8,1	22,9
	О	2,8	5,8	9,9	18,9	29,5	10,0	23,1
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	5,8	6,2	11,1	18,7	22,2	5,1	30,9
	О	2,9	6,1	15,1	17,8	15,8	11,0	31,3
Многолетние травы	Ч	4,2	9,8	21,1	29,2	10,7	13,7	11,3
	О	5,7	6,1	18,8	34,8	14,1	6,3	14,1
Среднее в слое 0-30 см								
Чистый пар	Ч	2,9	3,4	9,3	22,0	35,9	9,1	17,3
	О	2,3	2,7	12,2	20,0	33,6	9,7	19,5
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	2,2	5,5	11,1	19,9	33,3	9,5	18,5
	О	1,9	4,2	8,1	20,9	32,0	11,8	21,1
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	4,3	5,9	12,1	20,0	23,2	7,2	27,4
	О	3,2	5,5	11,1	17,8	20,7	11,6	30,1

Продолжение приложения А27

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Многолетние травы	Ч	2,9	5,4	13,3	33,8	18,8	12,0	13,7
	О	2,7	3,8	12,7	40,0	15,0	13,7	12,1

Приложение А28 – Количество водопрочных агрегатов в зависимости от предшественника и приемов обработки почвы, в слое 0-30 см, 2020 г.

Предшественник	Приемы обработки почвы	Размер водопрочных агрегатов, мм,						
		>7	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	<0,25
Слой 0-10 см								
Чистый пар	Ч	3,6	3,4	5,8	21,5	30,1	7,4	28,2
	О	4,1	3,2	5,9	22,9	32,6	8,1	23,2
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	0,5	0,9	5,6	27,3	36,9	8,6	20,2
	О	1,0	1,4	3,0	26,8	32,2	12,5	23,1
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	3,6	2,0	2,8	18,5	25,1	7,6	40,4
	О	0,3	1,3	1,9	16,2	28,9	9,5	41,9
Многолетние травы	Ч	3,5	4,4	9,0	25,0	23,4	13,0	21,7
	О	1,3	3,0	9,7	21,3	25,2	20,1	19,3
Слой 10-20 см								
Чистый пар	Ч	2,0	4,5	9,0	21,4	33,9	7,3	21,9
	О	2,4	3,4	9,4	21,8	30,1	9,9	23,0
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	0,3	1,9	4,4	26,8	32,3	8,0	26,3
	О	1,0	2,8	4,4	26,7	31,9	12,6	20,6
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	1,6	3,3	6,2	18,8	25,8	6,9	37,4
	О	0,3	1,8	2,4	14,5	24,4	12,2	44,4
Многолетние травы	Ч	1,0	2,7	9,5	30,1	26,6	13,5	16,6
	О	0,0	3,7	9,5	22,5	28,2	17,5	18,5
Слой 20-30 см								
Чистый пар	Ч	5,6	8,7	13,4	19,8	34,9	9,2	8,4
	О	3,1	4,2	11,7	20,9	27,4	10,7	22,0
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	0,3	2,1	3,7	25,9	32,1	13,8	22,1
	О	1,2	2,2	3,6	20,8	30,7	11,0	30,5
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	1,4	2,7	4,8	18,7	25,1	5,6	41,7
	О	0,6	3,3	4,3	13,7	23,8	5,8	48,5
Многолетние травы	Ч	2,9	3,3	6,7	30,9	23,7	19,8	12,7
	О	0,4	1,9	5,1	19,0	29,2	26,2	18,2
Среднее в слое 0-30 см								
Чистый пар	Ч	3,7	5,5	9,4	20,9	33,0	8,0	19,5
	О	3,2	3,6	9,0	21,9	30,0	9,6	22,7
Озимая пшеница после чистого пара	Ч	0,4	1,6	4,6	26,7	33,8	10,1	22,9
	О	1,1	2,1	3,7	24,8	31,6	12,0	24,7
Озимая пшеница после кукурузы	Ч	2,2	2,7	4,6	18,7	25,3	6,7	39,8
	О	0,4	2,1	2,9	14,8	25,7	9,2	44,9
Многолетние травы	Ч	2,4	3,5	8,4	28,6	24,6	15,5	17,0
	О	0,6	2,9	8,1	20,9	27,6	21,3	18,6

Приложение А29 – Статистическая значимость средних значений агрегатов, различного размера при просеивании в воде в слое почвы 0-30 см по чистому пару

Группы сравнения				Среднее значение, %		Уровни статистической значимости	
Группа 1		Группа 2		Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Ротация севооборота	Приемы обработки почвы	Ротация севооборота	Приемы обработки почвы				
1	2	3	4	5	6	7	8
Размер фракции >7 мм							
II	О	II	Ч	2,1	1,8	0,76	0,49
VII	О	II	О	2,5	2,1	0,87	0,43
VII	О	II	Ч	2,5	1,8	1,37	0,24
VII	О	VII	О	3,4	2,5	2,05	0,11
VII	Ч	II	О	3,4	2,1	3,78	0,020
VII	Ч	II	Ч	3,4	1,8	3,78	0,019
Размер фракции 5-7 мм							
VII	Ч	II	О	4,4	4,3	0,05	0,96
II	Ч	II	О	4,9	4,3	0,74	0,50
II	Ч	VII	Ч	4,9	4,4	0,83	0,45
II	О	VII	О	4,3	3,3	1,22	0,29
VII	Ч	VII	О	4,4	3,3	1,60	0,19
II	Ч	VII	О	4,9	3,3	4,16	0,014
Размер фракции 3-5 мм							
II	О	VII	Ч	8,3	8,0	0,18	0,86
VII	О	II	О	8,9	8,3	0,30	0,78
VII	О	VII	Ч	8,9	8,0	0,38	0,72
II	Ч	VII	О	10,0	8,9	0,53	0,63
II	Ч	VII	Ч	10,0	8,0	1,38	0,24
II	Ч	II	О	10,0	8,3	2,02	0,11
Размер фракции 2-3 мм							
II	Ч	II	О	30,4	28,7	0,17	0,88
II	О	VII	Ч	28,7	21,7	0,98	0,38
II	О	VII	О	28,7	20,7	1,11	0,33
II	Ч	VII	Ч	30,4	21,7	1,23	0,29
VII	Ч	VII	О	21,7	20,7	1,32	0,26
II	Ч	VII	О	30,4	20,7	1,36	0,25
Размер фракции 1-2 мм							
II	О	II	Ч	22,5	21,5	0,50	0,64
VII	Ч	VII	О	35,5	32,1	2,02	0,11
VII	О	II	Ч	32,1	21,5	5,21	0,0065
VII	Ч	II	Ч	35,5	21,5	6,40	0,0031
VII	О	II	О	32,1	22,5	6,65	0,0027
VII	Ч	II	О	35,5	22,5	7,88	0,0014
Размер фракции 0,5-1							
II	О	II	Ч	14,9	14,3	0,09	0,93
II	Ч	VII	О	14,3	9,9	0,87	0,44
II	О	VII	О	14,9	9,9	0,89	0,42
II	О	VII	Ч	14,9	7,9	1,25	0,28
II	Ч	VII	Ч	14,3	7,9	1,26	0,28
VII	О	VII	Ч	9,9	7,9	2,75	0,05

Продолжение приложения А29

1	2	3	4	5	6	7	8
Размер фракции <0,25							
VII	Ч	II	Ч	19,1	17,1	1,32	0,26
II	О	II	Ч	19,1	17,1	1,45	0,22
VII	О	VII	Ч	22,6	19,1	1,79	0,15
VII	О	II	О	22,6	19,1	1,89	0,13
VII	О	II	Ч	22,6	17,1	2,66	0,06
II	О	VII	Ч	19,1	19,1	0,00	1,00
Примечание: N=3; *p < 0,05; Приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная; II – 2-я ротация севооборотов, VII – 7-я ротация севооборотов.							

Приложение А30 – Статистическая значимость средних значений агрегатов, различного размера при просеивании в воде в слое почвы 0-30 см под озимой пшеницей по предшественнику чистый пар

Группы сравнения				Среднее значение, %		Уровни статистической значимости	
Группа 1		Группа 2		Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Ротация севооборота	Приемы обработки почвы	Ротация севооборота	Приемы обработки почвы				
1	2	3	4	5	6	7	8
Размер фракции >7 мм							
VII	Ч	II	О	1,9	1,7	0,21	0,84
II	О	VII	О	1,7	1,5	0,38	0,73
VII	Ч	VII	О	1,9	1,5	0,45	0,68
II	Ч	VII	Ч	2,7	1,9	0,48	0,66
II	Ч	II	О	2,7	1,7	0,63	0,56
II	Ч	VII	О	2,7	1,5	0,75	0,49
Размер фракции 5-7 мм							
II	Ч	II	О	5,8	5,6	0,09	0,93
II	О	VII	Ч	5,6	5,0	0,21	0,85
II	Ч	VII	Ч	5,8	5,0	0,34	0,75
VII	Ч	VII	О	5,0	4,0	0,49	0,65
II	О	VII	О	5,6	4,0	0,65	0,55
II	Ч	VII	О	5,8	4,0	0,90	0,42
Размер фракции 3-5 мм							
II	О	VII	Ч	8,6	8,4	0,06	0,95
II	Ч	II	О	9,5	8,6	0,36	0,74
II	Ч	VII	Ч	9,5	8,4	0,47	0,66
VII	Ч	VII	О	8,4	6,9	0,59	0,58
II	О	VII	О	8,6	6,9	0,62	0,57
II	Ч	VII	О	9,5	6,9	1,30	0,26
Размер фракции 2-3 мм							
VII	Ч	II	О	21,9	21,7	0,04	0,97
II	О	VII	О	21,7	20,9	0,15	0,89
II	Ч	II	О	23,8	21,7	0,28	0,79
II	Ч	VII	Ч	23,8	21,9	0,31	0,77
VII	Ч	VII	О	21,9	20,9	0,33	0,76
II	Ч	VII	О	23,8	20,9	0,50	0,64

Продолжение приложения А30

1	2	3	4	5	6	7	8
Размер фракции 1-2 мм							
VII	Ч	VII	О	31,2	30,0	0,41	0,70
VII	О	II	Ч	30,0	24,8	1,17	0,31
VII	О	II	О	30,0	24,9	1,25	0,28
VII	Ч	II	Ч	31,2	24,8	1,38	0,24
VII	Ч	II	О	31,2	24,9	1,47	0,22
VII	Ч	VII	О	31,2	30,0	0,41	0,70
Размер фракции 0,5-1							
II	О	VII	О	15,0	14,5	0,13	0,90
II	Ч	VII	Ч	12,9	12,2	0,16	0,88
VII	О	II	Ч	14,5	12,9	0,36	0,73
II	О	II	Ч	15,0	12,9	0,45	0,68
VII	О	VII	Ч	14,5	12,2	0,66	0,55
II	О	VII	Ч	15,0	12,2	0,72	0,51
Размер фракции <0,25							
II	О	VII	О	22,6	22,3	0,11	0,92
II	Ч	VII	Ч	20,5	19,5	0,54	0,62
II	О	II	Ч	22,6	20,5	0,92	0,41
II	О	VII	Ч	22,6	19,5	1,16	0,31
VII	О	II	Ч	22,3	20,5	1,23	0,29
VII	О	VII	Ч	22,3	19,5	1,37	0,24
Примечание: N=3; *p < 0,05; Приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная; II – 2-я ротация севооборотов, VII – 7-я ротация севооборотов.							

