

На правах рукописи



АЙТПАЕВА Айгуль Алдунгаровна

**НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ
ПРОДУКТИВНОСТИ СЕВООБОРОТОВ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ**

Специальность: 4.1.1. «Общее земледелие и растениеводство»

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук**

Астрахань 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук».

Научный консультант:	Тютюма Наталья Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент Российской академии наук.
Официальные оппоненты:	Беленков Алексей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса», селекционный центр по кормовым культурам, консультант; Горянин Олег Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.М. Тулайкова», отдел земледелия и новых технологий, главный научный сотрудник; Зеленев Александр Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», агробиотехнологический департамент аграрно-технологического института, профессор.
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук».

Защита состоится «11» ноября 2026 г. в 10 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 35.2.007.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» по адресу: 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26, ауд. 303Д.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Волгоградского государственного аграрного университета и на официальном сайте www.volgau.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета**



Бочарникова Олеся Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Основная цель современного земледелия - увеличение объемов растениеводческой продукции при ужесточении экологических и экономических ограничений. Успешное развитие сельского хозяйства в засушливых условиях Нижнего Поволжья невозможно без решения ключевых проблем: сохранения и воспроизводства почвенного плодородия, сдерживания эрозии и опустынивания.

Ресурсоемкая и энергозатратная модель земледелия, основанная на высоких дозах минеральных удобрений и доминировании упрощенных севооборотов (зачастую с монокультурой картофеля), исчерпала свой потенциал. Данная модель привела к потере гумуса, разрушению почвенной структуры, дисбалансу элементов питания, что обусловило снижение устойчивости агроэкосистем и непредсказуемость урожаев. В условиях нарастающей аридизации климата такая модель демонстрирует экономическую неэффективность и экологическую опасность.

В связи с этим стратегическим императивом становится переход к адаптивно-ландшафтным и биологизированным системам земледелия. Центральным управляющим элементом данных систем выступает научно обоснованный севооборот, который не только регламентирует чередование культур, но и обеспечивает ресурсосбережение, повышает устойчивость и продуктивность агроландшафтов. Особую актуальность приобретает разработка севооборотов, интегрированных с рациональными системами орошения, поскольку в условиях дефицита влаги кардинальное повышение продуктивности растениеводства без орошения невозможно.

Как отмечают Ю.Н. Плескачев и М.В. Костин, светло-каштановые и бурые полупустынные почвы (а также локально встречающиеся серо-бурые) суммарно охватывают до 75% территории Нижнего Поволжья и в наибольшей степени подвержены антропогенной деградации, дефициту влаги и потере гумуса. Учёт специфики данных почв служит основой для построения адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Ведущая роль в этих системах отводится севообороту как инструменту управления продукционным, водно-физическим и экологическим потенциалом агроландшафтов. Выбор для проведения опытов серо-бурых и светло-каштановых почв (характерных для зоны исследований) обеспечивает научную обоснованность, воспроизводимость результатов и высокую прикладную значимость работы при переходе к устойчивому сельскохозяйственному производству.

Степень разработанности научной проблемы диссертации. Общеметодологические основы и теория севооборотов рассмотрены в классических работах В.Р. Вильямса о травопольной системе и Д.Н. Прянишникова о роли биологического азота в земледелии, которые остаются фундаментом для понимания значения чередования культур. Принципы почвозащитного и адаптивного земледелия в условиях риска деградации разрабатывались А.И. Бараевым, А.Н. Каштановым, В.И. Кирюшиным, И.С.

Шатиловым. Региональные аспекты деградации почв, опустынивания и разработки адаптивных систем земледелия для зон недостаточного увлажнения исследованы Ю.Н. Плескачевым, М. В. Костиным – по вопросам генезиса, охраны и восстановления плодородия каштановых и светло-каштановых почв Заволжья, В.И. Кирюшиным – по разработке концепции адаптивно-ландшафтного земледелия. Вопросы фиксации биологического азота, использования бобовых и сидеральных культур как основы повышения продуктивности и экологизации севооборотов отражены в работах О.Г. Чамурлиева, Г.О. Чамурлиева. Вопросам гумусообразования в условиях сухой степи посвящены исследования А.В. Барановской, А.А. Околеловой, В.П. Веретельникова. Роль многолетних бобовых трав (люцерна, донник) в создании устойчивых агрофитоценозов описана в трудах Г.А. Медведева, В.И. Филина, Г.С. Егоровой. Изучению влияния орошения на агрофизические свойства почв, запасы продуктивной влаги и продуктивность севооборотов в степных регионах посвящены работы М.Н. Багрова, И.П. Кружилина, В.М. Жидкова. Вопросы экономической и энергетической эффективности различных систем обработки почвы в севооборотах отражены в исследованиях Т.В. Бабич и других.

В научной литературе глубоко и всесторонне изучены отдельные компоненты проблемы, такие как деградация степных почв, роль бобовых культур, агротехнические приёмы. Однако комплексное научно-практическое обоснование, интегрирующее современные биологические, почвозащитные и экономические принципы в целостные модели севооборотов с количественной оценкой их долгосрочной продуктивности и почвоулучшающего эффекта, остается недостаточно разработанным. Существует дефицит прикладных решений, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим и хозяйственным условиям, что и определяет необходимость проведения настоящих исследований.

Цель исследований – научно-технологическое обоснование и разработка комплекса решений по повышению продуктивности севооборотов в Нижнем Поволжье на основе оптимизации структуры посевов, водного и питательного режимов, биологизации земледелия и систем обработки почвы.

Задачи исследований:

1. Разработать схемы научно-обоснованных среднеротационных севооборотов, выявить влияние их структуры на агрофизические и агрохимические свойства серо-бурых почв, обозначить трендовые взаимосвязи между содержанием гумуса в почве и структурой севооборотов.

2. Изучить фотосинтетические и биометрические показатели, выявить корреляционные зависимости между урожайностью культур травянозернопропашного севооборота, режимом орошения и уровнем минерального питания.

3. Определить влияние глубокого плоскорезного рыхления в сочетании с предпосевной обработкой семян микробиологическим препаратом Байкал-ЭМ1 на урожайность и качественные характеристики зеленой массы люцерны.

4. Определить влияние предпосевного протравливания семян баковой

смесью биопрепаратов и фунгицидных протравителей на урожайность и качество зерна озимой пшеницы.

5. Изучить влияние органо-минеральных удобрений на урожайность и качество товарных клубней картофеля.

6. Разработать концептуальную модель «умного земледелия» для засушливых условий и дать оценку экономической эффективности разработанных элементов технологий возделывания культур севооборота.

Научная новизна исследований заключается в комплексном обосновании ресурсосберегающего эффекта новых схем севооборотов и агротехнологий для засушливых условий Нижнего Поволжья с дифференциацией по почвенным разностям. В работе впервые системно изучены основные элементы адаптивно-ландшафтного земледелия на серо-бурых почвах:

- разработаны и апробированы научно обоснованные схемы среднеротационных травянопропашных и травянозернопропашных севооборотов, изучено их влияние на агрофизические и агрохимические показатели;

- выявлены тенденции направленного увеличения содержания гумуса в пахотном слое в зависимости от насыщения севооборота многолетними бобовыми травами, что позволяет прогнозировать повышение плодородия без внесения органических удобрений;

- установлены сильные корреляционные связи между урожайностью культур травянозернопропашного севооборота, режимом орошения и дозами минеральных удобрений, позволившие научно обосновать снижение затрат без потери продуктивности;

- доказан синергетический эффект от сочетания плоскорезной обработки и предпосевной обработки семян микробиологическим препаратом «Байкал-ЭМ1», обеспечивающий прибавку урожайности зелёной массы люцерны на 12–13%;

- установлена эффективность применения органо-минеральных удобрений на картофеле, обеспечивающая рост урожайности товарных клубней; на светло-каштановых почвах:

- дана оценка жаростойкости и засухоустойчивости сортов озимой пшеницы, установлена эффективность применения баковой смеси биопрепарата «Оргамик С с фунгицидным протравителем ИншурПерформ» для предпосевной обработки семян, повышающей урожайность и качество зерна.

На основе комплексной оценки разработанных элементов технологий (с учётом почвенной специфики) доказана их экономическая эффективность, выраженная в снижении ресурсных затрат при росте продуктивности севооборотов. Предложенная концептуальная модель «умного земледелия» адаптирована к засушливым условиям Нижнего Поволжья и интегрирует дифференцированное управление поливом и минеральным питанием.

Теоретическая и практическая значимость работы. На серо-бурых почвах научно обоснованы корреляционные зависимости между урожайностью люцерны, ярового ячменя, картофеля, режимом орошения и уровнем минерального питания; подтверждена гипотеза о том, что улучшение условий

возделывания не обеспечивает бесконечный рост продуктивности сельскохозяйственных культур. Максимальные её уровни наблюдаются в пределах реализации генетического потенциала конкретных сортов и достигают: у люцерны сорта Талисман – 91 т/га зелёной массы, у ярового ячменя сорта Камышинский 23 – 4,7 т/га, у картофеля сорта Импала – 56,9 т/га.

Разработанные экономико-математические трендовые модели зависимости почвенного плодородия от структуры травянопропашного и травянозернопропашного севооборотов доказали, что процентное содержание гумуса в пахотном слое почвы имеет положительную линию тренда.

Теоретическая значимость расширена за счёт обоснования принципов биоминеральной оптимизации питания в адаптивно-ландшафтных севооборотах. Полученные данные вносят вклад в теорию управления почвенным плодородием.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Научное обоснование влияния среднеротационных севооборотов с многолетними бобовыми травами на улучшение агрофизических и агрохимических свойств серо-бурых почв. Научно-обоснованные взаимосвязи между содержанием гумуса в пахотном слое и насыщением севооборота многолетними бобовыми травами, позволяющие прогнозировать воспроизводство плодородия без применения органических удобрений.

2. Фотосинтетические и биометрические показатели люцерны, ярового ячменя и картофеля, корреляционные связи урожайности с режимами орошения и дозами минеральных удобрений.

3. Отзывчивость люцерны на плоскорезную обработку и предпосевную инокуляцию семян микробиологическим препаратом «Байкал-ЭМ1».

4. Эффективность применения биологизированной защиты семян (баковая смесь препаратов Оргамика С + ИншурПерформ) как фактора стабилизации производства зерна.

5. Влияние органо-минеральных удобрений на урожайность и качество клубней, обеспечивающее ресурсосбережение при выращивании картофеля в севообороте.

6. Концептуальная модель «умного земледелия», обеспечивающая минимизацию непродуктивных потерь воды и элементов питания. Научно обоснованная экономическая целесообразность внедрения разработанных технологических решений, выраженная в снижении ресурсных затрат при росте продуктивности севооборотов.

Методология и методы исследований базируются на современных подходах практического земледелия и частных методиках полевого эксперимента. В работе использованы системный подход, методы анализа и синтеза, индукции и дедукции, обобщения, наблюдения, сравнения и классификации. Обработка экспериментальных данных выполнена с применением методов математической статистики, дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа с использованием пакетов прикладных программ Statistica 7.0 и MicrosoftExcel.

Научная гипотеза. Повышение продуктивности севооборотов в засушливых условиях Нижнего Поволжья может быть обеспечено за счет

системной биологизации агроландшафтов, основанной на насыщении севооборотов многолетними бобовыми травами; внедрении адаптивных ресурсосберегающих технологий; применении биопрепаратов и щадящих способов обработки почвы.

Рабочая гипотеза. Внедрение в производство среднеротационных севооборотов с высокой долей многолетних бобовых трав является ключевым фактором повышения почвенного плодородия и обеспечения устойчивого развития земледелия в засушливых условиях Нижнего Поволжья.

Достоверность полученных результатов подтверждена многолетним периодом исследований (с 2008 по 2024 гг.), корректностью используемых методик, необходимым объемом проведенных анализов, замеров, наблюдений, обработкой экспериментального материала математическими методами дисперсионного, регрессионного и корреляционного анализов (с проверкой предпосылок их применения – нормальности распределения остатков, отсутствия автокорреляции), апробацией результатов исследований.

Апробация результатов научных исследований. Материалы диссертации доложены на Международных научно-практических конференциях и научно-практических семинарах, проходивших в ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева» (2009г., 2015г., 2016г., 2017г., 2019г., 2021г.), в ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет имени А.А. Кадырова» (2019г.), ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б.К. Городовикова» (2019г.), ФГБНУ "Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства" (2025г.) и др.

Результаты работы успешно прошли внедрение в Харабалинском районе Астраханской области (К(Ф)Х «Кузнецов Михаил Иванович», КХ «Гремучее»), в Камызякском районе (ООО «Виридис») с положительным экономическим эффектом, подтверждающим обоснованность полученных экспериментальных данных.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 работ в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 2 монографии, 27 статей в журналах и сборниках конференций, форумов.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 413 страницах, содержит 119 таблиц, 30 рисунков, состоит из введения, 7 глав, заключения, рекомендаций производству, перспектив дальнейшей разработки темы, библиографического списка использованной литературы, который включает 401 наименование, в том числе 63 зарубежных источника, 10 приложений.

Личный вклад соискателя заключался в планировании эксперимента, осуществлении постановки целей и задач исследований, проведении сбора данных, закладке полевых опытов, проведении наблюдений, обработке полученных результатов, написании статей, диссертации, автореферата. Доля личного участия составляет – 90%.

Автор выражает глубокую признательность за оказанную помощь научному консультанту, члену-корреспонденту РАН Тютюме Н.В., академику РАН Кружилину И.П., доктору с.-х. наук Булахтиной Г.К., кандидату с.-х. наук Кудряшовой Н.И.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обоснована актуальность исследований, представлена цель диссертационной работы и пути ее достижения, описана степень разработанности темы диссертационного исследования, научная новизна и практическая значимость, определена методология исследований и приведена апробация основных результатов.

В первой главе «Теоретические основы и современное состояние проблемы повышения продуктивности севооборотов» (обзор научной литературы) выполнен анализ литературных данных, освещающих современное состояние земледелия, обоснована необходимость возрождения севооборотов с насыщением их люцерной и зерновыми культурами, как фактора улучшения почвенного плодородия.

Во второй главе «Условия, материалы и методики проведения исследований» представлены методические основы выполнения исследований в период с 2008 по 2024 гг. Опыты проводились в Харабалинском районе Астраханской области в условиях серо-бурых почв на базе К(Ф)Х «Фока Валерий Григорьевич», в Лиманском районе в условиях светло-каштановых почв – на базе К(Ф)Х «Андросов Павел Анатольевич». Закладка опытов и сопутствующие наблюдения были выполнены по общеизвестной методике Б. А. Доспехова. Повторность в опытах четырехкратная. В качестве удобрений применяли аммиачную селитру, мочевины, нитроаммофоску, двойной гранулированный суперфосфат, сульфат калия, монофосфат калия.