Приложение А31 – Статистическая значимость средних значений агрегатов, различного размера при просеивании в воде в слое почвы 0-30 см под озимой пшеницей по предшественнику кукуруза

Группы сравнения				Среднее значение, %		Уровни статистической значимости	
Группа 1		Группа 2		Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Ротация севооборота	Приемы обработки почвы	Ротация севооборота	Приемы обработки почвы				
1	2	3	4	5	6	7	8
Размер фракции >7 мм							
II	О	VII	Ч	3,8	3,7	0,04	0,97
II	Ч	II	О	4,1	3,8	0,15	0,89
II	Ч	VII	Ч	4,1	3,7	0,22	0,84
II	О	VII	О	3,8	2,9	0,49	0,65
VII	Ч	VII	О	3,7	2,9	0,55	0,61
II	Ч	VII	О	4,1	2,9	0,60	0,58
Размер фракции 5-7 мм							
II	Ч	II	О	6,0	5,6	0,12	0,91
VII	Ч	VII	О	4,7	4,3	0,22	0,83
II	Ч	VII	Ч	6,0	4,7	0,50	0,65
II	О	VII	Ч	5,6	4,7	0,55	0,61
II	Ч	VII	О	6,0	4,3	0,61	0,57
II	О	VII	О	5,6	4,3	0,71	0,51
Размер фракции 3-5 мм							
VII	Ч	II	О	8,8	8,7	0,01	0,99

Продолжение приложения А31

1	2	3	4	5	6	7	8
VII	Ч	VII	О	8,8	8,2	0,17	0,87
II	Ч	VII	Ч	9,3	8,8	0,19	0,86
II	О	VII	О	8,7	8,2	0,21	0,84
II	Ч	II	О	9,3	8,7	0,31	0,77
II	Ч	VII	О	9,3	8,2	0,36	0,74
Размер фракции 2-3 мм							
II	Ч	II	О	22,1	20,6	0,31	0,77
II	О	VII	Ч	20,6	18,5	0,80	0,47
II	Ч	VII	Ч	22,1	18,5	0,85	0,44
II	Ч	VII	О	22,1	14,9	1,62	0,18
VII	Ч	VII	О	18,5	14,9	1,89	0,13
II	О	VII	О	20,6	14,9	1,93	0,13
Размер фракции 1-2 мм							
II	Ч	II	О	22,3	22,0	0,10	0,92
VII	Ч	VII	О	24,0	23,5	0,34	0,75
VII	О	II	Ч	23,5	22,3	0,35	0,74
VII	О	II	О	23,5	22,0	0,54	0,62
VII	Ч	II	Ч	24,0	22,3	0,58	0,59
VII	Ч	II	О	24,0	22,0	0,85	0,44
Размер фракции 0,5-1							
II	О	II	Ч	14,4	13,2	0,36	0,74
VII	О	VII	Ч	11,4	9,4	0,76	0,49
II	Ч	VII	О	13,2	11,4	0,80	0,47
II	О	VII	О	14,4	11,4	1,04	0,36
II	Ч	VII	Ч	13,2	9,4	1,25	0,28
II	О	VII	Ч	14,4	9,4	1,42	0,23
Размер фракции <0,25							
VII	О	VII	Ч	34,9	31,0	0,58	0,59
II	О	II	Ч	24,9	23,0	0,62	0,57
VII	Ч	II	О	31,0	24,9	1,27	0,27
VII	Ч	II	Ч	31,0	23,0	1,58	0,19
VII	О	II	О	34,9	24,9	1,86	0,14
VII	О	II	Ч	34,9	23,0	2,12	0,10
Примечание: N=3; *p < 0,05; Приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная; II – 2-я ротация севооборотов, VII – 7-я ротация севооборотов.							

Приложение А32 – Статистическая значимость средних значений агрегатов, различного размера при просеивании в воде в слое почвы 0-30 см под многолетними травами

Группы сравнения				Среднее значение, %		Уровни статистической значимости	
Группа 1		Группа 2		Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Ротация севооборота	Приемы обработки почвы	Ротация севооборота	Приемы обработки почвы				
1	2	3	4	5	6	7	8
Размер фракции >7 мм							
II	О	II	Ч	32,5	4,4	44,16	0,000002

Продолжение приложения А32

1	2	3	4	5	6	7	8
II	O	VII	Ч	32,5	3,5	45,44	0,000001
II	Ч	VII	Ч	4,4	3,5	1,29	0,27
II	O	II	O	33,3	32,5	1,25	0,28
II	O	II	Ч	33,3	4,4	45,41	0,000001
II	O	VII	Ч	33,3	3,5	46,70	0,000001
Размер фракции 5-7 мм							
VII	O	II	Ч	10,0	2,1	5,71	0,005
VII	O	VII	Ч	10,0	2,6	5,33	0,01
VII	O	II	O	16,0	10,0	3,29	0,03
VII	O	II	Ч	16,0	2,1	10,17	0,001
VII	O	VII	Ч	16,0	2,6	9,79	0,001
VII	Ч	II	Ч	2,6	2,1	0,83	0,46
Размер фракции 3-5 мм							
VII	O	II	Ч	13,7	9,2	3,67	0,02
VII	O	VII	Ч	13,7	5,1	7,05	0,002
VII	Ч	VII	Ч	9,2	5,1	6,42	0,003
VII	O	II	O	14,8	13,7	0,70	0,5
VII	O	II	Ч	14,8	9,2	4,93	0,01
VII	O	VII	Ч	14,8	5,1	8,58	0,001
Размер фракции 2-3 мм							
VII	O	II	Ч	12,3	7,0	5,05	0,01
VII	O	VII	O	12,3	12,3	0,02	0,99
VII	O	VII	Ч	12,3	5,7	6,20	0,003
VII	Ч	VII	Ч	7,0	5,7	1,90	0,13
VII	O	II	Ч	12,3	7,0	4,97	0,01
VII	O	VII	Ч	12,3	5,7	6,11	0,004
Размер фракции 1-2 мм							
VII	O	VII	Ч	13,6	13,0	0,42	0,69
VII	Ч	VII	O	15,6	13,6	1,36	0,25
VII	Ч	VII	O	15,6	13,8	1,30	0,26
VII	Ч	VII	Ч	15,6	13,0	4,05	0,02
VII	O	VII	O	13,8	13,6	0,12	0,91
VII	O	VII	Ч	13,8	13,0	0,62	0,57
Размер фракции 0,5-1							
II	O	VII	Ч	15,5	14,3	1,98	0,12
II	O	VII	Ч	15,5	11,5	6,30	0,003
II	Ч	VII	Ч	14,3	11,5	4,33	0,01
II	O	VII	O	17,2	15,5	2,64	0,06
VII	O	VII	Ч	17,2	14,3	4,62	0,01
VII	O	VII	Ч	17,2	11,5	8,95	0,001
Размер фракции <0,25							
II	Ч	VII	O	33,0	16,8	25,43	0,00001
II	Ч	VII	O	33,0	18,2	23,22	0,00002
II	Ч	VII	Ч	33,0	32,8	0,43	0,69
II	O	VII	O	18,2	16,8	2,22	0,09
II	Ч	VII	O	32,8	16,8	25,01	0,00002
VII	Ч	VII	O	32,8	18,2	22,79	0,00002

Примечание: N=3; *p < 0,05; Приемы обработки почвы: Ч – чизельная, O – отвальная; II – 2-я ротация севооборотов, VII – 7-я ротация севооборотов.

Приложение А33 – Динамика нитратного и аммонийного азота в слое почвы 0–30 см в зависимости от предшественника, уровня применения удобрений и агротехнологии возделывания, мг/кг, 2012 г.

Влияние севооборота, удобрений, м/га, 2012-14									
Севооборот	Агрофон	Контроль без удобрений «0»				Повышенный фон удобрений (N ₈₄ P ₄₈ K ₄₈)			
		отвальная		чизельная		отвальная		чизельная	
		N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄
Время возобновления весенней вегетации									
А	Чистый пар	3,6	2,4	3,3	4,7	4,6	3,8	3,6	4,0
	Озимая по пару	4,1	3,6	5,7	2,6	11,5	4,8	5,7	2,6
	Озимая по озимой	4,8	2,8	6,1	3,0	5,4	2,8	6,1	3,0
Б	Озимая по гороху	3,2	8,0	10,4	7,5	21,1	21,0	10,4	7,5
В	Озимая по кукурузе	3,6	5,2	18,8	13,0	37,3	5,9	18,8	13,0
Полная спелость									
А	Чистый пар	26,1	3,4	43,8	4,5	37,7	2,5	48,1	2,7
	Озимая по пару	2,1	3,7	1,3	2,4	4,7	2,7	2,9	3,7
	Озимая по озимой	29,0	3,3	2,6	2,1	15,2	18,9	7,2	3,2
Б	Озимая о гороху	1,8	2,5	6,2	2,7	26,3	5,2	6,9	2,6
В	Озимая по кукурузе	1,3	5,9	1,1	3,2	8,0	21,7	5,9	4,1

Приложение А34 – Динамика нитратного и аммонийного азота в слое почвы 0–30 см в зависимости от предшественника, уровня применения удобрений и агротехнологии возделывания, мг/кг, 2013 г.

Севооборот	Агрофон	Контроль без удобрений «0»				Повышенный фон удобрений (N ₈₄ P ₄₈ K ₄₈)			
		отвальная		чизельная		отвальная		чизельная	
		N- NO ₃	N- NH ₄	N- NO ₃	N- NH ₄	N- NO ₃	N- NH ₄	N- NO ₃	N- NH ₄
Время возобновления весенней вегетации									
А	Чистый пар	7,7	1,2	9,7	1,9	7,4	2,2	9,6	7,1
	Озимая по пару	1,5	1,1	5,4	2,7	6,3	1,6	5,4	2,7
	Озимая по озимой	1,5	0,0	8,3	2,7	4,0	4,1	8,3	2,7
Б	Озимая по гороху	1,7	0,5	3,4	1,7	2,4	1,2	3,4	1,7
В	Озимая по кукурузе	1,2	0,1	1,3	1,4	3,3	1,5	1,3	1,4
Полная спелость									
А	Чистый пар	18,1	24,6	12,6	38,2	16,4	13,4	17,5	14,2
	Озимая по пару	3,6	37,4	5,9	30,8	14,2	20,3	9,7	22,4
	Озимая по озимой	3,5	33,5	4,6	22,8	20,9	18,5	11,3	10,0
Б	Озимая о гороху	2,6	25,2	4,1	26,5	9,8	19,7	21,6	19,5
В	Озимая по кукурузе	2,5	30,0	3,5	38,5	12,1	19,1	3,8	17,1

Приложение А35 – Динамика нитратного и аммонийного азота в слое почвы 0–30 см в зависимости от предшественника, уровня применения удобрений и агротехнологии возделывания, мг/кг, 2014 г.

Севообо- рот	Агрофон	Контроль без удобрений «0»				Повышенный фон удобрений (N ₈₄ P ₄₈ K ₄₈)			
		отвальная		чизельная		отвальная		чизельная	
		N- NO ₃	N- NH ₄	N- NO ₃	N- NH ₄	N- NO ₃	N- NH ₄	N- NO ₃	N- NH ₄
Время возобновления весенней вегетации									
А	Чистый пар	2,4	2,4	3,7	2,0	9,4	4,6	7,0	4,9
	Озимая по пару	2,0	3,6	4,3	4,8	10,2	5,6	4,3	4,8
	Озимая по озимой	0,0	3,9	11,5	9,5	9,5	5,8	11,5	9,5
Б	Озимая по гороху	0,0	4,2	4,3	5,6	8,2	8,3	4,3	5,6
В	Озимая по кукурузе	0,0	5,5	5,3	8,3	6,7	6,4	5,3	8,3
Полная спелость									
А	Чистый пар	28,2	14,3	17,8	16,8	32,4	14,3	30,9	16,9
	Озимая по пару	5,5	15,3	4,9	22,1	36,3	16,7	24,6	12,8
	Озимая по озимой	3,2	19,2	8,7	14,3	23,2	20,5	15,5	18,6
Б	Озимая о гороху	6,2	19,2	3,0	19,8	27,9	19,8	43,6	18,1
В	Озимая по кукурузе	6,6	16,9	5,4	16,9	35,4	14,3	22,9	23,0

Приложение А36 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей, содержания гумуса в черноземах обыкновенных в севообороте «А»

№	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
1	0	Ч	MLP 17-3-1	0,58	0,81	0,00026	0,0002	BFGS 2
2		Ч	MLP 17-3-1	0,13	0,79	0,00026	0,0002	BFGS 2
3		Ч	MLP 17-4-1	0,72	0,77	0,00026	0,0003	BFGS 1
4		О	MLP 13-7-1	0,10	0,33	0,0003	0,0005	BFGS 2
5		О	MLP 13-6-1	0,11	0,33	0,0003	0,0005	BFGS 2
6		О	MLP 13-8-1	0,09	0,37	0,0003	0,0005	BFGS 2
7	1	Ч	MLP 17-5-1	0,88	0,72	0,0002	0,2004	BFGS 82
8		Ч	MLP 17-7-1	0,88	0,72	0,0003	0,0022	BFGS 55
9		Ч	MLP 17-3-1	0,88	0,74	0,0002	0,0002	BFGS 88
11		О	MLP 15-8-1	0,23	0,33	0,0008	0,0001	BFGS 3
12		О	MLP 15-5-1	0,26	0,33	0,0008	0,0047	BFGS 3
13		О	MLP 15-8-1	0,25	0,34	0,0008	0,0001	BFGS 3
14	2	Ч	MLP 13-5-1	0,72	0,67	0,00009	0,0007	BFGS 5
15		Ч	MLP 13-4-1	0,75	0,65	0,00008	0,0013	BFGS 7
16		Ч	MLP 13-5-1	0,77	0,67	0,00007	0,0009	BFGS 7
17		О	MLP 15-6-1	0,30	0,80	0,0038	0,0006	BFGS 0
18		О	MLP 15-7-1	0,50	0,80	0,0046	0,008	BFGS 0
19		О	MLP 15-2-1	0,29	0,80	0,0043	0,0002	BFGS 0

Приложение А37 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей, содержания гумуса в черноземах обыкновенных в севообороте «Б»

№	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
1	0	Ч	MLP 17-4-1	0,48	0,40	0,0001	0,0021	BFGS 67
2		Ч	MLP 15-3-1	0,48	0,40	0,0001	0,0016	BFGS 66
3		Ч	MLP 15-2-1	0,48	0,40	0,0001	0,0024	BFGS 60
4		О	MLP 15-3-1	0,47	0,41	0,0004	0,0002	BFGS 36
5		О	MLP 17-7-1	0,47	0,40	0,00004	0,0005	BFGS 17
6		О	MLP 17-2-1	0,46	0,41	0,00004	0,0005	BFGS 22
7	1	Ч	MLP 17-8-1	0,20	0,19	0,00001	0,001	BFGS 11
8		Ч	MLP 17-6-1	0,21	0,19	0,00001	0,001	BFGS 9
9		Ч	MLP 17-3-1	0,21	0,19	0,00001	0,001	BFGS 15
10		О	MLP 17-2-1	0,43	0,47	0,000016	0,0005	BFGS 36
11		О	MLP 17-7-1	0,40	0,46	0,000022	0,0044	BFGS 15
12		О	MLP 17-4-1	0,40	0,47	0,000023	0,0041	BFGS 13
13	2	Ч	MLP 17-7-1	0,99	0,53	0,005	0,0003	BFGS 60
14		Ч	MLP 17-6-1	0,94	0,52	0,0019	0,0017	BFGS 17
15		Ч	MLP 17-6-1	0,98	0,53	0,004	0,0007	BFGS 34
16		О	MLP 17-8-1	0,97	0,89	0,000004	0,0007	BFGS 11
17		О	MLP 17-8-1	0,97	0,89	0,000003	0,0009	BFGS 9
18		О	MLP 17-3-1	0,98	0,90	0,00001	0,0008	BFGS 40

Приложение А38 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей, содержания гумуса в черноземах обыкновенных в севообороте «В»

№	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	Ч	MLP 19-2-1	0,42	0,41	0,00006	0,0001	BFGS 12
2		Ч	MLP 19-3-1	0,42	0,41	0,00003	0,0001	BFGS 8
3		Ч	MLP 19-2-1	0,43	0,41	0,00002	0,0002	BFGS 8
4		О	MLP 19-2-1	0,38	0,45	0,00001	0,0001	BFGS 9
5		О	MLP 19-6-1	0,38	0,45	0,00002	0,0001	BFGS 13
6		О	MLP 19-3-1	0,38	0,45	0,00001	0,0002	BFGS 12

Продолжение приложения А38

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	1	Ч	MLP 17-8-1	0,30	0,81	0,0001	0,0009	BFGS 8
8		Ч	MLP 17-2-1	0,30	0,82	0,0002	0,0005	BFGS 7
9		Ч	MLP 17-3-1	0,29	0,81	0,0002	0,0007	BFGS 7
10		О	MLP 13-7-1	0,72	0,93	0,00002	0,0004	BFGS 88
11		О	MLP 13-8-1	0,70	0,92	0,00006	0,0008	BFGS 18
12		О	MLP 13-8-1	0,70	0,93	0,00007	0,0007	BFGS 17
13	2	Ч	MLP 14-4-1	0,19	0,49	0,0002	0,0001	BFGS 37
14		Ч	MLP 14-3-1	0,08	0,49	0,0003	0,0001	BFGS 9
15		Ч	MLP 14-5-1	0,08	0,49	0,0003	0,0001	BFGS 7
16		О	MLP 17-3-1	0,12	0,52	0,0003	0,0008	BFGS 5
17		О	MLP 17-6-1	0,11	0,52	0,0003	0,0009	BFGS 5
18		О	MLP 17-3-1	0,12	0,52	0,0003	0,0007	BFGS 6

Приложение А39 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей, содержания подвижного фосфора в черноземах обыкновенных в севообороте «А»

№	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	Ч	MLP 18-4-1	0,87	0,99	0,089	0,035	BFGS 7
2		Ч	MLP 18-5-1	0,87	0,99	0,082	0,035	BFGS 7
3		Ч	MLP 18-4-1	0,88	0,99	0,076	0,034	BFGS 7
4		О	MLP 21-8-1	0,79	0,89	0,15	0,18	BFGS 3
5		О	MLP 21-7-1	0,82	0,89	0,21	0,10	BFGS 2
6		О	MLP 21-5-1	0,86	0,89	0,22	0,12	BFGS 2
7	1	Ч	MLP 19-4-1	0,63	0,95	0,26	0,02	BFGS 15
8		Ч	MLP 19-3-1	0,63	0,95	0,26	0,01	BFGS 22
9		Ч	MLP 19-3-1	0,65	0,95	0,19	0,03	BFGS 15
10		О	MLP 18-6-1	0,57	0,97	0,36	0,02	BFGS 8
11		О	MLP 18-6-1	0,59	0,98	0,23	0,09	BFGS 17
12		О	MLP 18-2-1	0,60	0,97	0,23	0,01	BFGS 11
13	2	Ч	MLP 18-7-1	0,54	0,73	0,069	0,017	BFGS 13
14		Ч	MLP 18-5-1	0,53	0,73	0,088	0,013	BFGS 11
15		Ч	MLP 18-8-1	0,54	0,73	0,046	0,015	BFGS 30
16		О	MLP 17-6-1	0,47	0,63	0,014	0,011	BFGS 30
17		О	MLP 17-7-1	0,45	0,64	0,048	0,003	BFGS 15
18		О	MLP 17-2-1	0,47	0,63	0,012	0,008	BFGS 72

Приложение А40 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей, содержания подвижного фосфора в черноземах обыкновенных в севообороте «Б»

№	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
1	0	Ч	MLP 16-3-1	0,88	0,83	0,086	0,054	BFGS 10
2		Ч	MLP 16-2-1	0,88	0,83	0,086	0,058	BFGS 11
3		Ч	MLP 16-7-1	0,88	0,83	0,085	0,053	BFGS 10
4		О	MLP 10-7-1	0,88	0,98	0,18	0,14	BFGS 7
5		О	MLP 10-7-1	0,90	0,98	0,15	0,19	BFGS 7
6		О	MLP 10-3-1	0,88	0,98	0,17	0,19	BFGS 7
7	1	Ч	MLP 17-8-1	0,65	0,92	0,009	0,005	BFGS 19
8		Ч	MLP 17-4-1	0,65	0,92	0,009	0,006	BFGS 17
9		Ч	MLP 17-3-1	0,65	0,92	0,013	0,003	BFGS 23
10		О	MLP 11-3-1	0,42	0,88	0,43	0,07	BFGS 9
11		О	MLP 11-2-1	0,40	0,88	0,47	0,10	BFGS 6
12		О	MLP 11-4-1	0,39	0,88	0,52	0,09	BFGS 16
13	2	Ч	MLP 19-5-1	0,80	0,95	0,03	0,27	BFGS 53
14		Ч	MLP 19-7-1	0,80	0,94	0,08	0,28	BFGS 24
15		Ч	MLP 19-6-1	0,80	0,95	0,07	0,27	BFGS 74
16		О	MLP 19-4-1	0,88	0,97	0,004	0,19	BFGS 56
17		О	MLP 19-4-1	0,88	0,97	0,06	0,13	BFGS 38
18		О	MLP 19-3-1	0,88	0,97	0,07	0,10	BFGS 42

Приложение А41 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей, содержания подвижного фосфора в черноземах обыкновенных в севообороте «В»

№	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	Ч	MLP 19-6-1	0,98	0,46	0,02	0,05	BFGS 14
2		Ч	MLP 19-4-1	0,98	0,45	0,02	0,03	BFGS 67
3		Ч	MLP 19-5-1	0,99	0,46	0,01	0,10	BFGS 44
4		О	MLP 17-8-1	0,65	0,98	0,037	0,12	BFGS 29
5		О	MLP 17-3-1	0,65	0,98	0,041	0,11	BFGS 44

Продолжение приложения А41

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	1	О	MLP 17-7-1	0,65	0,98	0,038	0,14	BFGS 40
7		Ч	MLP 19-6-1	0,35	0,85	0,001	0,004	BFGS 43
8		Ч	MLP 19-5-1	0,35	0,85	0,001	0,005	BFGS 23
9		Ч	MLP 19-4-1	0,35	0,85	0,003	0,003	BFGS 17
10		О	MLP 20-5-1	0,65	0,74	0,003	0,035	BFGS 81
11		О	MLP 20-4-1	0,65	0,74	0,003	0,048	BFGS 65
12		О	MLP 20-6-1	0,65	0,74	0,004	0,042	BFGS 81
13	2	Ч	MLP 17-8-1	0,65	0,98	0,04	0,12	BFGS 29
14		Ч	MLP 17-3-1	0,65	0,98	0,04	0,11	BFGS 44
15		Ч	MLP 17-7-1	0,65	0,98	0,04	0,14	BFGS 40
16		О	MLP 19-5-1	0,77	0,99	0,00003	0,0685	BFGS 18
17		О	MLP 19-6-1	0,77	0,99	0,0003	0,1356	BFGS 87
18		О	MLP 19-3-1	0,76	0,99	0,1762	0,0676	BFGS 15

Приложение А42 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей, содержания обменного калия в черноземах обыкновенных в севообороте «А»

№	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
1	0	Ч	MLP 17-5-1	0,49	0,86	63,1	6,2	BFGS 3
2		Ч	MLP 17-2-1	0,48	0,87	62,9	7,4	BFGS 3
3		Ч	MLP 17-6-1	0,53	0,87	47,6	7,3	BFGS 3
4		О	MLP 13-3-1	0,35	0,72	32,4	1,3	BFGS 14
5		О	MLP 13-2-1	0,35	0,72	31,9	2,0	BFGS 9
6		О	MLP 13-6-1	0,35	0,72	32,2	1,5	BFGS 17
7	1	Ч	MLP 17-7-1	0,47	0,41	6,3	12,1	BFGS 14
8		Ч	MLP 17-8-1	0,47	0,37	6,7	12,1	BFGS 8
9		Ч	MLP 17-3-1	0,47	0,47	5,8	11,1	BFGS 17
10		О	MLP 17-2-1	0,14	0,30	2,12	1,70	BFGS 20
11		О	MLP 17-4-1	0,13	0,30	2,62	0,95	BFGS 8
12		О	MLP 17-5-1	0,15	0,30	1,80	1,46	BFGS 7
13	2	Ч	MLP 14-3-1	0,89	0,99	41,9	34,8	BFGS 15
14		Ч	MLP 14-9-1	0,90	0,99	32,0	11,6	BFGS 47
15		Ч	MLP 14-6-1	0,90	0,99	21,5	13,4	BFGS 51
16		О	MLP 22-6-1	0,68	0,69	62,6	73,4	BFGS 6
17		О	MLP 22-4-1	0,50	0,69	101,9	111,9	BFGS 5
18		О	MLP 22-5-1	0,76	0,69	28,1	76,3	BFGS 10

Приложение А43 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей, содержания обменного калия в черноземах обыкновенных в севообороте «Б»