Место проведения исследований - опытный участок серо-бурых почв. Среднемесячная температура июля +24,7 °С. При этом максимальные температуры в отдельные годы достигали 40 °С. Летний период характеризовался минимальными значениями по осадкам. Количество выпавших осадков с марта по октябрь не превышало 100 мм в 2018, 2020, 2023 и в 2024 годах. Наиболее влажным за 17 лет был 2016 г. (ГТК = 0,427), наиболее сухим — 2020 г. (ГТК = 0,098), что говорит о высокой межгодовой изменчивости условий увлажнения. Во все годы исследований значения гидротермического коэффициента были ниже 0,5, что соответствует засушливым и очень засушливым условиям вегетационного периода.

Место проведения исследований - опытный участок светло-каштановых почв. Климат резко-континентальный, крайне засушливый. Средняя температура самого жаркого месяца июля + 25,2 °С. Самый высокий ГТК был отмечен в 2019 г. (0,407), самый низкий — в 2015 г. (0,182). Во все годы исследований ГТК не достигал уровня 0,5.

Опыт 1. Разработка и апробация схем научно-обоснованного чередования культур в севооборотах

Севообороты осваивались в трех ротациях в период с 2008 по 2022 гг. Одно поле севооборота занимало площадь 10 га. Площадь учетной делянки 100 м². Под каждым вариантом опыта было занято 400 м². Почвы серо-бурые полупустынные. Содержание гумуса 0,99%. Сорта культур, выращиваемые в севообороте: картофель Импала, люцерна синяя Талисман, яровой ячмень Камышинский 23.

Таблица 1 - Схема опыта 1

Севооборот № 1	Севооборот № 2	Севооборот № 3
1. Картофель	1. Люцерна 1-го года жизни	1. Люцерна 1-го года жизни
2. Картофель	2. Люцерна 2-го года жизни	2. Люцерна 2-го года жизни
3. Картофель	3. Люцерна 3-го года жизни	3. Люцерна 3-го года жизни
4. Залежь	4. Картофель	4. Яровой ячмень
5. Залежь	5. Картофель	5. Картофель

Агротехника раннего картофеля после залежи включала внесение минеральных удобрений (МТЗ-82+РУМ-1000), осеннюю вспашку на 0,25–0,27 м (МТЗ-1221+ППО-4-35). Весной: боронование до 0,04 м, культивацию, посадку (МТЗ-82+СКМ-3) с густотой 38 тыс. шт/га, нарезку гребней, окучивание (3–4 раза), химзащиту (МТЗ-82+ОП-2000), полив дождеванием 400 м³/га («Фрегат-М»), скашивание ботвы (КИР-1,5), уборку (ККУ-1+МТЗ-82). При выращивании картофеля после картофеля осуществляли измельчение и заделку ботвы (ИУМ-Ф-10), далее глубокую вспашку на 0,28–0,30 м с оборотом пласта. Перед вспашкой применяли гербициды. Весной выполняли боронование, культивацию с одновременным внесением минеральных удобрений. Предпосадочная обработка клубней включала применение протравителя + инсектицида + биофунгицида + стимулятора. Густоту посадки снижали до 36 тыс. шт./га. Окучивание проводили 4 раза. При необходимости выполняли защитные мероприятия. Полив осуществляли дождевальной машиной «Фрегат-М» поливной нормой 400 м³/га (НВ 70–75%). Десикацию проводили за 10–14 дней до уборки. При размещении картофеля после люцерны выполняли лушение (ЛДГ-10) на 0,10–0,12 м, через 2–3 недели – вспашку на 0,25–0,27 м с предплужником. Весной: закрытие влаги, культивацию с удобрениями, посадку. При необходимости проводили защиту от вертициллеза и фузариоза. Полив осуществляли дождевальной машиной «Фрегат-М» поливной нормой 380 м³/га (НВ 75–80%), уборку (ККУ-1). При размещении картофеля после ярового ячменя выполняли лушение стерни на 0,08–0,10 м сразу после уборки, через 2–3 недели – вспашку на 0,25–0,27 м. Весной: боронование в 2 следа, культивацию с удобрениями, посадку (34 тыс./га), окучивание, стандартную защиту (повышенные нормы гербицидов против злаковых сорняков), поливы нормой 360 м³/га (НВ 75–80%), уборку.

Агротехника люцерны включала вспашку на 0,25–0,27 м, весной боронование, внесение удобрений, культивацию, прикатывание до/после посева, посев (СЗТ-3,6) с нормой 6,5 млн шт./га, обработку семян ризоторфином (ПС-10). Уходовые работы: полив 400 м³/га, подкормки после каждого укоса, химзащита.

Агротехника ярового ячменя состояла из вспашки на глубину до 0,25 м, боронования, культивации на 0,06 м, посева на 0,05 м (СПУ-6), прикатывания, полива (НВ не ниже 70%), уборки СК-5 «Нива-Эффект».

Опыт 2. Изучение влияния орошения и минеральных удобрений на урожайность культур севооборота

В период с 2018 по 2020 гг. опыты 2.1, 2.2 и 2.3 проводились на соответствующих полях внутри севооборота 3, что позволило изучать отклик культур на изучаемые факторы на фоне сформированного предшественниками агрофона. Учетная площадь одной делянки 100 м². Под каждым вариантом опыта было занято 400 м².

Опыт 2.1 Изучение влияния орошения и минеральных удобрений на урожайность люцерны (сорт Талисман)

Таблица 2 - схема опыта 2.1

Фактор А (режим орошения, % НВ)	Фактор В (доза минеральных удобрений, кг/га д.в.)
65% НВ (контроль)	Фоновое внесение Р ₆₀ К ₄₀ (контроль)
	Р ₇₅ К ₅₀ в основное удобрение и N ₁₅ Р ₃₀ К ₂₅ в подкормки
	Р ₉₀ К ₆₀ в основное удобрение и N ₂₅ Р ₄₀ К ₃₅ в подкормки
	Р ₁₀₅ К ₇₀ в основное удобрение и N ₃₅ Р ₅₀ К ₄₅ в подкормки
75% НВ	Фоновое внесение Р ₆₀ К ₄₀ (контроль)
	Р ₇₅ К ₅₀ в основное удобрение и N ₁₅ Р ₃₀ К ₂₅ в подкормки
	Р ₉₀ К ₆₀ в основное удобрение и N ₂₅ Р ₄₀ К ₃₅ в подкормки
	Р ₁₀₅ К ₇₀ в основное удобрение и N ₃₅ Р ₅₀ К ₄₅ в подкормки
85% НВ	Фоновое внесение Р ₆₀ К ₄₀ (контроль)
	Р ₇₅ К ₅₀ в основное удобрение и N ₁₅ Р ₃₀ К ₂₅ в подкормки
	Р ₉₀ К ₆₀ в основное удобрение и N ₂₅ Р ₄₀ К ₃₅ в подкормки
	Р ₁₀₅ К ₇₀ в основное удобрение и N ₃₅ Р ₅₀ К ₄₅ в подкормки

Опыт 2.2 Изучение влияния орошения и минеральных удобрений на урожайность ярового ячменя сорта Камышинский 23

На контрольном варианте (фактор А: 60-70-60% НВ) поддерживалась влажность в слое 0,0...0,4 м: в период посев-всходы, всходы-кущение не ниже 60% НВ; в периоды кущение-выход в трубку и выход в трубку-колошение (критические периоды) не ниже 70% НВ; в период налив зерна-молочная спелость не ниже 60% НВ, с последующим снижением до 50-60% НВ в период восковой спелости. На опытных вариантах нижний порог влажности был увеличен на 5% (режим 65-75-65% НВ) и на 10% (режим 70-80-70% НВ) относительно контроля с сохранением той же периодизации фаз развития.

Таблица 3 - Схема опыта 2.2

Фактор А (режим орошения, % НВ)	Фактор В (доза минеральных удобрений, кг/га д.в.)
60-70-60% НВ (контроль)	Фоновое внесение N ₂₀ Р ₃₅ К ₃₀ (контроль)
	N ₃₀ Р ₄₅ К ₄₀ в основное удобрение и N ₂₀ в подкормки
	N ₄₀ Р ₅₅ К ₅₀ в основное удобрение и N ₃₀ в подкормки
	N ₅₀ Р ₆₅ К ₆₀ в основное удобрение и N ₄₀ в подкормки
65-75-65% НВ	Фоновое внесение N ₂₀ Р ₃₅ К ₃₀ (контроль)
	N ₃₀ Р ₄₅ К ₄₀ в основное удобрение и N ₂₀ в подкормки
	N ₄₀ Р ₅₅ К ₅₀ в основное удобрение и N ₃₀ в подкормки
	N ₅₀ Р ₆₅ К ₆₀ в основное удобрение и N ₄₀ в подкормки
70-80-70% НВ	Фоновое внесение N ₂₀ Р ₃₅ К ₃₀ (контроль)
	N ₃₀ Р ₄₅ К ₄₀ в основное удобрение и N ₂₀ в подкормки
	N ₄₀ Р ₅₅ К ₅₀ в основное удобрение и N ₃₀ в подкормки
	N ₅₀ Р ₆₅ К ₆₀ в основное удобрение и N ₄₀ в подкормки

Опыт 2.3 Изучение влияния орошения и минеральных удобрений на урожайность картофеля сорта Имнала

Таблица 4 - схема опыта 2.3

Фактор А (режим орошения, % НВ)	Фактор В (доза минеральных удобрений, кг/га д.в.)
60-70-60% НВ (контроль)	Фоновое внесение N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (контроль)
	N ₁₃₅ P ₆₀ K ₄₀ в основное удобрение и N ₁₀ P ₂₅ K ₂₀ в подкормки
	N ₁₄₅ P ₇₅ K ₅₀ в основное удобрение и N ₂₀ P ₃₅ K ₃₀ в подкормки
	N ₁₅₅ P ₉₀ K ₆₀ в основное удобрение и N ₃₀ P ₄₅ K ₄₀ в подкормки
70-80-70% НВ	Фоновое внесение N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (контроль)
	N ₁₃₅ P ₆₀ K ₄₀ в основное удобрение и N ₁₀ P ₂₅ K ₂₀ в подкормки
	N ₁₄₅ P ₇₅ K ₅₀ в основное удобрение и N ₂₀ P ₃₅ K ₃₀ в подкормки
	N ₁₅₅ P ₉₀ K ₆₀ в основное удобрение и N ₃₀ P ₄₅ K ₄₀ в подкормки
80-90-80% НВ	Фоновое внесение N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (контроль)
	N ₁₃₅ P ₆₀ K ₄₀ в основное удобрение и N ₁₀ P ₂₅ K ₂₀ в подкормки
	N ₁₄₅ P ₇₅ K ₅₀ в основное удобрение и N ₂₀ P ₃₅ K ₃₀ в подкормки
	N ₁₅₅ P ₉₀ K ₆₀ в основное удобрение и N ₃₀ P ₄₅ K ₄₀ в подкормки

Орошение проводилось по схеме, где нижний порог предполивной влажности почвы изменялся в зависимости от фазы развития растений (слой почвы 0,0-0,4...0,6 м). На контрольном варианте (фактор А: 60-70-60% НВ) поддерживалась влажность: в слое 0,0-0,4 м в периоды посадка-всходы, всходы-бутонизация не ниже 60% НВ; в слое 0,0-0,6 м в периоды бутонизация-цветение, цветение-клубнеобразование и налив клубней (критические периоды) не ниже 70% НВ; в период созревания клубней не ниже 60% НВ, с последующим прекращением полива за 2-3 недели до уборки картофеля. На опытных вариантах нижний порог влажности был увеличен на 10 процентных пунктов (режим орошения 70-80-70% НВ) и на 20 процентных пунктов (режим орошения 80-90-80% НВ) относительно контроля с сохранением той же периодизации межфазных периодов.

Опыт 3. Изучение влияния биопрепаратов и систем основной обработки почвы на урожайность сортов люцерны

Для изучения влияния биопрепаратов и систем основной обработки почвы на урожайность сортов люцерны в 2008...2010 гг. проводили 3-х факторный опыт методом расщепленных делянок.

Таблица 5 - Схема опыта 3

Фактор А (сорт)	Фактор В (основная обработка почвы)	Фактор С (препарат для предпосевной обработки семян)
Ленинская местная (стандарт)	Вспашка	Без обработки (контроль)
		Ризоторфин
		Байкал-ЭМ1
	Плоскорезная обработка	Без обработки (контроль)
		Ризоторфин
		Байкал-ЭМ1
Талисман	Вспашка	Без обработки (контроль)
		Ризоторфин
		Байкал-ЭМ1
	Плоскорезная обработка	Без обработки (контроль)
		Ризоторфин
		Байкал-ЭМ1

Варианты опыта представлены в таблице 5. Учетная площадь одной делянки 100 м². Почвы серо-бурые полупустынные. Содержание гумуса не превышает 1,0%. Агротехнические мероприятия были аналогичны описанным в опыте 1. В опыте использовались следующие микробиологические препараты: ризоторфин (0,5–1,0 литр на гектарную норму семян), Байкал-ЭМ1 (для обработки семян люцерны использовали готовый активированный раствор в концентрации 1:1000).

Вспашка выполнялась на глубину 0,25...0,27 м. Плоскорезная обработка осуществлялась при помощи культиватора плоскореза-глубококорыхлителя на глубину 0,25-0,27 м.

Опыт 4. Изучение влияния биопрепаратов на урожайность озимой пшеницы

Двухфакторный полевой опыт проводили методом расщепленных делянок в период с 2017 по 2019 гг. Почвы опытного участка светло-каштановые. Содержание гумуса в пределах 0,5...1,0%. В течение вегетационного периода осуществляли режим орошения озимой пшеницы путем поддержания нижнего порога влажности почвы в слое 0,0–0,4 м в период кущения — не ниже 75% НВ, в периоды трубкования, колошения и налива зерна — не ниже 80% НВ, с последующим снижением до 60–65 % НВ за 2–3 недели до уборки.

Изучались следующие препараты для обработки семян озимой пшеницы: Биодукс (2,0 - 3,0 л/т семян), ИншурПерформ (0,5 л/т семян), Оргамика С (0,5 л/т семян).

Таблица 6 - Схема опыта 4

Фактор А (сорт)	Фактор В (предпосевная обработка семян)
Донщина (стандарт)	Без обработок (контроль)
	Биодукс + ИншурПерформ
	Оргамика С + ИншурПерформ
Алексеич	Без обработок (контроль)
	Биодукс + ИншурПерформ
	Оргамика С + ИншурПерформ
Таня	Без обработок (контроль)
	Биодукс + ИншурПерформ
	Оргамика С + ИншурПерформ

Препарат «Биодукс» использовался в качестве эталонного производственного фона для сравнения с исследуемой композицией.