№	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
1	0	Ч	MLP 13-4-1	0,68	0,99	33,6	7,9	BFGS 10
2		Ч	MLP 13-2-1	0,68	0,99	33,4	8,0	BFGS 13
3		Ч	MLP 13-5-1	0,68	0,99	33,2	8,8	BFGS 10
4		О	MLP 17-4-1	0,65	0,96	150,6	4,8	BFGS 2
5		О	MLP 17-7-1	0,63	0,96	115,8	3,2	BFGS 2
6		О	MLP 17-3-1	0,65	0,96	154,5	5,6	BFGS 2
7	1	Ч	MLP 17-8-1	0,60	0,62	28,9	154,1	BFGS 7
8		Ч	MLP 17-4-1	0,59	0,62	37,6	143,4	BFGS 8
9		Ч	MLP 17-3-1	0,57	0,61	43,2	143,6	BFGS 8
10		О	MLP 17-6-1	0,56	0,65	45,9	128,1	BFGS 7
11		О	MLP 17-2-1	0,55	0,62	45,6	138,3	BFGS 8
12		О	MLP 17-4-1	0,56	0,64	42,2	133,2	BFGS 10
13	2	Ч	MLP 15-8-1	0,71	0,99	288,1	92,3	BFGS 5
14		Ч	MLP 15-9-1	0,70	0,99	309,8	161,0	BFGS 3
15		Ч	MLP 15-11-1	0,71	0,99	292,0	82,9	BFGS 4
16		О	MLP 14-5-1	0,69	0,99	82,5	17,3	BFGS 4
17		О	MLP 14-8-1	0,72	0,99	76,6	18,4	BFGS 4
18		О	MLP 14-4-1	0,69	0,99	83,6	22,4	BFGS 5

Приложение А44 – Статистические параметры автоматизированных нейронных сетей, содержания обменного калия в черноземах обыкновенных в севообороте «В»

№	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Архитектура нейронной сети	Производительность обучения	Контрольная производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Алгоритм обучения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	Ч	MLP 10-10-1	0,70	0,98	7,4	2,7	BFGS 14
2		Ч	MLP 10-9-1	0,69	0,98	8,6	2,1	BFGS 20
3		Ч	MLP 10-11-1	0,70	0,98	7,4	2,3	BFGS 20
4		О	MLP 14-8-1	0,54	0,80	0,07	0,17	BFGS 51

Продолжение приложения А44

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	1	О	MLP 14-7-1	0,54	0,79	0,06	0,17	BFGS 38
6		О	MLP 14-5-1	0,53	0,80	0,11	0,24	BFGS 81
7		Ч	MLP 10-5-1	0,84	0,95	251,5	301,4	BFGS 8
8		Ч	MLP 10-4-1	0,84	0,95	257,9	290,3	BFGS 13
9		Ч	MLP 10-7-1	0,85	0,95	249,0	369,2	BFGS 8
10		О	MLP 17-8-1	0,57	0,75	23,7	73,9	BFGS 5
11		О	MLP 17-4-1	0,58	0,73	25,4	55,4	BFGS 3
12		О	MLP 17-7-1	0,59	0,71	22,6	73,4	BFGS 5
13	2	Ч	MLP 12-6-1	0,51	0,75	41,7	104,1	BFGS 4
14		Ч	MLP 12-5-1	0,50	0,76	43,1	100,6	BFGS 4
15		Ч	MLP 12-7-1	0,49	0,76	45,7	105,4	BFGS 5
16		О	MLP 11-3-1	0,70	0,68	58,7	207,0	BFGS 23
17		О	MLP 11-8-1	0,70	0,65	56,9	219,6	BFGS 24
18		О	MLP 11-5-1	0,67	0,76	66,3	172,0	BFGS 61

Приложение А45 – Смыв почвы в зависимости от конструкции севооборота и обработки почвы, т/га, 1990-2022 гг.

Севооборот	Приемы обработки почвы	Годы наблюдения			
		1990-2005	2006-2013	2014-2019	2020-2022
«А» – 20 % чистого пара, 0 % многолетних трав	Ч	5,5	3,9	5,7	4,3
	О	6,1	4,6	6,7	5,7
«Б» – 0 % чистого пара, 20 % многолетних трав	Ч	2,4	2,7	4,1	3,1
	О	2,9	3,5	5,6	4,0
«В» – 0 % чистого пара, 40 % многолетних трав	Ч	1,5	1,9	3,3	2,8
	О	2,0	2,4	4,4	2,1

Приложение А46 – Баланс гумуса в севооборотах различной конструкции и уровнях минерального питания по отвальной обработке почвы, кг/га, 1990-2013 гг.

Севооборот	Уровень применения удобрений	Вынос азота с урожаем	Поступление азота	Минерализация	Накопление гумуса	Баланс	Баланс с учетом стока
А	0	108	35	748	301	-771	-967
Б		107	56	511	434	-133	-248
В		109	63	466	509	73	-7
А	1	126	67	730	339	-673	-873
Б		128	81	472	487	26	-94
В		131	89	423	567	249	163
А	2	138	92	671	368	-523	-726
Б		150	117	329	526	341	220
В		147	123	242	613	641	553

Примечание: «0» – естественное плодородие; «1» – Навоз 5т + N₄₆P₃₀K₃₀; «2» – Навоз 8т + N₈₄P₄₈K₄₈

Приложение А47 – Баланс гумуса в севооборотах различной конструкции и уровнях минерального питания по отвальной обработки почвы, кг/га, 2014-2022 гг.

Севооборот	Уровень применения удобрений	Вынос азота с урожаем	Поступление азота	Минерализация	Накопление гумуса	Баланс	Баланс с учетом стока
А	0	106	29	786	250	-924	-1159
Б		101	49	512	382	-225	-464
В		115	55	599	457	-246	-489
А	1	126	53	741	270	-812	-1007
Б		125	67	578	419	-273	-475
В		135	71	634	494	-241	-446
А	2	139	74	671	285	-666	-815
Б		148	99	493	443	-86	-245
В		147	102	450	520	121	-42

Примечание: «0» – естественное плодородие; «1» – N₄₆P₃₀K₃₀; «2» – N₈₄P₄₈K₄₈

Приложение А48 – Баланс гумуса в севооборотах различной конструкции и уровнях минерального питания по чизельной обработки почвы, кг/га, 1990-2013 гг.

Севооборот	Уровень применения удобрений	Вынос азота с урожаем	Поступление азота	Минерализация	Накопление гумуса	Баланс	Баланс с учетом стока
А	0	104	34	719	293	-734	-907
Б		104	55	492	428	-111	-203
В		105	60	454	497	74	11
А	1	123	67	705	335	-637	-814
Б		125	87	384	481	166	70
В		127	88	392	556	283	215
А	2	134	92	638	362	-477	-656
Б		139	116	230	517	495	398
В		144	122	216	603	667	597

Примечание: «0» – естественное плодородие; «1» – Навоз 5т + N₄₆P₃₀K₃₀; «2» – Навоз 8т + N₈₄P₄₈K₄₈

Приложение А49 – Баланс гумуса в севооборотах различной конструкции и уровнях минерального питания по чизельной обработки почвы, кг/га, 2014-2022 гг.

Севооборот	Уровень применения удобрений	Вынос азота с урожаем	Поступление азота	Минерализация	Накопление гумуса	Баланс	Баланс с учетом стока
1	2	3	4	5	6	7	8
А	0	108	29	803	252	-950	-1148
Б		101	49	515	378	-237	-439
В		111	52	593	444	-257	-462

Продолжение приложения А49

1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	125	53	729	272	-789	-935
Б		125	73	513	415	-168	-319
В		131	77	537	483	-93	-247
A	2	140	74	672	289	-660	-779
Б		140	98	420	438	30	-98
В		144	101	429	509	138	6
Примечание: «0» – естественное плодородие; «1» – N ₄₆ P ₃₀ K ₃₀ ; «2» – N ₈₄ P ₄₈ K ₄₈							

Приложение А50 – Баланс элементов питания в зависимости от конструкции севооборотов и уровней минерального питания по отвальной обработки почвы, кг/га, 2014-2019 гг.

Статьи баланса	Севооборот								
	А			Б			В		
	0*	1	2	0	1	2	0	1	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потери азота с урожаем культур	71	87	98	80	103	116	83	98	105
Потери азота из удобрений (денитрификация)	0	7	13	0	7	13	0	7	13
Расход азота	71	94	111	80	110	129	83	105	118
Поступление азота с удобрениями	0	32	59	0	32	59	0	32	59
Поступление азота с растительными остатками, осадками и семенами	10	10	11	14	15	15	14	15	15
Поступление азота за счёт симбиотической и не симбиотической фиксации азота	8	9	11	13	16	18	19	22	23
Всего поступило азота	18	52	80	27	63	92	33	69	97
Баланс азота по севообороту	-53	-42	-31	-53	-47	-37	-50	-36	-21
Вынос азота со стоком и смывом	13	14	15	11	12	12	9	9	9
Баланс азота по севообороту с учетом стока и смыва	-66	-57	-46	-64	-59	-49	-58	-46	-30
Потери фосфора с урожаем культур	26	33	37	29	37	42	32	37	40
Поступление фосфора удобрениями	0	13	17	0	13	17	0	13	17
Поступление фосфора с растительными остатками, осадками и семенами	6	6	6	7	8	8	8	8	8
Всего поступило фосфора	6	20	23	7	21	24	8	21	25
Баланс фосфора по севообороту	-20	-13	-14	-22	-16	-18	-24	-16	-16
Вынос фосфора со стоком и смывом	10	11	11	8	9	9	7	7	7
Баланс фосфора по севообороту с учетом стока и смыва	-30	-24	-26	-30	-25	-27	-30	-23	-23

Продолжение приложения А50

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потери калия с урожаем культур	62	77	88	75	94	106	79	92	99
Поступление калия с удобрениями	0	27	43	0	27	43	0	27	43
Поступление калия с растительными остатками, осадками и семенами	21	22	23	27	28	29	23	24	25
Всего поступило калия	21	49	66	27	55	72	23	51	68
Баланс калия по севообороту	-41	-28	-22	-49	-39	-34	-56	-41	-31
Вынос калия со стоком и смывом	147	162	182	122	134	151	95	105	118
Баланс калия по севообороту с учетом стока и смывом	-188	-190	-205	-170	-173	-185	-151	-146	-149
Примечание: «0» – естественное плодородие; «1» – $N_{46}P_{24}K_{30}$; «2» – $N_{84}P_{30}K_{48}$;									

Приложение А51 – Баланс элементов питания в зависимости от конструкции севооборота и уровня минерального питания по отвальной обработке почвы, кг/га, 2020-2022 гг.

Статьи баланса	Севооборот								
	А			Б			В		
	0*	1	2	0	1	2	0	1	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потери азота с урожаем культур	82	100	114	98	117	132	92	106	120
Потери азота из удобрений (денитрификация)	0	7	13	0	7	13	0	7	13
Расход азота	82	107	127	98	124	144	92	113	133
Поступление азота с удобрениями	0	32	59	0	32	59	0	32	59
Поступление азота с растительными остатками, осадками и семенами	10	11	11	15	15	15	14	15	15
Поступление азота за счёт симбиотической и не симбиотической фиксации азота	9	11	12	15	18	20	20	23	25
Всего поступило азота	19	54	82	30	65	94	34	70	100
Баланс азота по севообороту	-63	-53	-45	-68	-59	-50	-58	-44	-34
Вынос азота со стоком и смывом	11	12	12	8	9	9	6	6	6
Баланс азота по севообороту с учетом стока и смыва	-74	-65	-57	-76	-67	-59	-64	-50	-40
Потери фосфора с урожаем культур	31	38	43	35	42	48	35	41	46
Поступление фосфора удобрениями	0	17	31	0	17	31	0	17	31
Поступление фосфора с растительными остатками, осадками и семенами	6	6	7	8	8	8	8	8	8
Всего поступило фосфора	6	23	37	8	24	39	8	24	39

Продолжение приложения А51

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Баланс фосфора по севообороту	-25	-15	-6	-28	-18	-9	-27	-16	-7
Вынос фосфора со стоком и смывом	8	9	10	6	6	7	4	4	5
Баланс фосфора по севообороту с учетом стока и смыва	-33	-24	-15	-34	-24	-16	-31	-21	-12
Потери калия с урожаем культур	73	89	102	89	106	120	85	99	111
Поступление калия с удобрениями	0	27	43	0	27	43	0	27	43
Поступление калия с растительными остатками, осадками и семенами	22	23	24	27	29	30	23	25	26
Всего поступило калия	22	50	67	27	56	73	23	52	69
Баланс калия по севообороту	-51	-40	-35	-62	-50	-47	-62	-47	-42
Вынос калия со стоком и смывом	124	137	154	87	96	108	61	68	76
Баланс калия по севообороту с учетом стока и смыва	-175	-176	-189	-149	-146	-155	-123	-115	-118
Примечание: «0» – естественное плодородие; «1» – $N_{46}P_{30}K_{30}$; «2» – $N_{84}P_{48}K_{48}$;									

Приложение А52 – Баланс элементов питания в зависимости от конструкции севооборотов и уровней минерального питания по чизельной обработки почвы, кг/га, 2014-2019 гг.