Опыт 5. Изучение влияния органо-минеральных удобрений на урожайность картофеля

В 2021...2024 гг. проводился двухфакторный полевой опыт методом расщепленных делянок. Почвы опытных участков серо-бурые. Содержание гумуса в пределах 1,0%. Учетная площадь делянки 100 м². Агротехника картофеля аналогична агротехнике, представленной в опыте 1. В опыте применялись следующие препараты: ОМУ Картофельное (норма расхода препарата 150-250 кг/га при посадке по бороздам), Дарина 2 (2 л на гектарную норму посадки клубней), Лигногумат (для обработки гектарной нормы клубней 0,3–0,5 л препарата разводили в 5–10 л воды), Идеал (для предпосадочной обработки гектарной нормы клубней 30 мл препарата разводили в 3 л воды), Стимулайф (0,15 л препарата на гектарную норму клубней, по 0,3 л препарата/га-три листовые подкормки в фазы всходов,

бутонизации и клубнеобразования).

Таблица 7 - Схема опыта 5

Фактор А (сорт)	Фактор В (органо-минеральное удобрение)
Импала (стандарт)	Контроль без обработки
	Картофельное
	Дарина 2
	Лигногумат
	Стимулайф
	Идеал
Гулливёр	Контроль без обработки
	Картофельное
	Дарина 2
	Лигногумат
	Стимулайф
	Идеал

При анализе почвенных и растительных образцов использовались следующие методы: потенциометрический – для анализа рН водной вытяжки в соответствии с ГОСТом 26423-85; метод Мачигина в модификации ЦИНАО для определения содержания подвижных форм фосфора и калия в соответствии с ГОСТ 26205-91. Определение содержания обменного натрия проводили в соответствии с ГОСТ 26950. Содержание гумуса определялось методом И.В. Тюрина. Полевая влажность - подекадно в метровом слое через каждые 0,10 м (ГОСТ 28268-89). Запасы продуктивной влаги и водопотребление растений – расчетным методом по А.Н. Костякову. Определение доз минеральных удобрений проводили с учетом выноса питательных веществ из почвы планируемым урожаем по методике В.И. Филина. Содержание абсолютно сухого вещества в зеленой массе определяли весовым методом, путем высушивания измельченных навесок до постоянного веса при температуре 105°C. Густоту стояния растений в фазу полных всходов и перед уборкой, структуру урожая определяли по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Учет урожая проводили весовым методом поделочно.

Третья глава «Научное обоснование схем травянопропашных и травянозернопропашных севооборотов» (опыт 1). Севооборот 1 значительно уступал по урожайности и содержанию обменной энергии травянопропашному и травянозернопропашному севооборотам из-за наличия незасеянных полей (залежь) и монокультуры картофеля (таблица 8).

Максимальный уровень продуктивности люцерны при реализации севооборотов 2 и 3 оказался во второй год использования изучаемой культуры. В дальнейшем урожайность люцерны снижалась в среднем на 10%. Для всех вариантов наблюдался пик продуктивности во второй ротации (2013–2017 гг.), после чего в третьей ротации (2018–2022 гг.) происходило снижение. Это связано не только с климатическими изменениями, но и с некоторым утомлением почвы. Люцерна давала наибольший вклад в суммарный выход энергии благодаря высокой урожайности зелёной массы и хорошему коэффициенту преобразования.

Севообороты с люцерной (варианты 2 и 3) значительно превосходили контроль по энергетической отдаче. Залежные поля (контроль) существенно снижали общий энергетический выход системы.

Таблица 8 - Урожайность зеленой массы люцерны, зерна ячменя, товарных клубней картофеля и содержание обменной энергии в продукции

Севооборот	Первая ротация (2008...2012 гг.)		Вторая ротация (2013...2017 гг.)		Третья ротация (2018...2022 гг.)	
	урожай- ность, т/га	ОЭ, ГДж	урожай- ность, т/га	ОЭ, ГДж	урожай- ность, т/га	ОЭ, ГДж
1. Картофель	27	94,5	30	105,0	24	84,0
2. Картофель	24	84,0	27	94,5	22	77,0
3. Картофель	21	73,5	23	80,5	20	70,0
4. Залежь	-	-	-	-	-	-
5. Залежь	-	-	-	-	-	-
Итого	—	252,0	-	280,0	-	231,0
1. Люцерна 1 г.ж.	56	112,0	58	116,0	54	108,0
2. Люцерна 2 г.ж.	78	156,0	80	160,0	75	150,0
3. Люцерна 3 г.ж.	73	146,0	75	150,0	70	140,0
4. Картофель	38	133,0	43	150,5	35	122,5
5. Картофель	35	122,5	39	136,5	32	112,0
Итого	-	669,5	-	713,0	-	632,5
1. Люцерна 1 г.ж.	59	118,0	62	124,0	56	112,0
2. Люцерна 2 г.ж.	80	160,0	82	164,0	77	154,0
3. Люцерна 3 г.ж.	75	150,0	78	156,0	72	144,0
4. Яровой ячмень	4,0	48,0	4,5	54,0	3,7	44,4
5. Картофель	40	140,0	46	161,0	38	133,0
Итого	-	616,0	-	659,0	-	587,4

Состав и структура севооборотов оказывали различное влияние на улучшение почвообразовательных процессов в почвах опытных участков.

Установлена сильная отрицательная корреляционная зависимость активной кислотности почвы от содержания гумуса в полях севооборотов. В то же время наблюдается прямая тесная связь между содержанием гумуса и питательных веществ в почве (таблица 9).

Выявлено преимущество севооборота 3 над севооборотом 1 и севооборотом 2. За 15-летний период содержание гумуса при реализации 3х ротаций севооборота 1 уменьшилось на 0,25%, напротив при реализации севооборота 2 данный показатель возрос на 0,1% и севооборота 3 на 0,25% (с 1,10% до 1,35%).

Направление и теснота связи между содержанием гумуса и уровнем азотного питания носят устойчивый характер. Полученные значения коэффициентов корреляции приближаются к функциональной зависимости, что указывает на определяющую роль гумуса в обеспечении растений азотом. Кроме того, корреляционно-регрессионный анализ выявил статистически значимую прямую зависимость между содержанием гумуса и подвижными формами фосфора и калия.

Таблица 9 - Изменение почвенных характеристик при освоении севооборотов

Севооборот	Содержание гумуса, %	Гидролизующий азот, мг/кг	Подвижный фосфор, мг/кг	Подвижный калий, мг/кг
Исходное содержание, севооборот 1	0,90	51,0	50,0	260
Исходное содержание, севооборот 2	1,00	53,0	52,0	270
Исходное содержание, севооборот 3	1,10	55,0	54,0	280
После первой ротации				
Севооборот 1	0,82	49,0	49,0	253
Севооборот 2	1,03	53,6	52,5	273
Севооборот 3	1,18	56,0	55,0	283
После второй ротации				
Севооборот 1	0,73	47	48,0	247
Севооборот 2	1,07	54,3	53,0	276
Севооборот 3	1,27	57,5	56,0	287
После третьей ротации				
Севооборот 1	0,65	45,0	47,0	240
Севооборот 2	1,10	55,0	53,5	279
Севооборот 3	1,35	59,0	57,0	290

До начала освоения севооборотов почвы опытного участка отличались низким содержанием агрономически ценных агрегатов (10,0-0,25 мм) и высоким содержанием пыли (<0,25 мм). Это связано с небольшим содержанием гумуса, большой карбонатностью и слабой солонцеватостью, что ухудшает структурообразование. К концу третьей ротации на опытном варианте (севооборот 1) ценных фракций осталось всего 35%. В слое 0,25-0,50 м количество ценных агрегатов упало до 40% вследствие уплотнения почвы от проходов техники и снижения биологической активности (таблица 10).

Таблица 10 - Влияние севооборотов на агрегатный состав серо-бурых почв, %

Севооборот	Слой почвы, м	Начало ротации		Конец ротации	
		агрегаты 10,0-0,25 мм	пыль < 0,25 мм	агрегаты 10,0-0,25 мм	пыль < 0,25 мм
Монокультура картофеля	0,00-0,25	45,0	55,0	35,0	65,0
	0,25-0,50	48,0	52,0	40,0	60,0
Травяно-пропашной	0,00-0,25	45,0	55,0	68,0	32,0
	0,25-0,50	48,0	52,0	62,0	38,0
Травянозерно-пропашной	0,00-0,25	45,0	55,0	72,0	28,0
	0,25-0,50	48,0	52,0	65,0	35,0

К концу третьей ротации при освоении травянопропашного севооборота выявлено существенное увеличение (до 68%) количества ценных агрегатов в слое

0,00-0,25 м. Последствие люцерны (мощная корневая система, обогащение азотом, стимуляция почвенной биоты) значительно повышало содержание агрономически ценных агрегатов, несмотря на выращивание после нее картофеля. Подобная тенденция прослеживалась и в слое 0,25...0,50 м (количество ценных агрегатов возросло до 62%).

При освоении травянозернопропашного севооборота наблюдался наилучший результат (72% ценных агрегатов в слое 0,00-0,25 м). После люцерны в севооборот вводился яровой ячмень, который, будучи культурой сплошного сева, меньше разрушал структуру, чем пропашные, и частично закреплял эффект люцерны. Картофель в конце каждой ротации оказывал наименьшее негативное влияние, так как работал на уже хорошо оструктуренной почве. Это оптимальный с точки зрения сохранения структуры почвы вариант севооборота.

Монокultura картофеля приводила к значительному уплотнению почвы в обоих исследуемых слоях. К концу эксперимента плотность достигла критических значений 1,43–1,47 т/м³ (верхний слой) и 1,52–1,56 т/м³ (подпахотный слой), что свидетельствует о деградации почвенной структуры, снижении общей пористости и, как следствие, ухудшении водно-воздушного режима. Это является классическим проявлением физической деградации под воздействием интенсивной пропашной культуры с постоянной механической обработкой.

Введение в схему многолетних бобовых трав (люцерны) оказывало мелиорирующее влияние на плотность почвы. Во всех полях с люцерной, а также в среднем по севооборотам 2 и 3, наблюдалось значительное снижение плотности как в пахотном, так и в подпахотном горизонте по сравнению с исходным состоянием. Это объясняется ростовосстановительной деятельностью корневых систем люцерны, которые разрыхляют почву, способствуют образованию водопрочной структуры и накоплению органического вещества. Травянопропашной севооборот по сравнению с монокulturой показывал хорошие результаты по разуплотнению, в среднем по севообороту 1,20 и 1,31 т/м³ после окончания опыта. Однако второй год картофеля уже приводил к заметному увеличению плотности (1,27 и 1,38 т/м³), что указывает на быстрое обратное уплотнение при возврате к интенсивной обработке (таблица 11).

Травянозернопропашной севооборот демонстрировал сопоставимый, но несколько более выраженный мелиоративный эффект (в среднем 1,18 и 1,30 т/м³). Включение ярового ячменя в качестве промежуточной культуры после люцерны выполняло стабилизирующую роль, позволяя сохранить положительный эффект трав перед посадкой пропашной культуры. Картофель (поле 5) также вызывал уплотнение (1,24 и 1,35 т/м³), но его величина была несколько меньше, чем во втором году картофеля в севообороте 2.

Таблица 11 - Влияние чередования культур в севообороте на плотность слоя почвы 0,00-0,25 и 0,25-0,50 м, т/м³

Севооборот, культура	До освоения севооборотов		После трех ротаций	
	0,00-0,25 м	0,25-0,50 м	0,00-0,25 м	0,25-0,50 м
I. Монокультура				
Картофель (среднее)	1,32	1,40	1,45	1,54
II. Травянопропашной				
Люцерна 1 г.ж.	1,32	1,45	1,17	1,30
Люцерна 1 г.ж.	1,30	1,42	1,15	1,28
Люцерна 1 г.ж.	1,31	1,40	1,16	1,27
Картофель	1,38	1,48	1,22	1,32
Картофель	1,42	1,51	1,27	1,38
Среднее	1,35	1,45	1,20	1,31
III. Травянозернопропашной				
1. Люцерна 1 г.ж.	1,32	1,45	1,16	1,29
2. Люцерна 1 г.ж.	1,29	1,41	1,14	1,28
3. Люцерна 1 г.ж.	1,28	1,39	1,15	1,26
4. Яровой ячмень	1,33	1,45	1,19	1,30
5. Картофель	1,40	1,49	1,24	1,35
Среднее	1,33	1,44	1,18	1,30

При монокультуре картофеля (севооборот I) отмечено существенное снижение суммы обменных оснований (ЕКО) на 18,4% (с 19,0 до 15,5 ммоль/100 г). Интенсивная механическая обработка, высокий вынос элементов питания с урожаем и отсутствие поступления органического вещества приводили к деградации почвенно-поглощающего комплекса, снижению буферности почвы и ее устойчивости к антропогенной нагрузке.

При освоении травянопропашного севооборота снижение ЕКО составило 6,3%. Включение в севооборот многолетних трав способствовало накоплению органического вещества и стабилизации почвенно-поглощающего комплекса. Однако присутствие двух полей пропашных культур (картофеля) создавало значительную нагрузку, вызывая умеренную потерю обменных оснований.

При освоении травянозернопропашного севооборота наблюдалось наименьшее снижение ЕКО – 4,2%. Введение зернового компонента снижало общую интенсивность выноса элементов питания по сравнению с пропашными культурами. Сочетание трав и зерновых обеспечивало максимальную сохранность поглощающего комплекса среди изучаемых вариантов (таблица 12).

Таблица 12 - Влияние севооборота на изменение химических свойств слоя 0,00-0,25 м серо-бурой почвы

Севооборот	Время определения	Сумма обменных оснований, ммоль/100 г почвы	в том числе, % от суммы оснований		
			Ca	Mg	Na
Монокультура	начало опыта	19,0	60,0	35,0	5,0
	после 3-й ротации	15,5 (-18,4%)	58,0↓	30,0↓	12,0↑
Травянопропашной	начало опыта	19,0	60,0	35,0	5,0
	после 3-й ротации	17,8 (-6,3%)	70,0↑	26,0↓	4,0
Травянозернопропашной	начало опыта	19,0	60,0	35,0	5,0
	после 3-й ротации	18,2 (-4,2%)	71,0↑	26,0↓	3,0

При монокультуре картофеля наблюдалось снижение доли кальция с 60% до 58%. Это критический показатель, так как Ca^{2+} является основным структурообразователем почвы. Его дефицит ведет к ухудшению водопроницаемости, потере агрономически ценной структуры и заплыванию пахотного слоя.

При освоении травянопропашного севооборота доля кальция возросла до 70%. Многолетние травы, благодаря мощной корневой системе, извлекали кальций из глубоких горизонтов и аккумулировали его в верхнем слое, улучшая физико-химические свойства почвы.

При освоении травянозернопропашного севооборота отмечено максимальное накопление кальция — до 71%. Насыщение севооборота бобовыми травами и зерновыми культурами создавало оптимальные условия для кальциевого обмена в системе "почва-растение".

Во всех вариантах наблюдалось снижение доли магния, что обусловлено его высоким потреблением картофелем. При монокультуре картофеля доля магния снизилась до 30%. Относительно высокий процент на фоне общего истощения ППК (снижение ЕКО на 18,4%) объясняется эффектом "относительного сохранения": абсолютное количество магния уменьшилось, но его доля в составе ППК остается значительной из-за сокращения кальция и аккумуляции натрия.

В севооборотах с люцерной доля магния снизилась до 26%. Более интенсивное потребление магния травами и зерновыми культурами, а также активное накопление кальция приводили к закономерному сокращению доли Mg^{2+} в ППК.

Ион натрия (Na^+) является ключевым индикатором деградационных процессов и риска осолонцевания. При монокультуре картофеля наблюдался рост доли натрия более чем в 2 раза (с 5% до 12%). Почва приобретала неблагоприятные физические свойства: щелочную реакцию, склонность к заплыванию, образование поверхностной корки. Это результат отсутствия мелиорирующего воздействия севооборота.

При освоении травянопропашного севооборота доля натрия снизилась до 4%. Травы способствовали вытеснению натрия из ППК и улучшению почвенной структуры.

Минимальное содержание натрия (3%) отмечено при освоении травянозернопропашного севооборота. Трехполье трав в сочетании с зерновыми культурами оказывало мощный мелиорирующий эффект, полностью подавляя подтягивание натрия в пахотный слой и способствуя его вымыванию за пределы корнеобитаемого горизонта.

Травянозернопропашной севооборот (III) был наиболее эффективным с точки зрения сохранения и улучшения почвенного плодородия. Он обеспечивал максимальное сохранение ЕКО (снижение 4,2%), активное накопление кальция (71%) и полное вытеснение натрия (до 3%), что гарантировало устойчивость почвенной структуры и создавало оптимальные условия для возделывания последующих культур.

При освоении севооборота 1 наблюдался устойчивый и значительный

дефицит гумуса (-5,4...-6,6 т/га за ротацию). Минерализация (разложение) гумуса (8,4-10,3 т/га) в 2,5-3,5 раза превышала его новообразование из растительных остатков – 3,0-3,7 т/га (таблица 13).

Таблица 13 - Баланс гумуса в серо-бурой почве при монокультуре картофеля (севооборот 1)

Ротация	Поступило в почву растительных остатков, т/га	Образование гумуса из растительных остатков, т/га	Минерализация гумуса, т/га	Баланс гумуса, т/га	Количество навоза для бездефицитного баланса, т/га
Первая	33,0	3,3	9,2	-5,9	39,0
Вторая	37,0	3,7	10,3	-6,6	43,9
Третья	30,0	3,0	8,4	-5,4	35,8

Причина этого – недостаточный возврат в почву органического вещества вследствие малого количества корневых остатков после картофеля. Для поддержания плодородия требуется систематическое внесение высоких доз навоза (36-44 т/га за ротацию, или 7-9 т/га в среднем за год).

При освоении травянопропашного севооборота наблюдался повышенный азотный фон, потому что люцерна фиксировала атмосферный азот, а её корневые и растительные остатки после запашки медленно минерализовывались, обеспечивая пролонгированное азотное питание последующему картофелю (таблица 14).

Таблица 14 - Баланс гумуса в травянопропашном севообороте

Ротация	Поступило в почву растительных остатков, т/га	Образование гумуса из растительных остатков, т/га	Минерализация гумуса, т/га	Баланс гумуса, т/га	Количество навоза для бездефицитного баланса, т/га
Первая	65,0	8,5	8,0	+0,5	0
Вторая	66,9	8,8	8,2	+0,6	0
Третья	62,2	8,1	7,7	+0,4	0

За три ротации травянозернопропашного севооборота количество поступающих в почву растительных остатков варьировало в пределах 60,8–65,9 т/га. Максимальное значение зафиксировано во вторую ротацию (65,9 т/га), что на 3,8% выше показателя первой ротации и на 8,4% выше третьей. Снижение поступления в третью ротацию (60,8 т/га) обусловлено как метеорологическими условиями конкретного периода, так и проявлением цикличности в продукционном процессе культур севооборота.

В целом, уровень поступления остатков можно оценить как высокий, характерный для севооборотов, насыщенных многолетними травами (таблица 15).

Образование гумуса из растительных остатков изменялось синхронно с их поступлением: от 7,9 до 8,6 т/га за ротацию. Коэффициент гумификации (отношение образовавшегося гумуса к массе остатков) оставался стабильным на уровне 0,13 (8,3/63,5; 8,6/65,9; 7,9/60,8).

Таблица 15 - Баланс гумуса в травянозернопропашном севообороте

Ротация	Поступило в почву растительных остатков, т/га	Образование гумуса из растительных остатков, т/га	Минерализация гумуса, т/га	Баланс гумуса, т/га	Количество навоза для бездефицитного баланса, т/га
Первая	63,5	8,3	7,8	+0,5	0
Вторая	65,9	8,6	8,1	+0,5	0
Третья	60,8	7,9	7,5	+0,4	0

Это свидетельствует об устойчивости процессов трансформации органического вещества и типично для засушливых условий Нижнего Поволжья с замедленной минерализацией. Минерализация гумуса также коррелирует с его образованием, составляя 7,5–8,1 т/га за ротацию. Отношение минерализации к образованию близко к единице, что указывает на динамическое равновесие процессов синтеза и разложения органического вещества в почве. Баланс гумуса во всех трех ротациях стабильно положительный (+0,4...+0,5 т/га).

Четвертая глава «Оптимизация водного и питательного режимов почвы как основа формирования высокой продуктивности культур в севообороте (опыт 2)». Опыты проводили на люцерне второго года жизни. Период от весеннего отрастания до бутонизации колебался в зависимости от режима орошения и уровня минерального питания от 26 до 56 суток. Максимальная продолжительность межфазного периода весеннее отрастание–бутонизация наблюдалась при режиме орошения 65% НВ в сочетании с фоновым внесением минеральных удобрений. Максимальная продолжительность межфазного периода бутонизация–начало цветения отмечалась на варианте опыта: режим орошения 85% НВ + фоновое внесение минеральных удобрений.

Режим орошения люцерны складывался из влагозарядкового полива и регулярных вегетационных поливов. Норма влагозарядкового полива: 200 м³/га (для варианта 65% НВ), 300 м³/га (75% НВ) и 400 м³/га (85% НВ).

Таблица 16 - Влияние режима орошения и уровня минерального питания на суммарное водопотребление люцерны (среднее за 2018...2020 гг.)

Режим орошения, % от НВ	Доза минеральных удобрений, кг/га д.в.	Расход влаги при вегетации, м³/га	Осадки, м³/га	Оросительная норма, м³/га	Суммарное водопотребление, м³/га	Коэффициент водопотребления, м³/т
65	Фоновое внесение Р ₆₀ К ₄₀ (контроль)	372	1148	5700	7220	136
	Р ₇₅ К ₅₀ + N ₁₅ Р ₃₀ К ₂₅	421	1148	5700	7269	114
	Р ₉₀ К ₆₀ + N ₂₅ Р ₄₀ К ₃₅	476	1148	5700	7324	96
	Р ₁₀₅ К ₇₀ + N ₃₅ Р ₅₀ К ₄₅	443	1148	5700	7291	99
75	Фоновое внесение Р ₆₀ К ₄₀ (контроль)	394	1148	6050	7592	131
	Р ₇₅ К ₅₀ + N ₁₅ Р ₃₀ К ₂₅	445	1148	6050	7643	109
	Р ₉₀ К ₆₀ + N ₂₅ Р ₄₀ К ₃₅	467	1148	6050	7665	91
	Р ₁₀₅ К ₇₀ + N ₃₅ Р ₅₀ К ₄₅	452	1148	6050	7650	94
85	Фоновое внесение Р ₆₀ К ₄₀ (контроль)	412	1148	6400	7960	124
	Р ₇₅ К ₅₀ + N ₁₅ Р ₃₀ К ₂₅	452	1148	6400	8000	105
	Р ₉₀ К ₆₀ + N ₂₅ Р ₄₀ К ₃₅	473	1148	6400	8021	88
	Р ₁₀₅ К ₇₀ + N ₃₅ Р ₅₀ К ₄₅	461	1148	6400	8009	91

В течение вегетационного периода (апрель-сентябрь) осуществлялось от 11 до 15 поливов при снижении влажности почвы в корнеобитаемом слое до установленного порога (65, 75 или 85% НВ). Вегетационные поливные нормы составляли 500, 442,3 и 400 м³/га соответственно. Общая оросительная норма за сезон достигала 5700, 6050 и 6400 м³/га (таблица 16). С увеличением нижнего порога предполивной влажности почвы уменьшалась поливная и возрастала оросительная норма за счет роста числа поливов и сокращения межполивных периодов на посевах люцерны. При этом коэффициент водопотребления на варианте опыта с максимальной урожайностью снижался с 96 до 88 м³/т. Улучшение условий влагообеспеченности на посевах люцерны благоприятно отражалось на высоте растений, облиственности, общей, продуктивной кустистости и урожайности изучаемой культуры (таблица 17).

Таблица 17 - Биометрические показатели люцерны сорта Талисман при разных режимах орошения и уровнях минерального питания, среднее за 2018-2020 гг.

Вариант	Высота, м	Ветвистость, шт/растение	Количество междоузлий, шт/стеблей	Длина среднего междоузлия, м	Облиственность, %
65% НВ (контроль)					
Фоновое внесение Р ₆₀ К ₄₀ (контроль)	0,50	10,0	7,8	0,053	39
Р ₇₅ К ₅₀ + N ₁₅ Р ₃₀ К ₂₅	0,53	13,0	8,0	0,055	40
Р ₉₀ К ₆₀ + N ₂₅ Р ₄₀ К ₃₅	0,60	16,0	8,4	0,059	44
Р ₁₀₅ К ₇₀ + N ₃₅ Р ₅₀ К ₄₅	0,57	15,0	8,2	0,057	42
75% НВ					
Фоновое внесение Р ₆₀ К ₄₀ (контроль)	0,55	14,0	8,1	0,056	41
Р ₇₅ К ₅₀ + N ₁₅ Р ₃₀ К ₂₅	0,59	15,5	8,3	0,058	43
Р ₉₀ К ₆₀ + N ₂₅ Р ₄₀ К ₃₅	0,65	20,0	9,0	0,067	48
Р ₁₀₅ К ₇₀ + N ₃₅ Р ₅₀ К ₄₅	0,62	18,0	8,8	0,061	45
85% НВ					
Фоновое внесение Р ₆₀ К ₄₀ (контроль)	0,61	17,0	8,7	0,060	44
Р ₇₅ К ₅₀ + N ₁₅ Р ₃₀ К ₂₅	0,67	20,4	9,2	0,068	49
Р ₉₀ К ₆₀ + N ₂₅ Р ₄₀ К ₃₅	0,75	21,5	10,0	0,073	55
Р ₁₀₅ К ₇₀ + N ₃₅ Р ₅₀ К ₄₅	0,72	20,8	9,7	0,071	53

Вместе с тем необходимо отметить, что биометрические показатели при всех режимах орошения были максимальными при внесении минеральных удобрений в дозе Р₉₀К₆₀+N₂₅Р₄₀К₃₅.

Максимальный индекс листовой поверхности, отмеченный при всех режимах орошения, соответствовал схеме удобрения Р₉₀К₆₀+N₂₅Р₄₀К₃₅. При данном уровне минерального питания и оросительном режиме, предусматривающем поддержание влажности почвы не ниже 85% НВ, величина индекса достигала максимальных значений — 6,4 (таблица 18).

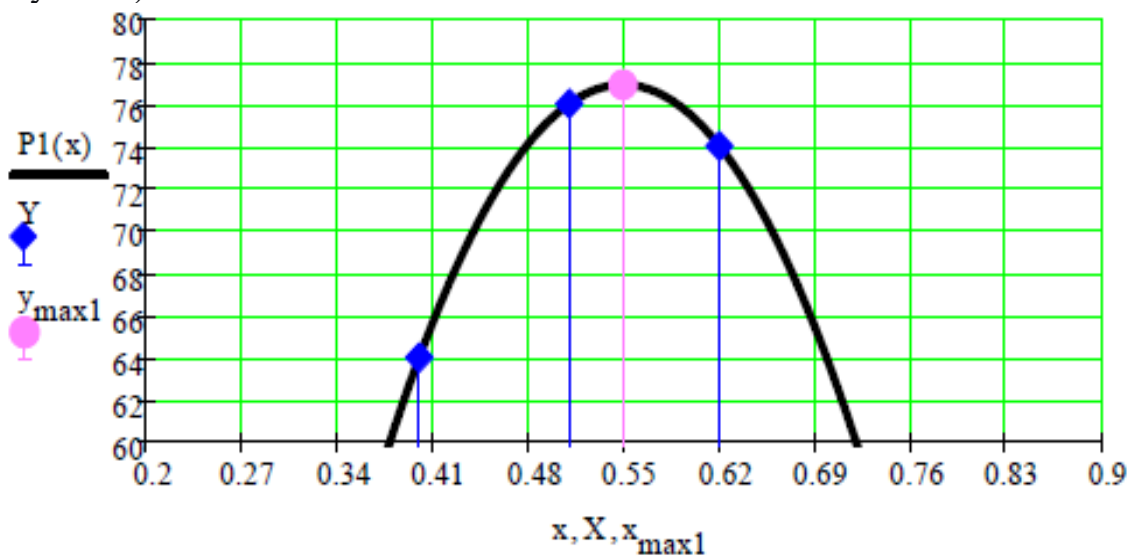
Таблица 18 - Фотосинтетические показатели люцерны в зависимости от режима орошения и уровня минерального питания (среднее за 2018–2020 гг.)