Статьи баланса	Севооборот								
	А			Б			В		
	0*	1	2	0	1	2	0	1	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потери азота с урожаем культур	71	89	101	79	103	115	79	93	100
Потери азота из удобрений (денитрификация)	0	7	13	0	7	13	0	7	13
Расход азота	71	96	114	79	110	128	79	100	113
Поступление азота с удобрениями	0	32	59	0	32	59	0	32	59
Поступление азота с растительными остатками, осадками и семенами	10	10	11	14	15	15	14	14	15
Поступление азота за счёт симбиотической и не симбиотической фиксации азота	8	10	11	13	15	17	17	20	21
Всего поступило азота	18	52	80	27	62	91	31	66	95
Баланс азота по севообороту	-54	-44	-34	-53	-47	-37	-47	-34	-18
Вынос азота со стоком и смывом	11	12	12	8	9	9	7	7	7
Баланс азота по севообороту с учетом стока и смыва	-65	-56	-46	-61	-56	-46	-54	-41	-25
Потери фосфора с урожаем культур	27	33	38	29	37	41	30	35	38
Поступление фосфора удобрениями	0	13	17	0	13	17	0	13	17

Продолжение приложения А52

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поступление фосфора с растительными остатками, осадками и семенами	6	6	6	7	8	8	8	8	8
Всего поступило фосфора	6	20	23	7	21	24	8	21	24
Баланс фосфора по севообороту	-20	-14	-15	-22	-16	-17	-22	-14	-14
Вынос фосфора со стоком и смывом	9	9	10	6	7	7	5	5	6
Баланс фосфора по севообороту с учетом стока и смыва	-29	-23	-25	-28	-23	-24	-27	-20	-19
Потери калия с урожаем культур	63	79	91	74	93	104	74	86	93
Поступление калия с удобрениями	0	27	43	0	27	43	0	27	43
Поступление калия с растительными остатками, осадками и семенами	21	22	23	26	28	28	23	24	24
Всего поступило калия	21	49	66	26	55	72	23	51	67
Баланс калия по севообороту	-42	-30	-25	-48	-38	-33	-51	-35	-25
Вынос калия со стоком и смывом	126	138	156	90	99	112	72	79	89
Баланс калия по севообороту с учетом стока и смыва	-168	-169	-180	-138	-138	-144	-123	-115	-114
Примечание: «0» – естественное плодородие; «1» – $N_{46}P_{24}K_{30}$; «2» – $N_{84}P_{30}K_{48}$									

Приложение А53 – Баланс элементов питания в зависимости от конструкции севооборотов и уровней минерального питания по чизельной обработке почвы кг/га, 2020-2022 гг.

Статьи баланса	Севооборот								
	А			Б			В		
	0*	1	2	0	1	2	0	1	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потери азота с урожаем культур	84	100	118	100	118	135	92	108	122
Потери азота из удобрений (денитрификация)	0	7	13	0	7	13	0	7	13
Расход азота	84	107	130	100	125	148	92	115	135
Поступление азота с удобрениями	0	32	59	0	32	59	0	32	59
Поступление азота с растительными остатками, осадками и семенами	10	11	11	15	15	16	14	15	15
Поступление азота за счёт симбиотической и не симбиотической фиксации азота	9	11	13	16	18	20	20	23	26
Всего поступило азота	19	54	83	30	65	95	34	70	100
Баланс азота по севообороту	-65	-54	-48	-70	-60	-54	-58	-45	-35
Вынос азота со стоком и смывом	9	9	9	6	7	7	4	5	5
Баланс азота по севообороту с учетом стока и смыва	-73	-63	-57	-76	-67	-60	-62	-49	-39
Потери фосфора с урожаем культур	32	38	44	36	43	49	35	41	47

Продолжение приложения А53

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поступление фосфора удобрениями	0	17	31	0	17	31	0	17	31
Поступление фосфора с растительными остатками, осадками и семенами	6	6	7	8	8	8	8	8	8
Всего поступило фосфора	6	23	37	8	24	39	8	24	39
Баланс фосфора по севообороту	-25	-15	-7	-29	-18	-10	-27	-17	-8
Вынос фосфора со стоком и смывом	6	7	7	5	5	5	3	3	4
Баланс фосфора по севообороту с учетом стока и смыва	-32	-22	-14	-33	-23	-15	-30	-20	-11
Потери калия с урожаем культур	75	90	105	90	106	122	85	100	113
Поступление калия с удобрениями	0	27	43	0	27	43	0	27	43
Поступление калия с растительными остатками, осадками и семенами	22	23	24	27	29	30	24	25	26
Всего поступило калия	22	50	67	27	56	73	24	52	69
Баланс калия по севообороту	-53	-40	-38	-63	-50	-49	-62	-48	-44
Вынос калия со стоком и смывом	93	103	116	68	75	84	46	51	57
Баланс калия по севообороту с учетом стока и смыва	-146	-142	-153	-131	-125	-133	-108	-99	-101
Примечание: «0» – естественное плодородие; «1» – N ₄₆ P ₃₀ K ₃₀ ; «2» – N ₈₄ P ₄₈ K ₄₈ ;									

Приложение А54 – Статистическая значимость средних значений урожайности озимой пшеницы

Группы сравнения						Среднее значение, т/га		Уровни статистической значимости	
Группа 1			Группа 2						
Предшественник	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений	Предшественник	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений	Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пар	О	0	Пар	Ч	0	4,48	4,37	0,41	0,68
Пар	О	1	Пар	О	0	5,05	4,48	2,11	0,039
Пар	О	1	Пар	Ч	0	5,05	4,37	2,56	0,013
Пар	О	1	Пар	Ч	1	5,05	5,02	0,11	0,91
Пар	О	2	Пар	О	0	5,52	4,48	3,77	0,0036
Пар	О	2	Пар	О	1	5,52	5,05	1,66	0,10
Пар	О	2	Пар	Ч	0	5,52	4,37	4,24	0,072
Пар	О	2	Пар	Ч	1	5,52	5,02	1,81	0,075
Пар	О	2	Пар	Ч	2	5,52	5,47	0,17	0,87
Пар	Ч	1	Пар	О	0	5,02	4,48	2,04	0,045
Пар	Ч	1	Пар	Ч	0	5,02	4,37	2,50	0,015
Пар	Ч	2	Пар	О	0	5,47	4,48	3,60	0,062
Пар	Ч	2	Пар	О	1	5,47	5,05	1,50	0,14
Пар	Ч	2	Пар	Ч	0	5,47	4,37	4,08	0,013

Продолжение приложения А54

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пар	Ч	2	Пар	Ч	1	5,47	5,02	1,64	0,11
Озимая	О	0	Озимая	Ч	0	2,65	2,51	0,66	0,51
Озимая	О	1	Озимая	О	0	3,63	2,65	4,54	0,025
Озимая	О	1	Озимая	Ч	0	3,63	2,51	5,29	0,016
Озимая	О	1	Озимая	Ч	1	3,63	3,52	0,48	0,64
Озимая	О	2	Озимая	О	0	4,19	2,65	6,77	0,001
Озимая	О	2	Озимая	О	1	4,19	3,63	2,39	0,020
Озимая	О	2	Озимая	Ч	2	4,19	2,51	7,52	0,001
Озимая	О	2	Озимая	Ч	1	4,19	3,52	2,85	0,059
Озимая	О	2	Озимая	Ч	2	4,19	4,12	0,29	0,77
Озимая	Ч	1	Озимая	О	0	3,52	2,65	4,06	0,014
Озимая	Ч	1	Озимая	Ч	0	3,52	2,51	4,80	0,010
Озимая	Ч	2	Озимая	О	0	4,12	2,65	6,09	0,007
Озимая	Ч	2	Озимая	О	1	4,12	3,63	1,97	0,054
Озимая	Ч	2	Озимая	Ч	0	4,12	2,51	6,78	0,004
Озимая	Ч	2	Озимая	Ч	1	4,12	3,52	2,40	0,019
Горох	О	0	Горох	Ч	0	3,75	3,70	0,18	0,86
Горох	О	1	Горох	О	0	4,53	3,75	2,80	0,068
Горох	О	1	Горох	Ч	0	4,53	3,70	3,08	0,030
Горох	О	1	Горох	Ч	1	4,53	4,50	0,07	0,94
Горох	О	2	Горох	О	0	5,01	3,75	4,38	0,045
Горох	О	2	Горох	О	1	5,01	4,53	1,63	0,11
Горох	О	2	Горох	Ч	0	5,01	3,70	4,70	0,014
Горох	О	2	Горох	Ч	1	5,01	4,50	1,70	0,094
Горох	О	2	Горох	Ч	2	5,01	5,00	0,03	0,97
Горох	Ч	1	Горох	О	0	4,50	3,75	2,72	0,0084
Горох	Ч	1	Горох	Ч	0	4,50	3,70	3,00	0,0039
Горох	Ч	2	Горох	О	0	5,00	3,75	4,43	0,0038
Горох	Ч	2	Горох	О	1	5,00	4,53	1,62	0,11
Горох	Ч	2	Горох	Ч	0	5,00	3,70	4,76	0,0011
Горох	Ч	2	Горох	Ч	1	5,00	4,50	1,69	0,10
Кукуруза	О	0	Кукуруза	Ч	0	3,14	3,01	0,53	0,60
Кукуруза	О	1	Кукуруза	О	0	3,97	3,14	3,18	0,023
Кукуруза	О	1	Кукуруза	Ч	0	3,97	3,01	3,75	0,038
Кукуруза	О	1	Кукуруза	Ч	1	3,97	3,82	0,54	0,59
Кукуруза	О	2	Кукуруза	О	0	4,46	3,14	4,80	0,010
Кукуруза	О	2	Кукуруза	О	1	4,46	3,97	1,76	0,083
Кукуруза	О	2	Кукуруза	Ч	0	4,46	3,01	5,37	0,012
Кукуруза	О	2	Кукуруза	Ч	1	4,46	3,82	2,28	0,026
Кукуруза	Ч	1	Кукуруза	О	0	3,82	3,14	2,66	0,010
Кукуруза	Ч	1	Кукуруза	Ч	0	3,82	3,01	3,23	0,0020
Кукуруза	Ч	2	Кукуруза	О	0	4,46	3,14	4,94	0,059
Кукуруза	Ч	2	Кукуруза	О	1	4,46	3,97	1,82	0,074
Кукуруза	Ч	2	Кукуруза	О	2	4,46	4,46	0,01	0,99
Кукуруза	Ч	2	Кукуруза	Ч	0	4,46	3,01	5,53	0,064
Кукуруза	Ч	2	Кукуруза	Ч	1	4,46	3,82	2,36	0,022

Примечание: N=33; *p < 0,05; Приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная; 0, 1, 2 – «0»; «1»; «2» – уровень применений удобрений.