№, п/п	Режим орошения, % НВ	Фактор Б (удобрения)	Урожайность, т/га	Индекс листовой поверхности (LAI, м ² /м ²)	Скорость фотосинтеза, мкмоль СО ₂ /м ² ·с)	Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ, г/м ² ·сут)
1	65% НВ (контроль)	Фоновое Р ₆₀ К ₄₀ (контроль)	53	3,8 ± 0,2	15,2 ± 0,8	7,5 ± 0,4
		Р ₇₅ К ₅₀ + N ₁₅ Р ₃₀ К ₂₅	64	4,5 ± 0,2	17,8 ± 0,9	8,9 ± 0,4
		Р ₉₀ К ₆₀ + N ₂₅ Р ₄₀ К ₃₅	76	5,3 ± 0,3	20,5 ± 1,0	10,4 ± 0,5
		Р ₁₀₅ К ₇₀ + N ₃₅ Р ₅₀ К ₄₅	74	5,2 ± 0,3	20,0 ± 1,0	10,1 ± 0,5
2	75% НВ	Фоновое Р ₆₀ К ₄₀ (контроль)	58	4,2 ± 0,2	16,5 ± 0,8	8,2 ± 0,4
		Р ₇₅ К ₅₀ + N ₁₅ Р ₃₀ К ₂₅	70	5,0 ± 0,2	19,0 ± 0,9	9,5 ± 0,5
		Р ₉₀ К ₆₀ + N ₂₅ Р ₄₀ К ₃₅	84	5,9 ± 0,3	22,5 ± 1,1	11,5 ± 0,6
		Р ₁₀₅ К ₇₀ + N ₃₅ Р ₅₀ К ₄₅	81	5,7 ± 0,3	21,8 ± 1,1	11,1 ± 0,6
3	85% НВ	Фоновое Р ₆₀ К ₄₀ (контроль)	64	4,6 ± 0,2	18,0 ± 0,9	9,0 ± 0,4
		Р ₇₅ К ₅₀ + N ₁₅ Р ₃₀ К ₂₅	76	5,4 ± 0,3	20,7 ± 1,0	10,5 ± 0,5
		Р ₉₀ К ₆₀ + N ₂₅ Р ₄₀ К ₃₅	91	6,4 ± 0,3	24,5 ± 1,2	12,5 ± 0,6
		Р ₁₀₅ К ₇₀ + N ₃₅ Р ₅₀ К ₄₅	88	6,2 ± 0,3	23,8 ± 1,2	12,1 ± 0,6

Это указывает на хорошо развитый, сомкнутый травостой, эффективно улавливающий свет. В то же время при дальнейшем повышении уровня минерального питания был отмечен эффект "передозировки": при переходе к самой высокой дозе удобрений (Р₁₀₅К₇₀+N₃₅Р₅₀К₄₅) индекс листовой поверхности незначительно, но стабильно снижался (на 0,1 - 0,2 единицы) по сравнению с оптимальным вариантом. Динамика чистой продуктивности фотосинтеза полностью повторяла динамику скорости фотосинтеза. Это указывает на то, что основным драйвером суточного прироста биомассы является именно интенсивность фотосинтеза, а не различия в дыхательных потерях или перераспределении ассимилятов между вариантами. Максимальные значения чистой продуктивности фотосинтеза достигали 12,5 г/м²·сут при режиме орошения 85% НВ и уровне минерального питания Р₉₀К₆₀+N₂₅Р₄₀К₃₅. Это означает, что каждый квадратный метр листьев «производил» 12,5 г сухого вещества в день для роста всего растения.

В рамках оптимизации минерального питания люцерны выполнена

интерполяция экспериментальных данных методом Лагранжа, позволившая построить квадратичные модели зависимости урожайности культуры от дозы удобрений при режимах орошения 65, 75 и 85% НВ. Для каждого уровня влажности получены полиномиальные уравнения второго порядка, адекватно описывающие экспериментальные точки, позволяющие определить теоретический максимум урожайности и соответствующую ему дозу удобрений. Так, для режима орошения 65% НВ зависимость описывается уравнением параболы: $P1(x) = -97,7 + 635,5x - 578,5x^2$, где $P1(x)$ -урожайность, т/га. x – доза минеральных удобрений в физическом выражении, т/га. Сравнение расчетных оптимальных доз удобрений с экспериментальными точками показывает, что экспериментально обоснованная доза (0,51 т/га в физическом весе) обеспечивает урожайность 76,00 т/га. Для перехода от экспериментального уровня к теоретическому требуется дополнительное внесение удобрений в размере 0,039 т/га, что приводит к росту урожайности зеленой массы люцерны на 0,89 т/га (рисунок 1).



$P_{75}K_{50+} N_{15}P_{30}K_{25} P_{90}K_{60+} N_{25}P_{40}K_{35}P_{95}K_{60+} N_{30}P_{45}K_{40}P_{105}K_{70+} N_{35}P_{50}K_{45}$

Рисунок 1-Теоретический и экспериментальный максимумы урожайности люцерны в зависимости от дозы минеральных удобрений

При сложившихся в регионе ценах на минеральные удобрения, затратах на их внесение и стоимости реализации сена люцерны дополнительный прирост урожая не всегда компенсирует дополнительные издержки. При стоимости минеральных удобрений (55 000 руб./т) и цене реализации сена люцерны (8810,6 руб./т), прирост затрат на их внесение (2145 руб./га) не окупается приростом выручки (1 568 руб./га), что свидетельствует об отрицательной маржинальности данной агротехнической операции. Несмотря на наличие математически обоснованного максимума урожайности, с экономической точки зрения ориентироваться на экспериментальные дозы, близкие к оптимальным, является более рациональным. Такой подход позволяет избежать неоправданных затрат при незначительной потере продуктивности.

Рост и уменьшение урожайности люцерны, возделываемой на орошении при поддержании нижнего порога влажности почвы не ниже 75% НВ, осуществлялись в пределах траектории, представленной в уравнении параболы $P2(x) = -124,2 + 766,5x - 702,5x^2$. С целью определения оптимальных параметров минерального питания при режиме орошения не ниже 75% НВ была проведена интерполяция методом Лагранжа (рисунок 2). Согласно полученным расчетным данным, теоретический максимум урожайности достигается при дозе удобрений 0,54 т/га в физическом весе и составляет 84,89 т/га.

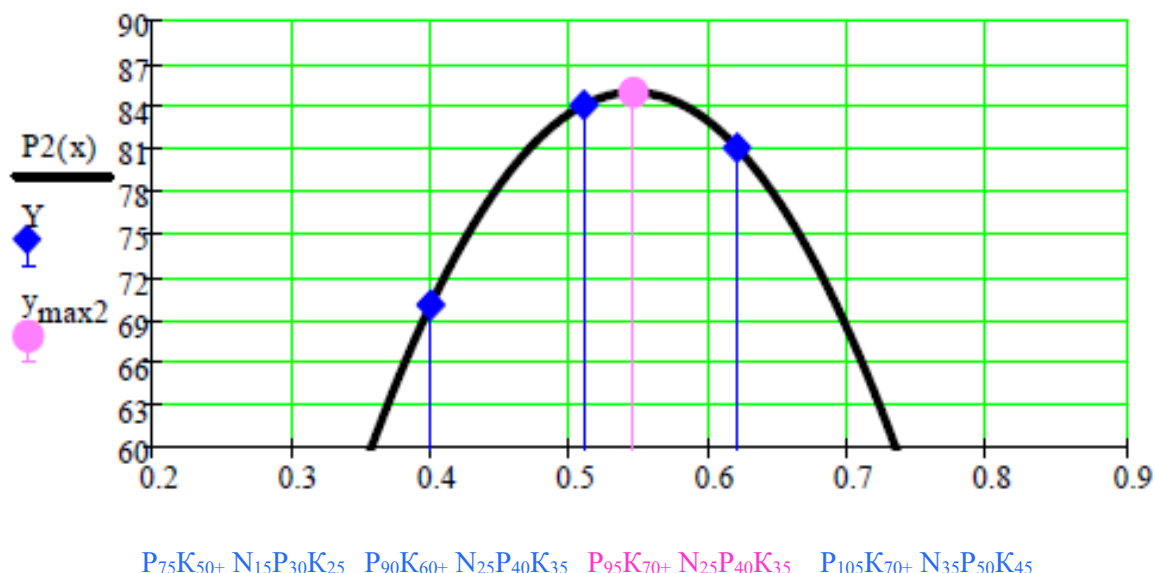


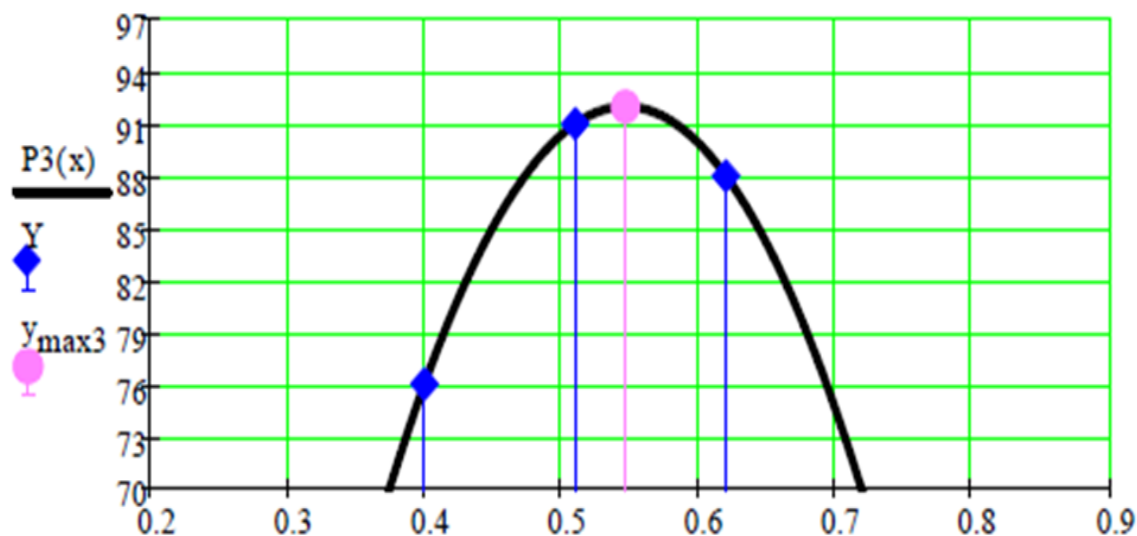
Рисунок 2-Теоретический и экспериментальный максимумы урожайности люцерны в зависимости от дозы минеральных удобрений (режим орошения 75% НВ)

Сравнительный анализ теоретического и экспериментального максимумов урожайности выявил расхождение между расчетной и фактической оптимальными дозами минеральных удобрений. Для перехода от экспериментального уровня (0,51 т/га в физическом весе) к теоретическому максимуму (0,54 т/га) требуется дополнительное внесение удобрений в размере 0,03 т/га. Данное увеличение дозы обеспечивает прирост урожайности зеленой массы на 0,89 т/га, что в пересчете на сено (при стандартной влажности) составляет 0,178 т/га. Несмотря на достижение более высокого теоретического уровня урожайности (84,89 т/га), дополнительные затраты на удобрения не компенсируются приростом выручки от реализации продукции. Дальнейшее увеличение доз минеральных удобрений сверх экспериментально обоснованного уровня (0,51 т/га) является экономически нецелесообразным.

Рост эффективности от применения минеральных удобрений на посевах люцерны при режиме орошения 85% НВ наблюдается лишь до определенного момента. Экспериментальный максимум урожайности зеленой массы (91,0 т/га) получен при внесении минеральных удобрений дозой $P_{90}K_{60} + N_{25}P_{40}K_{35}$.

Зависимость урожайности люцерны от уровня минерального питания (вариант орошения 85% НВ) описывали полиномиальным уравнением второго

порядка, что более точно, чем линейные аппроксимации, отражает биологический процесс, подтверждая наличие лимитирующих факторов и токсического эффекта при избытке удобрений: $P(x) = -130,3 + 813,2x - 743,8x^2$ (рисунок 3).



$P_{75}K_{50+} N_{15}P_{30}K_{25} P_{90}K_{60+} N_{25}P_{40}K_{35} P_{95}K_{60+} N_{30}P_{45}K_{40} P_{105}K_{70+} N_{35}P_{50}K_{45}$

Рисунок 3-Теоретический и экспериментальный максимумы урожайности люцерны, возделываемой на орошении (85% НВ), в зависимости от дозы минеральных удобрений

Сравнительный анализ теоретического и экспериментального максимумов урожайности выявил расхождение между расчетной и фактической дозами удобрений. Для перехода от экспериментально обоснованного уровня (0,51 т/га минеральных удобрений в физическом весе) к теоретическому оптимуму (0,547 т/га) требуется их дополнительное внесение в размере 0,037 т/га. Данное увеличение дозы обеспечивает прирост урожайности зеленой массы на 1,0 т/га, что в пересчете на сено составляет 0,2 т/га. Несмотря на достижение более высокого теоретического уровня продуктивности (92,0 т/га зеленой массы), дополнительные затраты на удобрения не компенсируются приростом выручки от реализации продукции и являются экономически неоправданными.

Тенденция роста урожайности только до определенного момента, после которого наблюдался ее спад, несмотря на увеличение дозы вносимых минеральных удобрений, прослеживалась на посевах ярового ячменя и посадках картофеля (параграфы 4.2 и 4.3 диссертационного исследования).

Глава пятая «Биологизация земледелия как направление повышения ресурсоэффективности севооборотов». При возделывании сельскохозяйственных культур значимую роль играет широкое внедрение элементов биологизации земледелия.

Анализ биометрических показателей люцерны выявил преимущество сорта Талисман перед стандартным сортом Ленинская местная (**опыт 3**). На контрольном варианте (вспашка без предпосевной обработки семян) высота растений варьировала незначительно: от 0,50 м у стандарта до 0,51 м у Талисмана.

Применение плоскорезной обработки почвы в сочетании с инокуляцией семян микробиологическим препаратом «Байкал-ЭМ1» обеспечило увеличение высоты растений до 0,55 м у сорта Ленинская местная и до 0,60 м у сорта Талисман. Аналогичная положительная динамика отмечена и по другим биометрическим параметрам.

Рост биометрических показателей способствовал повышению урожайности. Во все годы исследований максимальная продуктивность зафиксирована у сорта Талисман, который превосходил стандартный сорт в среднем на 5–7 т/га зелёной массы. Данное преимущество является интегральным результатом ускоренного развития растений, активизации корневого питания, увеличения фотосинтетического потенциала посевов и снижения стрессового воздействия избыточного уплотнения почвенного субстрата. В комплексе эти факторы позволяют сорту Талисман в полной мере реализовать свой генетический потенциал продуктивности (таблица 19).

Таблица 19 - Влияние сорта, способа основной обработки почвы и предпосевной обработки семян на урожайность люцерны, т/га

Фактор А - сорт	Фактор Б- обработка почвы	Фактор С – биопрепарат	Год			Среднее
			2008	2009	2010	
Ленинская местная (стандарт)	Вспашка (контроль)	контроль	56,0	72,0	65,0	64,0
		ризоторфин	59,2	74,5	67,3	67,0
		Байкал-ЭМ1	63,1	77,3	69,6	70,0
	Плоскорезная	контроль	57,1	74,0	67,0	66,0
		ризоторфин	61,4	78,1	70,5	70,0
		Байкал-ЭМ1	64,1	81,0	72,0	72,4
Талисман	Вспашка (контроль)	контроль	63,2	75,1	73,0	70,4
		ризоторфин	65,0	78,1	75,9	73,0
		Байкал-ЭМ1	67,3	80,3	77,4	75,0
	Плоскорезная	контроль	66,0	82,0	74,9	74,3
		ризоторфин	69,4	84,0	77,6	77,0
		Байкал-ЭМ1	73	86	79	79,0
НСР ₀₅ А НСР ₀₅ В НСР ₀₅ С НСР ₀₅ АВ НСР ₀₅ АС НСР ₀₅ ВС НСР ₀₅ АВС			1,5	1,6	1,3	
			1,5	1,6	1,3	
			1,9	2,0	1,6	
			2,1	2,3	1,9	
			2,6	2,8	2,3	
			2,6	2,8	2,3	
			3,7	4,0	3,3	

Ключевой механизм выявленного эффекта - синергия физического рыхления (улучшение аэрации и влагообеспечения) и микробиологической активации ризосферы (интенсификация питания, синтез ростостимулирующих веществ и активация биосинтеза пигментов).

На посевах люцерны наблюдалось комплексное положительное влияние биопрепаратов совместно с плоскорезной обработкой на качественные показатели (содержание протеина), выражающееся в улучшении биохимического

состава корма. На варианте с плоскорезной обработкой и применением «Байкал-ЭМ1» содержание сырого протеина увеличилось до 17,0–17,3% (против 16,0–16,1% на контроле), жира — до 2,6–2,9% (против 1,6%), сырой золы — до 10,0–10,3% (против 8,6–8,8%) (таблица 20).

Таблица 20 - Влияние сорта, способа основной обработки почвы и предпосевной обработки семян на питательную ценность зеленой массы люцерны (среднее за 2008-2010 гг.)

Фактор А - сорт	Фактор Б- основная обработка почвы	Фактор С – биопрепарат	Содержится в абсолютно сухом веществе, %				
			зола	жир	протеин	БЭВ	клетчатка
Ленинская местная (стандарт)	Вспашка (контроль)	контроль	8,8	1,6	16,0	38,6	35,0
		ризоторфин	9,4	2,1	16,3	37,7	34,5
		Байкал-ЭМ1	9,7	2,5	16,7	36,4	34,7
	Плоскорезная	контроль	9,2	2,3	16,4	37,3	34,8
		ризоторфин	9,6	2,6	16,8	36,7	34,3
		Байкал-ЭМ1	10,3	2,9	17,0	35,9	33,9
Талисман	Вспашка (контроль)	контроль	8,6	1,6	16,1	38,0	35,7
		ризоторфин	9,2	1,9	16,7	37,5	34,7
		Байкал-ЭМ1	9,5	2,2	16,9	37,0	34,4
	Плоскорезная	контроль	8,9	2,1	16,6	36,9	35,5
		ризоторфин	9,4	2,4	17,0	36,2	35,0
		Байкал-ЭМ1	10,0	2,6	17,3	35,7	34,4
НСР ₀₅ А НСР ₀₅ В НСР ₀₅ С НСР ₀₅ АВ НСР ₀₅ АС НСР ₀₅ ВС НСР ₀₅ АВС			0,3	0,2	0,5	1,6	1,2
			0,3	0,2	0,5	1,6	1,2
			0,4	0,2	0,6	1,9	1,5
			0,5	0,2	0,7	2,2	1,7
			0,6	0,3	0,9	2,7	2,1
			0,6	0,3	0,9	2,7	2,1
			0,8	0,4	1,2	3,8	3,0

Одновременно снизилось содержание клетчатки и БЭВ. Положительные изменения обусловлены активизацией азотфиксации, улучшением минерального питания и стимуляцией биосинтетических процессов под действием ЭМ-микроорганизмов на фоне оптимизированного водно-воздушного режима почвы.

Одним из элементов биологизации земледелия при возделывании озимой пшеницы является обработка семян непосредственно перед посевом биопрепаратами совместно с фунгицидными протравителями, оказывающими положительное влияние на дружность всходов, защиту растений от болезней (опыт 4).

По вариантам опыта в среднем за 2017...2019 гг. наиболее урожайным оказался сорт озимой пшеницы Алексеич. Наименьшая урожайность отмечена у сорта зерноградской селекции Донщина – 4,5 т/га. По всем вариантам опыта совместное применение биопрепарата и протравителя (Органика С + ИншурПерформ) было более эффективным и обеспечило максимально возможный рост продуктивности, по сравнению с контрольными вариантами и вариантами опыта, где на изучаемых сортах

использовались препараты Биодукс + ИншурПерформ (таблица 21).

Таблица 21 - Урожайность сортов озимой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян, т/га

Сорт (фактор А)	Препарат для обработки семян (фактор В)	Год			Среднее
		2017	2018	2019	
Донщина (стандарт)	Без обработки	3,7	3,5	3,9	3,7
	Биодукс +ИншурПерформ	4,5	4,2	4,8	4,5
	Оргамика С + ИншурПерформ	4,9	4,6	5,0	4,8
Алексеич	Без обработки	5,4	5,2	5,6	5,4
	Биодукс + ИншурПерформ	6,2	6,1	6,2	6,2
	Оргамика С + ИншурПерформ	6,5	6,4	6,6	6,5
Таня	Без обработки	4,3	4,1	4,5	4,3
	Биодукс + ИншурПерформ	5,2	5,0	5,4	5,2
	Оргамика С + ИншурПерформ	5,8	5,2	5,9	5,6
НСР ₀₅ А		0,2	0,2	0,2	
НСР ₀₅ В		0,2	0,2	0,2	
НСР ₀₅ АВ		0,4	0,3	0,3	

Ни у одного сорта за рассматриваемый период не было сформировано зерно сильной пшеницы (не менее 28% клейковины 1 группы качества).

Вместе с тем у всех изучаемых сортов на всех вариантах опыта, за исключением контрольных, формировалось зерно среднего качества. Масса 1000 зерен, натура и стекловидность зерна были наибольшими у сорта Алексеич, наименьшими у сорта Донщина(таблица 22).

Таблица 22 - Качество зерна сортов озимой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян (среднее за 2017...2019 гг.)

Сорт (фактор А)	Препарат для обработки семян (фактор В)	Клей- ковина, %	ИДК	Натур а, г/л	Масса 1000 зерен, г	Стекло- видность, %
Донщина (стандарт)	Без обработки	22,0	112,0	735,0	36,0	53,0
	Биодукс +ИншурПерформ	25,0	99,0	760,0	38,0	55,0
	Оргамика С + ИншурПерформ	26,0	96,0	770,0	41,0	58,0
Алексеич	Без обработки	23,0	105,0	740,0	39,0	58,0
	Биодукс +ИншурПерформ	26,0	98,0	770,0	42,0	60,0
	Оргамика С + ИншурПерформ	28,0	95,0	780,0	44,0	62,0
Таня	Без обработки	22,0	110,0	737,0	37,0	56,0
	Биодукс +ИншурПерформ	26,0	95,0	765,0	40,0	57,0
	Оргамика С + ИншурПерформ	27,0	90,0	775,0	42,0	60,0
НСР ₀₅ А		1,2	4,0	6,0	1,2	2,5
НСР ₀₅ В		1,5	5,0	8,0	1,5	3,0
НСР ₀₅ АВ		2,0	6,0	10,0	2,0	4,0

Применение баковой смеси биопрепарата «Оргамика С» с фунгицидным протравителем «ИншурПерформ» обеспечило максимальную эффективность среди всех изучаемых вариантов в силу следующих причин:

1. Стимуляция ростовых процессов и иммунитета. «Оргамика С» (содержащая гуминовые и фульвокислоты, а также метаболиты почвенных микроорганизмов) активизирует ферментативную активность семян, ускоряет появление дружных всходов и усиливает корнеобразование. Это создаёт основу для формирования более продуктивного фитоценоза.

2. Синергетический защитный эффект. Комбинация с протравителем «ИншурПерформ» обеспечивает надёжную защиту проростков от семенной и почвенной инфекции. При этом биоконпоненты «Оргамики С» снижают фитотоксическое действие химического фунгицида, способствуя быстрому восстановлению полезной ризосферной микрофлоры.

3. Превышение контроля и альтернативных вариантов. По сравнению с контролем (без обработки) прибавка урожая у сорта Алексеич составила 1,1 т/га, а относительно варианта «Биодукс + ИншурПерформ» — 0,3 т/га, что подтверждает преимущество именно «Оргамики С» в составе баковой смеси.

Органо-минеральные удобрения (**опыт 5**) достоверно сокращают продолжительность межфазных периодов у сортов картофеля по сравнению с контролем без обработки. Периоды "всходы-бутонизация" и "бутонизация-цветение" характеризуются меньшей амплитудой варьирования, что указывает на их большую консервативность. В целом общая продолжительность вегетационного периода сокращалась на 7-16 суток за счет оптимизации системы "сорт-удобрение".

Установлено, что применение препаратов позволяет увеличить количество клубней на 12–17% и массу клубня на 2–6% в зависимости от сортовых особенностей.

У сорта Импала товарная урожайность на контрольном варианте составила 55 т/га. Применение органо-минеральных удобрений обеспечило достоверную прибавку урожая. Наибольшая эффективность отмечена при использовании препаратов «Дарина 2» (65 т/га) и «Стимулайф» (64 т/га). «Идеал» (60 т/га), «Картофельное» (59 т/га) и «Лигногумат» (58 т/га) также показали положительный, но менее выраженный эффект (таблица 23). У сорта Гулливер товарная урожайность на контрольном варианте была существенно ниже и составила 34 т/га, что подчеркивает его меньший генетический потенциал продуктивности по сравнению с сортом Импала. Однако, реакция на применение препаратов оказалась выраженной. Максимальные значения товарной урожайности также зафиксированы при применении «Стимулайф» (42 т/га) и «Дарина 2» (41 т/га). Прочие препараты («Идеал» – 39 т/га, «Лигногумат» – 38 т/га, «Картофельное» – 37 т/га) продемонстрировали статистически значимый рост. Несмотря на то, что абсолютная прибавка урожая у сорта Импала выше, относительная эффективность лидирующих препаратов «Дарина 2» и «Стимулайф» более выражена у сорта Гулливер. Это указывает на то, что данные препараты могут быть особенно эффективны для раскрытия потенциала сортов с изначально более низкой продуктивностью.

Все применяемые препараты обеспечили статистически значимую прибавку

урожая клубней картофеля, варьирующую от 3 до 10 т/га в абсолютных показателях и от 5,5% до 23,5% – в относительных.

Таблица 23 - Товарная урожайность картофеля в зависимости от применения органо-минеральных удобрений, т/га

Сорт	ОМУ	Год				Среднее
		2021	2022	2023	2024	
Импала	Без обработки	56,0	58,5	53,5	52,0	55,0
	Картофельное	60,0	62,5	57,5	56,0	59,0
	Дарина 2	66,5	69,0	63,0	61,5	65,0
	Лигногумат	59,5	61,5	56,5	55,0	58,0
	Стимулайф	65,5	68,0	62,0	60,5	64,0
	Идеал	61,5	63,0	58,5	57,0	60,0
Гулливёр	Без обработки	35,0	37,5	32,5	31,0	34,0
	Картофельное	38,5	40,5	35,5	34,0	37,0
	Дарина 2	42,5	43,5	39,5	38,5	41,0
	Лигногумат	39,5	41,5	36,5	35,0	38,0
	Стимулайф	43,5	44,5	40,5	39,5	42,0
	Идеал	40,5	42,5	37,5	36,0	39,0
НСП ₀₅ А		1,3	1,2	1,3	1,3	
НСП ₀₅ В		2,3	2,1	2,2	2,2	
НСП ₀₅ АВ		3,3	3,0	3,2	3,1	

Установлено, что «Дарина 2» и «Стимулайф» являются лидерами по своему воздействию на продукционный процесс, стабильно обеспечивая максимальную прибавку урожая на обоих изучаемых сортах.

Полученные данные по товарной урожайности находятся в прямой корреляционной связи с результатами биохимического анализа, где те же препараты («Дарина 2» и «Стимулайф») индуцировали максимальное накопление сухого вещества и крахмала.

В шестой главе «Научно-методические основы внедрения элементов точного («умного») земледелия» разработана концептуальная модель применения цифровых инструментов для засушливых условий Нижнего Поволжья, включающая:

1. Дистанционный мониторинг состояния посевов и почв с использованием геоинформационных систем (ГИС) и данных дистанционного зондирования Земли, позволяющий оперативно выявлять участки с угнетенной растительностью и дифференцировать агротехнологические приемы.

2. Алгоритм цифрового программирования урожайности, базирующийся на экспериментально установленных нелинейных (параболических) зависимостях продуктивности культур от уровня минерального питания и влагообеспеченности.

3. Экономическое обоснование внедрения элементов точного земледелия (дифференцированного внесения удобрений и воды, параллельного вождения, картирования урожайности), свидетельствующее о возможном снижении себестоимости растениеводческой продукции на 25-30% за счет оптимизации расходов материально-технических ресурсов и исключения непродуктивных потерь.

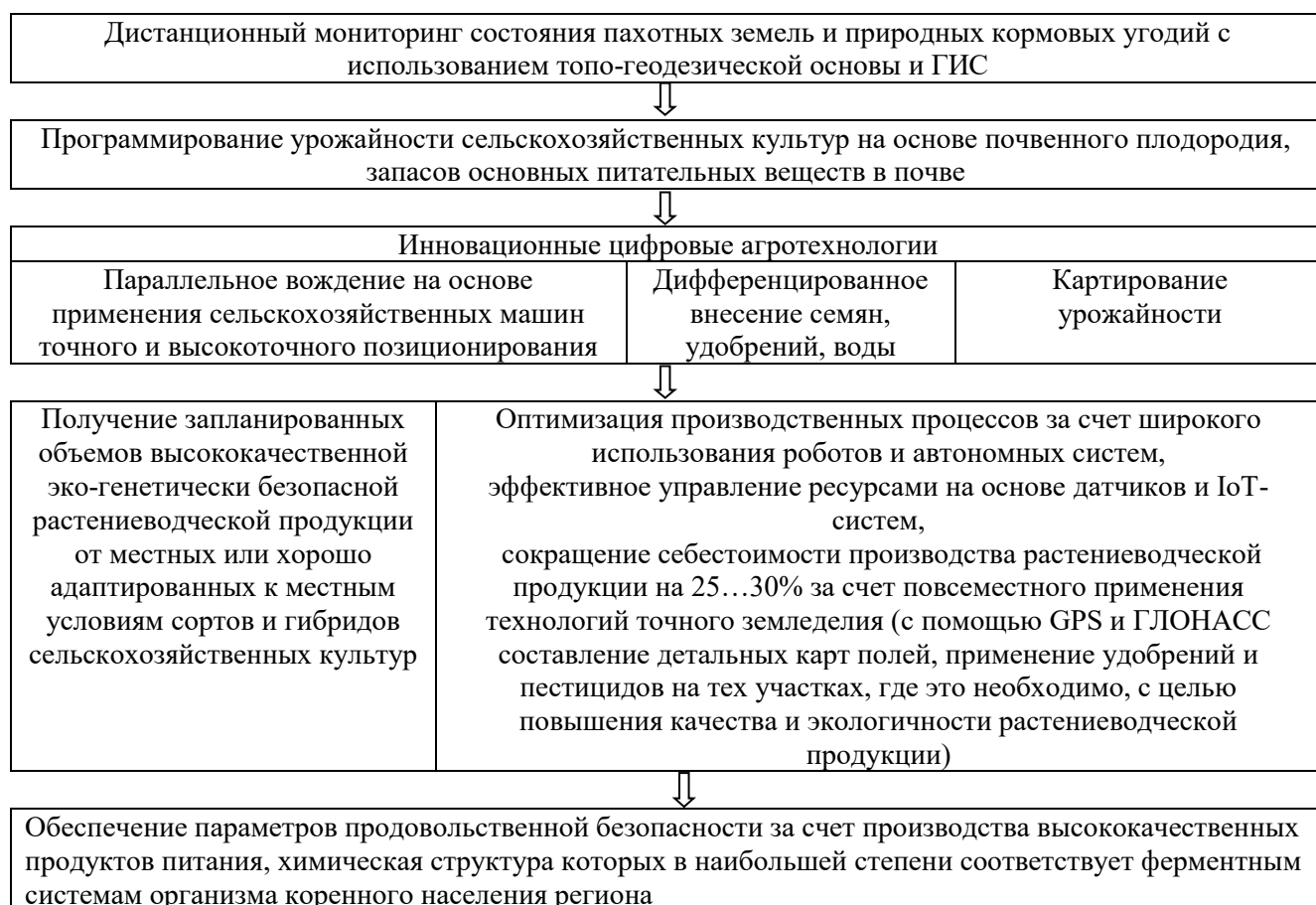


Рисунок 4 - Концептуальная модель «умного земледелия»

Разработанная модель является основой для создания отечественных программно-аппаратных комплексов адаптивного земледелия для засушливых регионов. Цифровизация земледелия позволит оптимизировать производственные процессы, что благоприятно отразится на результативных финансово-экономических показателях растениеводческих предприятий.