Приложение А55 – Статистическая значимость средних значений урожайности ярового ячменя

Группы сравнения						Среднее значение, т/га		Уровни статистической значимости	
Группа 1			Группа 1			Группа 1	Группа 1	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Севоборот	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений	Севоборот	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	O	0	A	O	0	2,73	2,60	0,5	0,61
A	O	0	A	Ч	0	2,60	2,57	0,1	0,91
A	O	0	A	Ч	0	2,73	2,57	0,6	0,53
A	O	0	B	O	0	2,60	2,54	0,2	0,83
A	O	0	B	O	0	2,73	2,54	0,7	0,47
A	O	0	B	Ч	0	2,60	2,51	0,3	0,75
A	O	0	B	Ч	0	2,73	2,51	0,9	0,39
A	O	1	A	O	0	3,34	2,73	2,1	0,037
A	O	1	A	O	0	3,42	2,73	2,4	0,018
A	O	1	A	O	0	3,34	2,60	2,6	0,011
A	O	1	A	O	0	3,42	2,60	2,9	0,0048
A	O	1	A	O	1	3,42	3,34	0,3	0,80
A	O	1	A	Ч	0	3,34	2,57	2,7	0,0079
A	O	1	A	Ч	0	3,42	2,57	3,1	0,0033
A	O	1	A	Ч	1	3,34	3,33	0,0	0,98
A	O	1	A	Ч	1	3,42	3,33	0,3	0,78
A	O	1	B	Ч	0	3,34	2,73	2,1	0,039
A	O	1	B	Ч	0	3,42	2,73	2,4	0,019
A	O	1	B	Ч	1	3,42	3,36	0,2	0,87
A	O	1	B	O	0	3,34	2,54	2,8	0,0066
A	O	1	B	O	0	3,42	2,54	3,1	0,0027
A	O	1	B	O	1	3,34	3,24	0,3	0,74
A	O	1	B	O	1	3,42	3,24	0,6	0,55
A	O	1	B	Ч	0	3,34	2,51	3,0	0,0037
A	O	1	B	Ч	0	3,42	2,51	3,3	0,0014
A	O	1	B	Ч	1	3,34	3,22	0,4	0,69
A	O	1	B	Ч	1	3,42	3,22	0,7	0,51
A	O	2	A	O	0	3,71	2,73	3,4	0,0012
A	O	2	A	O	0	3,82	2,73	3,8	0,00031
A	O	2	A	O	0	3,71	2,60	3,9	0,00027
A	O	2	A	O	0	3,82	2,60	4,3	0,000058
A	O	2	A	O	1	3,71	3,42	1,0	0,33
A	O	2	A	O	1	3,71	3,34	1,2	0,23
A	O	2	A	O	1	3,82	3,42	1,3	0,18

Продолжение приложения А55

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	O	2	A	O	1	3,82	3,34	1,6	0,12
A	O	2	A	O	2	3,82	3,71	0,3	0,74
A	O	2	A	Ч	0	3,71	2,57	4,0	0,00018
A	O	2	A	Ч	0	3,82	2,57	4,4	0,000036
A	O	2	A	Ч	1	3,71	3,33	1,2	0,23
A	O	2	A	Ч	1	3,82	3,33	1,6	0,12
A	O	2	A	Ч	2	3,71	3,69	0,1	0,95
A	O	2	A	Ч	2	3,82	3,69	0,4	0,69
A	O	2	Б	Ч	0	3,71	2,73	3,3	0,0014
A	O	2	Б	Ч	0	3,82	2,73	3,8	0,00034
A	O	2	Б	Ч	1	3,71	3,36	1,1	0,27
A	O	2	Б	Ч	1	3,82	3,36	1,5	0,15
A	O	2	Б	Ч	2	3,82	3,78	0,1	0,88
A	O	2	В	O	0	3,71	2,54	4,0	0,00014
A	O	2	В	O	0	3,82	2,54	4,5	0,000030
A	O	2	В	O	1	3,71	3,24	1,6	0,12
A	O	2	В	O	1	3,82	3,24	2,0	0,055
A	O	2	В	O	2	3,71	3,58	0,4	0,66
A	O	2	В	O	2	3,82	3,58	0,8	0,43
A	O	2	В	Ч	0	3,71	2,51	4,3	0,000063
A	O	2	В	Ч	0	3,82	2,51	4,8	0,000011
A	O	2	В	Ч	1	3,71	3,22	1,6	0,11
A	O	2	В	Ч	1	3,82	3,22	2,0	0,049
A	O	2	В	Ч	2	3,71	3,57	0,5	0,64
A	O	2	В	Ч	2	3,82	3,57	0,8	0,41
A	Ч	0	В	O	0	2,57	2,54	0,1	0,92
A	Ч	0	В	Ч	0	2,57	2,51	0,2	0,84
A	Ч	1	A	O	0	3,33	2,73	2,1	0,042
A	Ч	1	A	O	0	3,33	2,60	2,6	0,013
A	Ч	1	A	Ч	0	3,33	2,57	2,7	0,0094
A	Ч	1	Б	Ч	0	3,33	2,73	2,1	0,044
A	Ч	1	В	O	0	3,33	2,54	2,7	0,0078
A	Ч	1	В	Ч	1	3,33	3,24	0,3	0,76
A	Ч	1	В	Ч	0	3,33	2,51	2,9	0,0046
A	Ч	1	В	Ч	1	3,33	3,22	0,4	0,71
A	Ч	2	A	O	0	3,69	2,73	3,2	0,0019
A	Ч	2	A	O	0	3,69	2,60	3,7	0,00045
A	Ч	2	A	O	1	3,69	3,42	0,9	0,38
A	Ч	2	A	O	1	3,69	3,34	1,1	0,26
A	Ч	2	A	Ч	0	3,69	2,57	3,8	0,00030
A	Ч	2	A	Ч	1	3,69	3,33	1,1	0,26
A	Ч	2	Б	Ч	0	3,69	2,73	3,2	0,0021
A	Ч	2	Б	Ч	1	3,69	3,36	1,0	0,31
A	Ч	2	В	O	0	3,69	2,54	3,9	0,00025
A	Ч	2	В	O	1	3,69	3,24	1,5	0,15
A	Ч	2	В	O	2	3,69	3,58	0,4	0,72
A	Ч	2	В	Ч	0	3,69	2,51	4,1	0,00012

Продолжение приложения А55

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А	Ч	2	В	Ч	1	3,69	3,22	1,5	0,13
А	Ч	2	В	Ч	2	3,69	3,57	0,4	0,70
Б	Ч	0	А	О	0	2,73	2,73	0,0	0,99
Б	Ч	0	А	О	0	2,73	2,60	0,5	0,60
Б	Ч	0	А	Ч	0	2,73	2,57	0,6	0,52
Б	Ч	0	В	О	0	2,73	2,54	0,7	0,46
Б	Ч	0	В	Ч	0	2,73	2,51	0,9	0,39
Б	Ч	1	А	О	0	3,36	2,73	2,2	0,035
Б	Ч	1	А	О	0	3,36	2,60	2,6	0,011
Б	Ч	1	А	О	1	3,36	3,34	0,1	0,93
Б	Ч	1	А	Ч	0	3,36	2,57	2,8	0,0077
Б	Ч	1	А	Ч	1	3,36	3,33	0,1	0,92
Б	Ч	1	Б	Ч	0	3,36	2,73	2,1	0,036
Б	Ч	1	В	О	0	3,36	2,54	2,8	0,0064
Б	Ч	1	В	О	1	3,36	3,24	0,4	0,68
Б	Ч	1	В	Ч	0	3,36	2,51	3,0	0,0037
Б	Ч	1	В	Ч	1	3,36	3,22	0,5	0,64
Б	Ч	2	А	О	0	3,78	2,73	3,6	0,00059
Б	Ч	2	А	О	0	3,78	2,60	4,1	0,00012
Б	Ч	2	А	О	1	3,78	3,42	1,2	0,24
Б	Ч	2	А	О	1	3,78	3,34	1,4	0,16
Б	Ч	2	А	О	2	3,78	3,71	0,2	0,85
Б	Ч	2	А	Ч	0	3,78	2,57	4,2	0,000075
Б	Ч	2	А	Ч	1	3,78	3,33	1,4	0,16
Б	Ч	2	А	Ч	2	3,78	3,69	0,3	0,80
Б	Ч	2	Б	Ч	0	3,78	2,73	3,6	0,00065
Б	Ч	2	Б	Ч	1	3,78	3,36	1,3	0,19
Б	Ч	2	В	О	0	3,78	2,54	4,3	0,000062
Б	Ч	2	В	О	1	3,78	3,24	1,8	0,079
Б	Ч	2	В	О	2	3,78	3,58	0,6	0,52
Б	Ч	2	В	Ч	0	3,78	2,51	4,5	0,000025
Б	Ч	2	В	Ч	1	3,78	3,22	1,8	0,071
Б	Ч	2	В	Ч	2	3,78	3,57	0,7	0,50
В	О	0	В	Ч	0	2,54	2,51	0,1	0,93
В	О	1	А	О	0	3,24	2,73	1,8	0,074
В	О	1	А	О	0	3,24	2,60	2,3	0,024
В	О	1	А	Ч	0	3,24	2,57	2,4	0,018
В	О	1	Б	Ч	0	3,24	2,73	1,8	0,078
В	О	1	В	О	0	3,24	2,54	2,5	0,015
В	О	1	В	Ч	0	3,24	2,51	2,7	0,0088
В	О	1	В	Ч	1	3,24	3,22	0,1	0,95
В	О	2	А	О	0	3,58	2,73	3,1	0,0032
В	О	2	А	О	0	3,58	2,60	3,6	0,00070
В	О	2	А	О	1	3,58	3,42	0,6	0,57
В	О	2	А	О	1	3,58	3,34	0,8	0,41
В	О	2	А	Ч	0	3,58	2,57	3,7	0,00046
В	О	2	А	Ч	1	3,58	3,33	0,8	0,41
В	О	2	Б	Ч	0	3,58	2,73	3,0	0,0035

Продолжение приложения А55

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В	О	2	Б	Ч	1	3,58	3,36	0,7	0,48
В	О	2	В	О	0	3,58	2,54	3,8	0,00038
В	О	2	В	О	1	3,58	3,24	1,2	0,24
В	О	2	В	Ч	0	3,58	2,51	4,0	0,00017
В	О	2	В	Ч	1	3,58	3,22	1,2	0,22
В	О	2	В	Ч	2	3,58	3,57	0,03	0,98
В	Ч	1	А	О	0	3,22	2,73	1,7	0,089
В	Ч	1	А	О	0	3,22	2,60	2,2	0,030
В	Ч	1	А	Ч	0	3,22	2,57	2,3	0,022
В	Ч	1	Б	Ч	0	3,22	2,73	1,7	0,093
В	Ч	1	В	О	0	3,22	2,54	2,4	0,019
В	Ч	1	В	Ч	0	3,22	2,51	2,6	0,011
В	Ч	2	А	О	0	3,57	2,73	3,0	0,0035
В	Ч	2	А	О	0	3,57	2,60	3,5	0,00075
В	Ч	2	А	О	1	3,57	3,42	0,5	0,59
В	Ч	2	А	О	1	3,57	3,34	0,8	0,43
В	Ч	2	А	Ч	0	3,57	2,57	3,7	0,00049
В	Ч	2	А	Ч	1	3,57	3,33	0,8	0,42
В	Ч	2	Б	Ч	0	3,57	2,73	3,0	0,0038
В	Ч	2	Б	Ч	1	3,57	3,36	0,7	0,49
В	Ч	2	В	О	0	3,57	2,54	3,7	0,00040
В	Ч	2	В	О	1	3,57	3,24	1,2	0,25
В	Ч	2	В	Ч	0	3,57	2,51	4,0	0,00018
В	Ч	2	В	Ч	1	3,57	3,22	1,2	0,23

Приложение А56 – Статистическая значимость средних значений урожайности гороха

Группы сравнения				Среднее значение, т/га		Уровни статистической значимости	
						t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Группа 1		Группа 2					
Севооборот	Приемы обработки почвы	Севооборот	Приемы обработки почвы	Группа 1	Группа 2		
1	2	3	4	5	6	7	8
Ч	0	О	0	1,72	1,77	0,3	0,798
Ч	0	Ч	1	1,72	2,18	2,1	0,043
Ч	0	О	1	1,72	2,24	2,3	0,026
Ч	0	Ч	2	1,72	2,18	2,9	0,006
Ч	0	О	2	1,72	2,38	3,2	0,002
О	0	Ч	1	1,77	2,18	1,8	0,076
О	0	О	1	1,77	2,24	2,0	0,049
О	0	Ч	2	1,77	2,18	2,6	0,012
О	0	О	2	1,77	2,38	2,9	0,005
Ч	1	О	1	2,18	2,24	0,2	0,821
Ч	1	Ч	2	2,18	2,18	0,8	0,429

Продолжение приложения А56

1	2	3	4	5	6	7	8
Ч	1	О	2	2,18	2,38	1,1	0,267
О	1	Ч	1	2,24	2,18	0,2	0,821
О	1	Ч	2	2,24	2,18	0,6	0,576
О	1	О	2	2,24	2,38	0,9	0,379
Ч	2	О	2	2,18	2,38	0,3	0,745

Примечание: N=26; *p < 0,05; Приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная; 0 – «0»-уровень применений удобрений, 1 – «1»-уровень применений удобрений, 2 – «2»-уровень применений удобрений.