Глава седьмая «Экономическая эффективность предложенных систем севооборотов и ресурсосберегающих технологий». Экономическая эффективность пятипольного севооборота (3 поля люцерны, поле ярового ячменя и поле картофеля) по сравнению с контрольным вариантом оказалась в 1,7 раза выше, а рентабельность от его применения достигла 89% (таблица 24).

Таблица 24 - Сравнительная экономическая эффективность севооборотов

Показатели	Севооборот 1	Севооборот 2	Севооборот 3
Состав севооборота	1. Картофель 2. Картофель 3. Картофель 4. Залежь 5. Залежь	1. Люцерна 2. Люцерна 3. Люцерна 4. Картофель 5. Картофель	1. Люцерна 2. Люцерна 3. Люцерна 4. Картофель 5. Ячмень
Затраты из расчета на 1 га, тыс.руб	331,32	218,13	161,61
Выручка из расчета на 1 га, тыс.руб	500,97	426,12	304,24
Прибыль из расчета на 1 га, тыс.руб	169,65	208,00	142,63
Рентабельность, %	52	96	89

В долгосрочной перспективе травянозернопропашной севооборот (3 поля люцерны, картофель, ячмень) предпочтительнее контрольного и альтернативного севооборотов благодаря минимальным затратам (161,61 тыс. руб./га), высокой рентабельности (89%), а также за счёт оптимизации фитосанитарного состояния почвы, естественного восстановления плодородия бобовыми культурами и снижения экологических и экономических рисков, связанных с бессменным возделыванием картофеля.

Исследования показали, что уровень рентабельности у сорта люцерны Талисман при возделывании по технологии, предусматривающей замену вспашки на плоскорезную обработку и замену ризоторфина для предпосевной обработки семян на использование микробиологического препарата Байкал-ЭМ1 достиг 53%, что в 2,4 раза выше по сравнению с параметрами традиционной технологии. Уровень рентабельности при возделывании озимой пшеницы по технологии, предусматривающей плоскорезную обработку и предпосевную обработку семян биопрепаратом Органика С в сочетании с фунгицидным протравителем ИншурПерформ достиг 60%, что в 3,3 раза выше, чем при возделывании озимой пшеницы по традиционной технологии. Рентабельность ресурсосберегающей технологии, предусматривающей предпосевную обработку клубней картофеля органо-минеральными удобрениями (Дарина 2) оказалась в 1,3 раза выше, чем при выращивании изучаемой культуры по традиционной технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в 2008–2024 гг. комплексные исследования в агроценозах Нижнего Поволжья позволили сформулировать следующие выводы, обладающие научной новизной и практической значимостью и отражающие результаты каждого экспериментального направления.

1. Установлено, что разработанные среднеротационные севообороты (травянопропашной и травянозернопропашной с насыщением многолетними бобовыми травами до 60 %) оказывают положительное влияние на баланс органического вещества, агрофизические (плотность, агрегатный состав) и агрохимические (состав почвенно-поглощающего комплекса, содержание натрия) свойства серо-бурых почв. За 15 летний период содержание гумуса на серо-бурых почвах при реализации 3х ротаций севооборота 1 с монокультурой картофеля уменьшилось на 0,25%, напротив при реализации севооборота 2 (травянопропашного) данный показатель возрос на 0,1% и севооборота 3 (травянозернопропашного) на 0,25%.

2. В условиях травянозернопропашного севооборота на орошении установлена нелинейная зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от уровня минерального питания. Кривые отклика имеют экстремальный характер с четко выраженным максимумом, после которого наблюдается снижение продуктивности, что указывает на нарушение физиологического баланса и проявление токсического эффекта при превышении оптимальных концентраций элементов питания в почвенном растворе.

Установлено, что положительное действие удобрений проявляется лишь до определенного порога насыщения, после чего наступает депрессия ростовых процессов. Наибольшая продуктивность изученных культур достигается на предмаксимальных уровнях минеральной нагрузки. Максимальная урожайность люцерны (91,0 т/га) получена при режиме орошения 85% НВ и уровне минерального питания $P_{90}K_{60}+N_{25}P_{40}K_{35}$. По ячменю максимум продуктивности (4,7 т/га) отмечен при дифференцированном режиме орошения 70–80–70% НВ в сочетании с дозой минеральных удобрений $N_{40}P_{55}K_{50}+N_{30}$. Картофель обеспечил наибольшую урожайность при режиме орошения 80–90–80% НВ и дозе минеральных удобрений $N_{150}P_{80}K_{50}+N_{25}P_{40}K_{35}$.

Режим орошения является ведущим фактором, определяющим эффективность использования минеральных удобрений и реализацию потенциальной продуктивности культур. Дальнейшее повышение доз удобрений сверх предмаксимальных значений не обеспечивает прироста урожайности, а напротив, сопровождается ее снижением вследствие нарушения солевого режима и угнетения корневой системы. Это свидетельствует о необходимости строгого соблюдения оптимальных параметров влагообеспеченности и сбалансированного минерального питания при возделывании культур в условиях орошения.

3. Доказана высокая эффективность комбинации плоскорезной обработки (без оборота пласта) с инокуляцией семян микробиологическим препаратом «Байкал-ЭМ1». На данном агрофоне достигнута наибольшая урожайность зеленой массы люцерны: у сорта Талисман – 79 т/га, у сорта Ленинская местная – 72 т/га, что на 12–13 % превышает контроль (вспашка без обработки).

4. Установлен синергетический эффект от совместного применения биопрепарата на основе *Bacillus subtilis* («Органика С») и фунгицидного протравителя с адьювантными свойствами («ИншурПерформ»). Данный прием обеспечил повышение неспецифической резистентности растений, что обусловило наибольшую урожайность сорта Алексеич – 6,5 т/га. Отмечено также улучшение качества зерна. Содержание сырой клейковины достигло 28 % (II группа качества), что на 1–6 процентных пунктов выше, чем на других вариантах.

5. В условиях орошаемого земледелия на серо-бурых почвах установлено преимущественное влияние органо-минеральных удобрений «Дарина 2» и «Стимулайф» на продуктивность и товарные качества картофеля сорта Импала, что обеспечивало прибавку урожая на 15–25 % и повышение крахмалистости клубней на 1,5–2,0 % относительно контрольного варианта.

6. На основе обобщения экспериментальных данных разработана концептуальная модель перехода к «умному земледелию», включающая блоки дистанционного мониторинга посевов, точного позиционирования техники, дифференцированного применения средств химизации (орошение, удобрения, биопрепараты) и картирования урожайности. Модель адаптирована к условиям серо-бурых, светло-каштановых почв и является научной основой для цифровизации агропромышленного комплекса Нижнего Поволжья.

Комплексная экономическая оценка подтвердила высокую эффективность

разработанных ресурсосберегающих технологий:

- внедрение пятипольных травянозернопропашных и травянопропашных севооборотов обеспечило повышение рентабельности производства в 1,7–1,8 раза соответственно по сравнению с контрольной схемой;

- технология возделывания люцерны с применением плоскорезной обработки в сочетании с предпосевной обработкой семян препаратом «Байкал-ЭМ1» способствовала достижению уровня рентабельности 53 %, что в 2,4 раза превышало показатели традиционной технологии;

- интеграция биопрепарата «Органика С» с протравителем «ИншурПерформ» в технологию озимой пшеницы увеличивала рентабельность до 60 % (в 3,3 раза выше контроля);

- применение органо-минеральных удобрений («Дарина 2») на картофеле обеспечивало рост рентабельности в 1,3 раза по сравнению с традиционной технологией.

Полученные результаты формируют научно-методическую базу для повышения продуктивности, устойчивости и экономической эффективности агроценозов в засушливых условиях Нижнего Поволжья на основе биологизации, адаптивного проектирования севооборотов и прецизионных технологий.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для устойчивого развития земледелия в засушливых условиях Нижнего Поволжья на основе результатов проведенных исследований рекомендуется:

1. В целях обеспечения положительного баланса гумуса, улучшения агрофизических и агрохимических показателей почвы и высокой продуктивности пашни в условиях серо-бурых почв внедрять научно-обоснованные пятипольные севообороты со следующим чередованием культур: люцерна трех лет жизни, яровой ячмень, картофель.

2. Для получения урожайности зеленой массы люцерны на уровне 80–90 т/га на серо-бурых почвах поддерживать нижний порог влажности почвы не ниже 85% НВ; применять в качестве основной обработки почвы плоскорезную обработку культиватором-плоскорезом-глубококорыхлителем на глубину 0,25–0,27 м; проводить предпосевную обработку семян микробиологическим препаратом «Байкал-ЭМ1» в дозе, рекомендованной производителем (1:1000); вносить минеральные удобрения дозой $P_{90}K_{60}+N_{25}P_{40}K_{35}$.

3. В целях получения урожайности ярового ячменя на уровне 4,7 т/га вносить минеральные удобрения дозой $N_{40}P_{55}K_{50}+N_{30}$; поддерживать нижний порог влажности почвы в слое 0,0–0,4 м не ниже 70% НВ в периоды посев-всходы и всходы - кущение, не ниже 80 % НВ в периоды кущение - выход в трубку и выход в трубку - колошение (критические периоды), не ниже 70% НВ в период налив зерна - молочная спелость.

4. Для достижения урожайности картофеля свыше 60 т/га и получения высококачественных клубней выращивать картофель с поддержанием нижнего порога влажности почвы в слое 0,0–0,4 м не ниже 80% НВ в периоды посадка -

всходы, всходы–бутонизация, не ниже 90 % НВ в слое 0,0-0,6 м в периоды бутонизация-цветение, цветение-клубнеобразование и налив клубней (критические периоды), не ниже 80% НВ в период созревания клубней с последующим прекращением полива за 2-3 недели до уборки картофеля; вносить минеральные удобрения дозой $N_{150}P_{80}K_{50}+N_{25}P_{40}K_{35}$; дополнительно применять обработку клубней перед посадкой органо-минеральными удобрениями «Дарина 2» или «Стимулайф», а также проводить обработку вегетирующих растений препаратом «Стимулайф» в фазы всходов, бутонизации и клубнеобразования.

5. В целях обеспечения стабильной урожайности озимой пшеницы свыше 6 т/га и получения зерна с содержанием клейковины не менее 28 % (II группа качества) рекомендуется на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья применять для предпосевной обработки семян баковую смесь биопрепарата «Оргамика С» (на основе *Bacillus subtilis*) с фунгицидным протравителем «ИншурПерформ»; поддерживать нижний порог влажности почвы в слое 0,0–0,4 м в период кущения — не ниже 75% НВ, в периоды трубкования, колошения и налива зерна — не ниже 80% НВ, с последующим снижением до 60-65% НВ за 3 недели до уборки.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В продолжение настоящего исследования целесообразна разработка цифровых карт-схем чередования культур и дифференцированного внесения средств химизации в системе точного земледелия для условий Нижнего Поволжья.

Требуется дальнейшая адаптация научно-технологических решений к прогнозируемым изменениям климата (нарастание аридности) с включением в структуру севооборотов перспективных засухоустойчивых сортов и гибридов нового поколения.