Приложение А57 – Статистическая значимость средних значений урожайности кукурузы на силос

Группы сравнения						Среднее значение, т/га		Уровни статистической значимости	
Группа 1			Группа 2			Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Севооборот	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений	Севооборот	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А	О	0	А	Ч	0	21,5	20,2	0,45	0,66
А	О	1	А	О	0	25,3	21,5	1,08	0,28
А	О	1	А	Ч	0	25,3	20,2	1,53	0,13
А	О	1	А	Ч	1	25,3	24,7	0,17	0,87
А	О	2	А	О	0	29,0	21,5	2,07	0,045
А	О	2	А	О	1	29,0	25,3	0,97	0,34
А	О	2	А	Ч	0	29,0	20,2	2,52	0,016
А	О	2	А	Ч	1	29,0	24,7	1,17	0,25
А	О	2	А	Ч	2	29,0	28,2	0,23	0,82
А	Ч	1	А	О	0	24,7	21,5	0,96	0,34
А	Ч	1	А	Ч	0	24,7	20,2	1,43	0,16
А	Ч	2	А	О	0	28,2	21,5	1,91	0,063
А	Ч	2	А	О	1	28,2	25,3	0,77	0,45
А	Ч	2	А	Ч	0	28,2	20,2	2,38	0,022
А	Ч	2	А	Ч	1	28,2	24,7	0,98	0,33
Б	О	1	Б	О	0	25,5	20,8	1,50	0,14
Б	О	1	Б	Ч	0	25,5	20,7	1,56	0,13
Б	О	1	Б	Ч	1	25,5	24,9	0,18	0,86
Б	О	2	Б	О	0	29,6	20,8	2,70	0,010
Б	О	2	Б	О	1	29,6	25,5	1,13	0,27
Б	О	2	Б	Ч	0	29,6	20,7	2,76	0,0087
Б	О	2	Б	Ч	1	29,6	24,9	1,37	0,18
Б	О	2	Б	Ч	2	29,6	28,5	0,32	0,75
Б	Ч	1	Б	О	0	24,9	20,8	1,42	0,16
Б	Ч	1	Б	Ч	0	24,9	20,7	1,48	0,15
Б	Ч	1	В	О	0	24,9	22,2	0,90	0,38
Б	Ч	1	В	Ч	0	24,9	21,3	1,18	0,25

Продолжение приложения А57

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Б	Ч	2	Б	О	0	28,5	20,8	2,57	0,014
Б	Ч	2	Б	О	1	28,5	25,5	0,88	0,38
Б	Ч	2	Б	Ч	0	28,5	20,7	2,64	0,012
Б	Ч	2	Б	Ч	1	28,5	24,9	1,13	0,27
В	О	0	В	Ч	0	22,2	21,3	0,28	0,78
В	О	1	В	О	0	26,8	22,2	1,39	0,17
В	О	1	В	Ч	0	26,8	21,3	1,64	0,11
В	О	1	В	Ч	1	26,8	25,7	0,31	0,76
В	О	2	В	О	0	30,3	22,2	2,26	0,030
В	О	2	В	О	1	30,3	26,8	0,89	0,38
В	О	2	В	Ч	0	30,3	21,3	2,50	0,017
В	О	2	В	Ч	1	30,3	25,7	1,21	0,23
В	О	2	В	Ч	2	30,3	29,6	0,18	0,86
В	Ч	1	В	О	0	25,7	22,2	1,11	0,27
В	Ч	1	В	Ч	0	25,7	21,3	1,38	0,18
В	Ч	2	В	О	0	29,6	22,2	2,10	0,042
В	Ч	2	В	О	1	29,6	26,8	0,72	0,48
В	Ч	2	В	Ч	0	29,6	21,3	2,35	0,024
В	Ч	2	В	Ч	1	29,6	25,7	1,03	0,31

Примечание: N=21; *p < 0,05; Севообороты: «А», «Б», «В»; приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная; 0 – «0»-уровень применений удобрений, 1 – «1»-уровень применений удобрений, 2 – «2»-уровень применений удобрений

Приложение А58 – Статистическая значимость средних значений урожайности кукурузы на зерно

Группы сравнения				Среднее значение, т/га		Уровни статистической значимости	
Группа 1		Группа 2		Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений				
1	2	3	4	5	6	7	8
Ч	2	О	0	6,12	4,63	0,41	0,69
Ч	2	Ч	0	6,12	4,69	0,38	0,71
О	2	О	0	5,92	4,63	0,37	0,72
О	2	Ч	0	5,92	4,69	0,34	0,74
Ч	1	О	0	5,44	4,63	0,23	0,82
Ч	2	О	1	6,12	5,30	0,21	0,83
Ч	1	Ч	0	5,44	4,69	0,20	0,84
О	1	О	0	5,30	4,63	0,19	0,84
О	1	Ч	0	5,30	4,69	0,17	0,86
Ч	2	Ч	1	6,12	5,44	0,17	0,86
О	2	О	1	5,92	5,30	0,16	0,87
О	2	Ч	1	5,92	5,44	0,12	0,90

Продолжение приложения А58

1	2	3	4	5	6	7	8
Ч	2	О	2	6,12	5,92	0,05	0,96
Ч	1	О	1	5,44	5,30	0,04	0,97
Ч	0	О	0	4,69	4,63	0,02	0,98
Примечание: N=8; *p < 0,05; Приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная; 0 – «0»-уровень применений удобрений, 1 – «1»-уровень применений удобрений, 2 – «2»-уровень применений удобрений							

Приложение А59 – Статистическая значимость средних значений урожайности подсолнечника

Группы сравнения						Среднее значение, т/га		Уровни статистической значимости	
Группа 1			Группа 2			Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Севооборот	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений	Севооборот	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А	О	1	А	О	0	1,76	1,40	2,2	0,04
А	О	1	А	Ч	0	1,76	1,44	1,9	0,07
А	О	1	Б	О	0	1,76	1,46	1,8	0,09
А	О	1	Б	Ч	0	1,76	1,48	1,6	0,12
А	О	2	А	О	0	2,05	1,40	3,8	0,0011
А	О	2	А	О	1	2,05	1,76	1,5	0,14
А	О	2	А	Ч	0	2,05	1,44	3,4	0,0027
А	О	2	А	Ч	1	2,05	1,79	1,4	0,19
А	О	2	Б	О	0	2,05	1,46	3,3	0,0036
А	О	2	Б	О	1	2,05	1,82	1,2	0,24
А	О	2	Б	Ч	0	2,05	1,48	3,1	0,01
А	О	2	Б	Ч	1	2,05	1,81	1,2	0,24
А	Ч	0	А	О	0	1,44	1,40	0,3	0,80
А	Ч	1	А	О	0	1,79	1,40	2,3	0,03
А	Ч	1	А	О	1	1,79	1,76	0,2	0,88
А	Ч	1	А	Ч	0	1,79	1,44	2,0	0,06
А	Ч	1	Б	О	0	1,79	1,46	1,9	0,07
А	Ч	1	Б	Ч	0	1,79	1,48	1,8	0,09
А	Ч	2	А	О	0	2,09	1,40	3,9	0,0008
А	Ч	2	А	О	1	2,09	1,76	1,7	0,10
А	Ч	2	А	О	2	2,09	2,05	0,2	0,85
А	Ч	2	А	Ч	0	2,09	1,44	3,5	0,0020
А	Ч	2	А	Ч	1	2,09	1,79	1,5	0,14
А	Ч	2	Б	О	0	2,09	1,46	3,4	0,0026
А	Ч	2	Б	О	1	2,09	1,82	1,4	0,18
А	Ч	2	Б	Ч	0	2,09	1,48	3,2	0,0037
А	Ч	2	Б	Ч	1	2,09	1,81	1,4	0,19
Б	О	0	А	О	0	1,46	1,40	0,4	0,72

Примечание: N=12; *p < 0,05; Севообороты: «А», «Б», «В»; Приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная; 0 – «0»-уровень применений удобрений, 1 – «1»-уровень применений удобрений, 2 – «2»-уровень применений удобрений

Приложение А60 – Статистическая значимость средних значений урожайности многолетних трав

Группы сравнения						Среднее значение, т/га		Уровни статистической значимости	
Группа 1			Группа 2			Группа 1	Группа 2	t-критерий Стьюдента	уровень р-значимости
Севооборот	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений	Севооборот	Приемы обработки почвы	Уровень применения удобрений				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Б	О	0	Б	О	1	5,07	4,54	1,70	0,093
Б	О	0	Б	О	2	5,07	4,81	0,78	0,44
Б	О	0	Б	Ч	0	5,07	4,82	0,77	0,44
Б	О	0	Б	Ч	1	5,07	4,60	1,48	0,14
Б	О	0	Б	Ч	2	5,07	4,83	0,69	0,49
Б	О	2	Б	О	1	4,81	4,54	0,91	0,36
Б	О	2	Б	Ч	1	4,81	4,60	0,70	0,49
Б	Ч	0	Б	О	1	4,82	4,54	0,95	0,34
Б	Ч	0	Б	О	2	4,82	4,81	0,02	0,98
Б	Ч	0	Б	Ч	1	4,82	4,60	0,73	0,47
Б	Ч	1	Б	О	1	4,60	4,54	0,20	0,84
Б	Ч	2	Б	О	1	4,83	4,54	0,94	0,35
Б	Ч	2	Б	О	2	4,83	4,81	0,06	0,95
Б	Ч	2	Б	Ч	0	4,83	4,82	0,04	0,97
Б	Ч	2	Б	Ч	1	4,83	4,60	0,74	0,46
В	О	0	Б	О	0	5,25	5,07	0,55	0,59
В	О	0	Б	О	1	5,25	4,54	2,45	0,017
В	О	0	Б	О	2	5,25	4,81	1,40	0,17
В	О	0	Б	Ч	0	5,25	4,82	1,40	0,17
В	О	0	Б	Ч	1	5,25	4,60	2,18	0,033
В	О	0	Б	Ч	2	5,25	4,83	1,29	0,20
В	О	1	Б	О	0	5,97	5,07	2,58	0,012
В	О	1	Б	О	1	5,97	4,54	4,57	0,0023
В	О	1	Б	О	2	5,97	4,81	3,46	0,0010
В	О	1	Б	Ч	0	5,97	4,82	3,49	0,089
В	О	1	Б	Ч	1	5,97	4,60	4,26	0,069
В	О	1	Б	Ч	2	5,97	4,83	3,29	0,0016
В	О	1	В	О	0	5,97	5,25	2,18	0,033
В	О	1	В	Ч	0	5,97	5,46	1,53	0,13
В	О	1	В	Ч	1	5,97	5,50	1,38	0,17
В	О	1	В	Ч	2	5,97	5,77	0,57	0,57
В	О	2	Б	О	0	6,07	5,07	2,93	0,0047
В	О	2	Б	О	1	6,07	4,54	5,02	0,0043
В	О	2	Б	О	2	6,07	4,81	3,85	0,0028
В	О	2	Б	Ч	0	6,07	4,82	3,88	0,025
В	О	2	Б	Ч	1	6,07	4,60	4,69	0,0015

Продолжение приложения А60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В	О	2	Б	Ч	2	6,07	4,83	3,66	0,052
В	О	2	В	О	0	6,07	5,25	2,54	0,014
В	О	2	В	О	1	6,07	5,97	0,28	0,78
В	О	2	В	Ч	0	6,07	5,46	1,86	0,067
В	О	2	В	Ч	1	6,07	5,50	1,70	0,095
В	О	2	В	Ч	2	6,07	5,77	0,88	0,38
В	Ч	0	Б	О	0	5,46	5,07	1,17	0,25
В	Ч	0	Б	О	1	5,46	4,54	3,12	0,027
В	Ч	0	Б	О	2	5,46	4,81	2,04	0,045
В	Ч	0	Б	Ч	0	5,46	4,82	2,05	0,044
В	Ч	0	Б	Ч	1	5,46	4,60	2,83	0,0062
В	Ч	0	Б	Ч	2	5,46	4,83	1,91	0,061
В	Ч	0	Б	О	0	5,46	5,25	0,67	0,51
В	Ч	1	Б	О	0	5,50	5,07	1,25	0,22
В	Ч	1	Б	О	1	5,50	4,54	3,13	0,0026
В	Ч	1	Б	О	2	5,50	4,81	2,09	0,040
В	Ч	1	Б	Ч	0	5,50	4,82	2,10	0,040
В	Ч	1	Б	Ч	1	5,50	4,60	2,86	0,0058
В	Ч	1	Б	Ч	2	5,50	4,83	1,96	0,054
В	Ч	1	В	О	0	5,50	5,25	0,76	0,45
В	Ч	1	В	Ч	0	5,50	5,46	0,11	0,91
В	Ч	2	Б	О	0	5,77	5,07	2,08	0,041
В	Ч	2	Б	О	1	5,77	4,54	4,09	0,012
В	Ч	2	Б	О	2	5,77	4,81	2,97	0,0042
В	Ч	2	Б	Ч	0	5,77	4,82	2,99	0,039
В	Ч	2	Б	Ч	1	5,77	4,60	3,78	0,035
В	Ч	2	Б	Ч	2	5,77	4,83	2,81	0,066
В	Ч	2	В	О	0	5,77	5,25	1,64	0,11
В	Ч	2	В	Ч	0	5,77	5,46	0,97	0,33
В	Ч	2	В	Ч	1	5,77	5,50	0,83	0,41

Примечание: N=33; *p < 0,05; Севообороты: «А», «Б», «В»; Приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная; 0 – «0»-уровень применений удобрений, 1 – «1»-уровень применений удобрений, 2 – «2»-уровень применений удобрений

Приложение А61 – Структура затрат элементов технологии, возделывания сельскохозяйственных культур в севооборотах различных конструкций, ГДж/га, 2015-2019 гг.