В качестве приоритетного направления выступает углубленное изучение влагосберегающих и почвозащитных агроприемов, обеспечивающих устойчивость агроландшафтов к дефляции.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования РФ

1. Тютюма, Н. В. Перспективы развития полевого кормопроизводства в засушливых условиях Астраханской области на основе внедрения длинно-ротационных кормовых севооборотов и конвейерного производства кормов / Н. В. Тютюма, А. А. Айтпаева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. — 2022. — № 3 (67). — С. 24–32. — DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-02

2. Тютюма, Н. В. Устойчивое развитие кормопроизводства как основа наращивания животноводческой продукции в регионе [Электронный ресурс] / Н. В. Тютюма, А. А. Айтпаева, О. Н. Беспалова // АгроЭкоИнфо. — 2022. — № 4 (52). — Режим доступа: <http://agroecoinfo.ru/> (дата обращения: 27.05.2026). — DOI:

3. **Айтпаева, А. А.** Эффективность возделывания зерновых культур в структуре травянопропашных севооборотов в зонах неустойчивого увлажнения / А. А. Айтпаева, Н. В. Тютюма // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. — 2023. — № 2 (70). — С. 134–141. — DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-15

4. Бисалиев, А. А. Монокультура картофеля как фактор деградации почвенного плодородия в регионе / А. А. Бисалиев, Ю. Н. Плескачев, **А. А. Айтпаева** [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. — 2024. — № 6 (78). — С. 199–204. — DOI: 10.32786/2071-9485-2024-06-20

5. **Айтпаева, А. А.** Изменение степени солонцеватости почв в зависимости от структуры севооборотов в аридной зоне Нижнего Поволжья [Электронный ресурс] / А. А. Айтпаева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2025. — № 3 (207). — С. 1–9. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2025/03/pdf/01.pdf> (дата обращения: 27.05.2026). — DOI: 10.21515/1990-4665-207-001

6. **Айтпаева, А. А.** Корреляционно-регрессионный анализ зависимости урожайности от содержания питательных веществ в почве в севообороте с пропашными культурами в аридной зоне Нижнего Поволжья [Электронный ресурс] / А. А. Айтпаева, Н. В. Тютюма, А. А. Бисалиев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2025. — № 4 (208). — С. 295–302. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2025/04/pdf/27.pdf> (дата обращения: 27.05.2026). — DOI: 10.21515/1990-4665-208-027

7. **Айтпаева, А. А.** Влияние предшественника (яровой ячмень) и органо-минеральных и микробиологических удобрений на урожайность картофеля в аридной зоне [Электронный ресурс] / А. А. Айтпаева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2026. — № 2 (216). — С. 1–13. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2026/02/pdf/01.pdf> (дата обращения: 27.05.2026). — DOI: 10.21515/1990-4665-216-001

8. **Айтпаева, А. А.** Продуктивность картофеля в зависимости от предшественника в орошаемых севооборотах Астраханской области [Электронный ресурс] / А. А. Айтпаева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2026. — № 3 (217). — С. 15–27. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2026/03/pdf/02.pdf> (дата обращения: 27.05.2026). — DOI: 10.21515/1990-4665-217-002

9. **Айтпаева, А. А.** Адаптационный потенциал сортов озимой пшеницы в условиях аридной зоны / А. А. Айтпаева, Н. В. Тютюма // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. — 2026. — № 2 (86). — С. 126–133. — DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-13

10. **Айтпаева, А. А.** Влияние структуры севооборотов на агрофизические и агрохимические свойства серо-бурых почв аридной зоны [Электронный ресурс] / А. А. Айтпаева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2026. — № 4 (218). — С. 1–12. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2026/04/pdf/01.pdf> (дата обращения: 27.05.2026). — DOI: 10.21515/1990-4665-218-001

11. **Айтпаева, А. А.** Влияние биопрепаратов и систем основной обработки почвы на урожайность и биохимический состав зеленой массы люцерны [Электронный ресурс] / А. А. Айтпаева // Политематический сетевой электронный научный журнал

Кубанского государственного аграрного университета. — 2026. — № 5 (219). — С. 1–12.
— Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2026/05/pdf/01.pdf> (дата обращения: 29.05.2026).
— DOI: 10.21515/1990-4665-219-001

12. **Айтпаева, А. А.** Влияние режимов орошения и минерального питания на продуктивность люцерны и плодородие серо-бурых почв Астраханской области / А. А. Айтпаева, Н. В. Тютюма // Земледелие. — 2026. — № 3. — С. 23–26. — DOI: 10.24412/0044-3913-2026-3-23-26

13. **Айтпаева, А. А.** Влияние биопрепаратов и фунгицидных протравителей на урожайность и качественные характеристики зерна озимой пшеницы / А. А. Айтпаева, Н. В. Тютюма // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. — 2026. — № 3 (87). — С. 27–36. — DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-02

14. **Айтпаева, А. А.** Продуктивность ярового ячменя в зависимости от режима орошения и уровня минерального питания в засушливых условиях Астраханской области / А. А. Айтпаева, Н. В. Тютюма // Мелиорация и гидротехника. — 2026. — Т. 16, № 2. — С. 240–258. — DOI: 10.31774/2712-9357-2026-16-2-240-258

15. **Айтпаева, А. А.** Причины деградации почвенного плодородия в Астраханской области и пути их решения [Электронный ресурс] / А. А. Айтпаева, А. А. Бисалиев, С. П. Стрелков [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2026. — № 6 (220). — С. 1–9. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2026/06/pdf/01.pdf> (дата обращения: 30.06.2026). — DOI: 10.21515/1990-4665-220-001

Монографии

16. **Айтпаева, А. А.** Эффективное орошаемое земледелие — основа успешного развития регионального АПК : монография / А. А. Айтпаева. — Москва : КНОРУС ; Астрахань : Астраханский государственный университет, 2016. — 155 с. — ISBN 978-5-4365-0260-1.

17. **Айтпаева, А. А.** Теоретическое обоснование и разработка путей устойчивого развития полевого кормопроизводства на основе использования цифровых инструментов и методов экономико-математического моделирования [Электронный ресурс] : монография / А. А. Айтпаева. — Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет : ЭБС АСВ, 2024. — 186 с. — ISBN 978-5-93026-214-8. — Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_013412533/ (дата обращения: 27.05.2026).

Статьи в журналах, сборниках конференций и форумов

18. Шутьков, А. А. Системный подход в экономике орошаемого земледелия / А. А. Шутьков, А. А. Айтпаева // Вестник национального института бизнеса. — 2008. — Вып. 6. — С. 373–380.

19. **Айтпаева, А. А.** Развитие орошаемого земледелия в новых условиях хозяйствования / А. А. Айтпаева // Актуальные проблемы инновационного развития агропромышленного комплекса : материалы IV Всероссийской конференции студентов и молодых ученых (г. Астрахань, 21–23 апреля 2009 г.). — Астрахань : ПолиграфКом, 2009. — С. 94.

20. **Айтпаева, А. А.** Оценка эффективности разрабатываемой системы орошаемого земледелия / А. А. Айтпаева // Актуальные проблемы инновационного

развития агропромышленного комплекса : материалы IV Всероссийской конференции студентов и молодых ученых (г. Астрахань, 21–23 апреля 2009 г.). — Астрахань : ПолиграфКом, 2009. — С. 96.

21. **Айтпаева, А. А.** Орошаемое земледелие – основа роста регионального агропроизводства / А. А. Айтпаева // Экономика сельского хозяйства России. — 2010. — № 5. — С. 71–75.

22. **Айтпаева, А. А.** Перспективы кормопроизводства в Волгоградской области / А. А. Айтпаева // Экономика сельского хозяйства России. — 2011. — № 6. — С. 69–75.

23. **Айтпаева, А. А.** Развитие орошаемого земледелия и животноводства в регионе: системный подход / А. А. Айтпаева // Экономика сельского хозяйства России. — 2012. — № 7. — С. 65–76.

24. **Айтпаева, А. А.** Прогнозные сценарии развития орошаемого земледелия в России / А. А. Айтпаева, Л. П. ИONOва // Экономика сельского хозяйства России. — 2013. — № 6. — С. 42–49.

25. **Айтпаева, А. А.** Эффективное сельскохозяйственное производство – критерий оценки продовольственной безопасности страны и регионов / А. А. Айтпаева, Л. П. ИONOва // Экономика сельского хозяйства России. — 2013. — № 7–8. — С. 41–48.

26. **Айтпаева, А. А.** Устойчивое развитие отрасли растениеводства в К(Ф)Х Астраханской области [Электронный ресурс] / А. А. Айтпаева, Р. А. Арсланова, А. С. Абакумова // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1–2. — С. 284. — Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=284> (дата обращения: 27.05.2026).

27. **Айтпаева, А. А.** Пути устойчивого развития сельского хозяйства региона / А. А. Айтпаева, П. А. Андросов, А. А. Куликенова // Прикаспийский международный молодежный научный форум агропромтехнологий и питания 2015 : материалы форума / составители А. Р. Лозовский [и др.]. — Астрахань : Издательский дом «Астраханский государственный университет», 2015. — С. 195–197.

28. **Айтпаева, А. А.** Стратегический анализ современного состояния и перспектив развития кормопроизводства, молочного и мясного скотоводства в контексте обеспечения продовольственной безопасности региона по молоку и говядине [Электронный ресурс] / А. А. Айтпаева, Л. П. ИONOва // Российский экономический интернет-журнал. — 2016. — № 3. — С. 1. — Режим доступа: <http://www.e-rej.ru/Articles/2016/Aitpaeva.pdf> (дата обращения: 27.05.2026).

29. **Айтпаева, А. А.** Эффективное развитие отрасли кормопроизводства – гарант обеспечения продовольственной безопасности по молочным и мясным продуктам / А. А. Айтпаева, Е. А. Мацуй, И. С. Ежов // Прикаспийский международный молодежный научный форум агропромтехнологий и продовольственной безопасности 2016 : материалы форума. — Астрахань : Издательский дом «Астраханский государственный университет», 2016. — С. 123–126.

30. **Айтпаева, А. А.** Устойчивое развитие отрасли растениеводства в Харабалинском районе Астраханской области / А. А. Айтпаева, Р. А. Куликенов, Б. А. Багирян // Прикаспийский международный молодежный научный форум агропромтехнологий и продовольственной безопасности 2016 : материалы форума. — Астрахань : Издательский дом «Астраханский государственный университет», 2016. — С. 121–123.

31. **Айтпаева, А. А.** Стратегия развития регионального агропромышленного комплекса в условиях импортозамещения / А. А. Айтпаева // Организационно-

экономические и инновационно-технологические особенности сельского хозяйства Астраханской области в современных условиях : сборник докладов научного семинара. — Астрахань : Издательский дом «Астраханский государственный университет», 2017. — С. 30–36.

32. **Айтпаева, А. А.** Прогнозирование развития отрасли растениеводства на примере Харабалинского района Астраханской области / А. А. Айтпаева, Ф. Б. Алиев, С. В. Правденков // Прикаспийский международный молодежный научный форум агропромтехнологий и продовольственной безопасности 2017 : сборник научных статей / составители А. Р. Лозовский, О. Н. Беспалова, А. А. Айтпаева, Ю. И. Шахмедова. — Астрахань : Астраханский государственный университет, 2017. — С. 183–185.

33. **Айтпаева, А. А.** Повышение эколого-экономической устойчивости сельского хозяйства Астраханской области / А. А. Айтпаева, Р. А. Кулиkenов, Б. А. Багирян // Прикаспийский международный молодежный научный форум агропромтехнологий и продовольственной безопасности 2017 : сборник научных статей / составители А. Р. Лозовский, О. Н. Беспалова, А. А. Айтпаева, Ю. И. Шахмедова. — Астрахань : Астраханский государственный университет, 2017. — С. 185–187.

34. Акмаева, Р. И. Возрождение орошаемого земледелия – гарант развития кормопроизводства в Астраханской области / Р. И. Акмаева, **А. А. Айтпаева**, И. С. Ежов // Прикаспийский международный молодежный научный форум агропромтехнологий и продовольственной безопасности 2017 : сборник научных статей / составители А. Р. Лозовский, О. Н. Беспалова, А. А. Айтпаева, Ю. И. Шахмедова. — Астрахань : Астраханский государственный университет, 2017. — С. 187–189.

35. Кадралиев, Д. С. Принципы эффективного развития отрасли кормопроизводства в региональном АПК / Д. С. Кадралиев, **А. А. Айтпаева**, Р. К. Ниталиев // Прикаспийский международный молодежный научный форум агропромтехнологий и продовольственной безопасности 2017 : сборник научных статей / составители: А. Р. Лозовский, О. Н. Беспалова, А. А. Айтпаева, Ю. И. Шахмедова. — Астрахань : Астраханский государственный университет, 2017. — С. 204–207.

36. Timofeeva, G. V. Benchmarking study on the level of food security of Southern Russia regions on the basis of innovative approaches [Электронный ресурс] / G. V. Timofeeva, R. I. Akmaeva, **A. A. Aitpaeva** // International scientific conference "Competitive, sustainable and safe development of the regional economy: a response to global challenges". — Volgograd : [s.n.], 2018. — Vol. 39. — (на англ.). — Режим доступа: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/cssdre-18/25896334> (дата обращения: 02.05.2026).

37. Timofeeva, G. V. Strategic directions of development of dairy cattle breeding in the region in the conditions of modern challenges [Электронный ресурс] / G. V. Timofeeva, R. I. Akmaeva, **A. A. Aitpaeva** // International scientific conference "Competitive, sustainable and safe development of the regional economy: response to global challenges". — Volgograd : [s.n.], 2019. — Vol. 39. — (на англ.). — Режим доступа: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/cssdre-19/125909685> (дата обращения: 02.05.2026).

38. Андросова, Т. Г. Влияние биопрепаратов на повышение урожайности озимой пшеницы и экономическая эффективность производства зерна в ИП ГК(Ф)Х «Андросов П. А.» / Т. Г. Андросова, **А. А. Айтпаева** // Современные агротехнологии в аридной зоне и их экономическая оценка : материалы научно-практического семинара. — Астрахань : Издательский дом «Астраханский государственный университет», 2019. — С. 8–11.

39. Арыкбаев, Р. К. Управление цифровизацией АПК и обеспечение

продовольственной безопасности РФ в современных условиях / Р. К. Арыкбаев, **А. А. Айтпаева** // Влияние новой геополитической реальности на государственное управление и развитие Российской Федерации : материалы II Всероссийской научно-практической конференции / под редакцией З. А. Саидова. — Грозный : Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова, 2019. — С. 52–56.

40. **Айтпаева, А. А.** Эффективное функционирование агропромышленного комплекса в контексте обеспечения продовольственной безопасности региона / А. А. Айтпаева // Социально-экономические и экологические аспекты развития Прикаспийского региона : материалы Международной научно-практической конференции. — Элиста : КалмГУ, 2019. — С. 249–252.

41. **Айтпаева, А. А.** Современное состояние и тенденции развития АПК Астраханской области / А. А. Айтпаева, Р. А. Арсланова, А. С. Бабакова // Социально-экономические и экологические аспекты развития Прикаспийского региона : материалы Международной научно-практической конференции. — Элиста : КалмГУ, 2019. — С. 253–256.

42. **Aitpaeva, A.** Digital technologies in producing programmable vegetable crops / A. Aitpaeva, R. Arslanova, A. Babakova [et al.] // The Caspian in the Digital Age : within the framework of the International Scientific Forum "Caspian 2021: Ways of Sustainable Development" / editors: L.V. Baeva, K.A. Markelov. — [S.l.] : [s.n.], 2022. — P. 2. — (на англ.).

43. **Айтпаева, А. А.** Рациональное использование земельных ресурсов – гарант сохранения природных экосистем в аридной зоне / А. А. Айтпаева, О. Н. Беспалова, Ж. А. Зимина [и др.] // Астраханский вестник экологического образования. — 2024. — № 4 (82). — С. 51–57.

44. Бисалиев, А. А. Стратегия устойчивого развития земледелия в аридной зоне / А. А. Бисалиев, Ю. Н. Плескачев, А. С. Бабакова, **А. А. Айтпаева** // Приоритетные направления повышения эффективности, конкурентоспособности и устойчивости аграрной отрасли : материалы международной научной конференции, посвященной 105-летию ТатНИИСх ФИЦ КазНЦ РАН. — Санкт-Петербург : [б. и.], 2025. — С. 201–204.

Подписано в печать 28.06.2026. Формат 60x84¹/₁₆.

Усл.печ.л.2,5. Тираж 100. Заказ №.

Информационно-издательский центр ГБОУ АО ВО «АГАСУ»
414056, Астрахань, ул. Татищева, 18.