Сево-оборот	При-емы обра-ботки	Уро-вень приме-нения удоб-рений	Статья расхода						
			Техни-ка	Удоб-рения	Пести-циды	ГСМ	Семе-на	Тру-довые ре-сурсы	Всего (Со-во-куп-ные затра-ты)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А	Ч	«0»	<u>1,96</u> 18,8	<u>0</u> 0	<u>0,12</u> 1,2	<u>3,23</u> 31,0	<u>4,92</u> 47,3	<u>0,18</u> 1,7	<u>10,4</u> 100

Продолжение приложения А61

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А	Ч	«1»	<u>2,0</u> 14,4	<u>2,19</u> 15,7	<u>0,12</u> 0,9	<u>4,48</u> 32,2	<u>4,92</u> 35,3	<u>0,21</u> 1,5	<u>13,9</u> 100
		«2»	<u>2,0</u> 12,6	<u>3,46</u> 21,9	<u>0,12</u> 0,8	<u>5,11</u> 32,3	<u>4,92</u> 31,1	<u>0,21</u> 1,3	<u>15,8</u> 100
	О	«0»	<u>2,04</u> 19,3	<u>0</u> 0	<u>0,12</u> 1,1	<u>3,29</u> 31,1	<u>4,92</u> 46,5	<u>0,21</u> 2,0	<u>10,6</u> 100
		«1»	<u>2,08</u> 14,8	<u>2,19</u> 15,6	<u>0,12</u> 0,9	<u>4,51</u> 32,1	<u>4,92</u> 35,0	<u>0,23</u> 1,6	<u>14,1</u> 100
		«2»	<u>2,08</u> 13,0	<u>3,46</u> 21,7	<u>0,12</u> 0,8	<u>5,16</u> 32,3	<u>4,92</u> 30,8	<u>0,23</u> 1,4	<u>16,0</u> 100
	Б	Ч	«0»	<u>2,00</u> 19,3	<u>0</u> 0	<u>0,33</u> 3,2	<u>3,55</u> 34,3	<u>4,27</u> 41,3	<u>0,2</u> 1,9
«1»			<u>2,00</u> 15,1	<u>1,91</u> 14,4	<u>0,33</u> 2,5	<u>4,53</u> 34,2	<u>4,27</u> 32,2	<u>0,22</u> 1,7	<u>13,3</u> 100
«2»			<u>2,01</u> 12,7	<u>3,46</u> 21,9	<u>0,33</u> 2,1	<u>5,48</u> 34,7	<u>4,27</u> 27,1	<u>0,22</u> 1,4	<u>15,8</u> 100
О		«0»	<u>2,11</u> 19,4	<u>0</u> 0	<u>0,33</u> 3,0	<u>3,93</u> 36,2	<u>4,27</u> 39,3	<u>0,23</u> 2,1	<u>10,9</u> 100
		«1»	<u>2,12</u> 15,4	<u>1,91</u> 13,9	<u>0,33</u> 2,4	<u>4,92</u> 35,7	<u>4,27</u> 31,0	<u>0,24</u> 1,7	<u>13,8</u> 100
		«2»	<u>2,12</u> 13,0	<u>3,46</u> 21,2	<u>0,33</u> 2,0	<u>5,88</u> 36,1	<u>4,27</u> 26,2	<u>0,25</u> 1,5	<u>16,3</u> 100
В	Ч	«0»	<u>1,77</u> 18,8	<u>0</u> 0	<u>0,12</u> 1,3	<u>3,87</u> 41,1	<u>3,44</u> 36,6	<u>0,21</u> 2,2	<u>9,4</u> 100
		«1»	<u>1,78</u> 14,1	<u>1,92</u> 15,3	<u>0,12</u> 1,0	<u>5,11</u> 40,6	<u>3,44</u> 27,3	<u>0,22</u> 1,7	<u>12,6</u> 100
		«2»	<u>1,78</u> 11,8	<u>3,46</u> 23,0	<u>0,12</u> 0,8	<u>6,04</u> 40,1	<u>3,44</u> 22,8	<u>0,23</u> 1,5	<u>15,1</u> 100
	О	«0»	<u>1,82</u> 18,6	<u>0</u> 0	<u>0,12</u> 1,2	<u>4,19</u> 42,8	<u>3,44</u> 35,1	<u>0,22</u> 2,2	<u>9,8</u> 100
		«1»	<u>1,83</u> 14,5	<u>1,92</u> 15,2	<u>0,12</u> 0,9	<u>5,12</u> 40,4	<u>3,44</u> 27,2	<u>0,23</u> 1,8	<u>12,7</u> 100
		«2»	<u>1,83</u> 12,0	<u>3,46</u> 22,7	<u>0,12</u> 0,8	<u>6,18</u> 40,5	<u>3,44</u> 22,5	<u>0,24</u> 1,6	<u>15,3</u> 100

Примечание – над чертой – абсолютные значения затрат (ГДж/га);
под чертой – относительное значение в структуре затрат (%),
приемы обработки почвы: Ч – чизельная, О – отвальная.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Акты о внедрении в производство научных результатов



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

1. Наименование организации и объекта, где внедрено мероприятие:
Опытная станция «Каменская» - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»
2. Наименование мероприятия.
Внедрение эколого-адаптивной технологии возделывания новых сортов озимой пшеницы для различных типов агроландшафтов Ростовской области.
3. Наименование научной организации, проводившей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия:
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»
4. Сроки внедрения мероприятия: 2023 г.
5. Краткая характеристика и новизна внедряемого мероприятия, взамен чего внедряется:
Разработаны агротехнические приемы возделывания озимой пшеницы (сорт Акапелла), обеспечивающие сохранение уровня почвенного плодородия, повышение влагообеспеченности и продуктивности пашни при снижении себестоимости 1 ц зерна и повышении рентабельности производства продукции. Разработанные приемы предусматривают норму высева семян 5 млн. шт./га, уровень минерального питания $N_{120}P_{40}K_{40}$ кг/га д.в. взамен нормы высева 4,5 млн. шт./га, на фоне минеральных удобрений 150 кг/га д.в. сульфата аммония и 100 кг/га аммиачной селитры.
6. Основные показатели внедряемого мероприятия:
 - а) фактический объем внедрения в натуральных показателях – 14 га;
 - б) повышение урожайности на 18,3 ц/га;
 Экономический эффект от внедрения мероприятия составит – 431 200 руб. (справочно) (расчет годового экономического эффекта прилагается).

Разработчик: лаборатория адаптивно-ландшафтного земледелия и защиты почв от эрозии

Заведующий отделом, к.с.-х. н.

Вошедский Н.Н.

Главный агроном ОС «Каменская»

Филимонов С.В.

Исходные данные для расчета годового экономического эффекта

Показатели	Принятые обозначения	Ед. измерения	Базовый вариант	Внедряемый вариант
1. Площадь под культурой	A_1 A_2	га	25	14
2. Годовые текущие издержки	C_1 C_2	руб./га	47580	41680

Расчет приведенных затрат

Показатели расчета	Ед. измерения	Базовый вариант	Внедряемый вариант
1. Урожайность	ц/га	46,8	55,1
2. Затраты на производство продукции на 1 га	руб./га	47580	41680
3. Себестоимость 1 ц продукции, Ц	руб.	1017	756
4. Выручка от реализации продукции	руб./га	140400	165300
5. Чистый доход	руб./га	92820	123620
6. Выход продукции на 1 руб. затрат	руб.	2,95	3,97

Расчет годового экономического эффекта

Показатели и формула расчета	Ед. измерения	Расчет
Годовой экономический эффект $З = [(C_2 - C_1) - (C_1 - C_1)] \cdot A$	руб.	$З = ((165300 - 41680) - (140400 - 47580)) \cdot 14 = 431\ 200$

Главный экономист ФГБНУ ФРАНЦ



Гарчева Е.В.



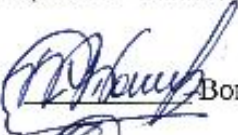
АКТ ВНЕДРЕНИЯ

1. Наименование организации и объекта, где внедрено мероприятие:
Опытная станция «Каменская» - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»
2. Наименование мероприятия.
Внедрение эколого-адаптивной технологии возделывания новых сортов гороха в различных агроландшафтах Ростовской области.
3. Наименование научной организации, проводившей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия:
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»
4. Сроки внедрения мероприятия: *2023 г.*
5. Краткая характеристика и новизна внедряемого мероприятия, взамен чего внедряется:
Технология включает агротехнические приёмы по системе обработки почвы, уровню минерального питания, норма высева семян при возделывании новых сортов гороха, обеспечивающая повышение урожайности культуры при снижении себестоимости и увеличении чистого дохода, а также окупаемости прямых затрат урожаем. Внедрялись следующие элементы технологии: чизельная основная обработка почвы (поверхностная на 14-16 см при помощи БДТ-3 + чизелевание на 25-27 см плугом ПС-3+1), норма высева семян 1,4 млн. шт./га, уровень минерального питания $N_{30}P_{60}K_{60}$ кг/га д.в. взамен отвальной вспашки, норма высева семян 1,2 млн. шт./га, фона минеральных удобрений $N_{12}P_{60}K_{60}$.
6. Основные показатели внедряемого мероприятия:
а) фактический объем внедрения в натуральных показателях – 195 га;
7. Экономический эффект от внедрения мероприятия составит – 2867280 руб. (справочно) (расчет годового экономического эффекта прилагается).

Разработчик: лаборатория адаптивно-ландшафтного земледелия и защиты почв от эрозии

Заведующий отделом, к.с.-х. н.

Главный агроном ОС «Каменская»

 Вошедский Н.Н.
 Филимонов С.В.

Исходные данные для расчета годового экономического эффекта

Показатели	Принятые обозначения	Ед. измерения	Базовый вариант	Внедряемый вариант
1. Площадь под культурой	A_1 A_2	га	100	195
2. Годовые текущие издержки на обработку почвы	C_1 C_2	руб./га	46332	43868

Расчет приведенных затрат

Показатели расчета	Ед. измерения	Базовый вариант	Внедряемый вариант
1. Урожайность	ц/га	28,2	31,6
2. Затраты на производство продукции на 1 га	руб./га	46332	43868
3. Себестоимость 1 ц продукции, Ц	руб.	1643,0	1388,23
4. Выручка от реализации продукции	руб./га	101520	113760
5. Чистый доход	руб./га	55188	69892
6. Выход продукции на 1 руб. затрат	руб.	2,19	2,59

Расчет годового экономического эффекта

Показатели и формула расчета	Ед. измерения	Расчет
Годовой экономический эффект $З = [(Ц_2 - C_2) - (Ц_1 - C_1)] \cdot A$	руб.	$З = ((113760 - 43868) - (101520 - 46332)) \cdot 195 = 2\,867\,280$

Главный экономист ФГБНУ ФРАНИЦ

 Гарчева Е.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ В. Патенты

ПРИЛОЖЕНИЕ В1 – Патент на полезную модель. Устройство для отбора и фиксации почвенных проб и корневой системы растений

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ
НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 119108

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОТБОРА И ФИКСИРОВАНИЯ
ПОЧВЕННЫХ ПРОБ И КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ
РАСТЕНИЯ**

Патентообладатель(и): *Государственное научное учреждение Донской зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ Донской НИИСХ Россельхозакадемии) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012110082
Приоритет полезной модели **15 марта 2012 г.**
Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **10 августа 2012 г.**
Срок действия патента истекает **15 марта 2022 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 **Б.П. Симонов**



ПРИЛОЖЕНИЕ В2 – Патент на изобретение. Способ определения массы
корневой системы пшениц

